

**STUDI NUMERIK TENTANG PENGARUH ORIENTASI  
SUDUT DAN JUMLAH LAPISAN PELAPIS TERHADAP  
SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT**



**KADEK PUTRA MUDA ADYAKSA  
5315120396**

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan  
gelar sarjana

**PROGRAM STUDI S1 PENDIDIKAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
2017**

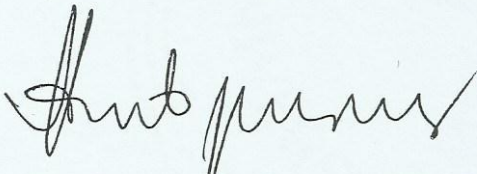
## PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul :

### **STUDI NUMERIK TENTANG PENGARUH ORIENTASI SUDUT DAN JUMLAH LAPISAN PELAPIS TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT.**

Lembar persetujuan ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat untuk pengajuan sidang skripsi pada program studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Dosen Pembimbing I



**Dr. Eng. Agung Premono S.T.,M.T.**  
NIP. 197705012001121002

Dosen Pembimbing II



**Ragil Sukarno S.T.,M.T.**  
NIP. 197902112012121001

LEMBAR PENGESAHAN

NAMA DOSEN

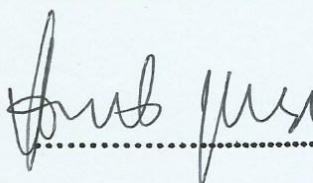
TANDA TANGAN

TANGGAL

Dr. Eng. Agung Premono S.T.,M.T.

NIP. 197705012001121002


(Dosen Pembimbing I)

 21/2 2017

Ragil Sukarno S.T.,M.T.

NIP. 197902112012121001

(Dosen Pembimbing II)

 21/2 2017

PENGESAHAN PANITIAN UJIAN SKRIPSI

Drs. Syaripuddin, M.Pd

NIP. 196703211999031001


(Ketua Penguji)

 21/2 2017

Ir. Yunita Sari M.T.,M.Si.

NIP. 196806062005012001

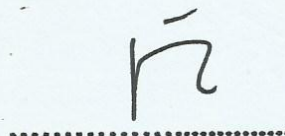
(Sekretaris)

 22/2 2017

Dr. Riza Wirawan, M.T.

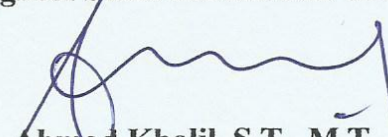
NIP. 197804112005011003

(Dosen Ahli)

 21/2 2017

Tanggal Lulus .....17 Februari 2017.....

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

  
Ahmad Kholil, S.T., M.T.

NIP. 197908312005011001



## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Kadek Putra Muda Adyaksa

No. Registrasi : 5315120396

Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 12 Maret 1995

Alamat : Jl. Mesjid Alfalaq Kp. Kebantenan RT 05/08 NO 72 Kel.  
Jatiasih, Kec. Jatiasih, Kota Bekasi 17423

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi dengan judul “Studi Numerik tentang Pengaruh Orientasi Sudut dan Jumlah Lapisan Pelapis Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit” adalah karya tulis ilmiah yang saya buat.
2. Karya tulis ilmiah ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing.
3. Karya tulis ilmiah ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis tercantum sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Jakarta, Februari 2017  
Yang Membuat Pernyataan

**Kadek Putra Muda Adyaksa**  
No. Registrasi 5315120396

## ABSTRAK

**Kadek Putra Muda Adyaksa. Skripsi: Studi Numerik Tentang Pengaruh Orientasi Sudut dan Jumlah lapisan Pelapis Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit: Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, 2017.**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa sifat mekanik yang dimiliki oleh material komposit dengan menggunakan material *Stainless Steel* dan *Epoxy Carbon*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel atau model benda berupa plat dengan panjang 150 mm, lebar 80 mm, dan tebal 4 mm. Pada penelitian ini komposisi penyusun divariasikan sedemikian rupa dengan orientasi sudut dan jumlah lapisan yang berbeda. Pada penelitian ini menggunakan 3 jenis variasi di antaranya adalah ; variasi *pattern* dengan 9 lapisan dan orientasi sudut pelapis  $0^\circ$ ,  $(0^\circ,90^\circ)$ ,  $(45,-45)$ ,  $90^\circ$ , variasi kenaikan interval orientasi sudut  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  dengan menggunakan 9 lapisan dan variasi jumlah lapisan 9, 13,17, dan 21 lapisan dengan orientasi sudut pelapis  $(0,^\circ30^\circ)$ ,  $(0^\circ,60^\circ)$ ,  $(0^\circ,90^\circ)$ . Beban *bending* yang diberikan kepada sampel sebesar 0,63 Mpa. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode komputasi dengan simulasi menggunakan *software* metode elemen hingga. Hasil dari penelitian ini menunjukkan hasil yang bervariasi. Hasil dari simulasi variasi *pattern* menunjukkan nilai *Von Mises stress*, *shear stress*, *elastic strain*, dan *total deformation* semakin tinggi seiring dengan variasi orientasi sudut yang semakin besar. Hasil dari simulasi variasi kenaikan interval sudut menunjukkan nilai *Von Mises stress* terendah ada di sampel kenaikan interval  $40^\circ$ , untuk *shear stress*, *elastic strain* dan *total deformation* berada di sampel kenaikan interval  $10^\circ$ . Hasil dari simulasi variasi jumlah lapisan menunjukkan bahwa semakin banyak lapisan yang digunakan maka nilai *Von Mises stress*, *shear stress*, *elastic strain* dan *total deformation* yang terjadi semakin turun. Dalam perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan, nilai *Von Mises stress* dan *elastic strain* terendah berada di sampel  $(0^\circ,90^\circ)$ , sedangkan untuk *shear stress* berada di sampel  $(0^\circ,60^\circ)$ , dan untuk *total deformation* berada di sampel  $(0^\circ,30^\circ)$ .

Kata kunci : Sifat mekanik, Material komposit, Orientasi sudut, Jumlah lapisan

## ABSTRACT

**Kadek Putra Muda Adyaksa. Thesis: Numerical Study About Effect of Angle Orientation and number of layers Coating Against Mechanical Properties of Composite Materials: Study Program Faculty of Engineering, State University of Jakarta, in 2017.**

*This study aimed to analyze the mechanical properties of Stainless Steel and Carbon Epoxy composite materials. Tests are carried out using a sample or model of the object in the form of plates with a length of 150 mm, a width of 80 mm, and a thickness of 4 mm. In this study the authors varied the fiber orientation and the number of layers. There are three types of variation, which are; pattern variation with 9 layers and fiber orientation  $0^\circ$ ,  $(0^\circ, 90^\circ)$ ,  $(45, -45)$ ,  $90^\circ$ , variation of interval increase in angular orientation  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  using 9 layers, and variations in the number of layers 9, 13, 17, and 21 layers with linings angular orientation  $(0^\circ, 30^\circ)$ ,  $(0^\circ, 60^\circ)$ ,  $(0^\circ, 90^\circ)$ . Bending load of 0.63 MPa given to a sample. The method used in this study is a computational method by simulation using finite element method software. The results of the simulation pattern variation showed the value of Von Mises stress, shear stress, elastic strain and total deformation increases with increasing angular orientation. The results of the simulation for increment variation interval angel shows the lowest value of Von Mises stress is at the sample with  $40^\circ$  interval, to shear stress, elastic strain, and total deformation is at the sample with  $10^\circ$  interval. The results of the simulation for variation number of layer showed that, the value of Von Mises stress, shear stress, elastic strain, and total deformation become lower inversely proportional with the number of composite layer. In comparison between sample of variation number of layer, Sample with  $(0^\circ, 90^\circ)$  has lowest Von Mises stress and elastic strain value, while sample with  $(0^\circ, 60^\circ)$  has lowest shear stress, and the lowest total deformation at sample with  $(0^\circ, 30^\circ)$ .*

*Keywords: mechanical properties, composite material, orientation angle, number of layers*

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir skripsi ini dengan judul “**Studi Numerik Tentang Pengaruh Orientasi Sudut dan Jumlah lapisan Pelapis Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit**” disusun guna memenuhi sebagian persyaratan untuk melengkapi dan memenuhi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Penulis dalam menulis skripsi ini menyadari sepenuhnya bahwa terlaksananya sampai kepada bentuk skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari banyak pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Ahmad Kholil,S.T.,MT. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin.
2. Bapak Dr. Eng. Agung Premono,S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan skripsi ini.
3. Bapak Ragil Sukarno,S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Ahmad Kholil S.T., M.T. selaku Penasehat Akademis yang juga telah banyak membantu penulis.
5. Seluruh Dosen Prodi dan Staff TU Pendidikan Teknik Mesin UNJ.
6. Bapak I Gede Darpa, S.H dan Ibu Ketut Mutiari, S.E sebagai Orang tua tercinta. I Putu Gede Surya Muda Pratama, S.T sebagai Kakak dan Komang Muda Sedana Yoga Sebagai Adik.
7. Putu Cahyani Ade Putri yang tak henti – hentinya memberikan semangat dalam Proses Penyusunan Skripsi ini.
8. KMHB UNJ selaku Organisasi yang selalu memberikan warna dan pengalaman berharga bagi kehidupan penulis.
9. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin, khususnya kepada angkatan 2012 yang telah memberikan dukungan motivasi serta membantu penulis.
10. Sahabat seperjuangan yaitu Febriyanto, Adit, ilyas, Annisa, Riswandi dan duty yang telah memberikan semangat dan warna tersendiri dikehidupan penulis.

Penulis sadar bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun, agar pada karya-karya yang akan datang lebih baik lagi. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak. Astungkara.

Jakarta, Febuari 2017

**Kadek Putra Muda Advaksa**  
No. Registrasi 5315120396

## DAFTAR ISI

<b>PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAC</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	3
1.4. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah. ....	3
1.5. Tujuan penelitian .....	4
1.6. Kegunaan Penelitian .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1. Komposit.....	5
2.1.1. <i>Properties</i> Komposit .....	8
2.1.2. Perbedaan komposit dan <i>alloy</i> .....	9
2.1.3. Klasifikasi komposit .....	9
2.1.4. Laminates Composites (Komposit Lapis).....	12
2.1.5. Sifat Material Komposit.....	14
2.1.6. Efek Orientasi Serat Terhadap Kekuatan .....	16
2.2. Stainless steel .....	19
2.3. <i>Resin Epoxy</i> .....	20
2.4. <i>Epoxy Carbon</i> .....	20
2.5. Tegangan ( <i>Stress</i> ).....	21
2.6. Teori Tegangan <i>Von Misses</i> .....	28
2.7. Teori Dasar <i>Finite Element Method</i> .....	31
2.8. ANSYS .....	35



<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	37
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	37
3.3. Diagram Alir Penelitian .....	38
3.3.1. Uraian Prosedur Penelitian.....	39
3.4. Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data.....	53
3.4.1 Penentuan beban bending.....	53
3.4.2 <i>Fix support</i> dan arah beban .....	54
3.5. Teknik Analisis Data.....	55
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN.....</b>	<b>56</b>
4.1. Model Sampel .....	56
4.2. Material Sampel .....	59
4.3. Kondisi Batas .....	60
4.4. Hasil simulasi dengan menggunakan <i>software</i> ANSYS 15.....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>92</b>
5.1. Kesimpulan .....	92
5.2. Saran .....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>94</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>95</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Sampel dengan variasi <i>pattern</i> .....	39
Tabel 3.2. Sampel dengan variasi kenaikan interval sudut lapisan pelapis .....	39
Tabel 3.3. Tabel Sampel dengan variasi jumlah lapisan pelapis dengan sudut 0°,30° .....	40
Tabel 3.4. Tabel Sampel dengan variasi jumlah lapisan pelapis dengan sudut 0°,60° .....	41
Tabel 3.5. Tabel Sampel dengan variasi jumlah lapisan pelapis dengan sudut 0°,90° .....	42
Tabel 4.1. Data Properti Material <i>Stainless Steel</i> .....	59
Tabel 4.2. Data Properti Material <i>Epoxy Carbon</i> .....	59
Tabel 4.3. Data Properti Resin Epoxy.....	60
Tabel 4.4. Hasil Analisa dari sampel 4 variasi <i>pattern</i> .....	65
Tabel 4.5. Hasil Analisa dari 5 sampel variasi kenaikan interval .....	69
Tabel 4.6. Hasil Analisa 4 sampel variasi jumlah lapisan dengan orientasi sudut 0°,30° .....	73
Tabel 4.7. Hasil analisa 4 sampel variasi jumlah lapisan dengan orientasi sudut 0°,60° .....	77
Tabel 4.8. Hasil analisa 4 sampel variasi jumlah lapisan orientasi sudut 0°- 90° .....	81
Tabel 4.10. Perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan 9 .....	83
Tabel 4.11. Perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan 13 .....	85
Tabel 4.12. Perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan 17 .....	87
Tabel 4.13. Perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan 21 .....	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Bagian material komposit .....	7
Gambar 2.2.	Klasifikasi komposit Berdasarkan bentuk dan matriksnya .....	10
Gambar 2.3.	Klasifikasi komposit Berdasarkan struktur .....	12
Gambar 2.4.	<i>Laminates Composites</i> .....	12
Gambar 2.5.	Hubungan antara mode kegagalan, kekuatan, dan orientasi serat (diagram skematik untuk komposit serat kontinu satu arah).....	17
Gambar 2.6.	<i>Stainless steel Plate</i> .....	19
Gambar 2.7.	<i>Resin epoxy</i> .....	20
Gambar 2.8.	<i>Epoxy carbon</i> .....	20
Gambar 2.9.	Komponen – komponen tegangan normal dan geser .....	22
Gambar 2.10.	Batang prismatic yang dibebani gaya aksial .....	23
Gambar 2.11.	Gaya tarik aksial.....	23
Gambar 2.12.	Gaya tekan aksial .....	24
Gambar 2.13.	Batang mengalami tegangan geser.....	25
Gambar 2.14.	Tegangan pada pembebanan elemen.....	25
Gambar 2.15.	Tegangan yang bekerja pada sebuah bidang elemen .....	26
Gambar 2.16.	Grafik representasi TED dalam keadaan tegangan 2 dimensi.....	29
Gambar 2.17.	<i>Stress State</i> .....	32
Gambar 2.18.	Boundary Conditions .....	35
Gambar 3.1.	Diagram Alir Proses Analisa <i>Software</i> Metode Elemen Hingga... ..	38
Gambar 3.2.	A : Sudut orientasi pelapis 0°, B :Sudut Orientasi pelapis 0°, 90°.....	43
Gambar 3.3.	C: Sudut orientasi pelapis 45,-45, D: Sudut orientasi pelapis 90° .....	43
Gambar 3.4.	E: Kenaikan interval 10°, F: Kenaikan Interval 15°.....	44
Gambar 3.5.	G: Kenaikan interval 20°, H: Kenaikan Interval 30° .....	44
Gambar 3.6.	I: Kenaikan interval 40°.....	45
Gambar 3.7.	Gambar sampel dengan jumlah 9 lapisan.....	45
Gambar 3.8.	Gambar sampel dengan jumlah 13 lapisan.....	45
Gambar 3.9.	Gambar sampel dengan jumlah 17 lapisan.....	46
Gambar 3.10.	Gambar sampel dengan jumlah 21 lapisan.....	46
Gambar 3.11.	Sudut orientasi pelapis 0°,30° dengan variasi jumlah lapisan 9 dan 13 .....	46
Gambar 3.12.	Sudut orientasi pelapis 0°,30° dengan variasi jumlah lapisan 17 dan 21 .....	47
Gambar 3.13.	Sudut orientasi pelapis 0°,60° dengan variasi jumlah lapisan 9 dan 13 .....	47
Gambar 3.14.	Sudut orientasi pelapis 0°,60° dengan variasi jumlah lapisan 17 dan 21 .....	48
Gambar 3.15.	Sudut orientasi pelapis 0°,90° dengan variasi jumlah lapisan 9 dan 13 .....	48
Gambar 3.16.	Sudut orientasi pelapis 0°,90° dengan variasi jumlah lapisan 17 dan 21 .....	49
Gambar 3.17.	Gambar sketsa 2D .....	49

Gambar 3.18. Gambar 3D .....	50
Gambar 3.19. Proses Meshing .....	50
Gambar 3.20. Pengaturan ketebalan dan penginputan material .....	51
Gambar 3.21. Pengaturan jumlah lapisan .....	51
Gambar 3.22. Pengaturan orientasi sudut material .....	51
Gambar 3.23. Pengaturan pembuatan solid model.....	52
Gambar 3.24. Fitur <i>Static structural</i> .....	52
Gambar 3.25. <i>Detail of Pressure</i> .....	54
Gambar 3.26. <i>Fix Support</i> .....	54
Gambar 3.27. Homogenisasi sampel.....	55
Gambar 4.1. Sampel dengan 9 lapisan .....	56
Gambar 4.2. Sampel dengan 13 lapisan .....	57
Gambar 4.3. Sampel dengan 17 lapisan .....	57
Gambar 4.4. Sampel dengan 21 lapisan .....	58
Gambar 4.5. Dimensi sampel .....	58
Gambar 4.6. <i>Fix Support</i> A berada di sisi kiri dan B di sisi kanan.....	60
Gambar 4.7. Geometri dari sampel yang diberikan beban .....	61
Gambar 4.8. Pengaturan pemberian beban kepada sampel.....	61
Gambar 4.9. Pentransferan data dari ACP(pre) ke <i>Static Structural</i> .....	62
Gambar 4.10. <i>Solution menu</i> .....	63
Gambar 4.11. <i>Von mises stress</i> , Variasi <i>Pattern</i> pelapis 0°, 9 lapisan.....	64
Gambar 4.12. <i>Shear Stress</i> , Variasi <i>Pattern</i> pelapis 0°, 9 lapisan .....	64
Gambar 4.13. <i>Equivalent elastic strain</i> , Variasi <i>Pattern</i> pelapis 0°, 9 lapisan ....	64
Gambar 4.14. <i>Total deformation</i> , Variasi <i>Pattern</i> pelapis 0°, 9 lapisan .....	64
Gambar 4.15. Grafik perbandingan <i>Von mises stress</i> antar sampel, variasi <i>pattern</i> .....	65
Gambar 4.16. Grafik perbandingan <i>Shear Stress</i> antar sampel, variasi <i>pattern</i> ..	66
Gambar 4.17. Grafik perbandingan <i>Equivalent Elastic Strain</i> antar sampel, variasi <i>pattern</i> .....	66
Gambar 4.18. Grafik perbandingan <i>Total deformation</i> antar sampel, variasi <i>pattern</i> .....	67
Gambar 4.19. <i>Von mises stress</i> , Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 10°, 9 lapisan. ....	67
Gambar 4.20. <i>Shear stress</i> , Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 10°, 9 lapisan .....	67
Gambar 4.21. <i>Equivalent elastic strain</i> , Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 10°, 9 lapisan.....	68
Gambar 4.22. <i>Total deformation</i> , Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 10°, 10 lapisan .....	68
Gambar 4.23. Grafik Perbandingan <i>Von mises stress</i> antar sampel, variasi kenaikan interval. ....	69
Gambar 4.24. Grafik Perbandingan <i>Shear Stress</i> antar sampel, variasi kenaikan interval .....	70
Gambar 4.25. Grafik Perbandingan <i>Equivalent Elastic Strain</i> antar sampel, variasi kenaikan interval.....	70
Gambar 4.26. Grafik Perbandingan <i>Total deformation</i> antar sampel, variasi kenaikan interval .....	70
Gambar 4.27. <i>Von mises stress</i> , Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 9 lapisan.....	71

Gambar 4.28. <i>Shear stress</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},30^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	72
Gambar 4.29. <i>Equivalen elastic strain</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},30^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	72
Gambar 4.30. <i>Total deformation</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},30^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	72
Gambar 4.31. Grafik perbandingan <i>Von mises stress</i> antar sampel, Variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},30^{\circ}$ .....	74
Gambar 4.32. Grafik perbandingan <i>Shear Stress</i> antar sampel, Variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},30^{\circ}$ .....	74
Gambar 4.33. Grafik perbandingan <i>Equivalent elastic strain</i> antar sampel, Variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},30^{\circ}$ .....	75
Gambar 4.34. Grafik perbandingan <i>Total deformation</i> antar sampel, Variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},30^{\circ}$ .....	75
Gambar 4.35. <i>Von mises stress</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},60^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	75
Gambar 4.36. <i>Shear stress</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},60^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	76
Gambar 4.37. <i>Equivalent elastic strain</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},60^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	76
Gambar 4.38. <i>Total deformation</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},60^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	76
Gambar 4.39. Grafik perbandingan <i>Equivalent stress (Von-Mises)</i> antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},60^{\circ}$ .....	78
Gambar 4.40. Grafik perbandingan <i>Shear stress</i> antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},60^{\circ}$ .....	78
Gambar 4.41. Grafik perbandingan <i>Equivalent elastic strain</i> antar sampel variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},60^{\circ}$ .....	78
Gambar 4.42. Grafik perbandingan <i>Total deformation</i> antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},60^{\circ}$ .....	79
Gambar 4.43. <i>Von mises stress</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},90^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	79
Gambar 4.44. <i>Shear stress</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},90^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	80
Gambar 4.45. <i>Equivalent elastic strain</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},90^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	80
Gambar 4.46. <i>Total deformation</i> , Orientasi sudut $0^{\circ},90^{\circ}$ , Variasi 9 lapisan.....	81
Gambar 4.47. Grafik perbandingan <i>Von mises stress</i> antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},90^{\circ}$ .....	82
Gambar 4.48. Grafik perbandingan <i>Shear Stress</i> antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},90^{\circ}$ .....	82
Gambar 4.49. Grafik perbandingan <i>equivalen elastic strain</i> antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},90^{\circ}$ .....	82
Gambar 4.50. Grafik perbandingan <i>Total deformation</i> antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut $0^{\circ},90^{\circ}$ .....	83
Gambar 4.51. <i>Von mises stress</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 9.....	84
Gambar 4.52. <i>Shear stress</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 9.....	84
Gambar 4.53. <i>Equivalent elastic strain</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 9.....	84
Gambar 4.54. <i>Total deformation</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 9.....	85
Gambar 4.55. <i>Von mises stress</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 13.....	86
Gambar 4.56. <i>Shear stress</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 13.....	86

Gambar 4.57. <i>Equivalent elastic strain</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 13.....	86
Gambar 4.58. <i>Total deformation</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 13.....	87
Gambar 4.59. <i>Von mises stres</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 17.....	88
Gambar 4.60. <i>Shear stress</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 17.....	88
Gambar 4.61. <i>Equivalent elastic strain</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 17.....	88
Gambar 4.62. <i>Total deformation</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 17.....	89
Gambar 4.63. <i>Von mises stress</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 21.....	90
Gambar 4.64. <i>Shear stress</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 21.....	90
Gambar 4.65. <i>Equivalent elastic strain</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 21.....	90
Gambar 4.66. <i>Total deformation</i> , Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 21.....	91



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Variasi <i>pattern</i> 2, 3, 4. ....	95
Lampiran 2. Variasi kenaikan interval sudut : $15^\circ$ , $20^\circ$ , $30^\circ$ , $40^\circ$ .....	99
Lampiran 3. Variasi jumlah lapisan 13, 17, 21 orientasi sudut $0^\circ$ , $30^\circ$ .....	105
Lampiran 4. Variasi Jumlah Lapisan 13, 17, dan 21 orientasi Sudut $0^\circ$ , $60^\circ$ .....	109
Lampiran 5. Variasi Jumlah Lapisan 13, 17, 21 Orientasi Sudut $0^\circ$ , $90^\circ$ .....	113

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Saat ini material teknik sangat dibutuhkan untuk melengkapi kebutuhan dalam menunjang perkembangan teknologi. Dengan teknologi yang terus berkembang, pengembangan material teknik di berbagai macam bidang industri dan manufaktur juga terus dilakukan. Pengembangan yang dilakukan mengacu kepada kebutuhan akan sifat – sifat mekanik yang dimiliki material. Material teknik dapat di klasifikasikan menjadi beberapa kelompok, yaitu material logam, Keramik, Polimer, komposit, Semi konduktor dan biomaterial. Setiap kelompok material itu memiliki kelebihan dan kekurangan dalam sifat – sifat yang dimilikinya.

Kelebihan dan kekurangan yang dimiliki oleh material dapat dilihat dari berbagai macam aspek, di antaranya adalah kekuatan, ketangguhan, keuletan, ketahanan panas, dan lain-lain. Berbagai macam aspek tersebut dapat dilihat pada suatu kondisi yang akan diterima oleh material. Sebagai salah satu contoh, kelebihan yang dimiliki oleh material logam di antaranya, memiliki kekuatan tarik yang tinggi memiliki konduktivitas listrik dan panas yang baik dan lain – lain. Di samping kelebihan yang dimiliki, material logam memiliki beberapa kekurangan secara khusus, di antaranya adalah massa jenis yang besar sehingga membuat material logam dikategorikan sebagai material yang berat, dan material logam memiliki ketahanan korosi yang kurang baik.

Saat ini pengembangan material terus dilakukan kepada material komposit. Material komposit adalah material rekayasa yang dibuat dari

percampuran dua atau lebih material untuk menciptakan sebuah kombinasi sifat material yang baru dan unik.<sup>1</sup> Hal ini terjadi karena sifat mekanik yang dimiliki oleh material komposit merupakan gabungan dari material penyusunnya. Penggabungan material ini menghasilkan sebuah sifat mekanik baru yang mampu menutupi kelemahan dari masing - masing material penyusunnya, sehingga menghasilkan sebuah sifat mekanik yang lebih baik dari pada material penyusunnya.

Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari pada logam, memiliki kekuatan bisa diatur yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*specific strength*) dan kekakuan jenis (*specific modulus*) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara serta dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi.<sup>2</sup>

Dalam pengembangan material komposit, ada beberapa faktor penting yang dapat mempengaruhi sifat mekanik material komposit. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanik material komposit antara lain: 1.) Metode penggabungan material, 2.) Jenis dari material yang digunakan, 3.) Orientasi arah serat atau orientasi sudut dari material pelapis, 4.) Fraksi volume material komposit, dan 5.) Jumlah lapisan material komposit, maka dari itu faktor – faktor tersebut sangat perlu untuk di perhatikan.

---

<sup>1</sup> Agus Edy Pramono, 2012, Karakteristik Komposit Karbon – Karbon Berbasis Limbah Organik Hasil Proses Tekan Panas, Disertasi, Universitas Indonesia. H 19

<sup>2</sup>Metode Elemen Hingga untuk Analisa Kekuatan Kapal Fiberglass, jurnal S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, hal 264

Pada penelitian ini penulis melakukan analisis dengan metode numerik, dalam mencari pengaruh dari orientasi sudut dan jumlah lapisan pelapis terhadap sifat mekanik material komposit. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga, dengan mengangkat judul, “Studi Numerik Tentang Pengaruh Orientasi Sudut dan Jumlah Lapisan Pelapis terhadap Sifat Mekanik Material Komposit”.

### **1.2. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas ada beberapa masalah yang dapat diidentifikasi, yaitu :

1. Material apa saja yang dapat digunakan untuk membuat material komposit?
2. Bagaimana pengaruh orientasi sudut pelapis terhadap sifat mekanik material komposit ?
3. Bagaimana pengaruh jumlah lapisan pelapis terhadap sifat mekanik material komposit ?
4. Bagaimana pembebanan yang dilakukan dalam melihat sifat mekanik material komposit?
5. Bagaimana kondisi material setelah diberikan beban?

### **1.3. Batasan Masalah.**

Dari uraian dan beberapa masalah yang diidentifikasi, maka untuk lebih memfokuskan penelitian, dilakukanlah pembatasan ruang lingkup penelitian :

1. Material yang digunakan adalah, *Stainless Steel*, *Epoxy Carbon* dan *Resin epoxy*.

2. Disain benda berupa plat dengan panjang 150mm, lebar 80mm dan tebal 4mm.
3. Tidak membahas sifat mekanik antar lapisan.
4. Beban yang diberikan kepada material mengacu kepada penelitian sebelumnya yaitu “Disain Tangki Bahan Bakar Gas Sepeda Motor Semi Sport : Sebuah Studi Numerik” berupa beban statis sebesar 0,63 Mpa.
5. Sampel dianggap telah menyatu dan kondisi sampel diasumsikan masih bersifat elastis.

#### **1.4. Rumusan Masalah.**

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah maka rumusan masalah yang dikemukakan adalah “Bagaimana pengaruh Orientasi sudut dan jumlah lapisan pelapis terhadap sifat mekanik material komposit”

#### **1.5. Tujuan penelitian**

Tujuan penelitian ini dapat dirumuskan untuk:

1. Mengetahui pengaruh orientasi sudut pelapis terhadap sifat mekanik material komposit.
2. Mengetahui pengaruh jumlah lapisan pelapis terhadap sifat mekanik material komposit.

#### **1.6. Kegunaan Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk:

1. Sumbangsih pengetahuan secara teori maupun praktik kepada Negara Indonesia khususnya mendukung kemajuan dalam bidang keteknikan.
2. Sebagai pembelajaran bagi peneliti untuk mengembangkan kemampuan dalam bidang teknik mesin khususnya Metode Elemen Hingga.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Komposit

Material komposit adalah material rekayasa yang dibuat dari pencampuran dua atau lebih material untuk menciptakan sebuah kombinasi sifat material yang baru dan unik. Komposit didefinisikan sebagai sebuah kombinasi dari dua atau lebih komponen yang berbeda dalam bentuk atau komposisi pada skala makro, dengan dua atau lebih fasa yang berbeda yang mempunyai ikatan antarmuka yang diketahui antara dua komponen tersebut.<sup>3</sup>

Material komposit mempunyai sifat dari material konvensional pada umumnya dari proses pembuatannya melalui pencampuran yang tidak homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari pada logam, memiliki kekuatan bisa diatur yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength / weight*) dan kekakuan jenis (*modulus Young / density*) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara serta dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi.<sup>4</sup>

Material komposit memiliki beberapa penyusun yang disebut dengan fasa, dan ada dua fasa yang menjadi komponen penyusun material komposit.

---

<sup>3</sup> Agus Edy Pramono, 2012, Karakteristik Komposit Karbon – Karbon Berbasis Limbah Organik Hasil Proses Tekan Panas, Disertasi, Universitas Indonesia. H 19

<sup>4</sup> Daniel Sahla Panggabean, dkk, Perbandingan penggunaan material Isotropi dan Orthotropi pada Metode Elemen Hingga untuk Analisa Kekuatan Kapal Fiberglass, jurnal S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, hal 264



Dua fasa yang dimiliki material komposit adalah matriks dan *Reinforcement* seperti filler atau fiber yang bisa disebut juga dengan serat.

### 1. *Matriks*<sup>5</sup>

*Matriks* adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan).

Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut :

- a) Mentransfer tegangan ke serat.
- b) Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik / serat.
- c) Melindungi serat.
- d) Melepas ikatan.
- e) Tetap stabil setelah proses manufaktur.

### 2. *Reinforcement*<sup>6</sup>

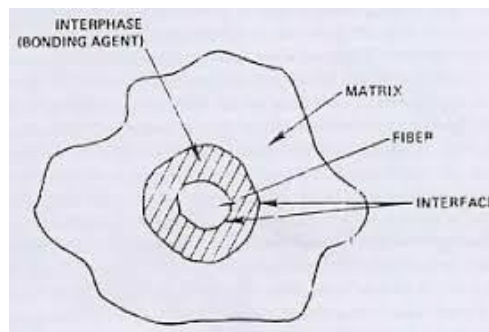
Salah satu bagian utama komposit adalah reinforcement ( penguat ) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit.

Adanya dua penyusun komposit atau lebih, menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; Matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), Penguat (Penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun), *interface* (permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain).

---

<sup>5</sup> <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/> MATERIAL Komposit hal 1, diakses pada tanggal 23 Januari 2017 pukul 20.30.

<sup>6</sup> Ibid hal 2.



**Gambar 2.1. Bagian material komposit<sup>7</sup>**

Secara struktur mikro material komposit tidak merubah material pembentuknya (dalam orde kristalin) tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya karena terjadi ikatan antar permukaan antara matriks dan *filler*.

Syarat terbentuknya komposit: adanya ikatan permukaan antara matriks dan serat. Ikatan antar permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi. Dalam material komposit gaya adhesi-kohesi terjadi melalui 3 cara utama:<sup>8</sup>

1. Interlocking antar permukaan

Interlocking antar permukaan adalah ikatan yang terjadi karena kekasaran

2. Gaya elektrostatis

Gaya elektrostatis adalah ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik-menarik.

3. Gaya vanderwalls

Gaya vanderwall adalah ikatan yang terjadi karena adanya pengutupan antar partikel.

Kualitas ikatan antara matriks dan serat dipengaruhi oleh beberapa variabel

---

<sup>7</sup> Ibid hal 2.

<sup>8</sup> Ibid hal 3.

antara lain :

1. Ukuran partikel.
2. Rapat jenis bahan yang digunakan.
3. Fraksi volume material.
4. Komposisi material.
5. Bentuk partikel.
6. Kecepatan dan waktu pencampuran.
7. Penekanan (kompaksi).
8. Pemanasan (sintering).

#### **2.1.1. *Properties Komposit***<sup>9</sup>

Sifat maupun Karakteristik dari komposit ditentukan oleh:

1. Material yang menjadi penyusun komposit

Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun menurut *rule of mixture*, sehingga akan berbanding secara proporsional.

2. Bentuk dan penyusunan struktural dari penyusun.
3. Bentuk dan cara penyusunan komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.
4. Interaksi antar penyusun.

Bila terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit.

---

<sup>9</sup> Ibid hal 3.

### 2.1.2. Perbedaan komposit dan *alloy*

Komposit dan *alloy* memiliki perbedaan dari cara penggabungan nya yaitu, apabila komposit digabung secara makroskopis sehingga masih kelihatan serat maupun matriksnya (komposit serat) sedangkan *alloy* atau paduan digabung secara mikroskopis sehingga tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya.<sup>10</sup>

### 2.1.3. Klasifikasi komposit

Material komposit diklasifikasikan menjadi 3 jenis, diantaranya adalah CMC, MMC dan PMC, berikut adalah penjelasan dari jenis - jenis klasifikasi material komposit.

#### 1. CMC: *Ceramic Matrix Composite* (menggunakan *matriks* keramik)

CMC merupakan material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai penguat dan satu fasa sebagai matriks dimana matriksnya terbuat dari keramik. Penguat yang umum digunakan pada CMC adalah; oksida, carbide, nitride. Salah satu proses pembuatan dari CMC yaitu dengan proses *DIMOX* yaitu proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matriks keramik di sekeliling daerah *filler*.<sup>11</sup>

#### 2. MMC: *Metal Matrix Composite* (menggunakan *matriks* logam)

*Metal Matrix Composite* adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam. MMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah *Continous Filamen* MMC yang digunakan dalam industri penerbangan.<sup>12</sup>

---

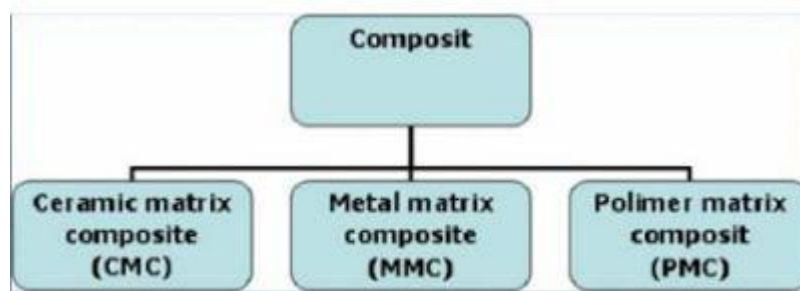
<sup>10</sup> Ibid hal 3.

<sup>11</sup> Ibid hal 7.

<sup>12</sup> Ibid hal 6.

3. PMC: *Polymer Matrix Composite* (menggunakan *matriks* polimer).

Polimer merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material komposit. Karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan. Matriks polimer terbagi 2 yaitu termoset dan termoplastik. Perbedaan antara polimer termoset dan termoplastik adalah polimer termoset tidak dapat didaur ulang sedangkan termoplastik dapat didaur ulang, sehingga lebih banyak digunakan belakangan ini. Jenis-jenis termoplastik yang biasa digunakan adalah *polypropylene* (PP), *polystyrene* (PS), *polyethylene* (PE), dan lain-lain.



**Gambar 2.2. Klasifikasi komposit Berdasarkan bentuk dan matriksnya<sup>13</sup>**

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit yaitu:

1. *Continuous Fiber Composite*

Tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Tipe ini mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan.

---

<sup>13</sup> Ibid hal 6.

## 2. *Woven Fiber Composite (bi-directional)*

Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah.

## 3. *Discontinuous Fiber Composite*

*Discontinuous Fiber Composite* adalah tipe komposit dengan serat pendek.

Tipe ini dibedakan lagi menjadi 3 :

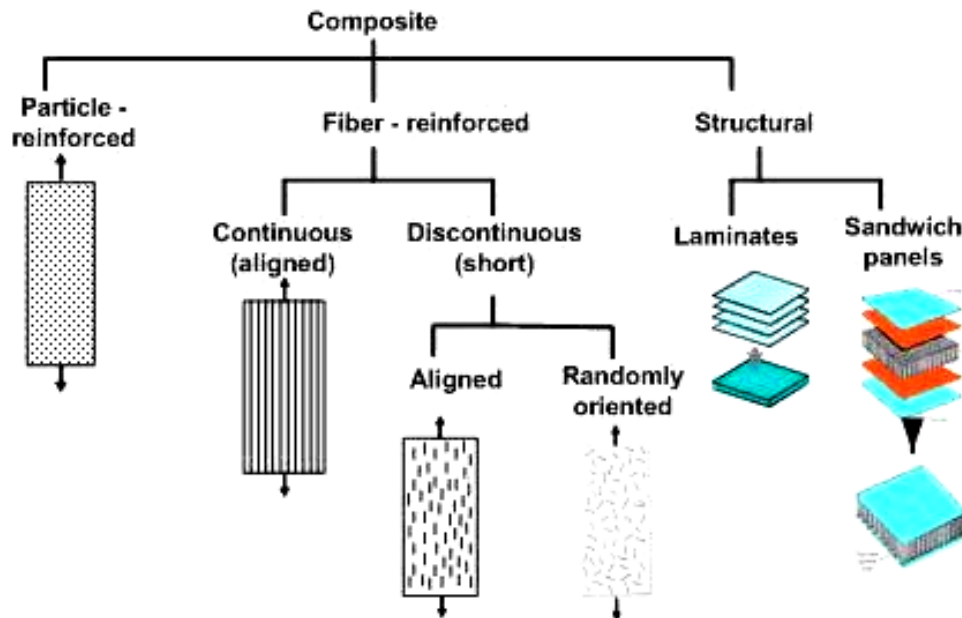
- a) *Aligned discontinuous fiber*
- b) *Off-axis aligned discontinuous fiber*
- c) *Randomly oriented discontinuous fiber*

Berdasarkan strukturnya komposit dibedakan atas:

1. *Particulate Composite Materials* (komposit partikel) merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel atau butiran sebagai *filler* (pengisi). Partikel berupa logam atau non logam dapat digunakan sebagai *filler*.
2. *Fibrous Composite Materials* (komposit serat) terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matriks dan serat.
3. *Structural Composite Materials* (komposit berlapis) terdiri dari sekurang-kurangnya dua material berbeda yang direkatkan bersama-sama. Proses pelapisan dilakukan dengan mengkombinasikan aspek terbaik dari masing-masing lapisan untuk memperoleh bahan yang berguna.



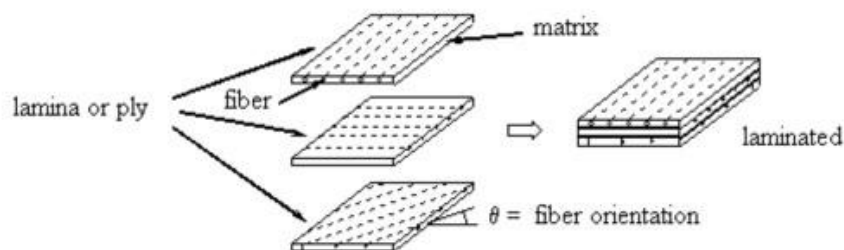
Untuk lebih jelasnya, pembagian komposit dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 2.3. Klasifikasi komposit Berdasarkan struktur<sup>14</sup>**

#### 5.1.4. Laminates Composites (Komposit Lapis)<sup>15</sup>

Komposit Lapis Merupakan jenis komposit terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri (Gibson, 1994).



**Gambar 2.4. Laminates Composites<sup>16</sup>**

<sup>14</sup> Ibid hal 8.

<sup>15</sup> Syaifa Maulana, 2016, "Pengembangan Komposit Dari Karet Ebonit Dengan Penguat Serat Rami Untuk Komponen Otomotif Penutup Spion Sepeda Motor", Tugas Akhir S-1, Teknik mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

Komposit serat dalam bentuk lamina ini yang paling banyak digunakan dalam lingkup teknologi ataupun otomotif maupun industri. Dalam bentuk nyata dari komposit lamina adalah:

a. Bimetal

Bimetal adalah lapis dari dua buah logam yang mempunyai koefisien ekspansi thermal yang berbeda. Bimetal akan melengkung seiring dengan berubahnya suhu sesuai dengan perancangan, sehingga jenis ini sangat cocok untuk alat ukur suhu.

b. Pelapisan Logam

Pelapisan logam yang satu dengan yang lain dilakukan untuk mendapatkan sifat terbaik dari keduanya.

c. Kaca yang dilapisi

Konsep ini sama dengan pelapisan logam. Kaca yang dilapisi akan lebih tahan terhadap cuaca.

d. Komposit lapis serat

Dalam hal ini lapisan dibentuk dari komposit serat dan disusun dalam berbagai orientasi serat. Komposit jenis ini biasa digunakan untuk panel sayap pesawat dan badan pesawat.

### 2.1.5. Sifat Material Komposit

Perbedaan dasar dari komposit dengan sebagian besar material logam terletak pada sifat-sifatnya. Pada material logam mempunyai sifat-sifat *homogeny isotropic*<sup>17</sup>.

1. Benda *homogeny* mempunyai sifat-sifat yang sama disemua tempat. Jadi sifat-sifatnya tidak mempunyai fungsi tempat atau posisi.
2. Benda isotropik mempunyai sifat-sifat yang sama di segala arah. Jadi sifat-sifatnya tidak mempunyai fungsi arah.
3. Sedangkan material komposit mempunyai sifat-sifat yang tidak sama disemua tempat. Jadi merupakan fungsi posisi.
4. Benda anisotropik mempunyai sifat-sifat yang berubah sesuai dengan perubahan arah. Jadi merupakan fungsi arah.

Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada masing-masing material penyusunnya. Sifat-sifat yang dapat diperbaharui antara lain:<sup>18</sup>

- a. Kekuatan (*Strength*), merupakan kemampuan material untuk menahan beban tanpa mengalami perpatahan,
- b. Kekakuan (*Stiffness*), yaitu sesuatu yang tidak dapat dipisahkan dari suatu materi. Banyak material yang kaku memiliki kepadatan yang rendah untuk menahan deformasi dari pemasangan, grafitasi, dan vibrasi pada saat pengoperasiannya.

---

<sup>17</sup> ANALISA BAHAN KOMPOSIT G.R PUNTUK PEMBUATAN MAST DAN BOOM PADA (*SMALL FISHING VESSEL*) Skripsi, Ronny Whisny Adji, Universitas Negeri Jakarta 1996 hal 6

<sup>18</sup> (<http://digilib.unila.ac.id/7593/15/BAB%20II.pdf>) diakses pada tanggal 25 Desember pukul 20.17 WIB hal 11

- c. Ketahanan korosi (*Corrosion Resistance*) yaitu tidak cepat berkarat sehingga memiliki masa umur pakai yang panjang,
- d. Berat (*Weight*) yaitu berat material yang dapat berubah menjadi ringan tanpa mengurangi unsur-unsurnya.
- e. Ketahanan lelah (*Fatigue Life*), merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang-ulang. Apabila suatu logam dikenakan tegangan berulang, maka akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik.
- f. Meningkatkan konduktivitas panas yaitu menambah laju perambatan panas pada padatan dengan aliran yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

Pada umumnya sifat-sifat komposit ditentukan oleh beberapa faktor antara lain:

- a. jenis bahan-bahan penyusun, yaitu bahan serat yang akan digunakan.
- b. bentuk geometris dan struktur bahan penyusun, yaitu bentuk dari serat, setakan, dan struktur bahan-bahan penyusun dalam pembuatan material komposit.
- c. rasio perbandingan bahan-bahan penyusun, yaitu perbandingan bahan yang akan digunakan untuk menghasilkan material komposit yang baru dan baik.
- d. daya lekat antar bahan-bahan penyusun, merupakan kemampuan serat untuk saling mengikat antar bahan penyusunnya.

### 2.1.6. Efek Orientasi Serat Terhadap Kekuatan <sup>19</sup>

Komposit diperkuat serat kontinu pada arah yang sama dengan arah tegangan kerja kekuatan komposit adalah kekuatan maksimal. Kekuatan komposit tipe *anisotropic* ini bervariasi secara linier dengan fraksi volume serat. Apabila orientasi serat membuat sudut  $\theta$  dengan arah tegangan tarik yang diterapkan, maka terjadi penurunan gradien kurva kekuatan untuk nilai  $V_f$  (fraksi volume serat) yang lebih besar dari  $V_{min}$ . Efek pengurangan ini diperoleh dengan memasukkan faktor orientasi  $\eta$  dalam persamaan kekuatan dasar yang menghasilkan:

$$\sigma_c = \eta \sigma_f V_f + \sigma'_m$$

dengan:

$\sigma_c$  = Tegangan komposit (N)

$\eta$  = Faktor orientasi

$\sigma_f$  = Tegangan serat (N)

$V_f$  = Fraksi volume serat ( $m^3$ )

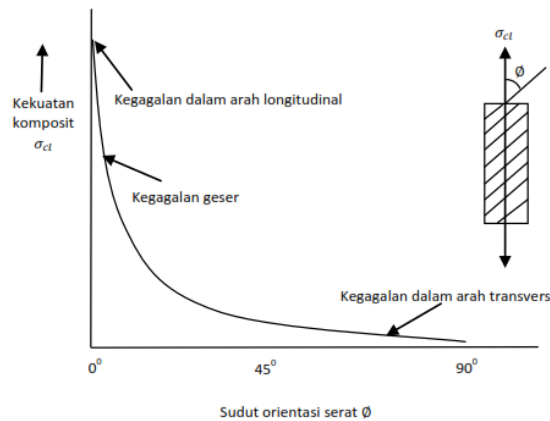
$\sigma'_m$  = Tegangan dimana matrik mulai mengalami deformasi plastis dan pengerasan ) –regangan.

Bila sudut orientasi serat  $\theta$  bertambah mulai dari nol, maka faktor orientasi  $\eta$  turun menjadi kurang dari satu. Untuk menyajikan analisis yang lebih rinci dari variasi kekuatan komposit dengan orientasi serat, lazim diterapkan teori “tegangan maksimum” berdasarkan kenyataan bahwa ada tiga mode kegagalan komposit. Selain sudut orientasi serat  $\theta$ , terdapat tiga sifat komposit lain : kekuatan parallel

---

<sup>19</sup> Suryati, 2012, “PEMBUATAN dan KARAKTERISASI GENTENG KOMPOSIT POLIMER DARI CAMPURAN RESIN POLISTER, ASPAL, STYROFOAM BEKAS dan SERAT PANJANG IJUK, Tesis, Universitas Sumatra Utara.

dengan serat ( $\sigma_{fl}$ ), kekuatan geser matrik paralel dengan serat  $\tau_m$ , dan kekuatan tegak lurus pada serat  $\sigma_{ft}$ . Setiap mode kegagalan dinyatakan dengan persamaan yang menghubungkan kekuatan komposit  $\sigma_{cl}$  dengan tegangan terurai.



**Gambar 2.5. Hubungan antara mode kegagalan, kekuatan, dan orientasi serat (diagram skematik untuk komposit serat kontinu satu arah)**

Gambar 2.5 memperlihatkan bentuk karakteristik dari hubungan kekuatan komposit dan orientasi serat. Selain memperlihatkan ciri anisotropik tinggi dari penguatan-kontinu satu arah, juga memperlihatkan manfaat apabila nilai  $\emptyset$  rendah. Perkiraan berdasarkan penerapan teori tegangan maksimum, dan hasil eksperimen menunjukkan kesesuaian dan memastikan validasi umum kurva ini. (Untuk perhitungan ini diperlukan nilai terukur dari  $\sigma_{fl}$ , dan  $\sigma_{ft}$ ). Mode kegagalan ditentukan oleh persamaan yang menghasilkan nilai kekuatan komposit  $\sigma_{cl}$  paling rendah, berarti bahwa rupture transvers dominan apabila  $\emptyset$  besar. Untuk nilai  $\emptyset$  yang relatif rendah, kekuatan komposit turun dengan cepat, hal ini berkaitan dengan transisi dari kegagalan – tarik ke kegagalan geser pada serat. Dengan eliminasi  $\sigma_{cl}$  dari dua persamaan pertama dari ketiga persamaan tadi dihasilkan sudut kritis untuk transisi ini :

$$\emptyset_{crit} = \tan^{-1}(\tau_m/\sigma_{fl})$$

Apabila penerapan meliputi tegangan kerja yang tidak bekerja dalam satu arah, maka masalah anisotropi dapat diselesaikan secara efektif atau diminimalkan dengan penggunaan serat-kontinu dalam bentuk tenunan kain atau laminasi. Meskipun bentuk ini lebih isotropic dibandingkan komposit satu arah, selalu terjadi penurunan kekuatan sedikit tetapi masih wajar dan penurunan kekakuan yang tak terelakkan.

. Serat gelas, serat karbon, dan serat aramid telah digunakan, dan kadang kadang digunakan kombinasi dari dua atau lebih jenis serat (komposit hibrida). Tersedia pula kain serat dengan berbagai pola tenun. Pada selebar kain tenun dua dimensi terdapat sejumlah serat dengan orientasi dimensi ketiga. Penguatan tiga dimensi sempurna, yang memiliki sifat dalam arah tebal yang ditingkatkan, dihasilkan dengan menumpuk lembaran kain tenun dan merajutnya dengan serat kontinu.

Laminasi yang berbasis serat karbon dan serat aramid biasanya dipergunakan untuk aplikasi kinerja tinggi yang mencakup sistem tegangan kompleks (seperti punter dan tekuk). Satuan konstruksi berwujud lapisan komposit satu arah yang tipis, dengan tebal 50-130  $\mu\text{m}$ . Lapisan disusun dengan cermat dengan orientasi tertentu terhadap sumbu referensi orthogonal ( $0^0$  dan  $90^0$ ).

Urutan penumpukan paling sederhana adalah (0/90/90/0). Urutan lain yang lebih isotropic adalah (0/+45/-45/-45/+45/0) dan (0/+60/-60/-60/+60/0). Penumpukan lapisan dibuat simetris terhadap bidang tengah laminasi untuk mencegah distorsi dan untuk menjamin respon merata terhadap tegangan kerja.

## 2.2. Stainless steel

*Stainless Steel* didefinisikan sebagai *alloy* yang terbentuk dari besi dan karbon dengan konsentrasi antara 0.5 % - 2 %. *Stainless steel* (SS) pertama sekali ditemukan pada tahun 1913 oleh ahli metalurgi Inggris bernama Harry Brearly. Penemuan ini awalnya tidak sengaja menambahkan kromium pada baja rendah karbon dan menyebabkan baja tersebut menjadi tahan karat. Penelitian terhadap stainless steel terus berkembang dan tahun 1930-an mulai diproduksi. Stainless steel dalam metalurgi adalah alloy besi dengan kandungan *kromium* 10,5 % - 11 %.

Penambahan *kromium* (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  di permukaan logam *stainless steel*. Unsur lain selain besi, karbon dan kromium yaitu *Nikel*, *Molybdenum* dan Titanium dengan komposisi yang berbeda-beda sehingga menghasilkan variasi sifat mekanis dari beberapa produk stainless steel yang beredar di pasar.



**Gambar 2.6. *Stainless steel Plate***<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Sumber [www.midwaymetals.com.au](http://www.midwaymetals.com.au)



### 2.3. *Resin Epoxy*<sup>21</sup>

*Resin epoxy* didefinisikan sebagai molekul yang terdiri atas lebih dari satu gugus *epoxide*. Gugus *epoxide* juga disebut sebagai *oxirane* atau gugus *ethoxyline*. Salah satu resin yang sering digunakan sebagai matriks komposit yaitu epoxy. Resin epoxy biasanya dipadukan dengan serat glass, carbon, grafit dan hybrid. Resin epoxy mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan resin polyester, seperti masa jenis yang lebih rendah, modulus elastisitas, dan kekuatan tarik yang lebih tinggi, juga lebih tahan panas, namun harganya relative mahal dibandingkan dengan resin polyster.



**Gambar 2.7. *Resin epoxy***<sup>22</sup>

### 2.4. *Epoxy Carbon*

*Epoxy Carbon* adalah serat karbon yang diikat dengan menggunakan bahan kimia yaitu epoxy, dimana epoxy sebagai pengikat dan karbon sebagai serat yang berfungsi sebagai penguat yang akan menerima beban.



**Gambar 2.8. *Epoxy carbon***<sup>23</sup>

<sup>21</sup> Nidya Chitraningrum, 2008, "SIFAT MEKANIK DAN TERMAL PADA BAHAN NANOKOMPOSIT EPOXY – CLAY TAPANULI", Skripsi, Universitas Indonesia.

<sup>22</sup> [www.artresin.com](http://www.artresin.com)

<sup>23</sup> [WWW.Directindustry.com](http://WWW.Directindustry.com)

## 2.5. Tegangan ( *Stress* )

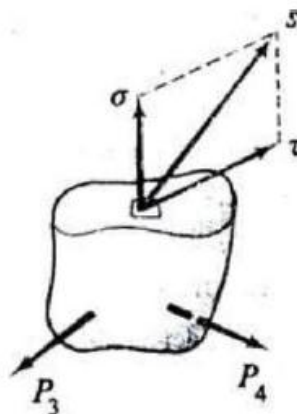
Tegangan adalah tahanan material terhadap gaya atau beban. Tegangan diukur dalam bentuk gaya per luas. Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan dimana tegangan tersebut diterapkan. Tegangan normal berupa tarikan atau tekanan. Satuan SI untuk tegangan normal adalah Newton per meter kuadrat ( $\text{N/m}^2$ ) atau Pascal (Pa). Tegangan dihasilkan dari gaya seperti : tarikan, tekanan atau geseran yang menarik, mendorong, melintir, memotong atau mengubah bentuk potongan bahan dengan berbagai cara.

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*). Tegangan normal ( $\sigma$ ) adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang luas (Timoshenko dan Goodier, 1986 : 64)

Gaya internal yang bekerja pada sebuah potongan dengan luasan yang sangat kecil akan bervariasi baik besarnya maupun arahnya. Pada umumnya gaya – gaya tersebut berubah – ubah dari suatu titik ke titik yang lain. Umumnya berarah miring pada bidang perpotongan. Dalam praktek keteknikan intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan<sup>24</sup>, seperti terlihat pada Gambar 2.9

---

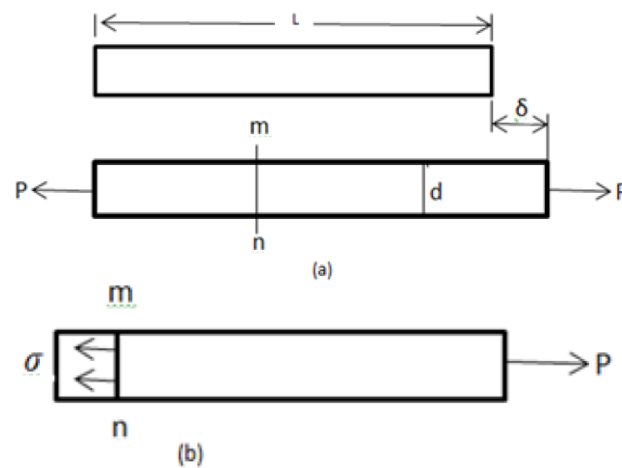
<sup>24</sup> Darmadi, MT., Ir. Drahot B *Diktat " STATIKA STRUKTUR 1 "* (Malang: Brajiwaya, 2003), hal 7



**Gambar 2.9. Komponen – komponen tegangan normal dan geser**

Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan  $\sigma$  (*sigma*). Bila gaya – gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Gaya – gaya seperti itu disebut gaya aksial, dan tegangan yang timbul dikenal sebagai tegangan aksial.

Konsep dasar dari tegangan dan regangan dapat diilustrasikan dengan meninjau sebuah batang prismatik yang dibebani gaya – gaya aksial (*axial forces*)  $P$  pada ujung –ujungnya. Sebuah batang prismatik adalah sebuah batang lurus yang memiliki penampang yang sama pada keseluruhan panjangnya. Untuk menyelidiki tegangan – tegangan internal yang ditimbulkan gaya – gaya aksial dalam batang, dibuat suatu pemotongan garis potong pada irisan m-n (Gambar 2.10). Irisan diambil tegak lurus sumbu longitudinal batang. Karena itu irisan dikenal sebagai suatu penampang (*cross section*).



**Gambar 2.10. Batang prismatik yang dibebani gaya aksial**

Tegangan normal dapat terbentuk<sup>25</sup> :

a. Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meragang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



**Gambar 2.11. Gaya tarik aksial**

<sup>25</sup> Hutahaean, MT., Ir. Yamses Rohanes *Mekanika Kekuatan Material* (Yogyakarta : Graha Ilmu, 2014), hal 3

b. Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk memperpendek atau menekan batang tersebut. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tekan pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



**Gambar 2.12. Gaya tekan aksial**

Intensitas gaya (yakni, gaya per satuan luas) disebut tegangan (*stress*) dan lazimnya ditunjukkan dengan huruf Yunani  $\sigma$  (*sigma*).

Dengan menganggap bahwa tegangan terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultannya sama dengan intensitas  $\sigma$  kali luas penampang  $A$  dari batang. Selanjutnya, dari kesetimbangan benda yang diperlihatkan pada Gambar 2.12, besar resultan gayanya sama dengan beban  $P$  yang dikenakan, tetapi arahnya berlawanan. Sehingga diperoleh rumus.

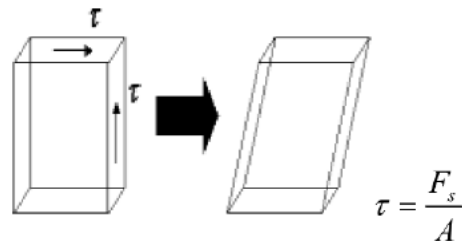
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana,

- $\sigma$  = Tegangan ( $\text{N/m}^2$ )
- $P$  = Gaya aksial (N)
- $A$  = Luas ( $\text{m}^2$ )

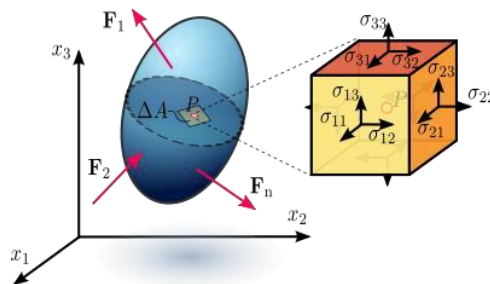
### Tegangan Geser (*Shearing Stress*)

Tegangan geser adalah intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang dari luas permukaan, dilambangkan dengan  $\tau$  (Tau)<sup>26</sup>.



**Gambar 2.13. Batang mengalami tegangan geser**

Tegangan geser adalah tegangan yang timbul akibat gaya geser dan gaya puntir atau torsi. Bila gaya aksial atau momen lentur yang bekerja dengan gaya geser atau momen puntir, maka elemen akan mengalami tegangan normal dan geser, hal ini diperlihatkan dalam gambar 2.14.



**Gambar 2.14. Tegangan pada pembebanan elemen**

Keterangan gambar 2.14 yaitu :

Dengan sumbu  $X_1 = x$  ;  $X_2 = y$  ;  $X_3 = z$  maka caucy tegangan

tensor

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

Dimana  $\tau_{xy} = \tau_{yx}$  ;  $\tau_{xz} = \tau_{zx}$  ;  $\tau_{yz} = \tau_{zy}$

<sup>26</sup> Ibid,hal 7

$\sigma_x$  = Tegangan normal yang bekerja pada bidang x dan arah sumbu x.

$\sigma_y$  = Tegangan normal yang bekerja pada bidang y dan arah sumbu y.

$\sigma_z$  = Tegangan normal yang bekerja pada bidang z dan arah sumbu z.

$\tau_{xy}$  = Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal terhadap sumbu x dalam arah sumbu y.

$\tau_{xz}$  = Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal terhadap sumbu x dalam arah sumbu z.

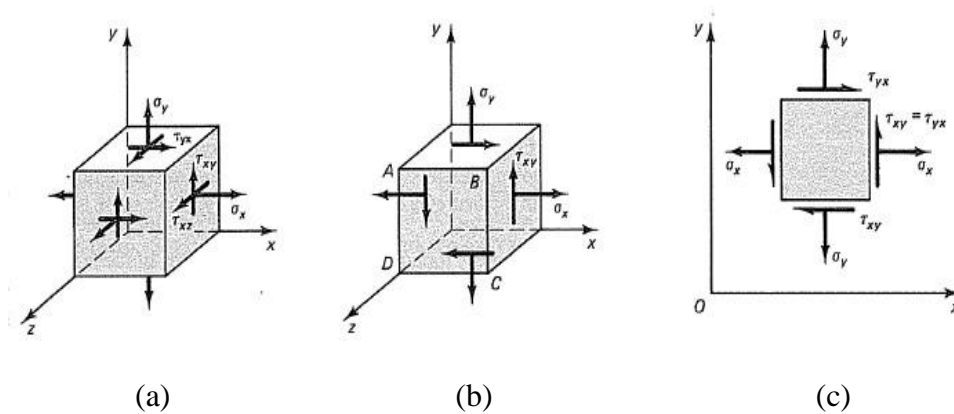
$\tau_{yx}$  = Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal terhadap sumbu y dalam arah sumbu x.

$\tau_{yz}$  = Tegangan geser yang bekerja pada pada bidang normal terhadap sumbu y dalam arah sumbu z.

$\tau_{zx}$  = Tegangan geser yang bekerja pada pada bidang normal terhadap sumbu z dalam arah sumbu x.

$\tau_{zy}$  = Tegangan geser yang bekerja pada pada bidang normal terhadap sumbu z dalam arah sumbu y [8].

Persamaan transformasi tegangan bidang diperlihatkan dalam gambar 2.15.



**Gambar 2.15. Tegangan yang bekerja pada sebuah bidang elemen**

Perhatian seringkali berpusat pada penentuan tegangan yang paling besar. Pada bidang-bidang dimana terjadi tegangan normal maksimum atau minimum terjadi, maka tidak akan didapatkan tegangan geser. Bidang ini dinamakan bidang utama tegangan (*principal stress*). Secara matematis diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$(\sigma_1, \sigma_2)_{\substack{\text{maks} \\ \text{min}}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Tegangan geser maksimum/minimum secara matematis didefinisikan sebagai berikut:

$$(\tau)_{\substack{\text{maks} \\ \text{min}}} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Tidak sebagaimana halnya pada tegangan utama (*principal stress*) di mana pada bidang utama tidak akan terjadi tegangan geser, maka tegangan geser terjadi pada bidang yang biasanya tidak bebas dari tegangan normal. Tegangan normal yang bekerja pada tegangan geser maksimum adalah

$$\sigma' = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$$

Oleh karena itu tegangan normal bekerja secara bersama dengan tegangan geser maksimum, kecuali jika  $\sigma_x + \sigma_y = 0$  dan tegangan utama  $\tau_{xy} = 0$ , maka akan menjadi

$$(\tau)_{\text{maks}} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$$

Kaedah tanda untuk tegangan tarik normal adalah positif, tegangan tekan adalah negatif. Tegangan geser positif didefinisikan sebagai bekerja keatas pada permukaan sebelah kanan dari elemen tersebut.



## 2.6. Teori Tegangan *Von Mises*

Pada elemen tiga dimensi, bekerja tegangan searah sumbu x, y, dan z. Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0$$

Dimana:

$\sigma_0$  = Tegangan utama yang bekerja pada sumbu;

$\sigma_x$  = Tegangan arah sumbu x;

$\sigma_y$  = Tegangan arah sumbu y;

$\sigma_z$  = Tegangan arah sumbu z;

$\sigma_{xy}$  = Tegangan arah sumbu xy;

$\sigma_{xz}$  = Tegangan arah sumbu xz;

$\sigma_{yz}$  = Tegangan arah sumbu yz.

Penggabungan tegangan regangan utama pada suatu elemen merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada elemen tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan *Von Mises*<sup>27</sup> yaitu:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}{2}}$$

---

<sup>27</sup> *Ibid*, h. 189

Keterangan :

$\sigma'$  = Tegangan Gabungan (N/m<sup>2</sup>)

$\sigma_x$  = Tegangan pada titik x (N/m<sup>2</sup>)

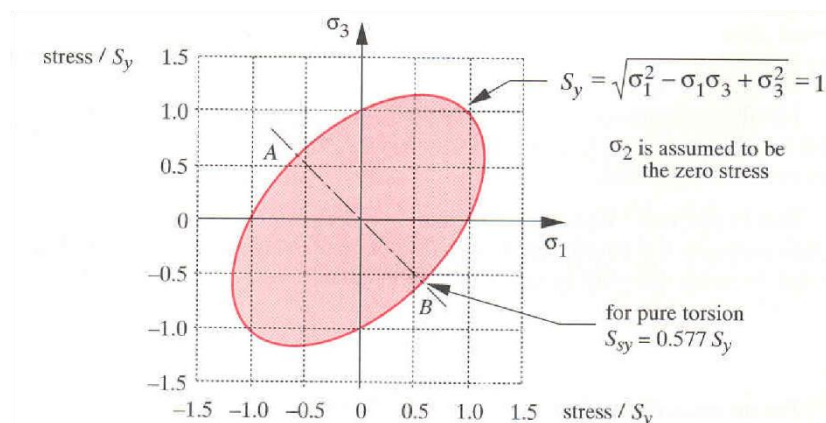
$\sigma_y$  = Tegangan pada titik y (N/m<sup>2</sup>)

$\sigma_z$  = Tegangan pada titik z (N/m<sup>2</sup>)

Hal ini akan terjadi kegagalan jika:

$$\sigma_e \geq S_y$$

Dari percobaan – percobaan yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa teori energi distorsi (*Von Misses*) memperkirakan kegagalan dengan ketelitian tertinggi pada semua kuadran



**Gambar 2.16. Grafik representasi TED dalam keadaan tegangan 2 dimensi**

Tegangan ekuivalen / tegangan efektif *Von Misses* didefinisikan sebagai tegangan tarik uniaksial yang dapat menghasilkan energi distorsi yang sama dengan yang dihasilkan oleh kombinasi tegangan yang bekerja. Tegangan geser oktahedral untuk tegangan uniaksial adalah

$$\tau_{oct} = \sqrt{2} \times \sigma_1 / 3.$$

Berdasarkan teori tegangan geser oktahedral maksimum, yielding selalu terjadi pada nilai tegangan geser oktahedral yang diperoleh dari uji tarik sebagai

$$\tau_{oct} = \sqrt{2} \times S_y / 3.$$

Sehingga tegangan ekuivalen uniaxial menjadi:

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} [(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2]^{\frac{1}{2}}$$

Jelas, jika beban  $\sigma_e$  melebihi  $S_y$ , *yielding* akan bisa diprediksi. Untuk tujuan desain,  $\sigma_e$  sama dengan tegangan uniaxial yg diizinkan.

Untuk kasus tegangan ekuivalen biaxial ( $\sigma_3 = 0$ ), menjadi:

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2)^{\frac{1}{2}}$$

Dalam banyak masalah *biaxial-stress* akan lebih mudah untuk bekerja secara langsung dengan  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  (seperti pada umumnya, ini dapat ditentukan lebih mudah daripada tegangan utama). Sehingga persamaan tersebut bisa disubstitusi menjadi:

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\tau_{xy}^2 + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2} \text{ diperoleh } \sigma_e = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Kegagalan akan terjadi bila:  $\sigma_e \geq \frac{S_y}{n_s}$

Untuk geseran murni  $\sigma_1 = \tau = \sigma_3$  dan  $\sigma_2 = 0$

$$S_y^2 = \sigma_1^2 + \sigma_1\sigma_2 + \sigma_1^2 = 3\sigma_1^2 = 3\tau_{max}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{S_y}{\sqrt{3}} = 0.577S_y = \tau_{max}$$

## 2.7. Teori Dasar *Finite Element Method*

*FEM* adalah singkatan dari *Finite Element Method*, dalam Bahasa Indonesia disebut Metode Elemen Hingga. Konsep paling dasar *FEM* adalah, menyelesaikan suatu problem dengan cara membagi objek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah.

Kata “*finite* atau terhingga” digunakan untuk menekankan bahwa bagian-bagian kecil tersebut tidak tak terhingga, seperti yang lazim digunakan pada metode integral analitik.

Membagi bagian analisa menjadi bagian-bagian kecil disebut “*discretizing* atau diskritisasi”. Bagian-bagian kecil ini disebut elemen, yang terdiri dari titik-titik sudut (disebut nodal, atau *node*) dan daerah elemen yang terbentuk dari titik-titik tersebut. Membagi sebuah object menjadi bagian-bagian kecil secara fisika sebenarnya menuntun dalam pembuatan persamaan diferensial.

Jadi secara lebih matematis, *FEM* didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan problem yang dinyatakan dalam persamaan diferensial. Namun biasanya definisi *FEM* secara matematis memberikan kesan yang rumit yang sebenarnya tidak perlu. Oleh karena itu, pendekatan matematis tidak terlalu ditekankan. Meski demikian, mengingat pentingnya, ilustrasi persamaan antara *FEM* dan diferensial - integral (kalkulus), gambaran besar cara kerja *FEM*. Secara umum langkah - langkah dalam *FEM* bisa diringkas sebagai berikut:<sup>28</sup>

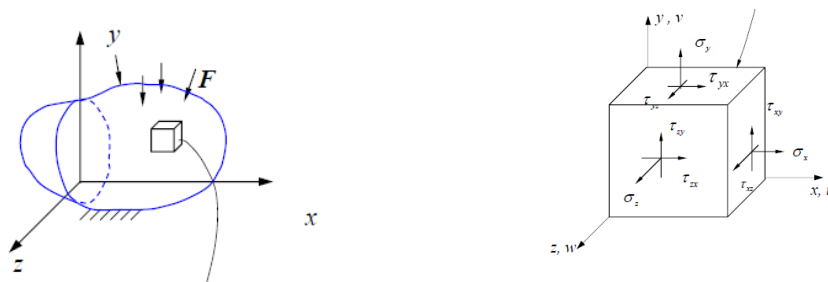
1. Membagi obyek analisa ke dalam elemen - elemen kecil.

---

<sup>28</sup> Yerri Susatio, *Dasar Dasar Metode Elemen Hingga*, (Yogyakarta: Andi Publisher, 2004), h. 1.

2. Melakukan permodelan sederhana yang berlaku untuk setiap elemen. Misalnya dimodelkan sebagai pegas, di mana pegas ini sifatnya sederhana, yaitu tegangan berbanding lurus dengan perubahan bentuknya.
3. Membuat formula sederhana untuk setiap element tersebut. Misalnya untuk pegas berlaku hukum  $f = k.x$ . Di mana  $k$  adalah konstanta pegas, dan  $x$  adalah pertambahan panjang pegas. Pada langkah ini kita akan memperoleh sebuah persamaan yang disebut “element stiffness matrix” atau matriks kekakuan elemen.
4. Mengkombinasikan seluruh elemen dan membuat persamaan simulasi yang mencakup semua variabel. Untuk elemen yang dimodelkan dengan pegas, mencakup  $f$ ,  $k$ , dan  $x$  dari semua elemen. Biasanya pada langkah ini kita akan memperoleh sebuah persamaan yang disebut “global stiffness matrix” atau matriks kekakuan global<sup>29</sup>.

Elemen 3 dimensi adalah elemen yang dapat menahan beban pada semua arah (sumbu  $x, y$ , dan  $z$ ) dan umumnya beban yang bekerja adalah beban terpusat.



**Gambar 2.17. Stress State**

<sup>29</sup> Infometrik, <http://www.infometrik.com/2009/07/konsep-dasar-finite-element-method/> diakses pada tanggal 10 Juli 2016

Dalam *stress state* vektor *stress* dan vector *strain* mendapat pembebanan dari semua arah (sumbu x, y, dan z), sehingga:

*Stress:*

$$\sigma = \{ \sigma \} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix}, \quad \text{or} \quad [\sigma_{ij}]$$

*Strain:*

$$\varepsilon = \{ \varepsilon \} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}, \quad \text{or} \quad [\varepsilon_{ij}]$$

Hubungan *Stress – Strain:*

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}$$

atau

$$\sigma = E\varepsilon$$

*Displacement:*

$$\mathbf{u} = \begin{Bmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix}$$

Hubungan *Strain – Displacement*:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z},$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}, \quad \gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}$$

atau

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (i, j=1,2,3)$$

atau

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i})$$

*Equilibrium Equations*:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + f_y = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + f_z = 0$$

atau

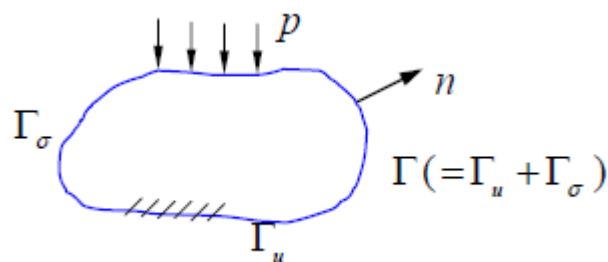
$$\sigma_{ij,j} + f_i = 0$$

*Boundary Conditions*:

$$u_i = \bar{u}_i, \quad \text{on } \Gamma_u \text{ (specified displacement)}$$

$$t_i = \bar{t}_i, \quad \text{on } \Gamma_\sigma \text{ (specified traction)}$$

(traction  $t_i = \sigma_{ij} n_j$ )



**Gambar 2.18. Boundary Conditions**

## 2.8. ANSYS

ANSYS adalah program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah statika, dinamika, analisis struktural (baik linier, maupun non linier), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik.<sup>30</sup>

ANSYS merupakan Software berbasis finite element analysis (FEA ) dan juga berbasis *computer aided engineering* (CAE) yang dikembangkan oleh ANSYS, Inc. Perusahaan tersebut telah mengembangkan banyak produk CAE. Dari banyak produk komersial yang mereka kembangkan. ANSYS, Inc mungkin hanya memiliki dua produk yang paling terkenal yakni *ANSYS Mechanical & ANSYS Multiphysics*. Bagi pelajar dan dunia pendidikan, ANSYS, Inc. memberikan beberapa versi *ANSYS Multiphysics* non komersial seperti *ANSYS University Advanced* dan *ANSYS UniversityResearch*. ANSYS adalah program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di

<sup>30</sup> Andy Ismawanto, Dkk, 2014, "Simulasi Kekuatan Material pada Carabiner dengan Variasi Geometri", Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam Vol.03 No.1 pp 52-57, Universitas Lambung Mangkurat.



dalamnya masalah statika, dinamika, analisis struktural (baik linier, maupun non linier), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

Tempat Penelitian : Laboratorium Perancangan Prodi S1 Pendidikan  
Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta

Waktu Pengerjaan : Oktober 2016 – Januari 2017

#### **3.2. Alat dan Bahan Penelitian**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

:

Perangkat Lunak

Perangkat Lunak yang digunakan peneliti adalah sebagai berikut :

- a. *Microsoft Office Word 2010.*
- b. *Ansys 15.*
- c. *Microsoft Excel 2010.*

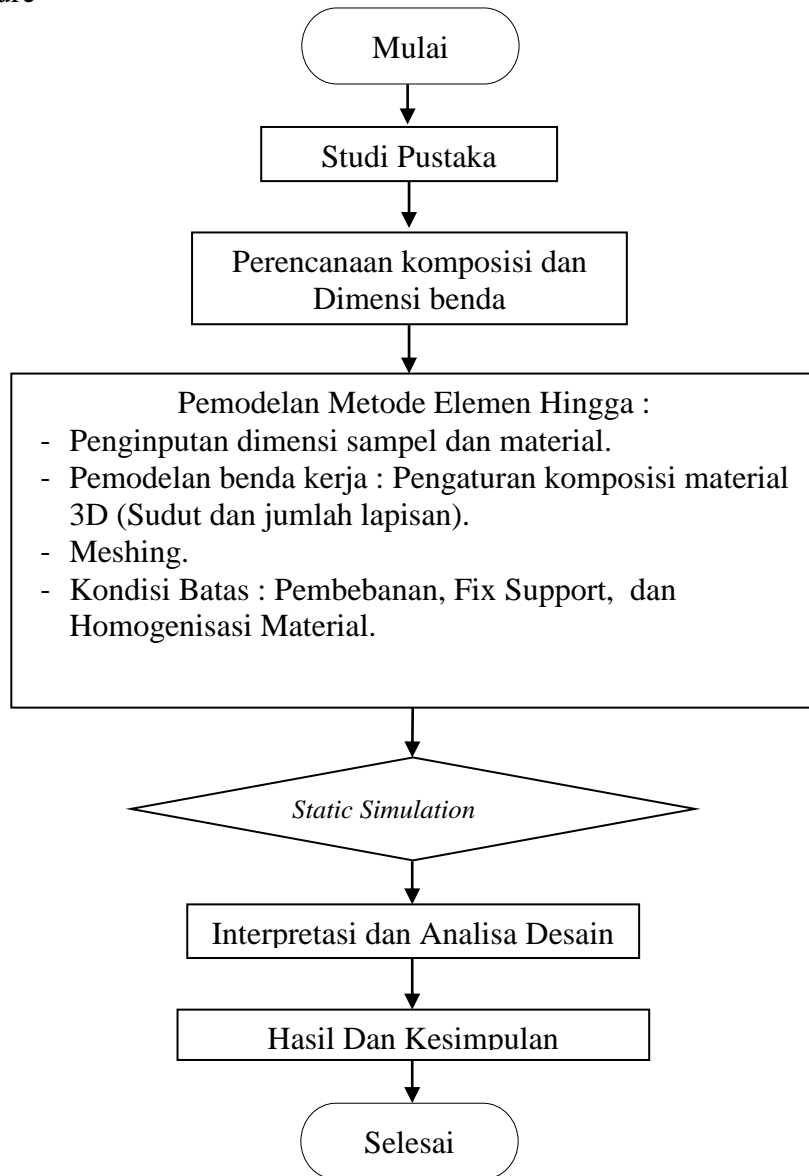
##### **1. Alat Penelitian**

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. PC Komputer atau laptop dengan spesifikasi minimal :
  1. Base OS: Windows
  2. OS Version: 7
  3. Processor: Dual Core
  4. RAM: 2 GB
  5. Hard Disk Total Size: 5 GB
  6. Additional Hard Disk Space Needed: 10 GB

### 3.3. Diagram Alir Penelitian

Alir Penelitian merupakan tahapan yang ditempuh penulis dalam melakukan penelitian ini. Tahapan pertama yang dilakukan penulis adalah melakukan studi literature



**Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Analisa Software Metode Elemen Hingga**

### 3.3.1. Uraian Prosedur Penelitian

1. Mengumpulkan data yang diperlukan dalam perancangan material seperti properties dll.
2. Menentukan Sudut, ketebalan dan jumlah lapisan dari material, komposisi material sebagai berikut.

**Tabel 3.1. Sampel dengan variasi *pattern***

	9 Lapisan`			
<i>Angle</i>	0	0	0	0
	0	0	45	90
	0	90	-45	90
	0	0	45	90
	0	90	-45	90
	0	0	45	90
	0	90	-45	90
	0	0	45	90
	0	90	-45	90
	<i>Pattern 1</i>	<i>Pattern 2</i>	<i>Pattern 3</i>	<i>Pattern 4</i>

**Tabel 3.2. Sampel dengan variasi kenaikan interval sudut lapisan pelapis**

	9 Lapisan				
<i>Angle</i>	0	0	0	0	0
	10	15	20	30	40
	20	30	40	60	80
	30	45	60	90	120
	40	60	80	120	160
	30	45	60	90	120
	20	30	40	60	80
	10	15	20	30	40
	0	0	0	0	0
interval	interval 10	interval 15	interval 20	inteval 30	interval 40

**Tabel 3.3. Tabel Sampel dengan variasi jumlah lapisan pelapis dengan sudut 0°,30°.**

	Orientasi sudut 0°,30°, variasi Lapisan 10 - 22			
<i>Angle</i>	0	0	0	0
	0	0	0	0
	30	30	30	30
	0	0	0	0
	30	30	30	30
	0	0	0	0
	30	30	30	30
	0	0	0	0
	30	30	30	30
		0	0	0
		30	30	30
		0	0	0
		30	30	30
			0	0
			30	30
			0	0
			30	30
				0
				30
				0
			30	
Jumlah <i>ply</i>	9 <i>ply</i>	13 <i>ply</i>	17 <i>ply</i>	21 <i>ply</i>

**Tabel 3.4. Tabel Sampel dengan variasi jumlah lapisan pelapis dengan sudut 0°,60°.**

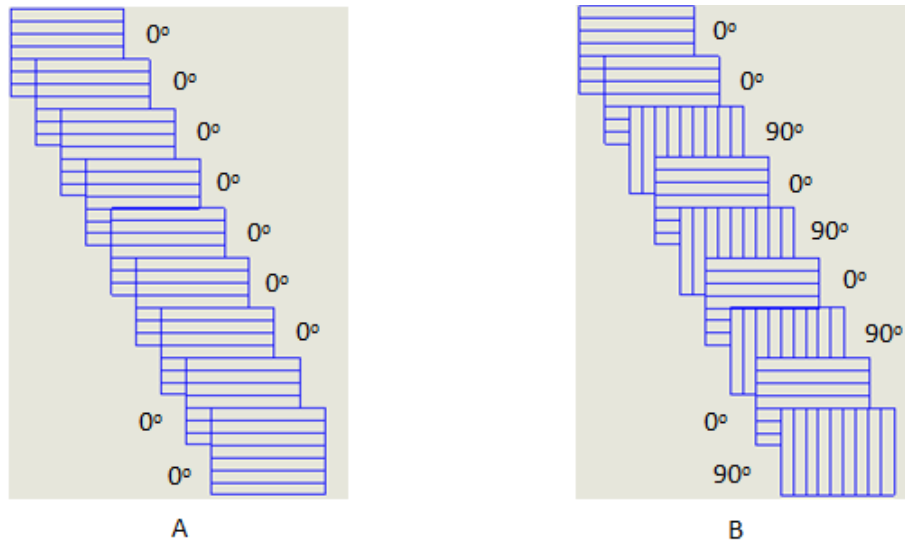
	Orientasi sudut 0°,60°, variasi layer 9 - 21			
<i>Angle</i>	0	0	0	0
	0	0	0	0
	60	60	60	60
	0	0	0	0
	60	60	60	60
	0	0	0	0
	60	60	60	60
	0	0	0	0
	60	60	60	60
		0	0	0
		60	60	60
		0	0	0
		60	60	60
			0	0
			60	60
			0	0
			60	60
				0
				60
				0
			60	
Jumlah <i>ply</i>	9 <i>ply</i>	13 <i>ply</i>	17 <i>ply</i>	21 <i>ply</i>

**Tabel 3.5. Tabel Sampel dengan variasi jumlah lapisan pelapis dengan sudut 0°,90°.**

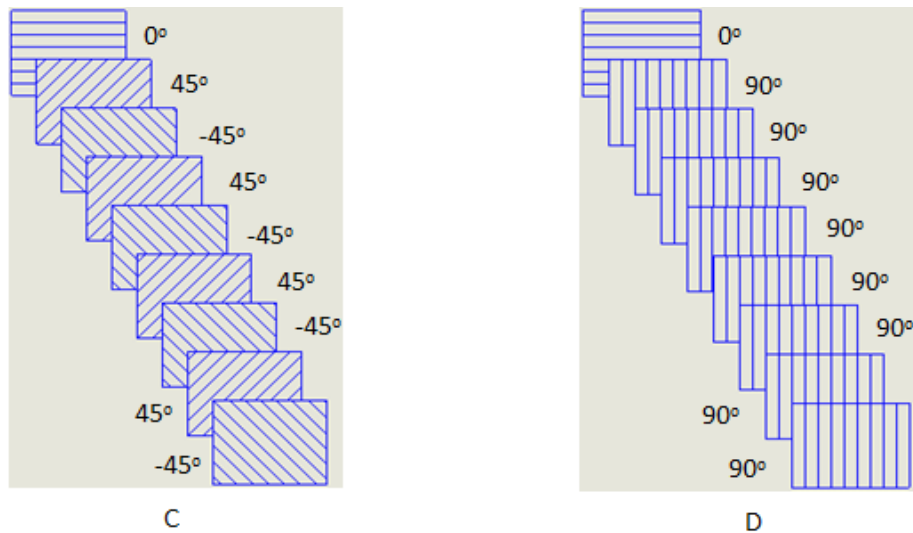
	Orientasi sudut 0°, 90°, variasi layer 9 - 21			
<i>Angle</i>	0	0	0	0
	0	0	0	0
	90	90	90	90
	0	0	0	0
	90	90	90	90
	0	0	0	0
	90	90	90	90
	0	0	0	0
	90	90	90	90
		0	0	0
		90	90	90
		0	0	0
		90	90	90
			0	0
			90	90
			0	0
			90	90
				0
				90
				0
			90	
<i>jumlah ply</i>	<i>9 ply</i>	<i>13 ply</i>	<i>17 ply</i>	<i>21 ply</i>

- Variasi *pattern*

lapisan pertama menggunakan material *Stainless steel* (2mm) × 1, dan lapisan selanjutnya menggunakan material *Epoxy Carbon* (0,25 mm) × 8 (pelapis) ketebalan keseluruhan 4 mm.



**Gambar 3.2. A : Sudut orientasi pelapis  $0^\circ$ , B :Sudut Orientasi pelapis  $0^\circ, 90^\circ$**

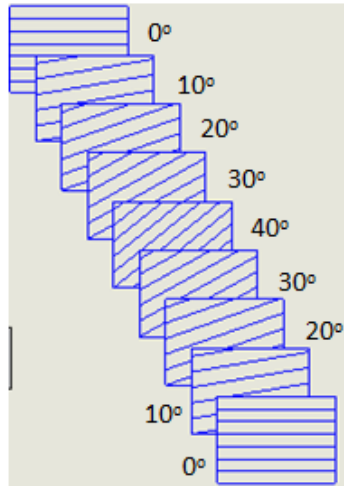


**Gambar 3.3. C: Sudut orientasi pelapis  $45^\circ, -45^\circ$ , D: Sudut orientasi pelapis  $90^\circ$**

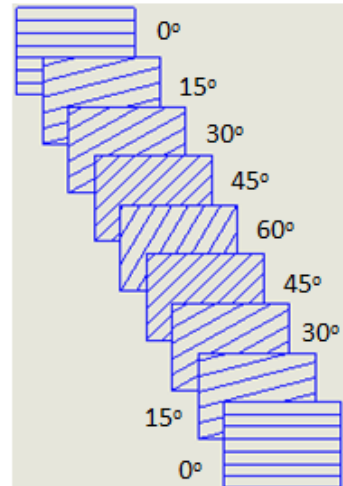
- Variasi Kenaikan interval sudut pelapis.

Lapisan pertama menggunakan material *Stainless steel* (2 mm)  $\times$  1, dan lapisan selanjutnya menggunakan material *Epoxy Carbon* (0,25 mm)  $\times$  8 (pelapis), ketebalan keseluruhan 4 mm.



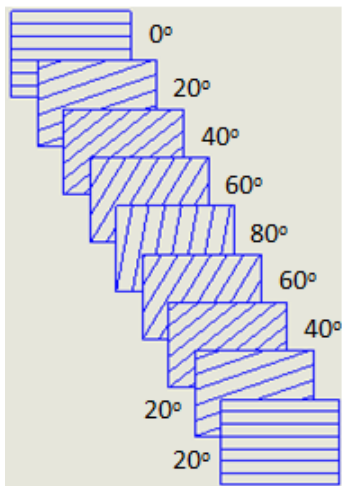


E

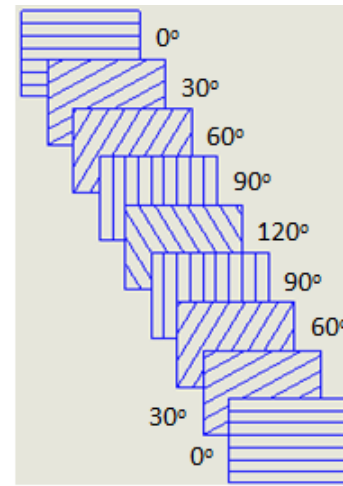


F

**Gambar 3.4. E: Kenaikan interval  $10^\circ$ , F: Kenaikan Interval  $15^\circ$**

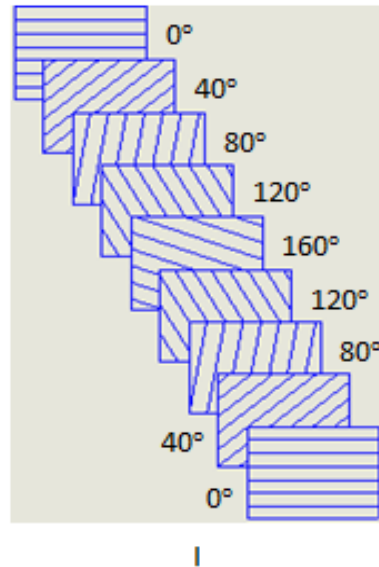


G



H

**Gambar 3.5. G: Kenaikan interval  $20^\circ$ , H: Kenaikan Interval  $30^\circ$**



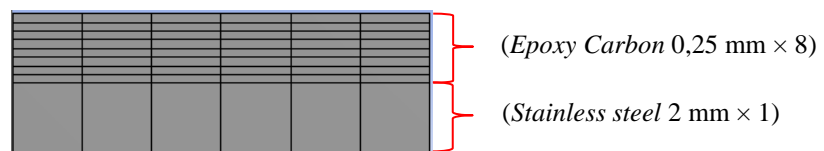
**Gambar 3.6. I: Kenaikan interval 40°**

- Variasi jumlah lapisan.

lapisan pertama menggunakan material *Stainless steel*, dan lapisan selanjutnya menggunakan material *Epoxy Carbon* (pelapis).

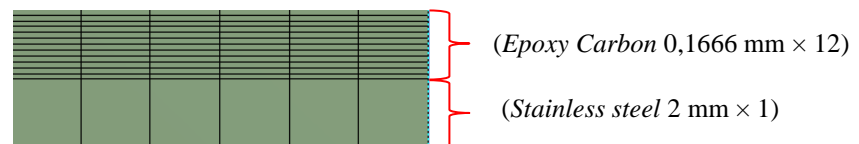
Variasi jumlah lapisan yang digunakan ada 4 variasi yaitu :

1. 9 lapisan



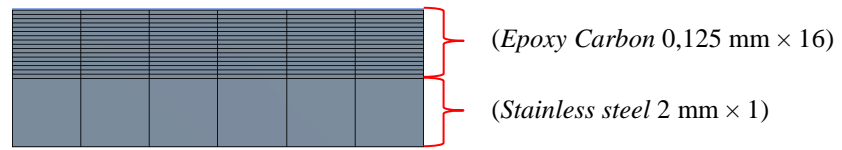
**Gambar 3.7. Gambar sampel dengan jumlah 9 lapisan**

2. 13 lapisan

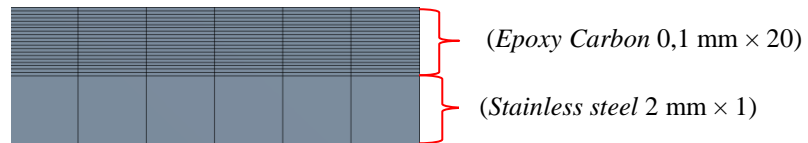


**Gambar 3.8. Gambar sampel dengan jumlah 13 lapisan**

## 3. 17 lapisan

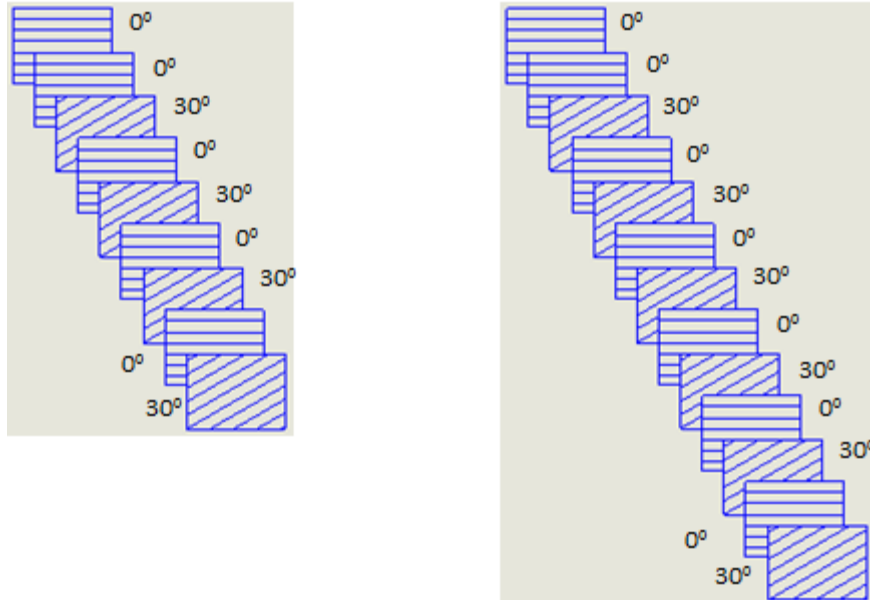
**Gambar 3.9. Gambar sampel dengan jumlah 17 lapisan**

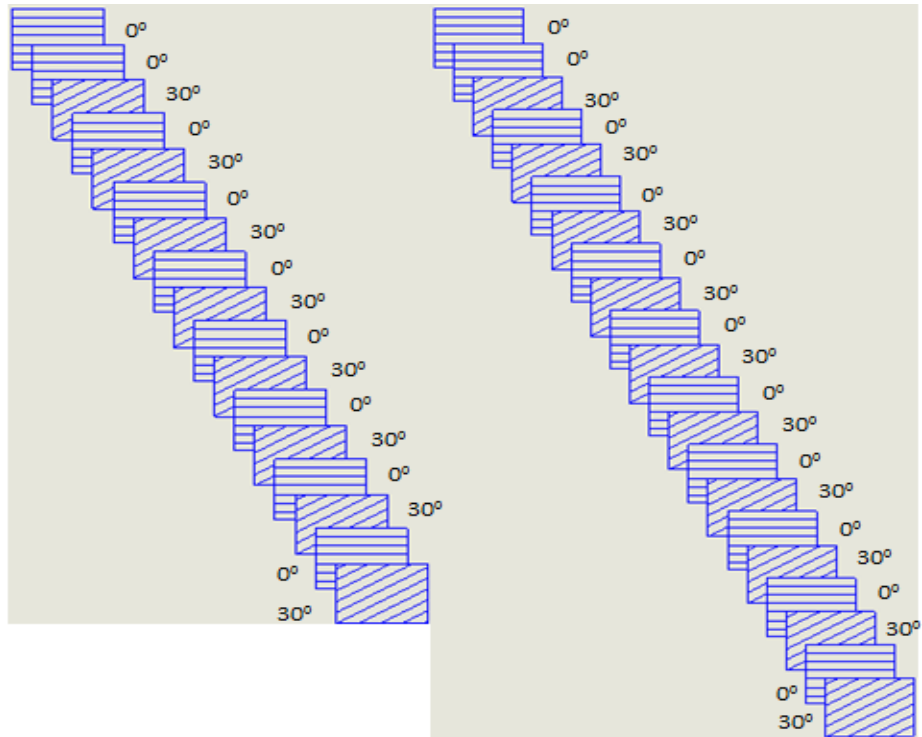
## 4. 21 lapisan

**Gambar 3.10. Gambar sampel dengan jumlah 21 lapisan**

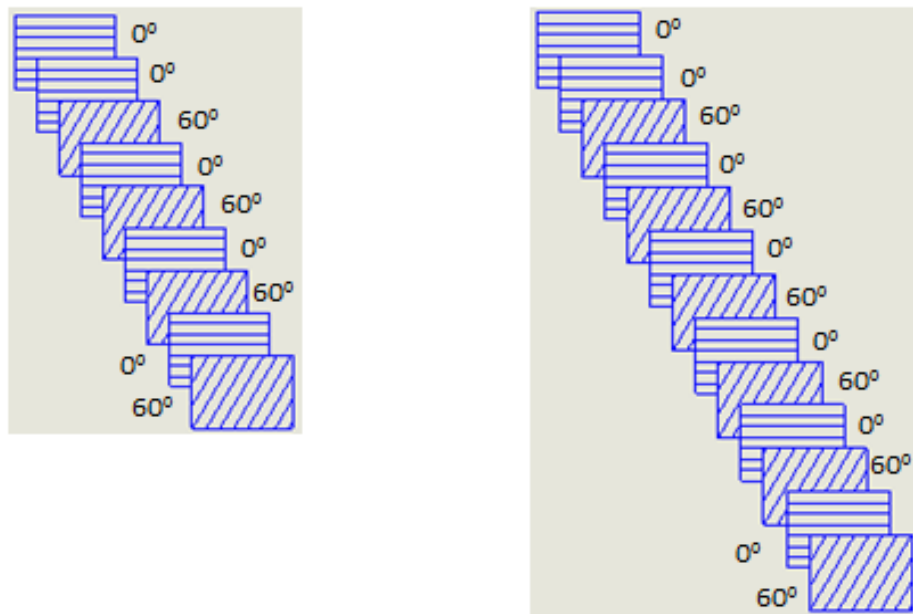
ketebalan keseluruhan 4 mm toleransi 0,0008 mm.

Orientasi sudut yang digunakan yaitu :  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ , dan  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ .

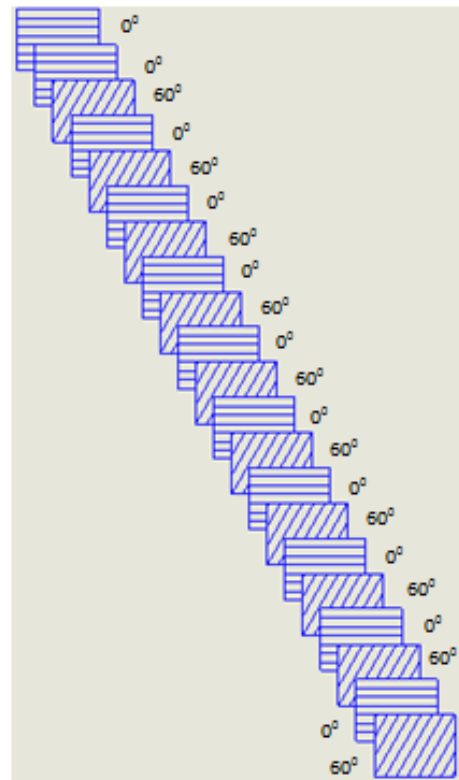
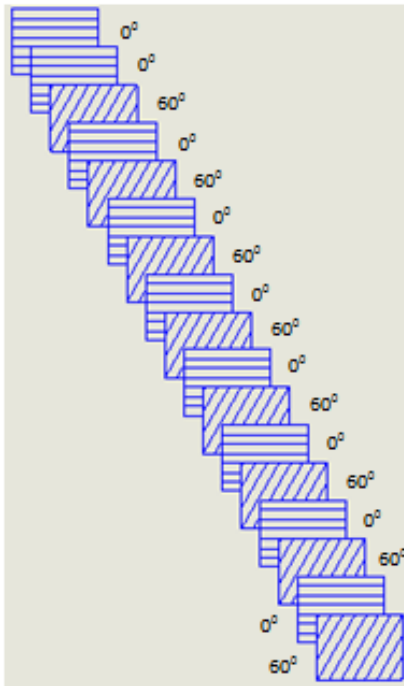
**Gambar 3.11. Sudut orientasi pelapis  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$  dengan variasi jumlah lapisan 9 dan 13**



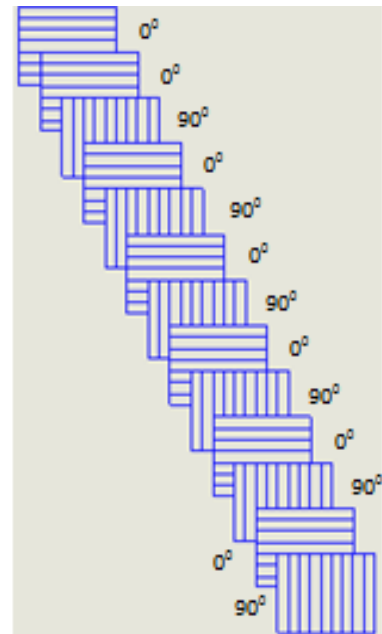
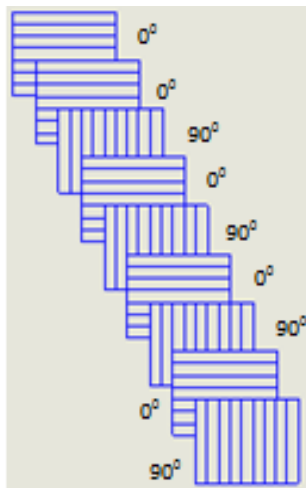
**Gambar 3.12. Sudut orientasi pelapis  $0^\circ, 30^\circ$  dengan variasi jumlah lapisan 17 dan 21**



**Gambar 3.13. Sudut orientasi pelapis  $0^\circ, 60^\circ$  dengan variasi jumlah lapisan 9 dan 13**



**Gambar 3.14.** Sudut orientasi pelapis  $0^\circ, 60^\circ$  dengan variasi jumlah lapisan 17 dan 21

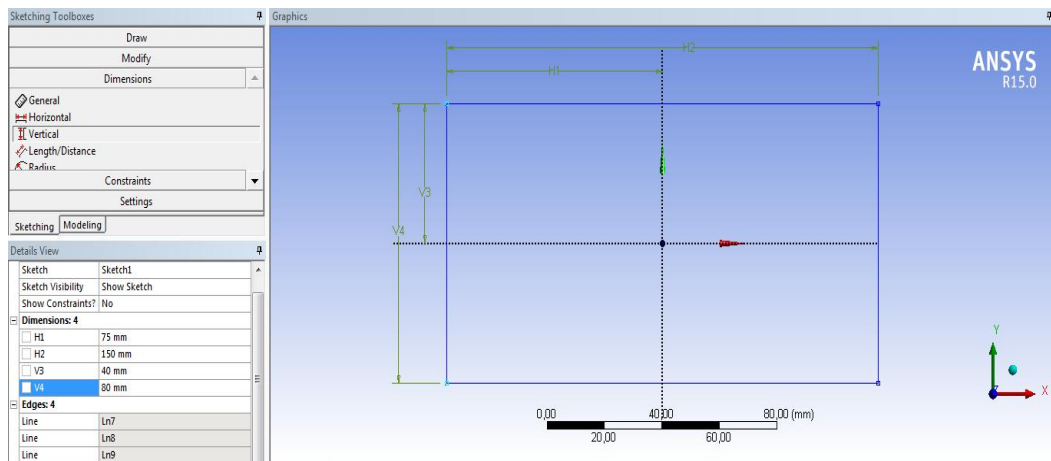


**Gambar 3.15.** Sudut orientasi pelapis  $0^\circ, 90^\circ$  dengan variasi jumlah lapisan 9 dan 13

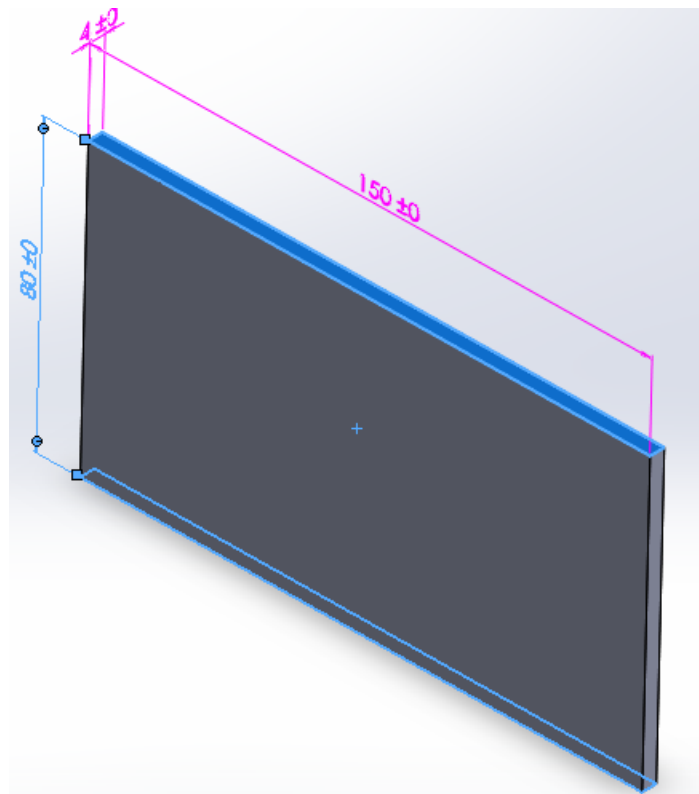


**Gambar 3.16. Sudut orientasi pelapis  $0^\circ, 90^\circ$  dengan variasi jumlah lapisan 17 dan 21**

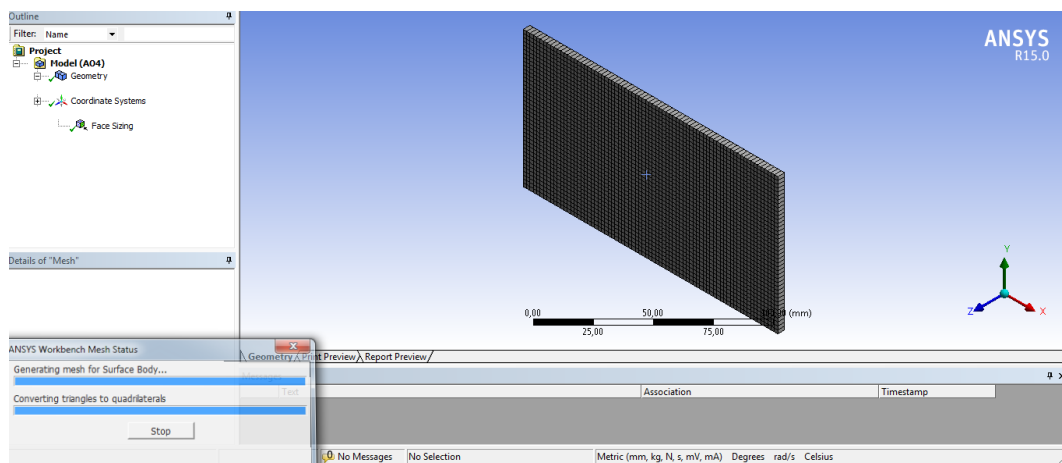
Pemodelan sampel, di Ansys 15.



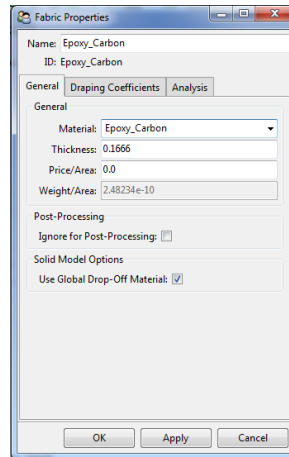
**Gambar 3.17. Gambar sketsa 2D**



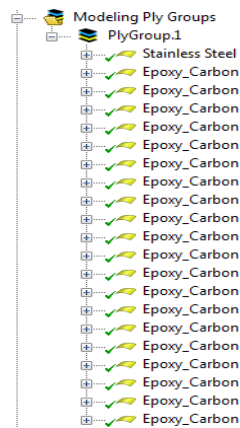
**Gambar 3.18. Gambar 3D**



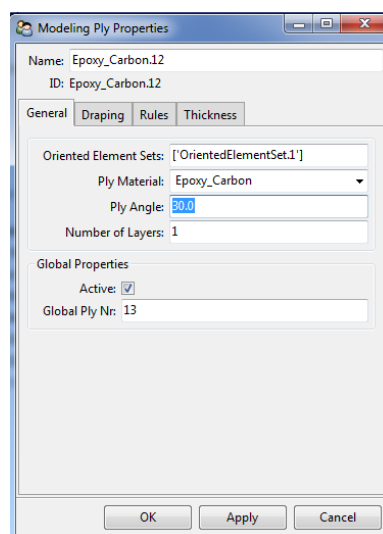
**Gambar 3.19. Proses Meshing**



**Gambar 3.20. Pengaturan ketebalan dan penginputan material**

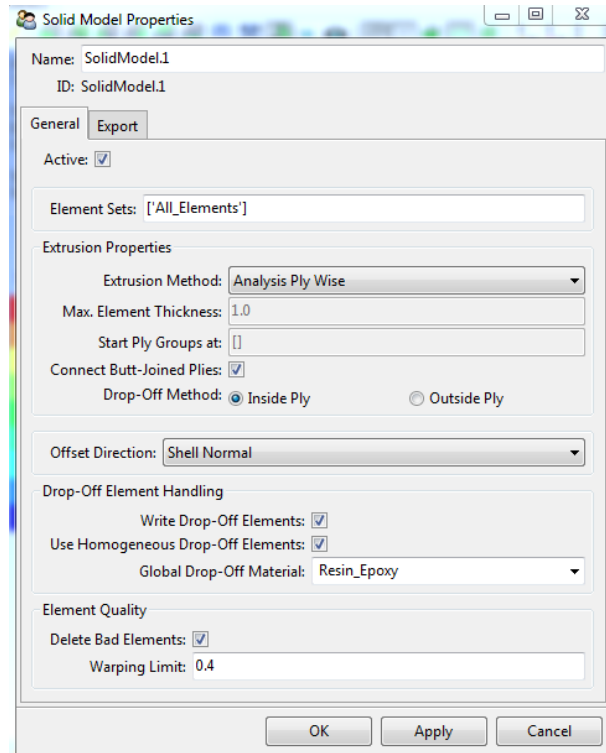


**Gambar 3.21. Pengaturan jumlah lapisan**



**Gambar 3.22. Pengaturan orientasi sudut material**

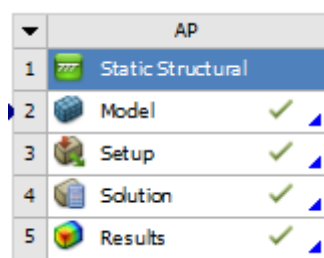




**Gambar 3.23. Pengaturan pembuatan solid model**

### 3. Pemberian beban kepada sampel

Pemberian beban dilakukan dengan menggunakan fitur *Static Structural* di ANSYS 15



**Gambar 3.24. Fitur *Static structural***

#### 4. Analisis Simulasi.

Setelah pengaturan yang dilakukan sebelumnya seperti penentuan dimensi, perencanaan sudut dan jumlah lapisan, pemodelan 3D serta pemberian beban. Selanjutnya adalah melakukan analisis dengan simulasi software untuk mengetahui baik atau tidak baik dari sifat mekanik yang dimiliki oleh sampel yang sudah direncanakan.

### 3.4. Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data, penulis menggunakan beberapa metode yang dapat membantu dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

#### 1. Metode Kajian Pustaka

Penulis melakukan studi literatur dari buku, jurnal dan sumber lain yang berhubungan dengan penelitian.

#### 2. Metode Eksperimen

Penulis juga menggunakan metode eksperimen, metode eksperimen yang penulis gunakan adalah eksperimen secara komputasi, dimana penulis merancang beberapa sampel material komposit dengan menggunakan *software* Ansys 15, Kemudian penulis juga melakukan analisis dengan program Ansys 15.

#### 3.4.1 Penentuan beban bending

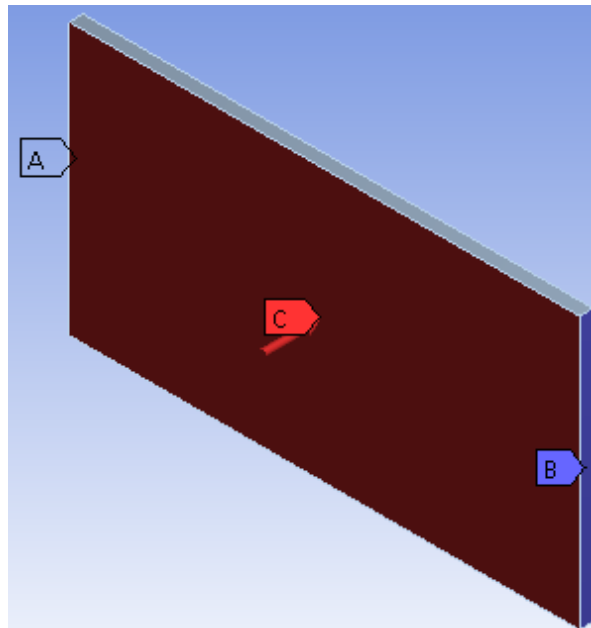
Beban yang diberikan kepada sampel material komposit berupa beban bending dengan besar tekanan tertentu. Pada penelitian ini beban yang diberikan mengacu kepada penelitian sebelumnya dengan menggunakan beban tekan sebesar 0,63 Mpa.

Details of "Pressure"	
[-] <b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
[-] <b>Definition</b>	
Type	Pressure
Define By	Normal To
<input type="checkbox"/> Magnitude	0,63 MPa (ramped)
Suppressed	No

**Gambar 3.25. Detail of Pressure**

### 3.4.2 *Fix support* dan arah beban

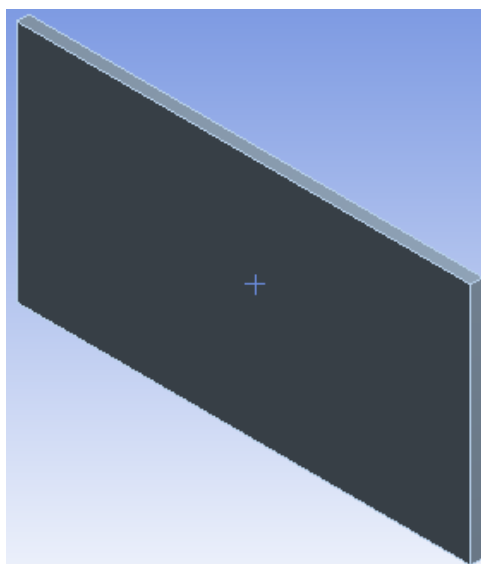
Sebelum Analisis dilakukan, terlebih dahulu menentukan bagian mana yang akan di fix untuk menahan benda ketika diberikan beban. Pada penelitian ini bagian sampel yang di fix terletak di sisi kiri dan kanan, beban diberikan dari arah depan.



**Gambar 3.26. Fix Support**

### 3.4.3 Homogenisasi Material

Pada proses simulasi yang dilakukan dengan menggunakan aplikasi ANSYS 15, ketika akan dilakukan simulasi, sampel sudah dianggap homogen atau menyatu.



**Gambar 3.27. Homogenisasi sampel**

### 3.5. Teknik Analisis Data

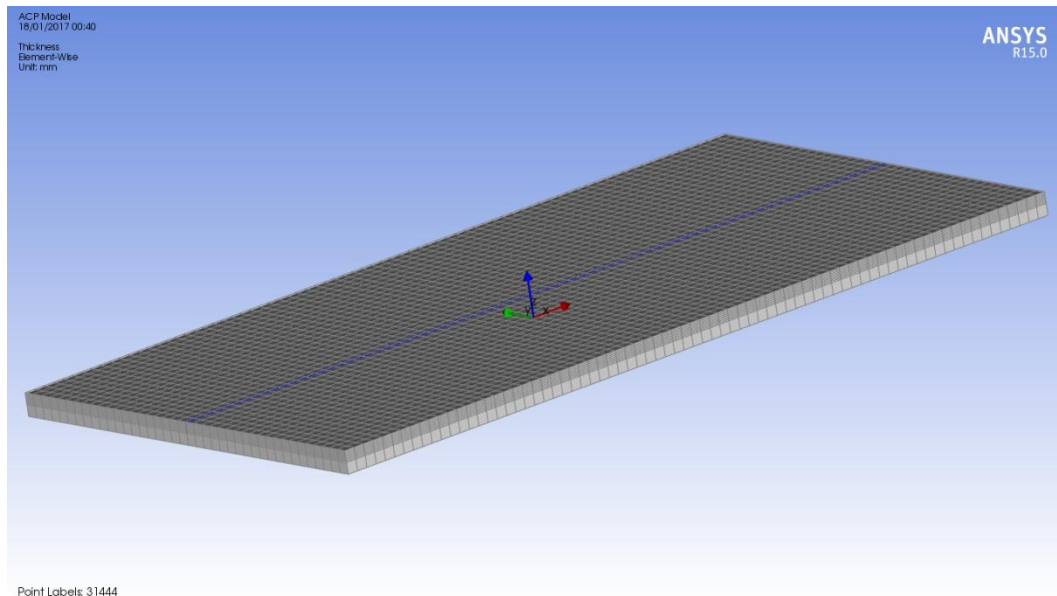
Teknik analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah *Static Linear Analysis*, dari *software* ANSYS 15 dengan menggunakan fitur ACP (Pre) untuk *3D modeling* dan pengaturan material komposit, dan fitur *Static structural* untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel – sampel yang telah direncanakan. Sifat mekanik yang ingin diketahui, diantaranya adalah : *Von mises stres*, *Shear stres*, *Strain*, dan *Total deformation*.

## BAB IV

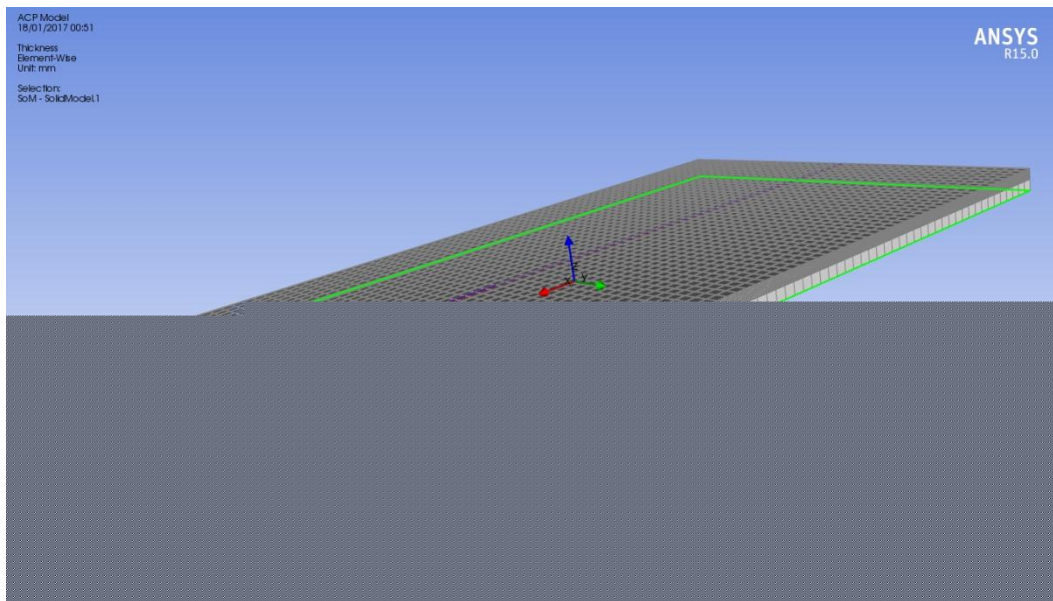
### HASIL PENELITIAN

#### 4.1. Model Sampel

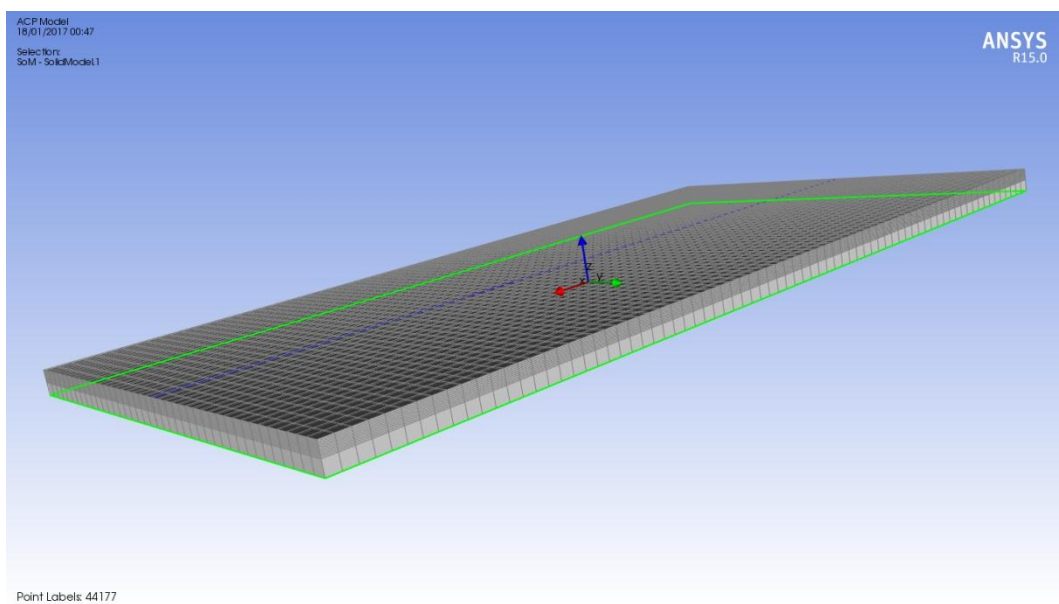
Model plat dibuat dengan menggunakan *Software* ANSYS 15, yang dalam pembuatannya sudah melalui beberapa proses, seperti proses penginputan material yang akan digunakan, pengaturan panjang, lebar dan ketebalan serta pengaturan Orientasi sudut dan jumlah lapisan sampel. Model sampel dibentuk dalam 3 dimensi, lalu di uji dengan pemberian beban tekan, yang dicari adalah *Von mises stress*, *Shear stress*, *Equivalent elastic strain* dan yang terakhir adalah *Total deformation*, untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel – sampel yang diuji.



**Gambar 4.1. Sampel dengan 9 lapisan**



**Gambar 4.2. Sampel dengan 13 lapisan**



**Gambar 4.3. Sampel dengan 17 lapisan**

















































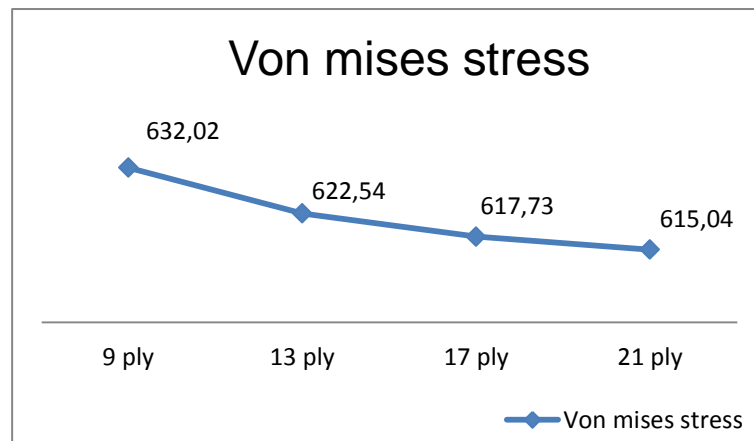




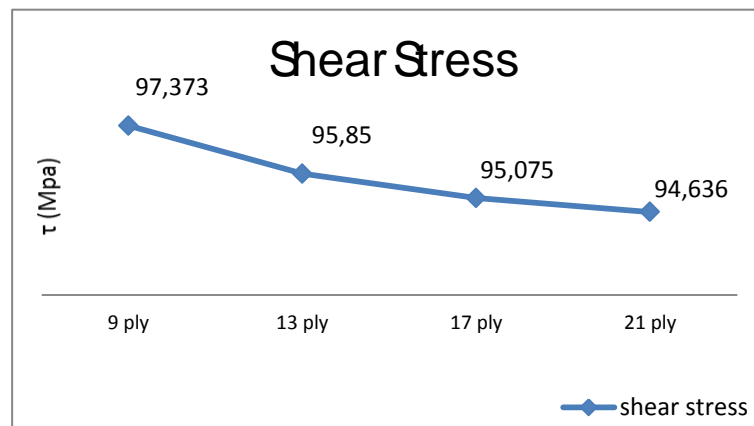
Untuk data dari hasil *static simulation* variasi jumlah lapisan dengan orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$  yang lain, akan di tampilkan pada tabel – tabel dibawah berikut :

**Tabel 4.8. Hasil analisa 4 sampel variasi jumlah lapisan orientasi sudut  $0^{\circ}-90^{\circ}$**

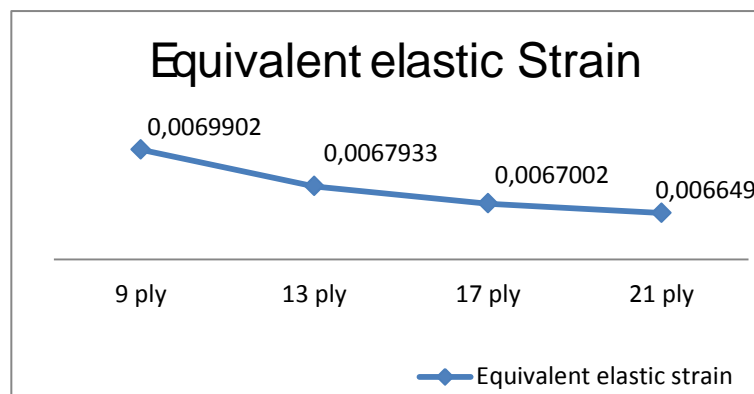
	Orientasi sudut $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , variasi Lapisan 9 - 21			
Angle	0	0	0	0
	0	0	0	0
	90	90	90	90
	0	0	0	0
	90	90	90	90
	0	0	0	0
	90	90	90	90
	0	0	0	0
	90	90	90	90
		0	0	0
		90	90	90
		0	0	0
		90	90	90
			0	0
			90	90
			0	0
		90	90	
			0	
			90	
			0	
			90	
jumlah ply	9 ply	13 ply	17 ply	21 ply
Von mises stress	632,02	622,54	617,73	615,04
Shear Stress	97,373	95,85	95,075	94,636
Equivalent Elastic Strain	0,0069902	0,0067933	0,0067002	0,006649
Tot Deformation	1,6564	1,6172	1,5972	1,586



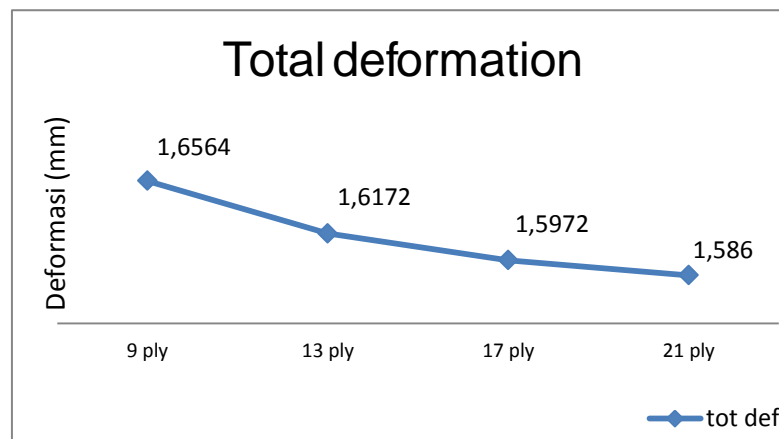
**Gambar 4.47.** Grafik perbandingan *Von mises stress* antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$



**Gambar 4.48.** Grafik perbandingan *Shear Stress* antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$



**Gambar 4.49.** Grafik perbandingan *equivalen elastic strain* antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$



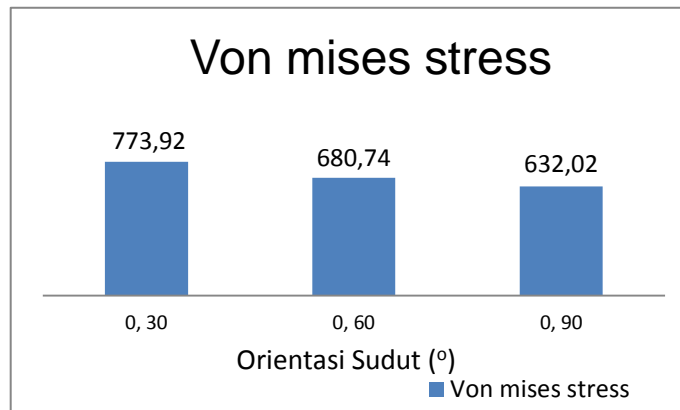
**Gambar 4.50. Grafik perbandingan *Total deformation* antar sampel, variasi jumlah lapisan, orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$**

d. Perbandingan antar sampel variasi sudut dan jumlah lapisan.

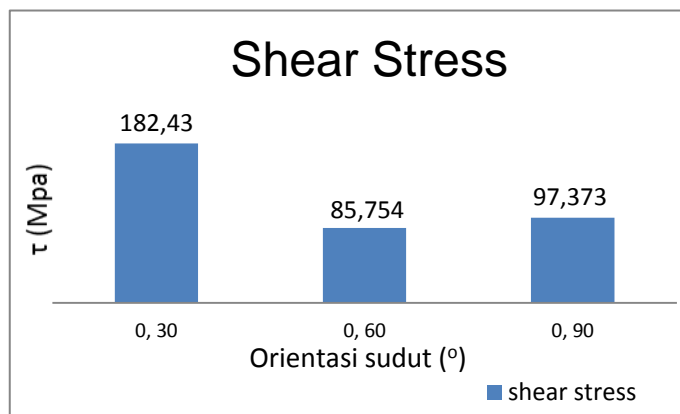
**Tabel 4.9. Perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan 9**

	9 lapisan		
Angle ply	0	0	0
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
jumlah ply	9 ply	9 ply	9 ply
<i>Von mises stress</i>	773,92	680,74	632,02
<i>shear stress</i>	182,43	85,754	97,373
<i>Equivalent elastic strain</i>	0,009624	0,00808	0,00699
<i>tot def</i>	1,3916	1,6577	1,6564

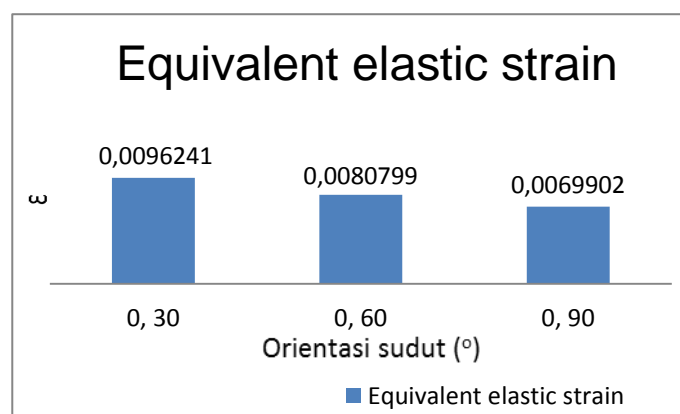




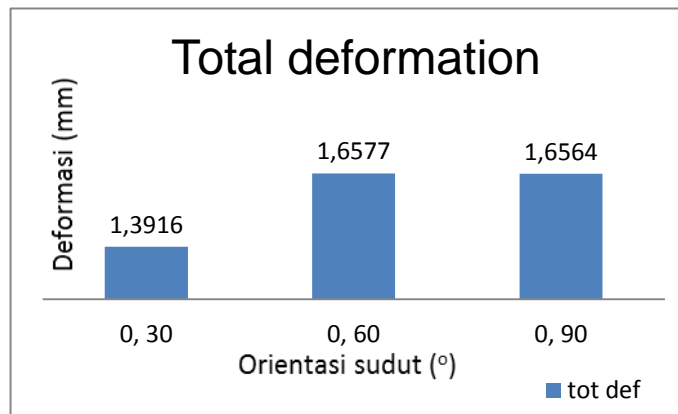
**Gambar 4.51.** *Von mises stress*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 9



**Gambar 4.52.** *Shear stress*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 9



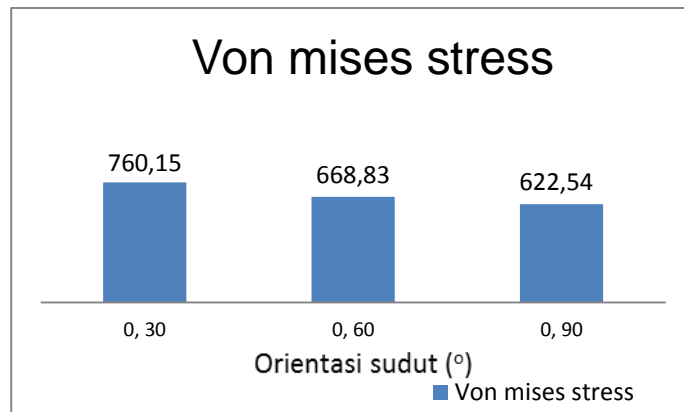
**Gambar 4.53.** *Equivalent elastic strain*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 9



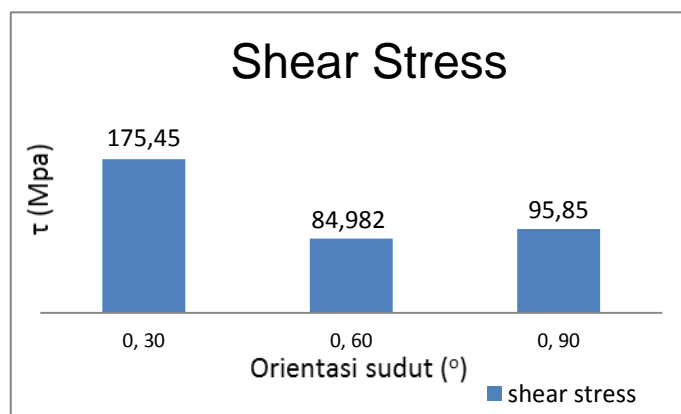
**Gambar 4.54. Total deformation, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 9**

**Tabel 4.10. Perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan 13**

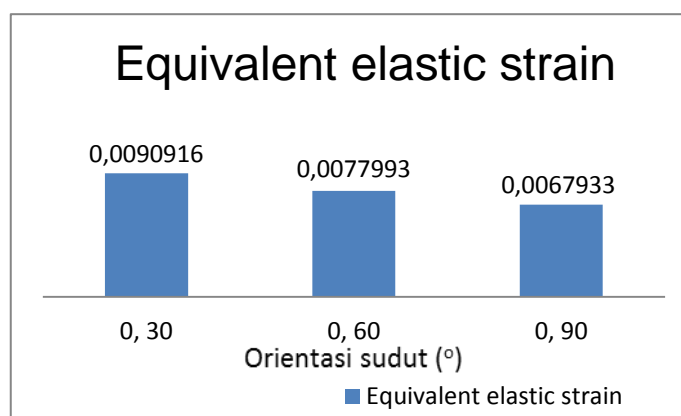
	13 lapisan		
Angle	0	0	0
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
30	60	90	
jumlah ply	13 ply	13 ply	13 ply
Von mises stress	760,15	668,83	622,54
shear stress	175,45	84,982	95,85
Equivalent elastic strain	0,009092	0,007799	0,006793
tot def	1,3745	1,6197	1,6172



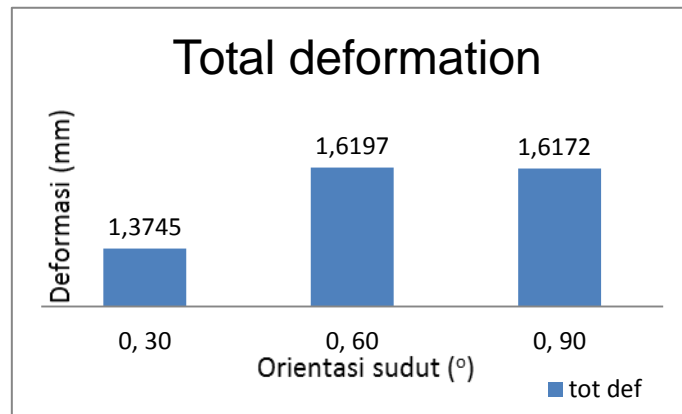
**Gambar 4.55.** *Von mises stress*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 13



**Gambar 4.56.** *Shear stress*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 13



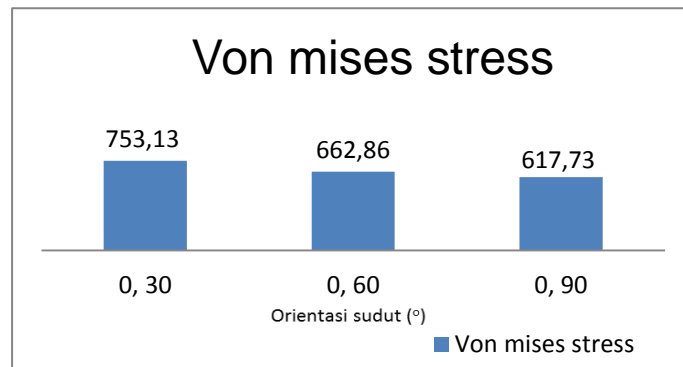
**Gambar 4.57.** *Equivalent elastic strain*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 13



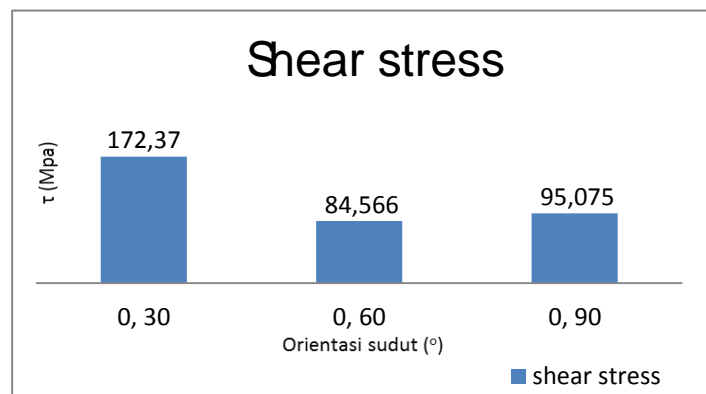
**Gambar 4.58. Total deformation, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 13**

**Tabel 4.11. Perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan 17**

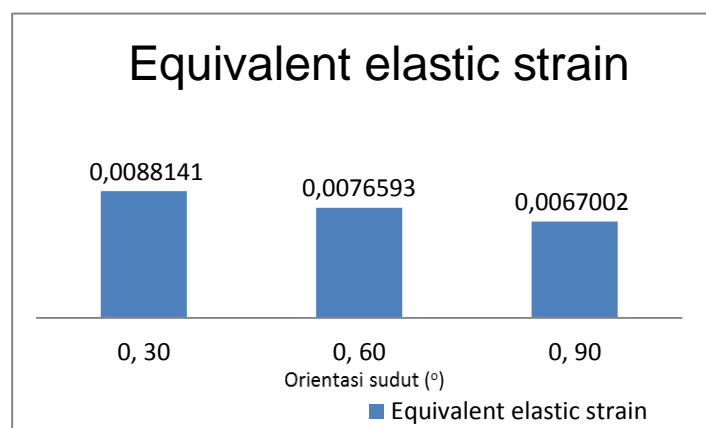
	17 lapisan		
Angle	0	0	0
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	jumlah ply	17 ply	17 ply
Von mises stress	753,13	662,86	617,73
shear stress	172,37	84,566	95,075
Equivalent elastic strain	0,008814	0,007659	0,0067
tot def	1,3652	1,6003	1,5972



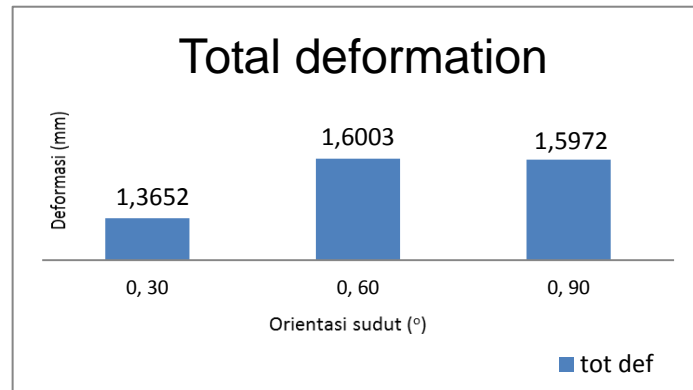
**Gambar 4.59.** *Von mises stres*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 17



**Gambar 4.60.** *Shear stress*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 17



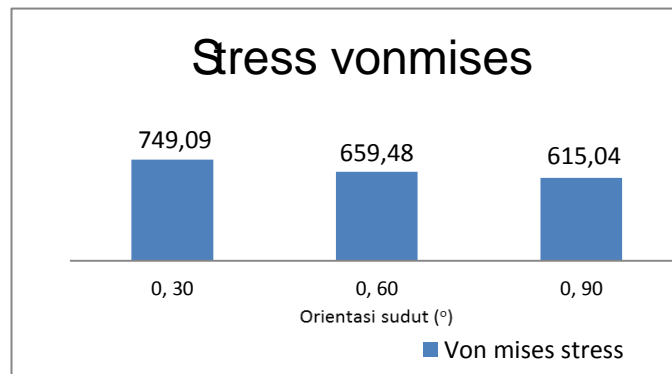
**Gambar 4.61.** *Equivalent elastic strain*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 17



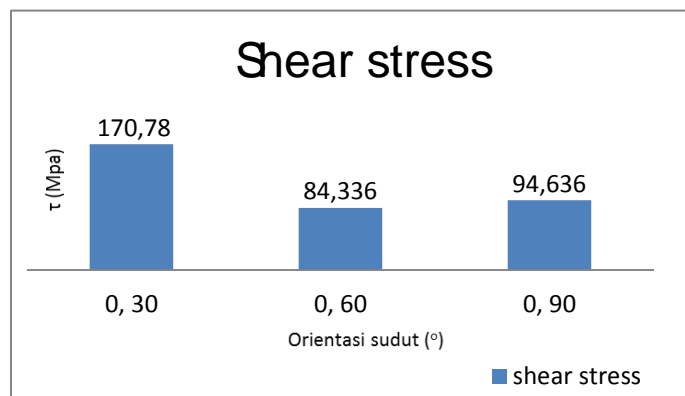
**Gambar 4.62. Total deformation, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 17**

**Tabel 4.12. Perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan 21**

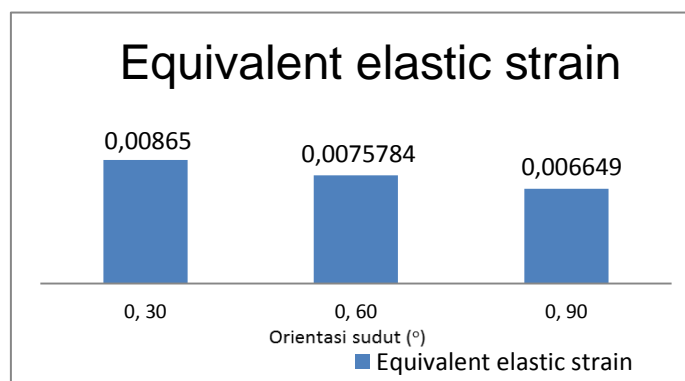
	21 lapisan		
Angle	0	0	0
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	0	0	0
	30	60	90
	jumlah ply	21 ply	21 ply
Von mises stress	749,09	659,48	615,04
shear stress	170,78	84,336	94,636
Equivalent elastic strain	0,00865	0,007578	0,006649
total deformation	1,3601	1,5893	1,586



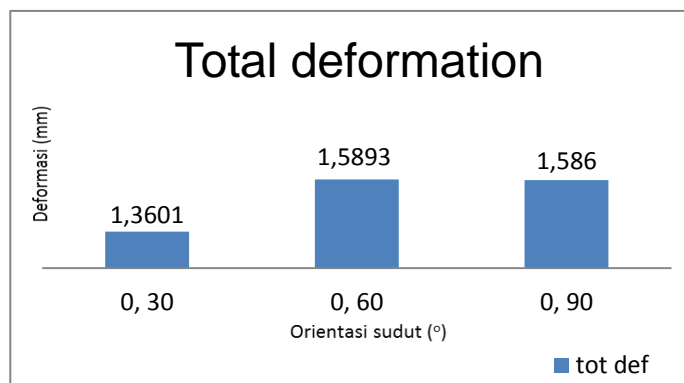
**Gambar 4.63.** *Von mises stress*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 21



**Gambar 4.64.** *Shear stress*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 21



**Gambar 4.65.** *Equivalent elastic strain*, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 21



**Gambar 4.66. Total deformation, Perbandingan Sampel variasi jumlah lapisan 21**

Berdasarkan tabel dan Grafik – Grafik Perbandingan variasi jumlah lapisan dari sampel 9, 13, 17 dan, 21, terlihat bahwa nilai untuk *Von mises stress* dan *Equivalent elastic strain* cenderung turun searah dengan kenaikan orientasi sudut yang digunakan, namun kasus *Shear stress*, nilai tegangan geser yang terjadi naik di sampel ( $0^{\circ},90^{\circ}$ ) dan yang terakhir untuk kasus *Total deformation*, nilai deformasi yang terjadi naik dari sudut orientasi ( $0^{\circ},30^{\circ}$ ) ke ( $0^{\circ},60^{\circ}$ ), namun terjadi penurunan nilai dengan jumlah yang sangat sedikit di sampel ( $0^{\circ},90^{\circ}$ )



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis yang penulis susun, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Analisis dengan menggunakan *software* metode elemen hingga seperti ANSYS 15, dapat mempermudah, menghemat waktu dan biaya dalam melakukan sebuah studi numerik.
- b. Semakin banyak variasi orientasi sudut yang diterapkan dalam simulasi *pattern*, maka nilai *Von mises stress*, *shear stress*, *equivalent elastic strain* dan *total deformation* yang terjadi pada sampel akan semakin tinggi.
- c. Pada variasi kenaikan interval sudut, nilai *Von mises stress* terendah berada di sampel kenaikan interval  $40^\circ$ , namun untuk *shear stress*, *equivalent elastic strain*, dan *total deformation* berada di kenaikan interval  $10^\circ$ .
- d. Semakin banyak jumlah lapisan yang digunakan maka nilai *Von mises stress*, *shear stress*, *equivalent elastic strain* dan *total deformation* yang terjadi pada sampel akan semakin rendah.
- e. Pada perbandingan antar sampel variasi jumlah lapisan, nilai *von mises stress* dan *equivalent elastic strain* terendah ada di sampel  $(0^\circ, 90^\circ)$ , untuk *shear stress* berada di sampel  $(0^\circ, 60^\circ)$  dan untuk *total deformation* Berada di sampel  $(0^\circ, 30^\circ)$ .

## 5.2. Saran

Di dalam penganalisaan suatu sifat mekanik material komposit dengan menggunakan perangkat lunak computer, khususnya ANSYS 15 terdapat berbagai hal yang harus diperhatikan untuk mendapatkan hasil analisa yang lebih baik, yaitu:

- a. Dalam menentukan orientasi sudut dan jumlah lapisan hendaknya juga memperhatikan arah beban, dan ketebalan dari sampel yang digunakan.
- b. Memahami dasar-dasar teori seperti FEM dan ANSYS 15 agar dalam penggambaran, pemodelan, dan penganalisaan struktur tidak dapat mengalami kesulitan.
- c. Dilakukannya penelitian lebih lanjut dengan variasi bentuk, arah gaya dan komposisi material yang lebih beraneka ragam lagi untuk mendapatkan hasil yang dapat digunakan dalam pengembangan material komposit.

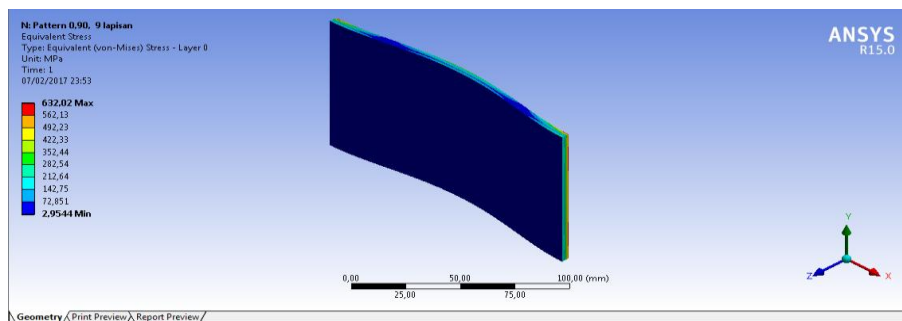
## DAFTAR PUSTAKA

- Agus Edy Pramono, 2012, *Karakteristik Komposit Karbon – Karbon Berbasis Limbah Organik Hasil Proses Tekan Panas, Disertasi, Universitas Indonesia.*
- Andy Ismawanto, Dkk, 2014, "Simulasi Kekuatan Material pada Carabiner dengan Variasi Geometri", *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam Vol.03 No.1 pp 52-57, Universitas Lambung Mangkurat.*
- Daniel Sahla Putra Panggabean, dkk, 2015, "Perbandingan penggunaan material Isotropi dan Orthotropi pada Metode Elemen Hingga untuk Analisa Kekuatan Kapal Fiberglass", *jurnal S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.*
- Darmadi, MT., Ir Drahot B Diktat, "Statika Struktur I", (Malang : Brawijaya, 2003).
- Febriyanto, 2016, "Desain Tangki Bahan Bakar Gas Sepeda Motor Semi Sport : Sebuah Studi Numerik", *Skripsi, Universitas Negeri Jakarta*
- Hutahaean, MT., Ir. Yamses Rohanes *Mekanika Kekuatan Material (Yogyakarta : Graha Ilmu, 2014).*
- Nidya Chitraningrum, 2008, "Sifat Mekanik dan Termal pada Bahan Nanokomposit Epoxy – Clay Tapanuli", *Skripsi, Universitas Indonesia.*
- Ronny Whisny Adji, "Analisa Bahan Komposit G.R.P untuk Pembuatan Mast dan Boom pada (Small Fishing Vessel)", *Skripsi, universitas Negeri Jakarta.*
- Suryati, 2012, "Pembuatan dan Karakterisasi Genteng Komposit Polimer Dari Campuran Resin Polister, Aspal, Styrofoam Bekas dan Serat Panjang Ijuk", *Tesis, Universitas Sumatra Utara.*
- Syaifa Maulana, 2016, "Pengembangan Komposit Dari Karet Ebonit Dengan Penguat Serat Rami Untuk Komponen Otomotif Penutup Spion Sepeda Motor", *Tugas Akhir S-1, Teknik mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.*
- Yerri Susatio, *Dasar Dasar Metode Elemen Hingga, (Yogyakarta: Andi Publisher, 2004)*
- <http://digilib.unila.ac.id/7593/15/BAB%20II.pdf>
- <http://www.infometrik.com/2009/07/konsep-dasar-finite-element-method/>
- <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/> MATERIAL Komposit.

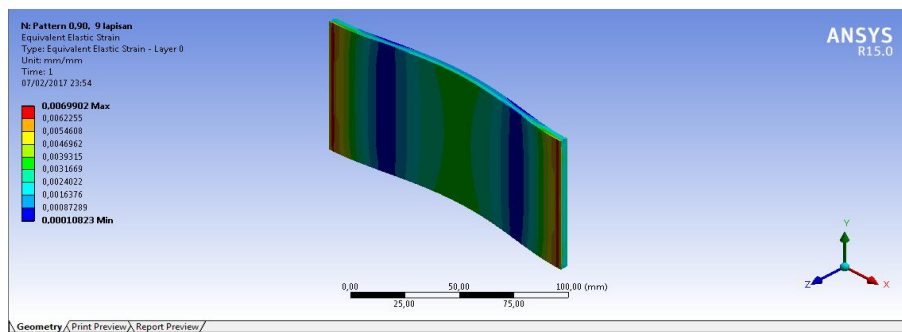
## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran 1. Variasi *pattern* 2, 3, 4.

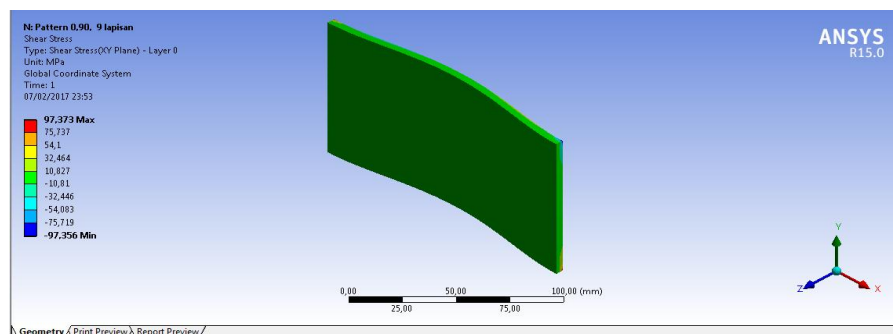
#### 1. *Pattren* dengan variasi pelapis yang menggunakan orientasi sudut $0^\circ$ , $90^\circ$ .



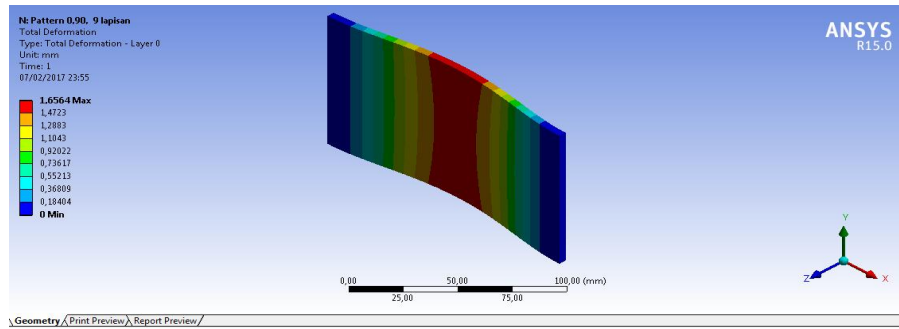
*Von mises stress, Variasi Pattern pelapis  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ , 9 lapisan*



*Shear Stress, Variasi Pattern pelapis  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ , 9 lapisan*

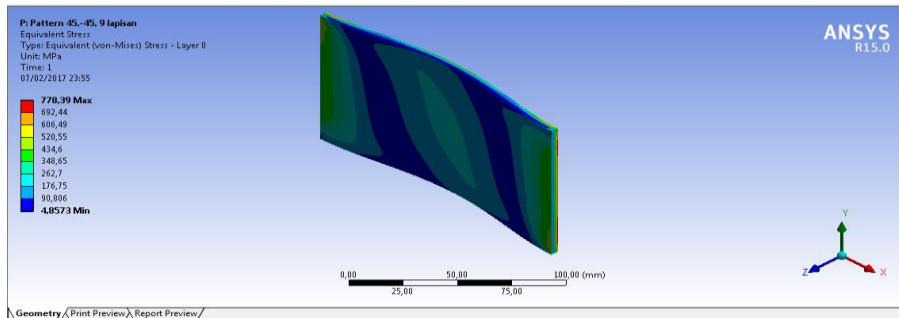


*Equivalent elastic strain, Variasi Pattern pelapis  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ , 9 lapisan*

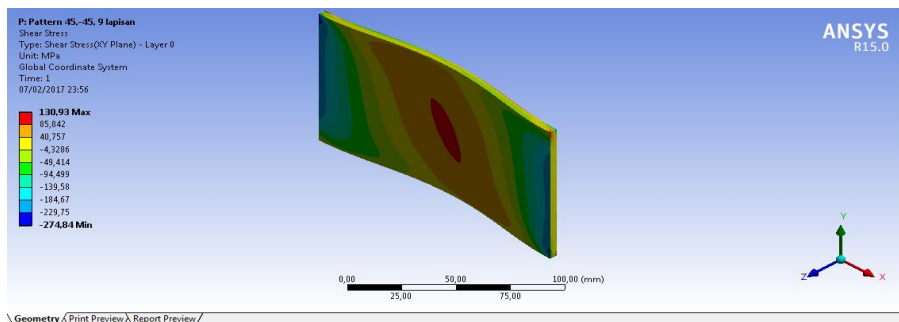


**Total Deformation, Variasi Pattern pelapis 90°, 0°, 9 lapisan**

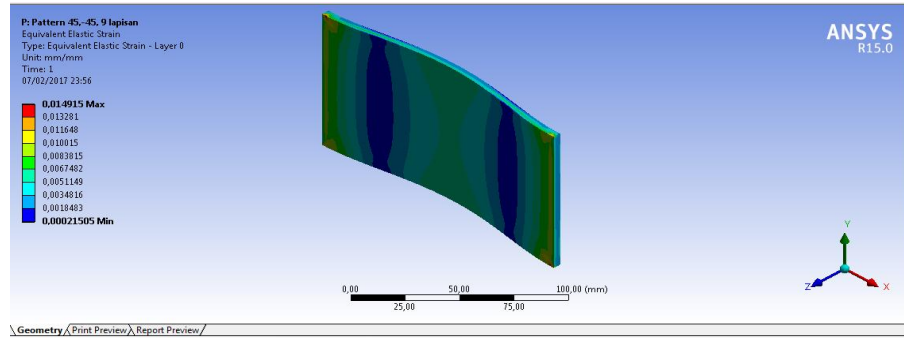
**2. Pattern dengan variasi pelapis yang menggunakan orientasi sudut 45°, -45°.**



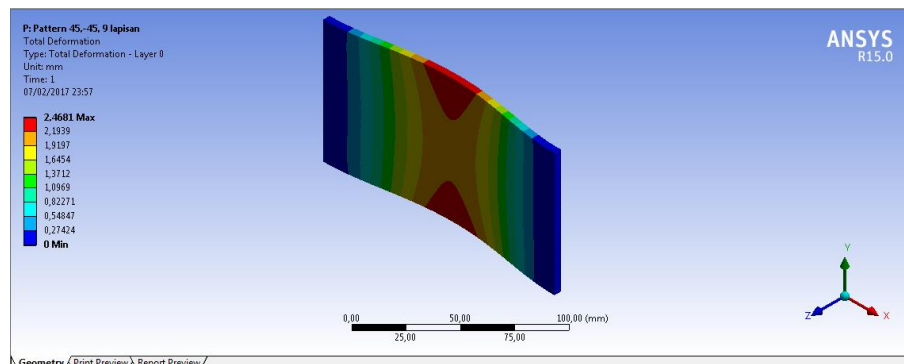
**Von mises stress, Variasi Pattern pelapis 45°,-45°, 9 lapisan**



**Shear stress, Variasi Pattern pelapis 45°,-45°, 9 lapisan**

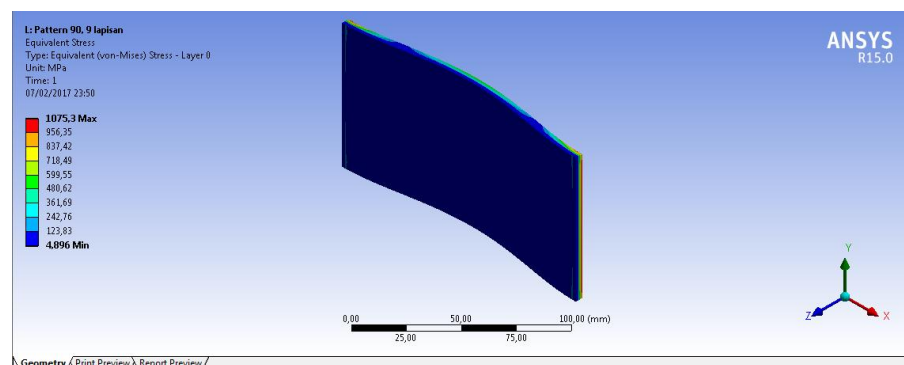


**Equivalent elastic strain, Variasi Pattern pelapis 45°, -45°, 9 lapisan**

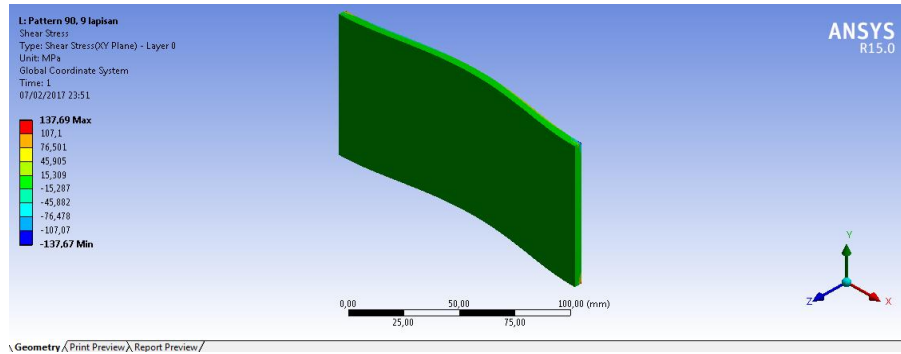


**Total Deformation, Variasi Pattern pelapis 45°, -45°, 9 lapisan**

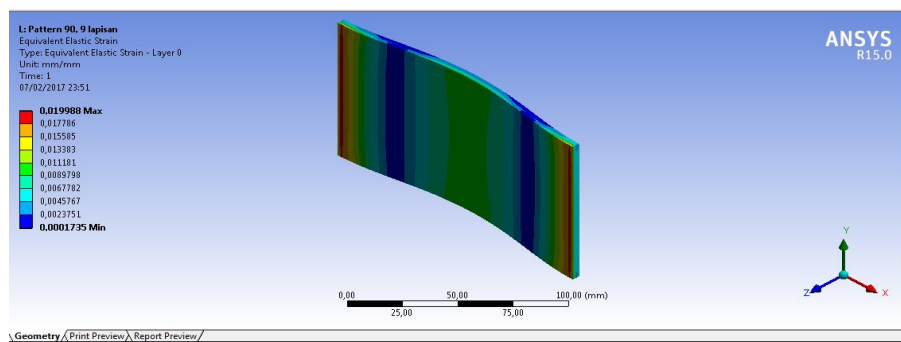
### 3. Pattern dengan variasi pelapis yang menggunakan orientasi sudut 90°.



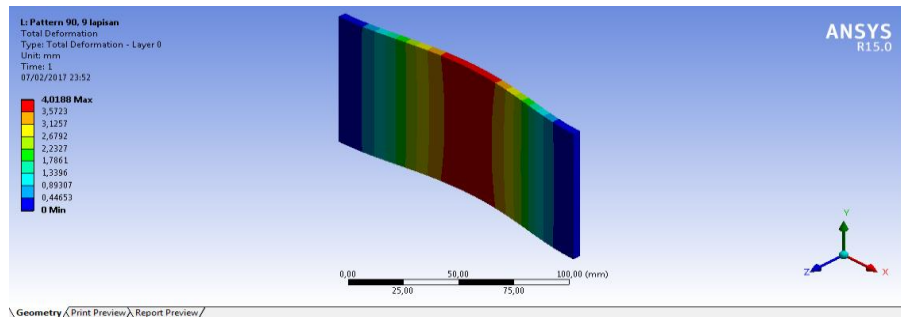
**Von mises stress, Variasi Pattern pelapis 90°, 9 lapisan**



**Shear stress, Variasi Pattern pelapis 90°, 9 lapisan**



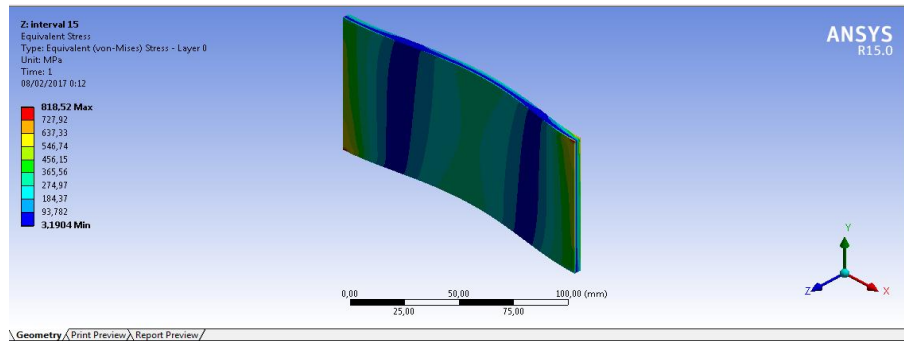
**Equivalent elastic strain, Variasi Pattern pelapis 90°, 9 lapisan.**



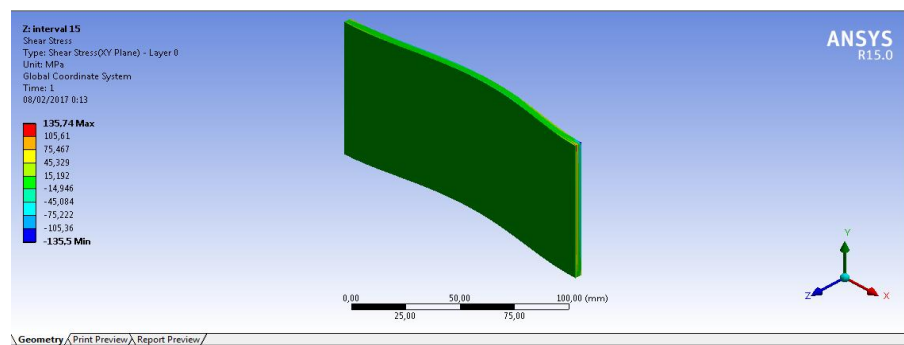
**Total deformation, Variasi Pattern pelapis 90°, 9 lapisan.**

## Lampiran 2. Variasi kenaikan interval sudut : 15°, 20°, 30°, 40°

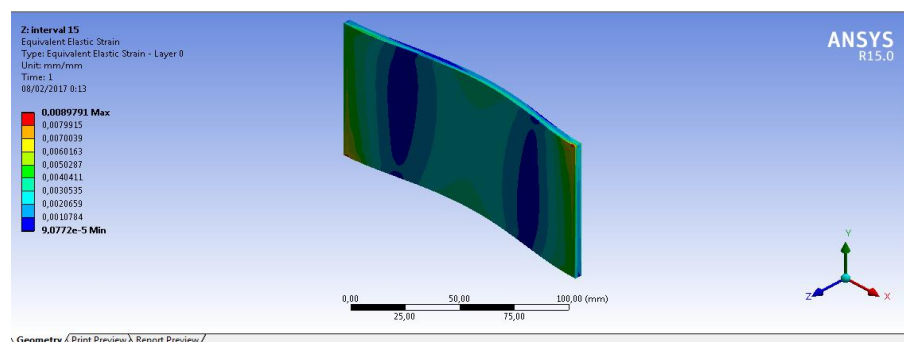
### 1. Kenaikan orientasi sudut, interval 15°.



### Von mises stress, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 15°, 9 lapisan.

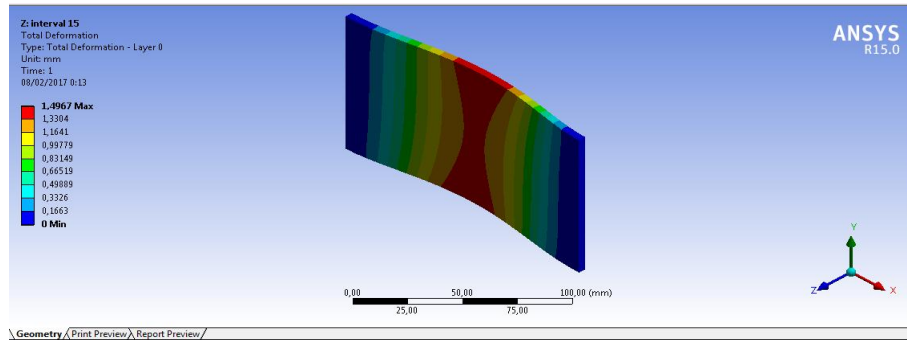


### Shear stress, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 15°, 9 lapisan.



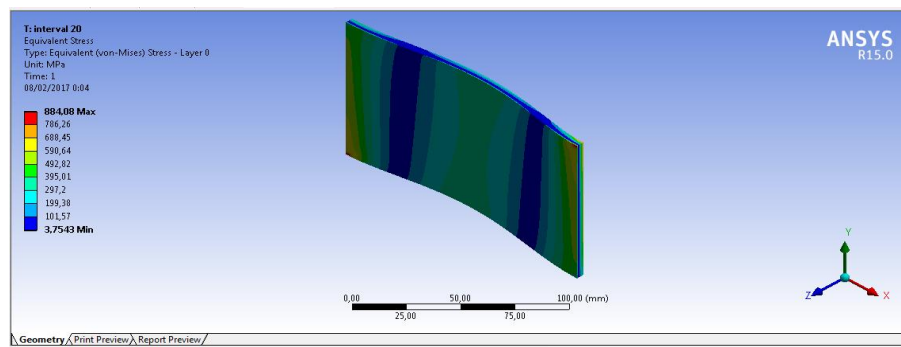
### Equivalent elastic strain, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 15°, 9 lapisan



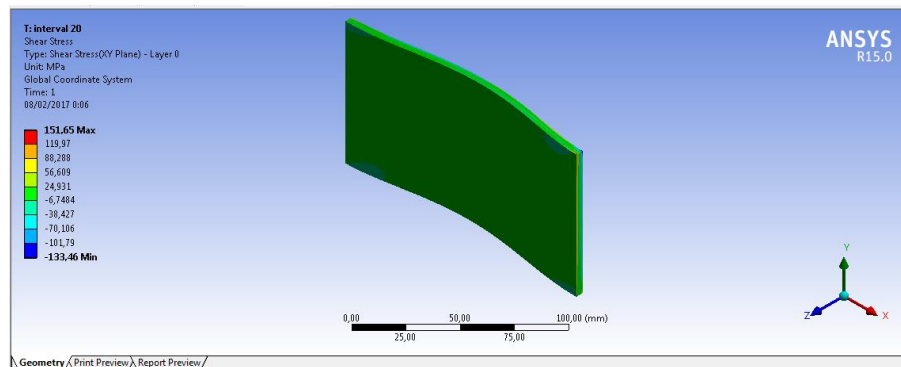


**Total deformation, Variasi Kenaikan orientasi sudut pelapis, interval  $15^\circ$ , 9 lapisan**

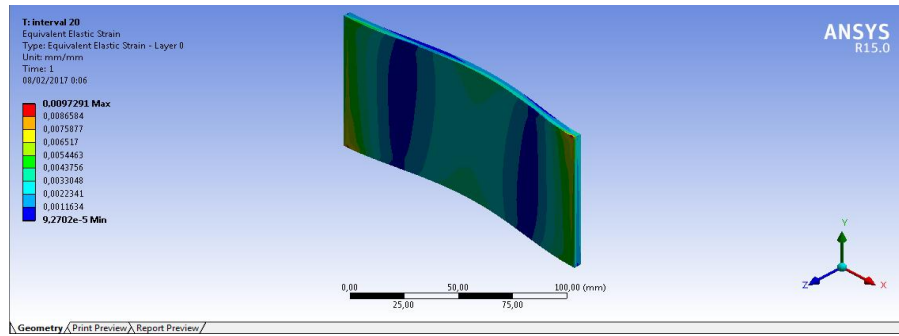
**2. Kenaikan orientasi sudut, interval  $20^\circ$ .**



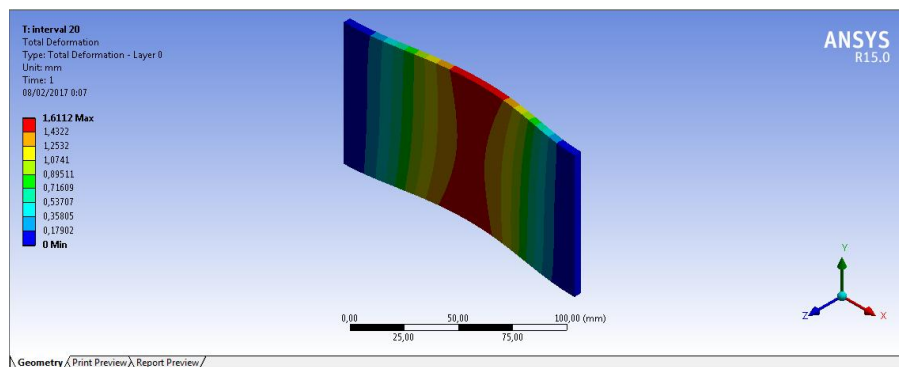
**Von mises stress, Variasi Kenaikan orientasi sudut pelapis, interval  $20^\circ$ , 9 lapisan**



**Shear stress, Variasi Kenaikan orientasi sudut pelapis, interval  $20^\circ$ , 9 lapisan**

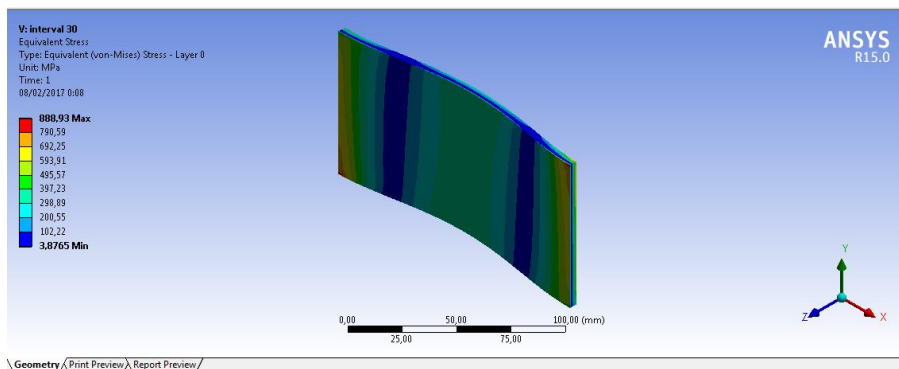


***Equivalen elastic strain, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 20°, 9 lapisan.***

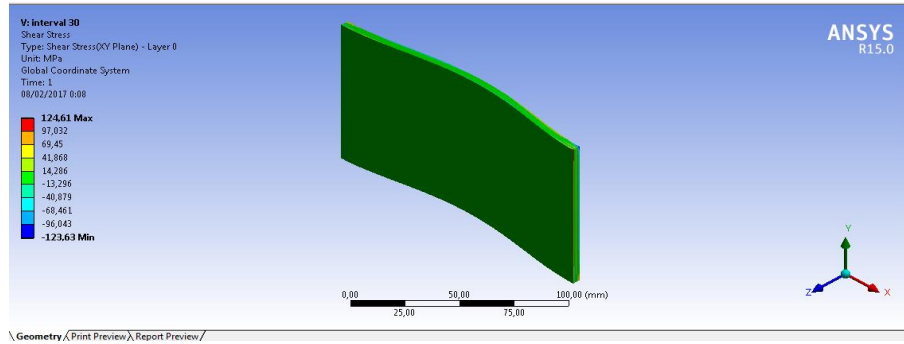


***Total deformation, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 20°, 9 lapisan.***

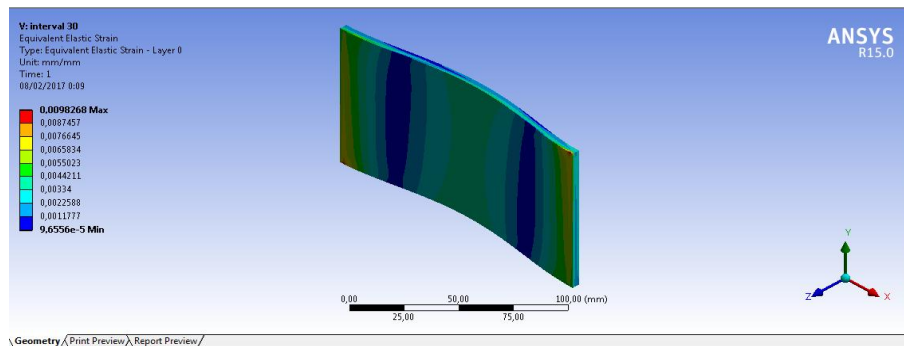
### **3. Kenaikan orientasi sudut, interval 30°.**



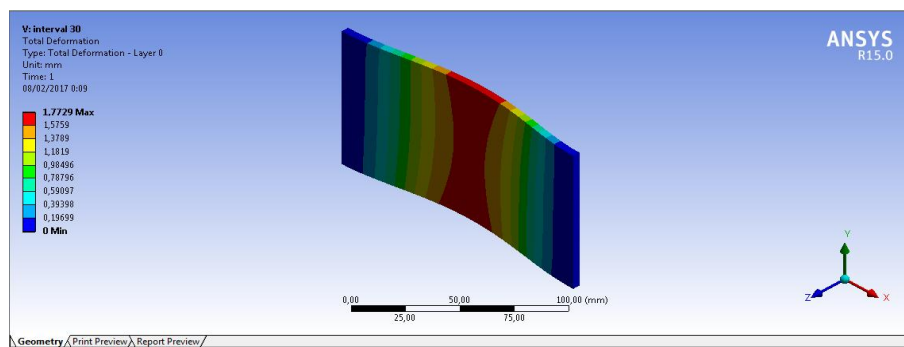
***Von mises stress, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 30°, 9 lapisan.***



***Shear stress, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 30°, 9 lapisan***

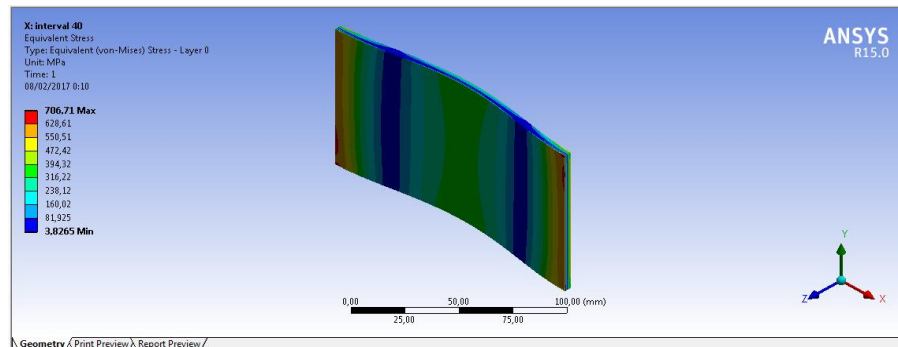


***Equivalent elastic strain, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 30°, 9 lapisan***

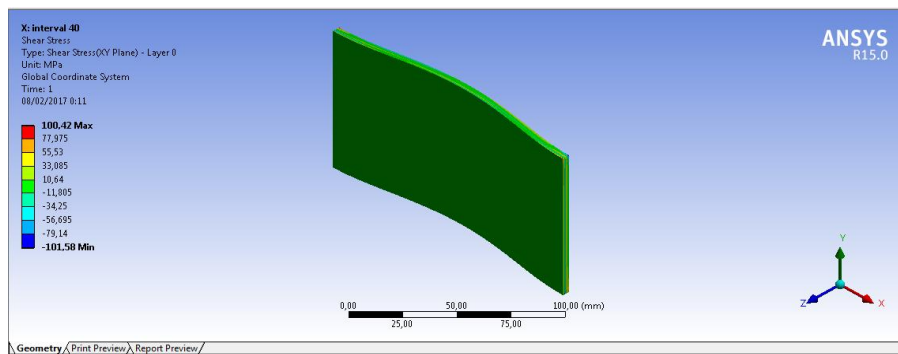


***Total deformation, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval 30°, 9 lapisan***

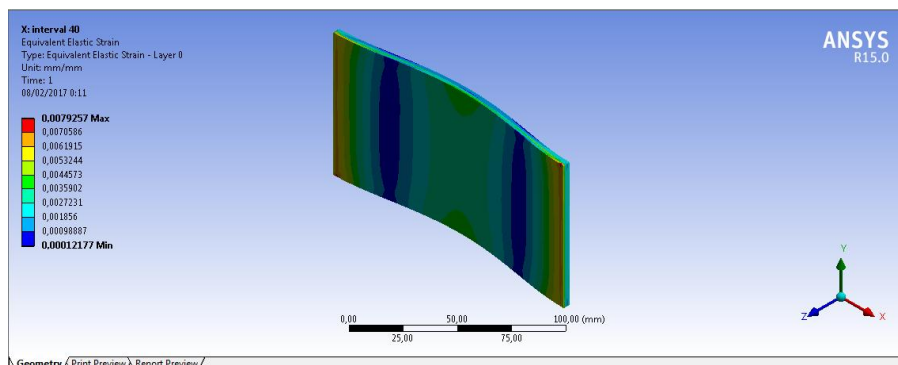
#### 4. Kenaikan oreintasi sudut, interval $40^\circ$ .



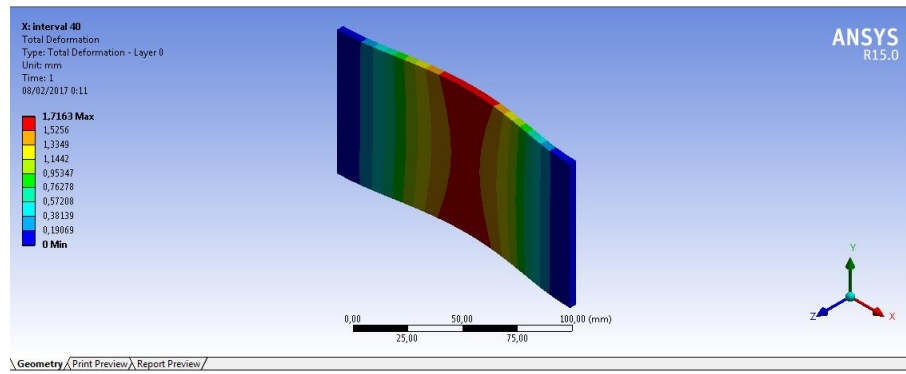
#### *Von mises stress* Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval $40^\circ$ , 9 lapisan



#### *Shear stress*, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval $40^\circ$ , 9 lapisan



#### *Equivalent elastic strain*, Variasi Kenaikan oreintasi sudut pelapis, interval $40^\circ$ , 9 lapisan

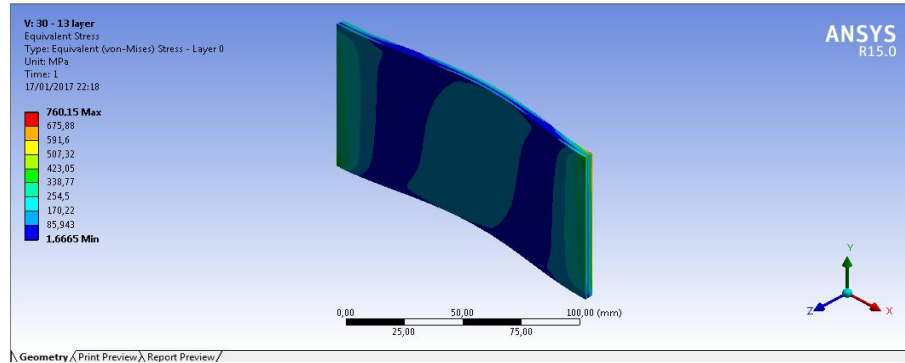


***Total deformation, Variasi Kenaikan orientasi sudut pelapis, interval 40° , 9 lapisan***

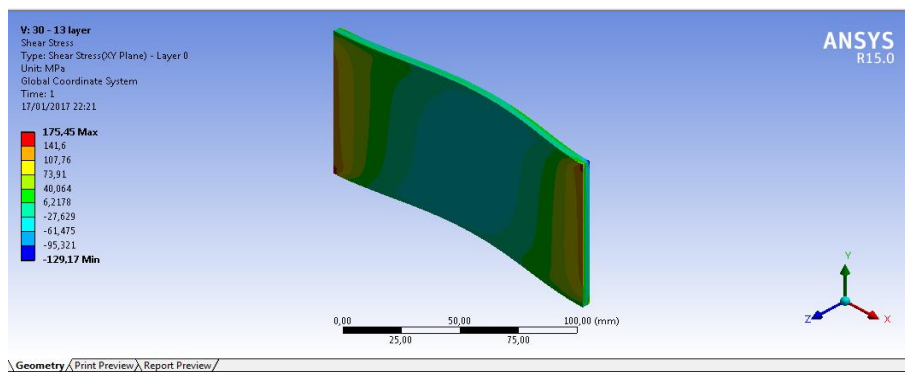
### Lampiran 3. Variasi jumlah lapisan 13, 17, 21 orientasi sudut $0^{\circ}, 30^{\circ}$ .

#### 1. Variasi Jumlah Lapisan Sudut $0^{\circ}, 30^{\circ}$ .

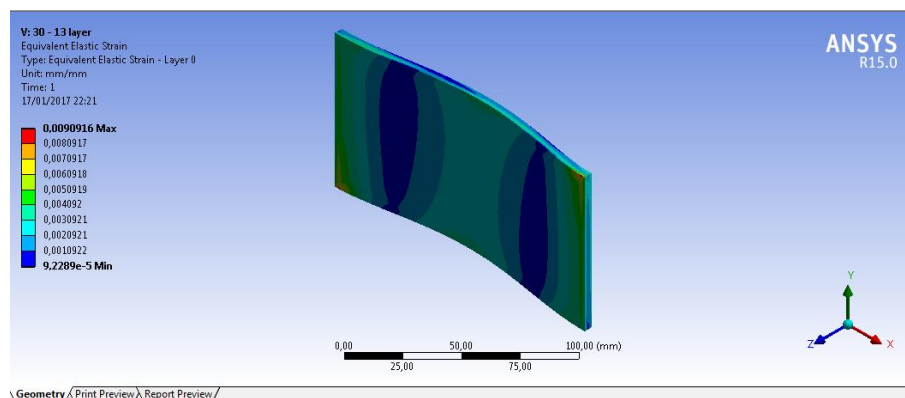
- 13 lapisan.



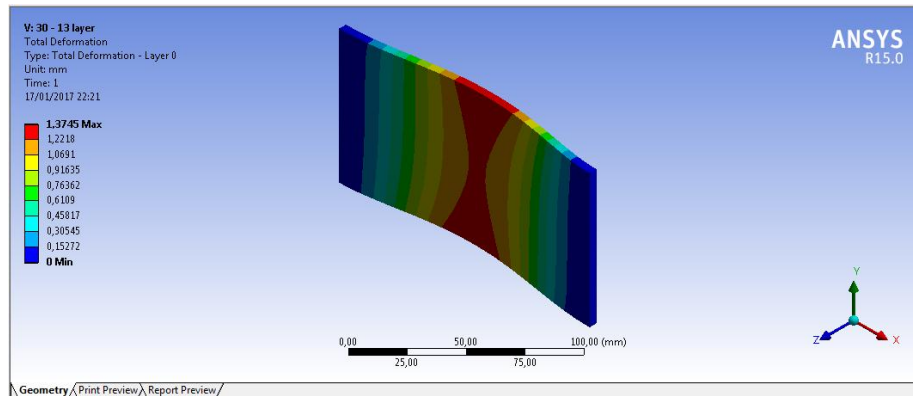
*Von mises stress, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 30^{\circ}$ , Variasi 13 lapisan*



*Shear stress, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 30^{\circ}$ , Variasi 13 lapisan*

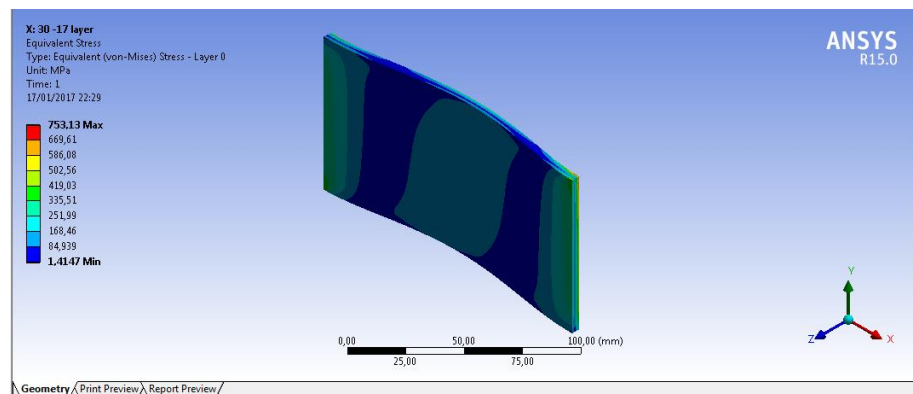


*Equivalent elastic, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 30^{\circ}$ , Variasi 13 lapisan*

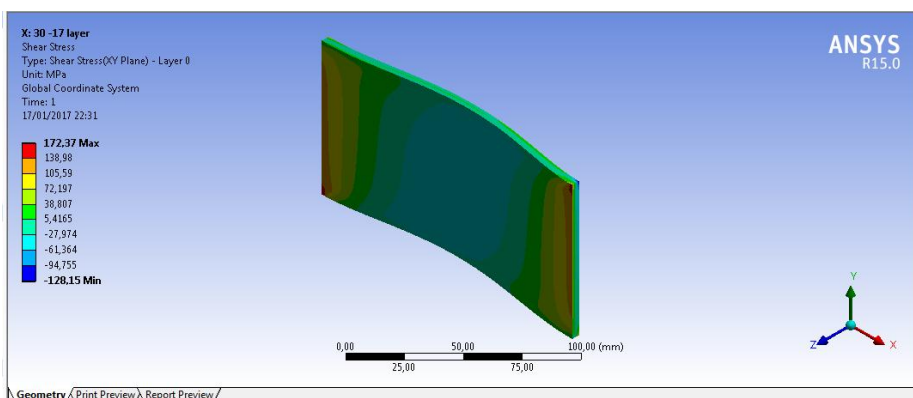


**Total deformation, Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 13 lapisan**

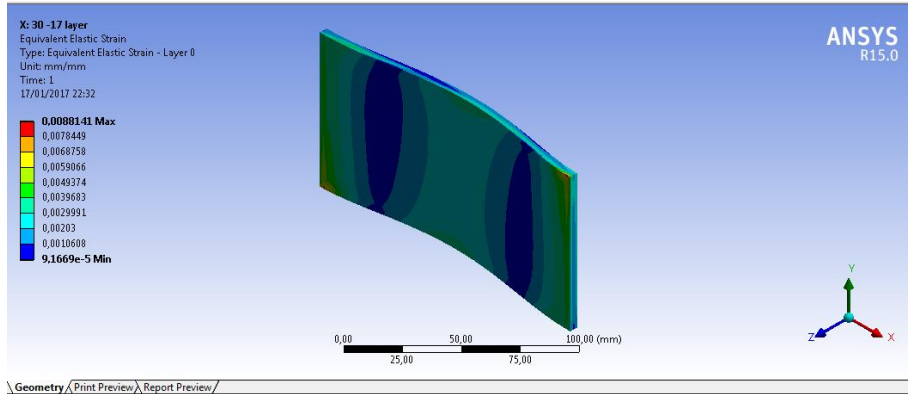
- 17 Lapisan.



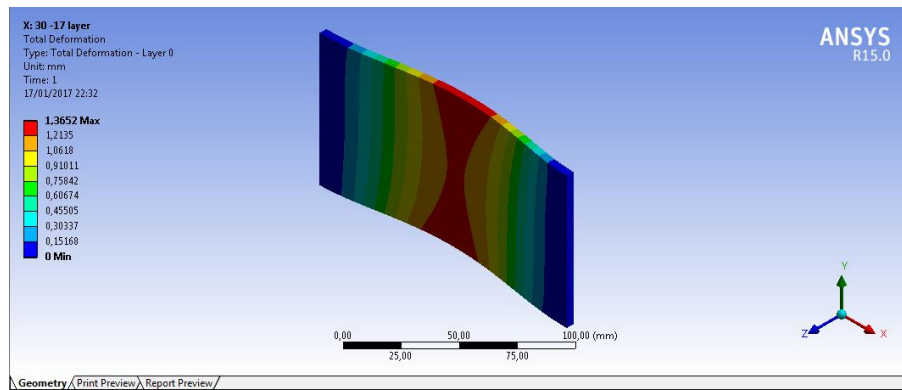
**Von mises stress, Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 17 lapisan**



**Shear stress, Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 17 lapisan**

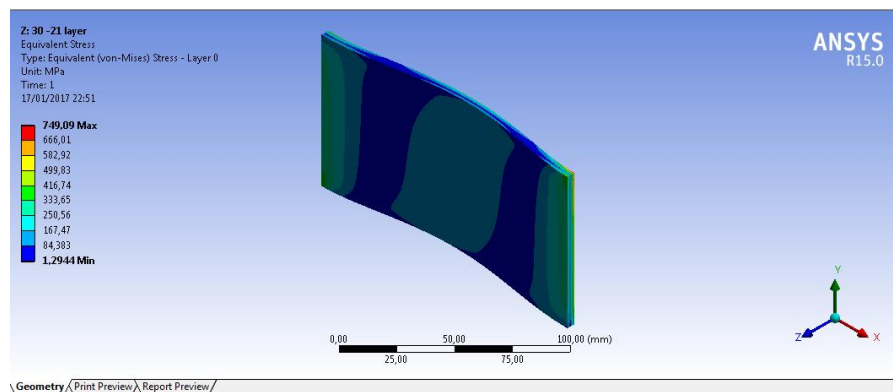


**Equivalent elastic strain, Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 17 lapisan**



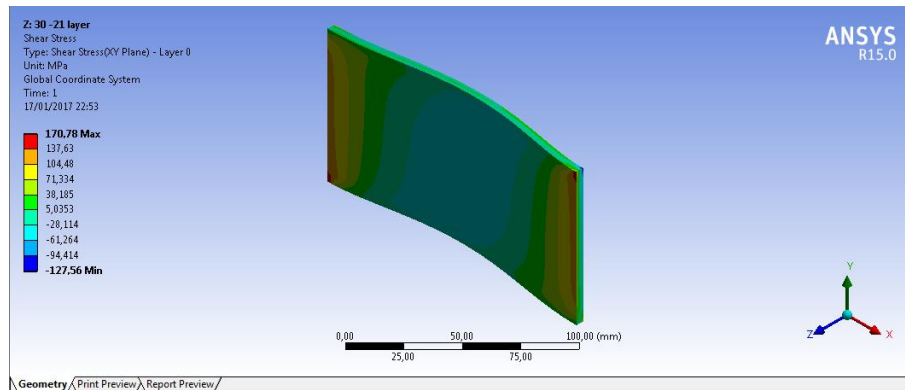
**Total deformation, Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 17 lapisan.**

- 21 lapisan.

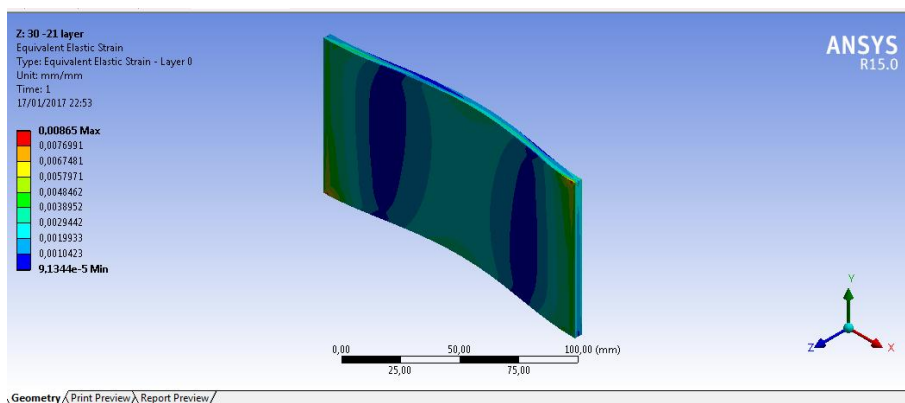


**Von mises stress, Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 21 lapisan**

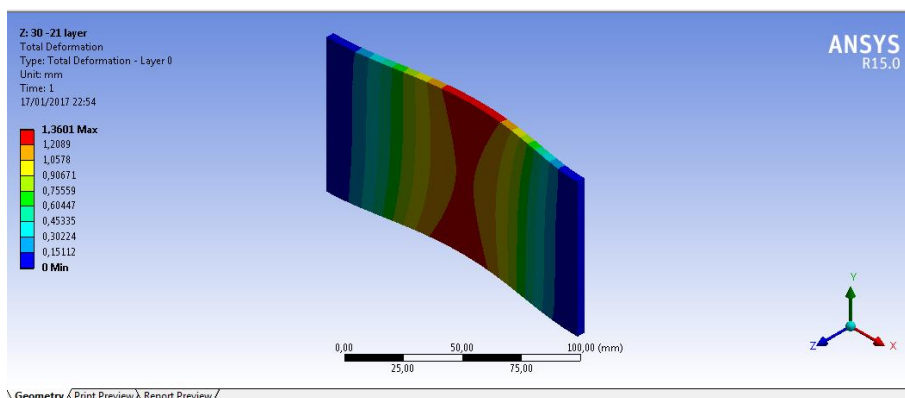




***Shear stress, Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 21 lapisan***



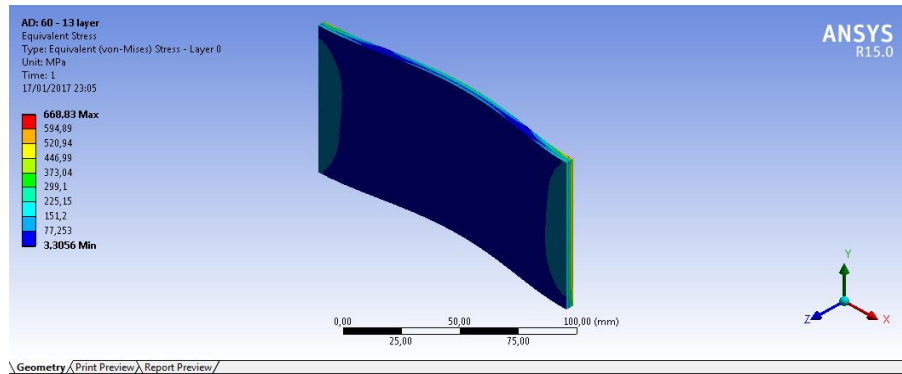
***Equivalen elastic strain, Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 21 lapisan***



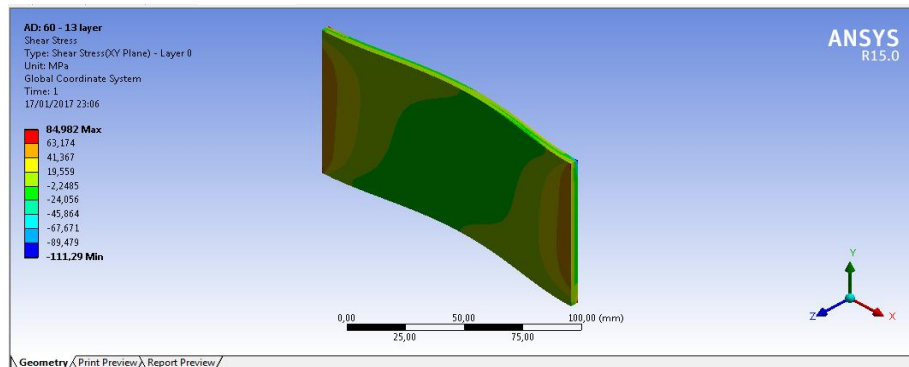
***Total Deformation, Orientasi sudut 0°,30°, Variasi 21 lapisan***

#### Lampiran 4. Variasi Jumlah Lapisan 13,17, dan 21 orientasi Sudut $0^{\circ},60^{\circ}$ .

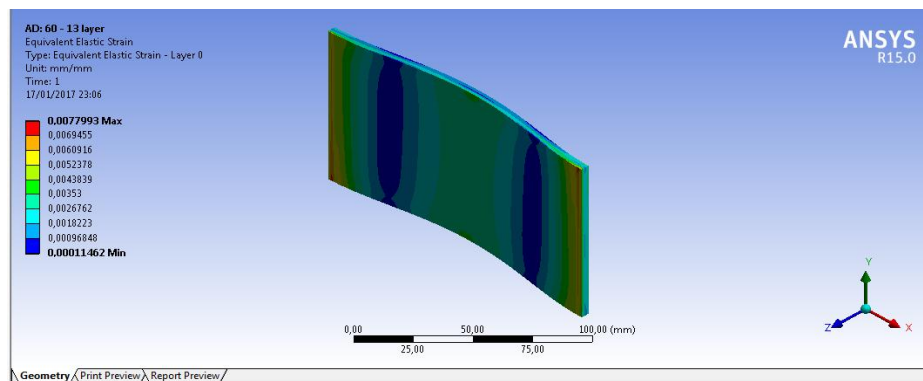
- 13 Lapisan.



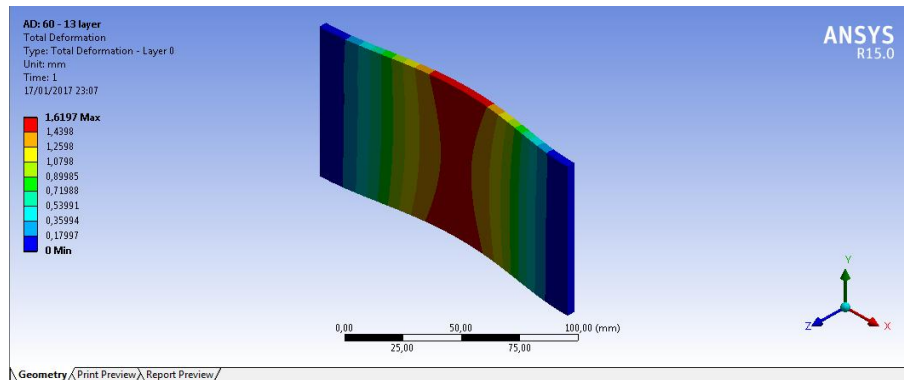
*Von mises stress, Orientasi sudut  $0^{\circ},60^{\circ}$ , Variasi 13 lapisan*



*Shear stress, Orientasi sudut  $0^{\circ},60^{\circ}$ , Variasi 13 lapisan*

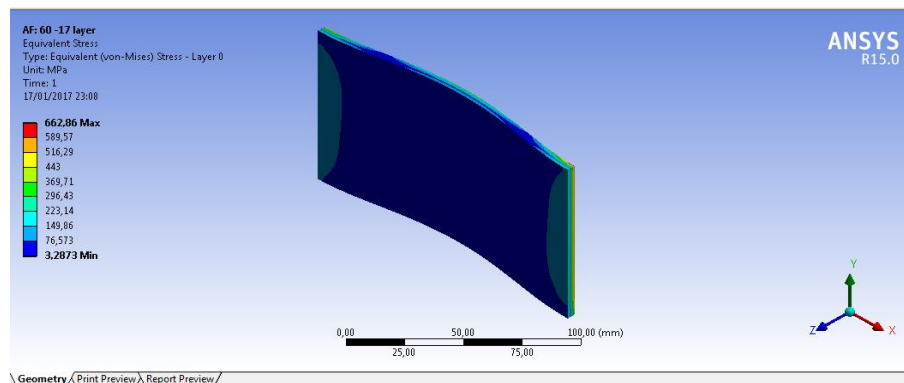


*Equivalent elastic strain, Orientasi sudut  $0^{\circ},60^{\circ}$ , Variasi 13 lapisan*

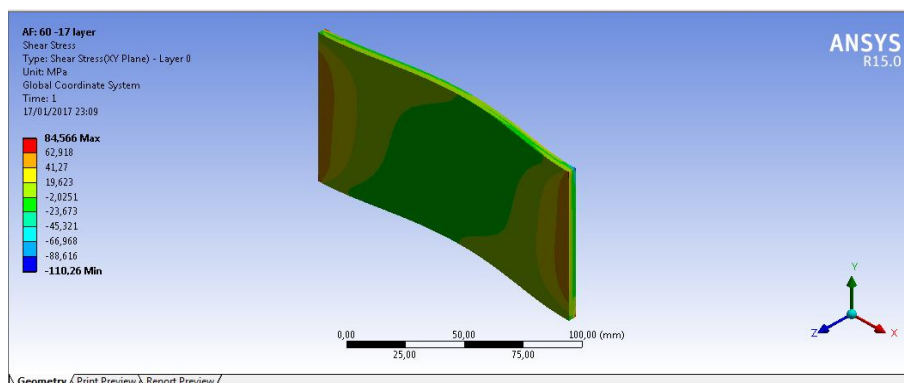


**Total deformation, Orientasi sudut  $0^\circ, 60^\circ$ , Variasi 13 lapisan**

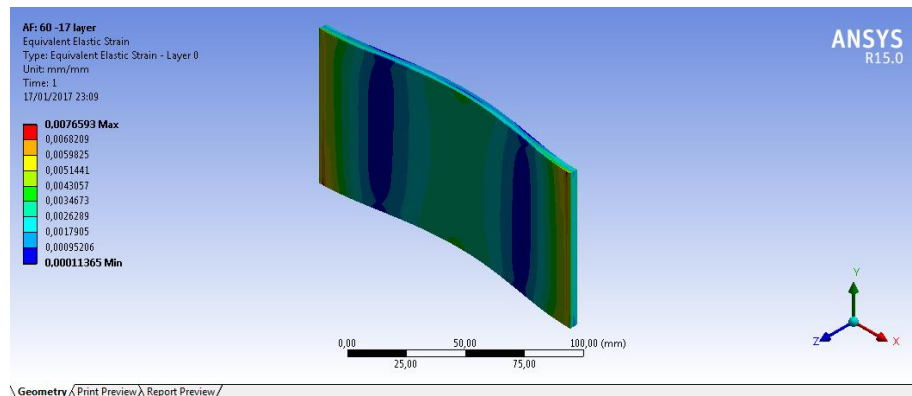
- 17 lapisan.



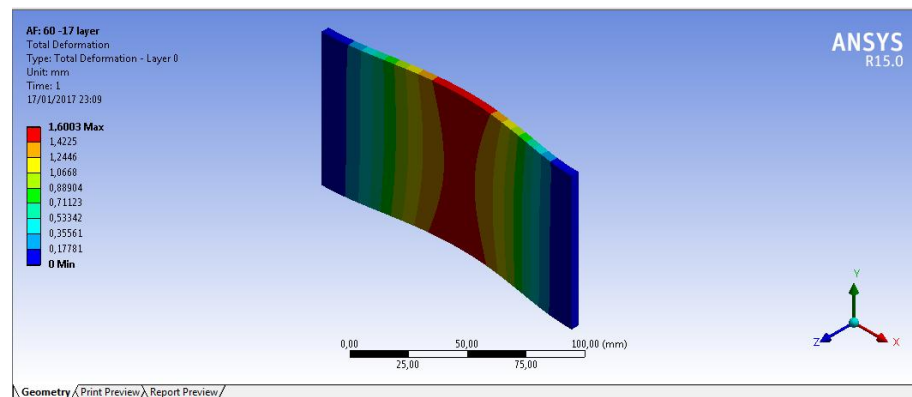
**Von mises stress, Orientasi sudut  $0^\circ, 60^\circ$ , Variasi 17 lapisan**



**Shear stress, Orientasi sudut  $0^\circ, 60^\circ$ , Variasi 17 lapisan**

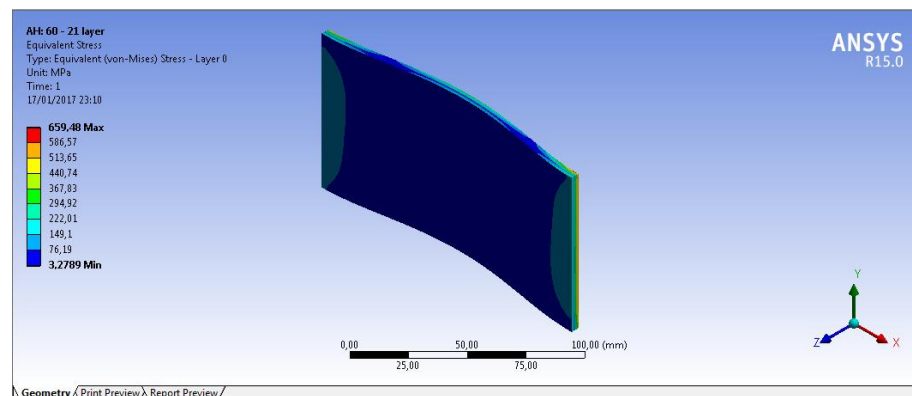


**Equivalent elastic strain, Orientasi sudut 0°,60°, Variasi 17 lapisan**

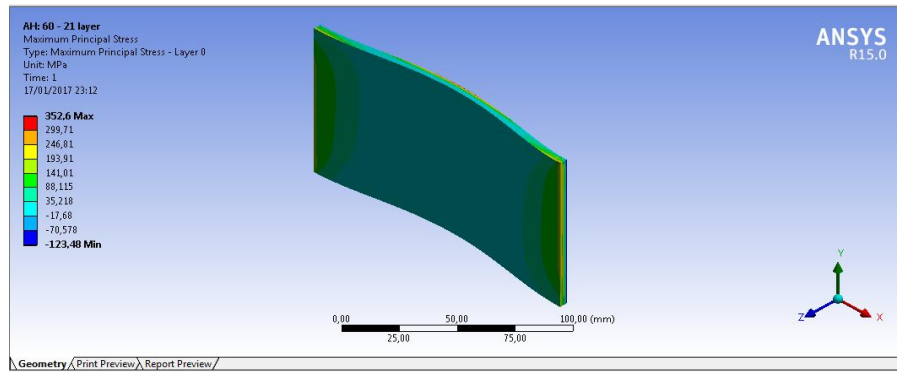


**Total deformation, Orientasi sudut 0°,60°, Variasi 17 lapisan**

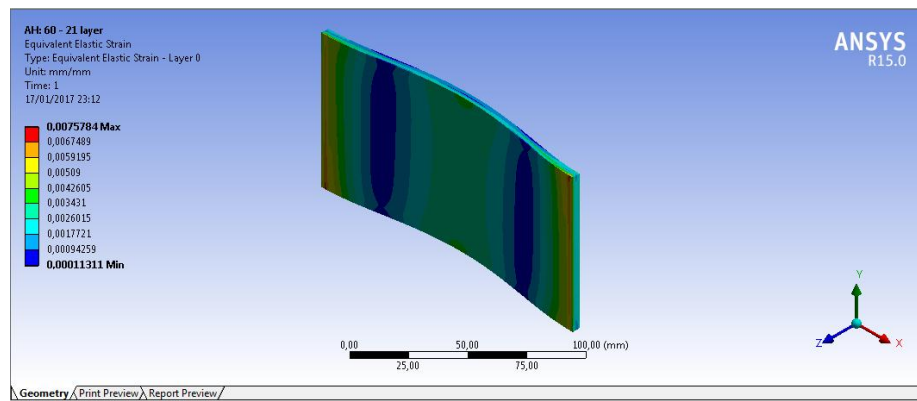
- **21 lapisan**



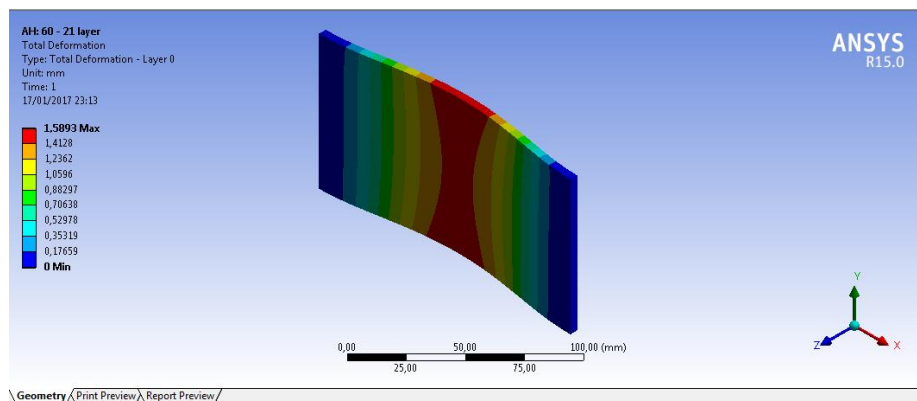
**Von mises stress, Orientasi sudut 0°,60°, Variasi 21 lapisan**



***Shear stress, Orientasi sudut 0°,60°, Variasi 21 lapisan***



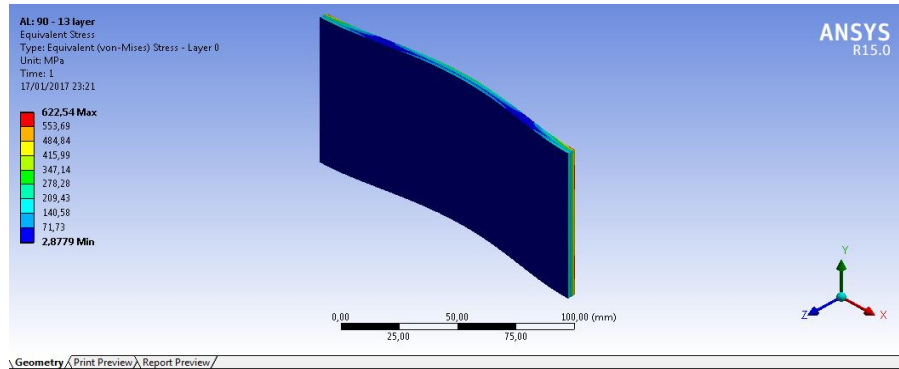
***Equivalent elastic strain, Orientasi sudut 0°,60°, Variasi 21 lapisan***



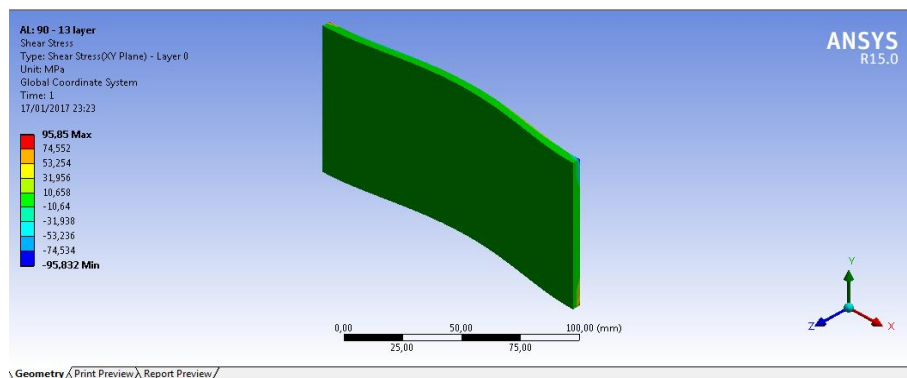
***Total deformation, Orientasi sudut 0°,60°, Variasi 21 lapisan***

## Lampiran 5. Variasi Jumlah Lapisan 13, 17, 21 Orientasi Sudut $0^\circ, 90^\circ$ .

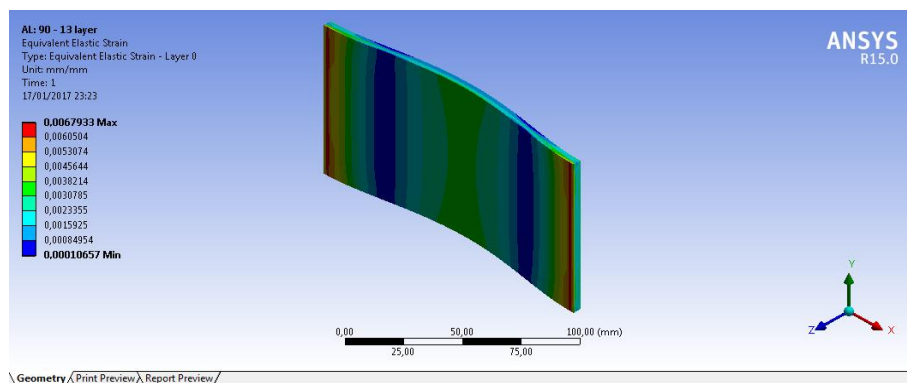
- 13 lapisan.



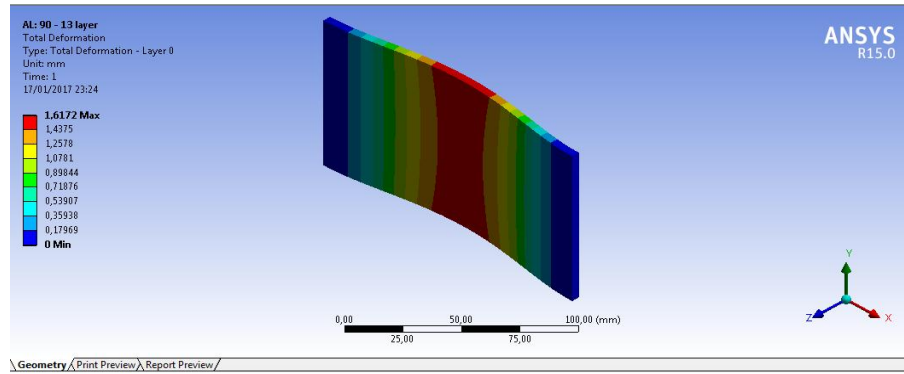
**Von mises stress, Orientasi sudut  $0^\circ, 90^\circ$ , Variasi 13 lapisan**



**Shear stress, Orientasi sudut  $0^\circ, 90^\circ$ , Variasi 13 lapisan**

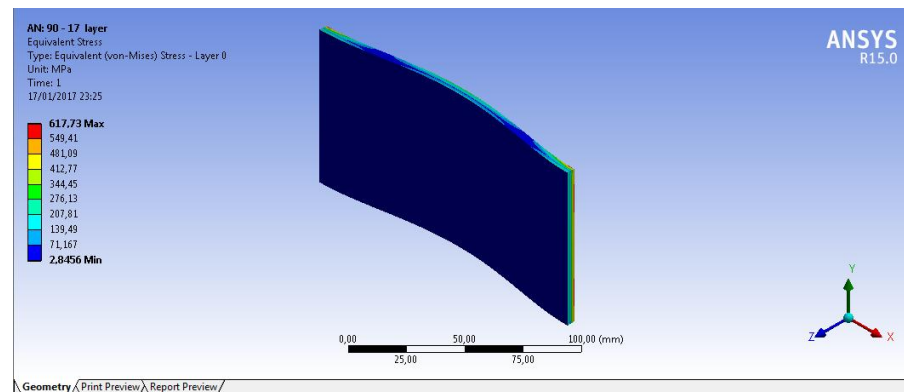


**Equivalent elastic strain, Orientasi sudut  $0^\circ, 90^\circ$ , Variasi 13 lapisan**

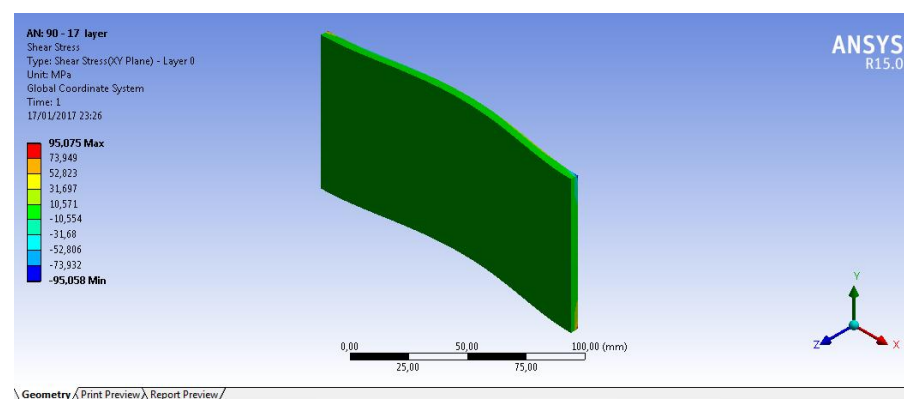


**Total deformation, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , Variasi 13 lapisan**

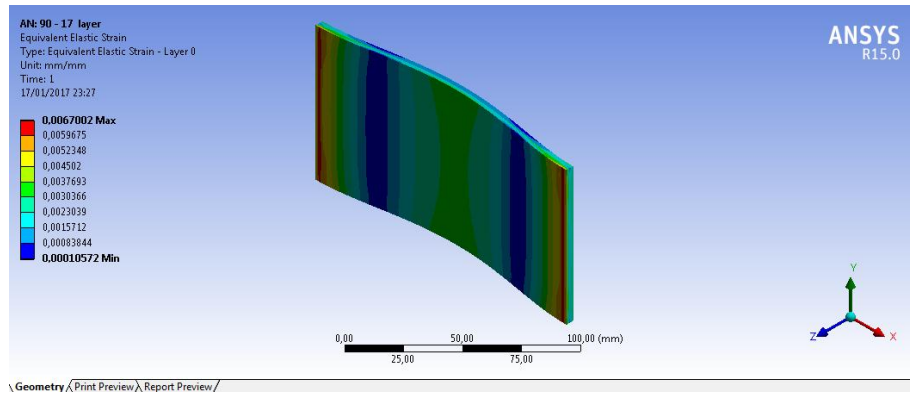
- 17 lapisan



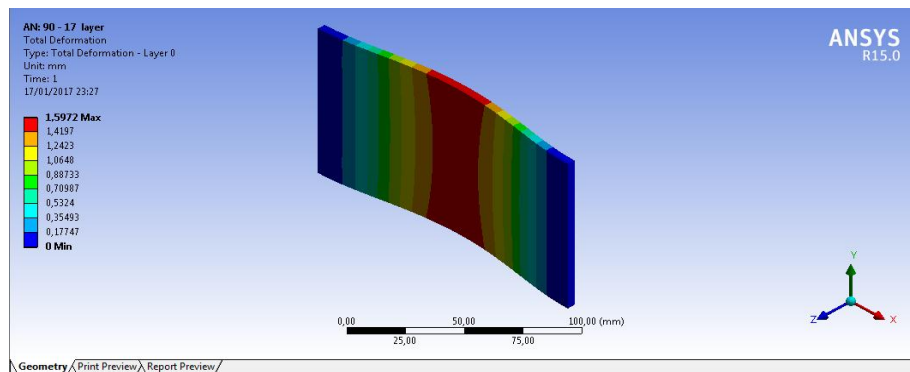
**Von mises stress, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , Variasi 17 lapisan**



**Shear stress, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , Variasi 17 lapisan**

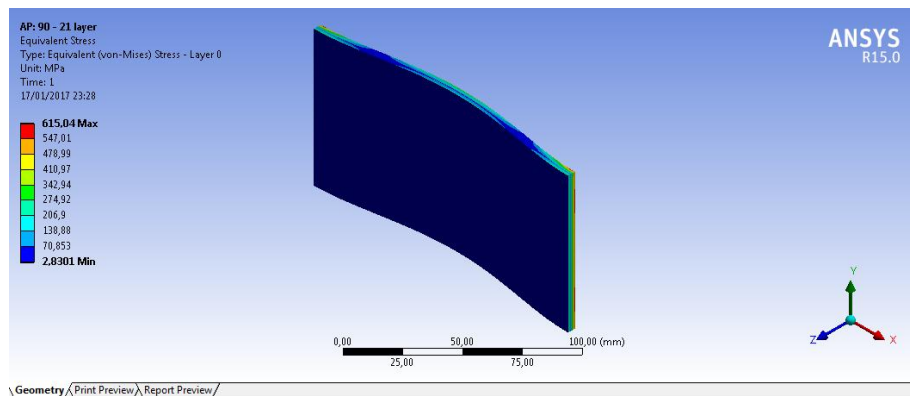


**Equivalent elastic strain, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , Variasi 17 lapisan**



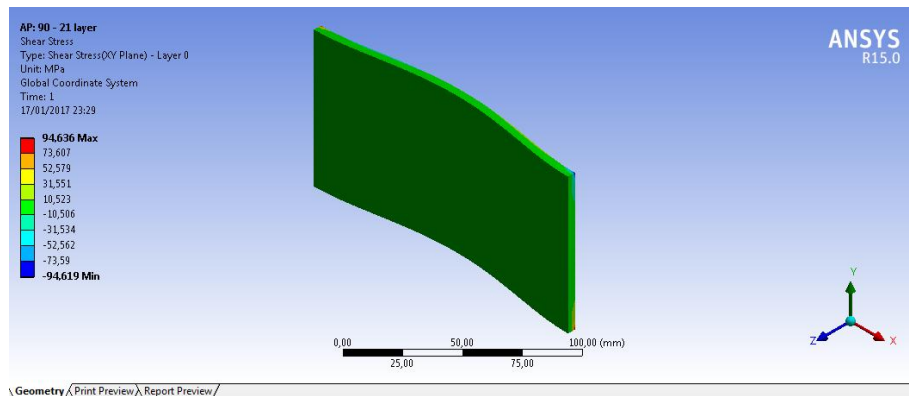
**Total deformation, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , Variasi 17 lapisan**

- 21 lapisan.

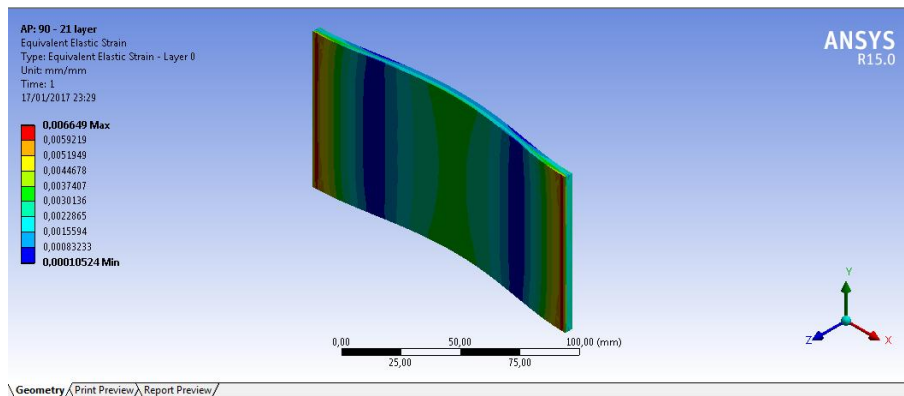


**Von mises stress, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , Variasi 21 lapisan**

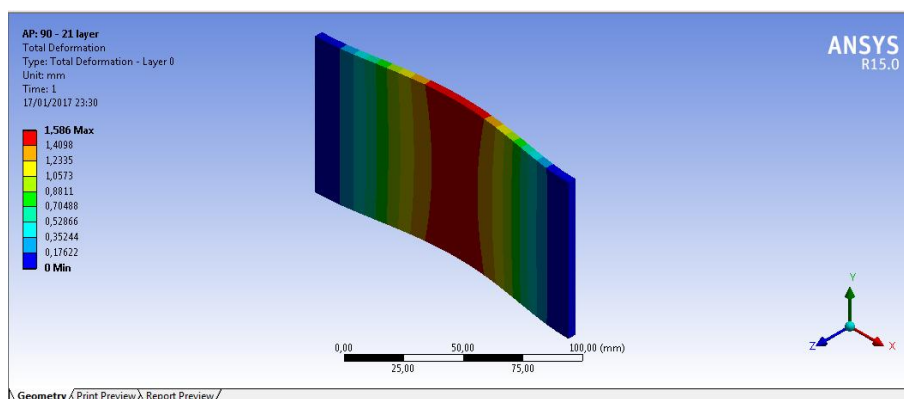




**Shear stress, Orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , Variasi 21 lapisan**



**Equivalent elastic strain , Orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , Variasi 21 lapisan**



**Total deformation , Orientasi sudut  $0^{\circ}, 90^{\circ}$ , Variasi 21 lapisan**

## RIWAYAT HIDUP



**Kadek Putra Muda Adyaksa** lahir di DKI Jakarta, pada tanggal 12 Maret 1995. Putra kedua dari 3 bersaudara pasangan Bapak I Gede Darpa S.H dan Ibu Ni Ketut Mutiari S.E. Bertempat tinggal di Jl. Mesjid Alfalaq No.72, Kp. Kebantenan RT. 05/08, Kel. Jatiasih, Kec. Jatiasih, Kota Bekasi, Jawa Barat 17423.

Menempuh pendidikan di SD Negeri Jatiasih VII Kota Bekasi, SMP Negeri Permata sakti Kota Bekasi, SMA Negeri 6 Kota Bekasi, dan Universitas Negeri Jakarta (UNJ) pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT).

Pengalaman Praktik Kerja Lapangan yang pernah dilaksanakan di PT. Fasarah Nada Rabbani pada tahun 2016 bagian Workshop. Melaksanakan PKM di SMKN 55 Jakarta tahun 2015, dan pernah menjadi peserta Kuliah Kerja Nyata Universitas Negeri Jakarta di wilayah Kecamatan Babelan, Kabupaten Bekasi, Provinsi Jawa Barat pada tahun 2015.

Selama menempuh pendidikan tinggi penulis aktif dalam organisasi diantaranya, Koordinator PSDM KMHB UNJ periode 2013, Ketua KMHB UNJ periode 2014, Dewan Penasihan KMHB UNJ 2015 dan 2016.

Selain keorganisasian, penulis juga pernah menjadi peserta Training Autodesk Inventor 2014 level essential tahun 2015, menjadi panitia Seminar Nasional Mesin dan Teknologi Kejuruan (SNMTK) tahun 2015, 2016 dan menjadi peserta Simposium Nasional RAPI XV UMS Tahun 2016 .