



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**STUDI PENAMBAHAN *COUPLING AGENT*  
ANHIDRAT MALEAT TERHADAP SIFAT  
MEKANIK DAN MORFOLOGI KOMPOSIT SERAT  
KARBON/EPOKSI UNTUK LAMBUNG KAPAL**

**YUDHISTIRA ADITYAWARDHANA**  
NRP. 02511440000103

Dosen Pembimbing :  
Dr. Eng. Hosta Ardhyana, ST., M.Sc.  
Amaliya Rasyida, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR- TL 141584**

**STUDI PENAMBAHAN *COUPLING AGENT* ANHIDRAT  
MALEAT TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN  
MORFOLOGI KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI  
UNTUK LAMBUNG KAPAL**

**YUDHISTIRA ADITYAWARDHANA  
NRP 02511440000103**

**Dosen Pembimbing:  
Dr. Eng. Hosta Ardhyana, ST., M.Sc.  
Amaliya Rasyida, ST., M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**STUDY OF ADDITION MALEIC ANHYDRIDE  
COUPLING AGENT ON MECHANICAL PROPERTIES  
AND MORPHOLOGY OF CARBON FIBER/EPOXY  
COMPOSITE FOR SHIP HULL**

**YUDHISTIRA ADITYAWARDHANA  
NRP 02511440000103**

**Advisors**

**Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc.**

**Amaliya Rasyida, ST, M.Sc**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2018**

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

**STUDI PENAMBAHAN *COUPLING AGENT* ANHIDRAT  
MALEAT TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN  
MORFOLOGI KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI  
UNTUK LAMBUNG KAPAL**

**LEMBAR PENGESAHAN**

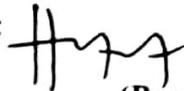
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada  
Programa Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**YUDHISTIRA ADITYAWARDHANA**  
**NRP. 02511440000103**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc



(Pembimbing I)

Amaliya Rasyida, ST, M.Sc



(Pembimbing II)



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# **STUDI PENAMBAHAN *COUPLING* AGENT ANHIDRAT MALEAT TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI UNTUK LAMBUNG KAPAL**

**Nama Mahasiswa** : Yudhistira Adityawardhana  
**NRP** : 02511440000103  
**Departemen** : Departemen Teknik Material  
**Dosen Pembimbing** : Dr.Eng Hosta Ardhyananta,  
ST,M.Sc.  
Amaliya Rasyida, ST, M.Sc

## **Abstrak**

*Kapal Laut di wilayah Indonesia banyak menggunakan material Fiberglass Reinforced Plastics (FRP) sebagai bahan konstruksinya tentu pada bagian lambungnya dikarenakan memiliki beberapa keunggulan seperti konstruksi ringan, biaya produksi murah, proses produksi cepat dan teknologi sederhana. Tetapi dengan menggunakan material Fiberglass Reinforced Plastics (FRP) mempunyai kelemahan yaitu stabilitas mekanik kurang baik dari pada kapal dengan material lain, kapal mudah terbawa oleh angin, tenaga pada kapal ikan untuk menarik peralatan penangkapan terlihat lebih lemah. Pada penelitian ini peneliti ingin menggunakan material Fibercarbon Reinforced Plastics sebagai material untuk lambung kapal karena material fiber carbon memiliki kelebihan dibanding fiber glass seperti kekuatan dan kekakuan tinggi. Penambahan MAH (anhidrat maleat) berfungsi sebagai coupling agent yang bertujuan untuk meningkatkan daya adhesi antara matrik dengan interface sehingga komposisi komposit semakin kuat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa sifat mekanik dan morfologi komposit serat karbon/epoksi untuk lambung kapal dengan variasi penambahan coupling agent MAH. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain Scanning Electron Microscope (SEM), Fourier Transfromation Infrared Spectroscopy (FTIR), uji*

*tarik, uji kekerasan dan uji densitas. Hasil dari Pengujian FTIR terdapat gugus fungsi O-H pada daerah serapan  $3482.35\text{ cm}^{-1}$ , gugus fungsi C-H aromatic pada daerah serapan  $3034.30\text{ cm}^{-1}$ , C=C pada daerah serapan  $1609.09\text{ cm}^{-1}$  dan terdapat C-O-R ether pada daerah serapan  $1027.14\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan material ini merupakan epoksi. Kemudian dengan penambahan coupling agent MAH terdapat gugus fungsi C=O sekitar  $1700\text{ cm}^{-1}$ . Secara Morfologi dapat dilihat penambahan MAH pada komposit, meningkatkan interface yang terbentuk antara serat dan matriks dengan menggunakan gambar SEM, diperoleh nilai rata-rata ukuran serat karbon sebesar  $5,941 \pm 4,862\ \mu\text{m}$ . Pada Pengujian Tarik didapat bahwa kekuatan tarik meningkat. Kekuatan Maksimum didapat pada penambahan 4% MAH yaitu sebesar 256.96 MPa dan Nilai Elongasi maksimum didapat pada penambahan 8% MAH yaitu sebesar 26,73 %. Pada Pengujian Kekerasan didapat bahwa kekerasan meningkat dan hasil maksimum pada penambahan 4% MAH yaitu sebesar 67,33 HD.*

***Kata Kunci: Kapal Laut, Lambung Kapal, MAH, Epoksi, Sifat Mekanik, Morfologi.***

# **STUDY OF ADDITION MALEIC ANHYDRIDE COUPLING AGENT ON MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF CARBON FIBER/EPOXY COMPOSITE FOR SHIP HULL**

**Name** : Yudhistira Adityawardhana  
**NRP** : 02511440000103  
**Department** : Material Engineering  
**Advisors** : Dr.Eng Hosta Ardhyananta, ST.,  
M.Sc.  
Amaliya Rasyida, ST, M.Sc

## **Abstract**

*Marine vessels in the region of Indonesia mostly use Fiberglass Reinforced Plastics (FRP) materials as construction materials on hull because it has several advantages such as light construction, low cost production, fast production process and simple technology. But using Fiberglass Reinforced Plastics (FRP) materials has a disadvantage such as mechanical stability is less good than the ship with other materials, the ship is easily carried by the wind, power on the fishing boat to attract the fishing equipment looks weaker. In this study researchers wanted to use Fibercarbon Reinforced Plastics material as a material for ship hull because carbon fiber material has advantages over glass fibers such as higher strength and stiffness. Then Addition MAH (maleic anhydride) has a function as a coupling agent that aims to improve the adhesion between the matrix with the interface so make the composite stronger. This study aims to analyze the mechanical and morphological properties of carbon fiber/epoxy composites for ship hull with variations the addition of MAH coupling agent. Tests conducted in this study include Scanning Electron Microscope (SEM), Fourier Transformation Infrared Spectroscopy (FTIR), tensile test, hardness test and density test. The results of the FTIR Test contained an OH functional group in an absorption area of  $3482.35\text{ cm}^{-1}$ , a functional group of CH*

*aromatic in an absorption area of  $3034.30\text{ cm}^{-1}$ ,  $C = C$  in an absorption area of  $1609.09\text{ cm}^{-1}$  and there was COR ether in an absorption area of  $1027.14\text{ cm}^{-1}$  shows this material is epoxy. Then with the addition of MAH coupling agent there is a functional group  $C = O$  about  $1700\text{ cm}^{-1}$ . Morphology can be seen the addition of MAH on the composite, improving the interface formed between fiber and matrix and by using SEM image, average carbon fiber diameter size is  $5.941 \pm 4.862\ \mu\text{m}$ . In Tensile Test it is found that tensile strength increases. Maximum strength obtained in the addition of 4% MAH is 256.96 MPa and Maximum Elongation Value obtained at 8% MAH addition is 26.73%. In Hardness Testing it is found that the hardness increases and the maximum value on the addition of 4% MAH is 67.33 HD.*

***Keywords: Marine Vessel, Hull Ship, MAH, Epoxy, Mechanical Properties, Morphology,.***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “**Studi Penambahan *Coupling Agent* Anhidrat Maleat Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit Serat Karbon/Epoksi Untuk Lambung Kapal**”.

Laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan tugas akhir, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan.
2. Kedua Orang Tua, Samesto Nitisastro dan Anita Meyana yang selalu memberikan dukungan moril dan materil serta doa yang tidak henti untuk penulis.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material.
5. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
6. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
7. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, S.T.,M.Sc.,Ph.D selaku dosen wali yang memberi motivasi.

8. Rama, Harits, Affan, Bakti, Fajryansyah serta teman-teman Lab Material Inovatif yang membantu kelancaran proses penyusunan proposal tugas akhir ini serta teman seperjuangan MT 16.
9. Semua yang tidak dapat saya sebutkan disini yang memberi dukungan dan membantu kelancaran proses tugas akhir ini.

Penulis menyadari jika laporan ini masih jauh dari sempurna, adanya saran dan kritik yang membangun dapat memberikan manfaat bagi penulis dan untuk studi selanjutnya. Demikian semoga laporan ini dapat memberikan informasi yang memadai bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Material Komposit.....	5
2.1.1 Unsur Penyusun Komposit .....	5
2.1.2 Klasifikasi Komposit.....	7
2.2 <i>Interface</i> .....	9
2.2.1 Teori Adhesi dan Tipe Ikatan .....	10
2.2.2 Tipe – Tipe Ikatan dalam <i>Interface</i> .....	11
2.3 Coupling Agent .....	14
2.3.1 Mekanisme Coupling Agent Pada <i>Interface</i> .....	15
2.4 Epoksi.....	16

2.4.1 Sintesis Epoksi .....	18
2.4.2 <i>Curing Agents</i> Epoksi.....	20
2.5 Trietilamina (TEA).....	22
2.6 Maleic Anhydride.....	23
2.7 <i>Carbon Fiber</i> (Serat Karbon).....	25
2.8 Proses Manufaktur Komposit.....	28
2.9 Komposit Pada Industri Kapal Laut .....	30
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir.....	37
3.2 Bahan Penelitian.....	39
3.3 Peralatan Penelitian .....	42
3.4 Variabel Penelitian .....	43
3.5 Prosedur Penelitian.....	43
3.6 Pengujian.....	45
3.7 Rancangan Penelitian .....	52
<b>BAB IV ANALISA DAN DATA PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Spektroskopi Inframerah Material Komposit Epoksi/Serat Karbon.....	55
4.2 Analisis Morfologi SEM Material Komposit Serat Karbon/Epoksi.....	57
4.3 Analisis Densitas Material Komposit Serat Karbon/Epoksi .....	64
4.4 Analisis Sifat Mekanik Tarik Material Komposit Serat Karbon/Epoksi.....	66
4.5 Analisis Sifat Mekanik Kekerasan Material Komposit Serat Karbon/Epoksi.....	70
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	

5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxi</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxvii</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>lv</b>

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Bentuk Serat Komposit.....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Bentuk <i>Reinforcement</i> Komposit.....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Klasifikasi Komposit Berdasarkan Serat dan Partikulat.....	8
<b>Gambar 2.4</b>	Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks.....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Ikatan <i>Interface</i> Terbentuk.....	11
<b>Gambar 2.6</b>	Ikatan Mekanis.....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Reaksi antara PP/PPMA/LCF.....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Ilustrasi interaksi molekuler yang digambarkan antara serat karbon teroksidasi dan MAPP.....	16
<b>Gambar 2.9</b>	Gugus Fungsi Epoksi.....	17
<b>Gambar 2.10</b>	Aplikasi Epoksi .....	17
<b>Gambar 2.11</b>	Sintesis DGEBA .....	19
<b>Gambar 2.12</b>	Reaksi Epoksi dengan Amina.....	22
<b>Gambar 2.13</b>	Struktur Kimia Trietilamina.....	23
<b>Gambar 2.14</b>	Struktur Kimia Anhidrat Maleat .....	24
<b>Gambar 2.15</b>	Skema Proses Manufaktur Serat Karbon .....	27
<b>Gambar 2.16</b>	Skema <i>Hand Lay-Up / Wet Lay-Up</i> .....	29
<b>Gambar 2.17</b>	Skema <i>Vacuum Bagging</i> .....	30
<b>Gambar 2.18</b>	Penggunaan Resin Pada Konstruksi Kapal Laut..	31
<b>Gambar 2.19</b>	Penggunaan Serat Pada Industri Kapal Laut.....	33
<b>Gambar 2.20</b>	Struktur Lambung Kapal Ikan 3 GT .....	34
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	38
<b>Gambar 3.2</b>	Epoksi Tipe Eposchon-A.....	39
<b>Gambar 3.3</b>	<i>Maleic Anhydride</i> .....	40
<b>Gambar 3.4</b>	<i>Triethylamin</i> (TEA).....	40
<b>Gambar 3.5</b>	Serat Karbon.....	41
<b>Gambar 3.6</b>	<i>Wax</i> .....	41
<b>Gambar 3.7</b>	Pencampuran Matriks secara manual stirrer .....	43
<b>Gambar 3.8</b>	Proses <i>curing</i> matriks selama 6 jam.....	44
<b>Gambar 3.9</b>	<i>Hand Lay-up</i> .....	44
<b>Gambar 3.10</b>	Proses <i>thermal curing</i> dalam Oven.....	45

<b>Gambar 3.11</b> Spesimen Komposit .....	45
<b>Gambar 3.12</b> Alat Uji SEM .....	47
<b>Gambar 3.13</b> Alat Uji FTIR.....	48
<b>Gambar 3.14</b> Dimensi Spesimen Uji Tarik.....	49
<b>Gambar 3.15</b> Kurva Tegangan Regangan .....	50
<b>Gambar 3.16</b> Alat Durometer Shore D Hardness Test .....	51
<b>Gambar 4.1</b> Spektra FTIR Material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan Anhidrat Maleat ( <i>Maleic Anhydride</i> (MAH)).....	56
<b>Gambar 4.2</b> Bentuk patahan spesimen uji tarik material Komposit Serat Karbon/Epoksi dengan Penambahan Anhidrat Maleat ( <i>Maleic Anhydride</i> (MAH)).....	58
<b>Gambar 4.3</b> Mikrografi SEM material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan Anhidrat Maleat ( <i>Maleic Anhydride</i> (MAH)) Perbesaran 1000x.....	59
<b>Gambar 4.4</b> Mikroskopi SEM permukaan patahan uji tarik material komposit Serat Karbon/Epoksi 0% MAH dengan ukuran seratnya.....	60
<b>Gambar 4.5</b> Mikrografi SEM material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan Anhidrat maleat ( <i>Maleic Anhydride</i> (MAH)) 500x.....	62
<b>Gambar 4.6</b> Mikrografi SEM material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan Anhidrat Maleat ( <i>Maleic Anhydride</i> (MAH))Perbesaran 2000x.....	63
<b>Gambar 4.7</b> Sifat Tarik dari Material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan Anhidrat Maleat ( <i>Maleic Anhydride</i> (MAH)) .....	68
<b>Gambar 4.8</b> Nilai Elongasi Material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan Anhidrat Maleat ( <i>Maleic Anhydride</i> (MAH)) .....	69
<b>Gambar 4.9</b> Sifat Kekerasan Material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan Anhidrat Maleat ( <i>Maleic Anhydride</i> (MAH)) .....	70

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Tipe- Tipe <i>Curing Agents</i> .....	21
<b>Tabel 2.2</b> Karakteristik <i>Maleic Anhydride</i> .....	25
<b>Tabel 2.3</b> Sifat Mekanik dan Fisik Prekursor PAN.....	26
<b>Tabel 2.4</b> Perbandingan Sifat Mekanik masing – masing resin..	32
<b>Tabel 2.5</b> Perbandingan Sifat Mekanik masing – masing serat .	33
<b>Tabel 2.6</b> Standar Minimum Kekuatan Kapal Tipe Patroli V30 menurut BKI.....	34
<b>Tabel 3.1</b> Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638.....	49
<b>Tabel 3.2</b> Rancangan Penelitian.....	53
<b>Tabel 4.1</b> Peak FTIR, Gugus Fungsi dan Jenis Ikatan pada Material Komposit Serat Karbon/Epoksi.....	56
<b>Tabel 4.2</b> Diameter Serat Karbon pada Material Komposit Serat Karbon/Epoksi .....	61
<b>Tabel 4.3</b> Densitas Material Penyusun Komposit Serat Karbon/Epoksi.....	65
<b>Tabel 4.4</b> Nilai Densitas Teoretis Material Komposit Serat Karbon/Epoksi.....	65
<b>Tabel 4.5</b> Nilai Densitas Eksperimental Material Komposit Serat Karbon/Epoksi .....	66

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri telah mendorong peningkatan dalam permintaan terhadap material komposit. Perkembangan bidang ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri mulai menyulitkan bahan konvensional seperti logam untuk memenuhi keperluan aplikasi baru. Industri pembuatan pesawat terbang, perkapalan, mobil dan industri pengangkutan merupakan contoh industri yang sekarang mengaplikasikan bahan-bahan yang memiliki sifat berdensitas rendah, tahan karat, kuat, tahan terhadap keausan dan *fatigue* serta ekonomis sebagai bahan baku industrinya (Hartono dkk., 2008). Material Komposit adalah kombinasi makroskopis dari dua atau lebih bahan berbeda. Komposit digunakan tidak hanya untuk sifat strukturalnya, tetapi juga untuk listrik, termal, *tribological* dan aplikasi lingkungan. Bahan komposit modern biasanya dioptimalkan untuk mencapai tertentu keseimbangan properti untuk berbagai aplikasi tertentu (Kutz, 1998). Komposit itu sendiri terdiri dari matriks dan penguat, Polimer adalah Matriks yang sering digunakan pada Material Komposit.

Resin Epoksi merupakan polimer yang sering digunakan menjadi matriks pada komposit. *Epoksi* adalah merupakan resin jenis termoset yang mempunyai dua atau lebih cincin oxirane dalam struktur molekulnya dan epoksi sendiri memiliki viskositas cair yang rendah tetapi mempunyai sifat mekanik yang bagus yaitu kekuatan tinggi dan *creep* sangat rendah selain itu juga mempunyai sifat ketahanan korosi yang sangat baik, ketahanan cuaca yang bagus, kemampuan bertahan pada saat temperatur naik, dan mempunyai sifat kelistrikan yang memadai (Ratna, 2009). *Maleic Anhydride*, atau dalam Bahasa Indonesia dikenal dengan anhidrat maleat adalah salah satu senyawa organik yang memiliki rumus

---



molekul  $C_6H_4O_3$ . Senyawa ini memiliki rantai siklis dan dapat disintesis dengan mengoksidasi benzena ( $C_6H_6$ ) atau Butana ( $C_4H_{10}$ ). *Maleic Anhydride* adalah *intermediate product* yang artinya *Maleic Anhydride* merupakan produk yang berfungsi sebagai bahan baku dari produk lainnya *Maleic Anhydride* memiliki banyak kegunaan di berbagai industri (Weissermelm, 1997).

Komposit juga mempunyai penguat berebentuk serat. Serat yang sering digunakan pada industri yaitu serat sintetis seperti serat karbon. Serat Karbon tersedia secara komersial dengan berbagai modulus tarik paling rendah sebesar 207 GPa hingga paling tinggi sebesar 1035 GPa. Serat Karbon memiliki beberapa kelebihan yaitu kekuatan tarik yang tinggi, koefisien ekspansi termal yang rendah, kekuatan *fatigue* yang rendah dan konduktivitas termal yang tinggi (Mallick, 2008). Serat Karbon juga sudah di aplikasikan di kapal laut pada bagian lambung, *deck*, dan bagian lainnya (GÖLPINAR, 2005).

Kapal Laut di wilayah Indonesia banyak menggunakan material *Fiberglass Reinforced Plastics (FRP)* sebagai bahan konstruksinya tentu pada bagian lambungnya (Ismail Marzuki, 2017) dikarenakan memiliki beberapa keunggulan seperti konstruksi ringan, biaya produksi murah, proses produksi cepat, galangan kapal tidak memerlukan investasi besar, teknologi sederhana dan tidak memerlukan kualifikasi tenaga kerja yang tinggi sehingga kebutuhan terus meningkat (Ma'ruf dkk., 2013). Tetapi dengan menggunakan material *Fiberglass Reinforced Plastics (FRP)* mempunyai kelemahan yaitu stabilitas mekanik kurang baik dari pada kapal dengan material lain, kapal mudah terbawa oleh angin, tenaga pada kapal ikan untuk menarik peralatan penangkapan terlihat lebih lemah dibandingkan kapal dengan material lain, teknik khusus dikehendaki dalam membangun kapal, material tidak cukup kuat bila bergesekan

---



dengan peralatan penangkapan dan material mudah terbakar seperti kayu (Yuwandana dkk., 2012).

Lalu pada penelitian ini peneliti ingin menggunakan material *Fibercarbon Reinforced Plastics* sebagai material untuk lambung kapal karena material *fiber carbon* memiliki kelebihan dibanding *fiber glass* seperti kekuatan dan kekakuan tinggi (Uthirapathy dkk., 2015) kemudian juga mempunyai ketahanan lelah (*fatigue*) yang tinggi (Balasubramanian, 2014). Lalu Penambahan Anhidrat Maleat berfungsi sebagai bahan pengikat (*coupling agent*) yang bertujuan untuk meningkatkan daya adhesi antara matrik dengan *interface* sehingga komposisi komposit semakin kuat (Zulanazri, 2012). *Interface* dalam komposit serat adalah permukaan yang dibentuk oleh batas umum dari serat penguat dan matriks yang bersentuhan dengan ikatan. Ini memiliki fisik dan sifat mekanik yang unik dari serat atau matriks (Kim dkk., 1998). Pada Penelitian sebelumnya material yang digunakan hanya *Glass fiber-reinforced polymer (GFRP)* dan juga serat alam untuk bahan konstruksi kapal. Diperlukan studi baru untuk meningkatkan sifat mekanik bahan konstruksi untuk kapal laut serta sifat lainnya. Untuk lebih meningkatkan sifat mekaniknya juga sifat – sifat lainnya pada material tersebut maka diperlukan studi penambahan Anhidrat Maleat Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit Serat Karbon/Epoksi Untuk Lambung Kapal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana Pengaruh penambahan anhidrat maleat terhadap sifat mekanik komposit serat karbon/epoksi untuk Lambung Kapal ?
2. Bagaimana Pengaruh penambahan anhidrat maleat terhadap morfologi komposit serat karbon/epoksi untuk Lambung Kapal ?



### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pengaruh cacat pada bahan diabaikan
2. Proses pengujian dan karakterisasi dianggap sama
3. Pencampuran komponen dianggap homogen

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis Pengaruh penambahan anhidrat maleat terhadap sifat mekanik komposit serat karbon/epoksi untuk Lambung Kapal
2. Menganalisis Pengaruh penambahan anhidrat maleat terhadap morfologi komposit serat karbon/epoksi untuk Lambung Kapal

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan anhidrat maleat terhadap sifat mekanik dan morfologi komposit serat karbon/epoksi untuk Lambung Kapal. Sehingga dapat diketahui penambahan dari anhidrat maleat sebagai *coupling agent* dan sebagai kandidat komposit pada Lambung Kapal yang mempunyai sifat mekanik dan juga sifat lainnya yang lebih bagus. Hal ini juga berguna untuk acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan material.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Material Komposit

Material Komposit adalah kombinasi makroskopis dari dua atau lebih bahan berbeda. Komposit digunakan tidak hanya untuk sifat strukturalnya, tetapi juga untuk listrik, termal, *tribological* dan aplikasi lingkungan. Bahan komposit modern biasanya dioptimalkan untuk mencapai tertentu keseimbangan properti untuk berbagai aplikasi tertentu. Mengingat berbagai macam bahan yang mungkin dianggap sebagai komposit dan rentang penggunaan yang luas dimana material komposit dapat dirancang, sulit untuk disepakati tunggal, sederhana, dan berguna. Bahan komposit yang dihasilkan memiliki keseimbangan sifat struktural itu lebih unggul dari bahan penyusun saja. Sifat struktural yang diperbaiki umumnya dihasilkan dari pembagian beban mekanisme (Kutz, 1998).

Meskipun komposit dioptimalkan untuk sifat fungsional lainnya (selain efisiensi struktural tinggi) dapat terjadi diproduksi dari kombinasi konstituen yang sama sekali berbeda dari pada definisi struktural ini, telah ditemukan komposit yang dikembangkan untuk aplikasi struktural juga memberikan kinerja menarik di bidang fungsional lainnya baik. Akibatnya, definisi sederhana untuk komposit struktural ini memberikan definisi yang berguna untuk fungsional terkini Komposit (Kutz, 1998).

#### 2.1.1 Unsur Penyusun Komposit

Material komposit memiliki penyusun:

##### 1. Matriks

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). *Matriks*, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit

---



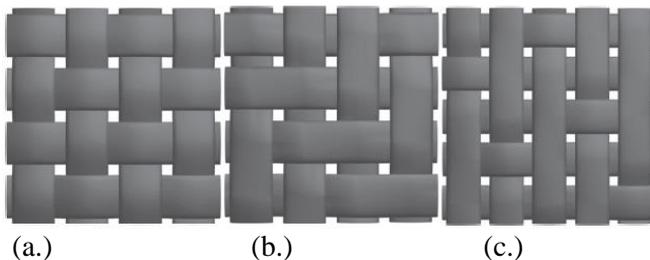
adalah matrik harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik, artinya tidak ada reaksi yang mengganggu. Umumnya matrik dipilih yang mempunyai ketahanan panas yang tinggi *Matriks* mempunyai fungsi sebagai mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren permukaan matrik/serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan, dan stabil setelah proses manufaktur (Oroh, 2013).

## 2. *Reinforcement* atau Penguat

Salah satu bagian utama dari komposit adalah reinforcement (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. jenis penguatnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

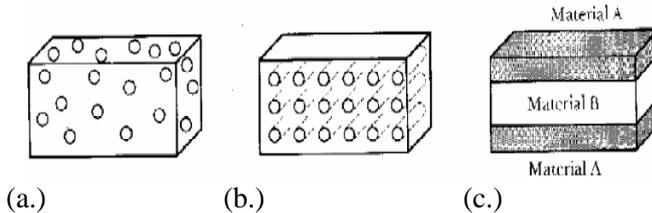
a. *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel ( Gambar 2.2 (a.) )

b. *Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat (Gambar 2.1 & Gambar 2.2 (b.))



**Gambar 2.1** Bentuk Serat Komposit (a.) Plain (b.) Twill (c.)  
Satin (Rana, 2016)

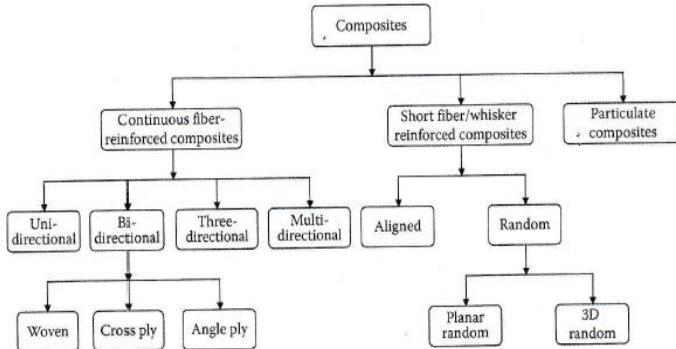
c. *Structural composite*, cara penggabungan material komposit (Gambar 2.2 (c.))



**Gambar 2.2** Bentuk *Reinforcement* Komposit (a.) Partikel (b.) Serat (c.) Struktur (Nayiroh, 2013)

### 2.1.2 Klasifikasi Komposit

Komposit bisa diklasifikasikan menjadi Komposit Alami dan Komposit Sintetik. Beberapa contoh sebuah komposit alami adalah kayu, tulang dan lainnya. Kayu adalah Komposit yang terbuat dari serat selulosa yang kuat dan flexibel dengan Matriks Lignin. Komponen tulang yang kuat dan getas yaitu hidroxy apatite platelets dan protein lembut yang kuat disebut kolagen. Meskipun komponen yang ada skala tipis dalam komposit alami, yaitu sangat sulit untuk menyesuaikan sifat komposit alami, komposit sintetik yaitu komposit buatan manusia. Dalam Komposit Sintetik, terdapat cukup fleksibilitas memilih *reinforced* yang cocok dan matriks dari berbagai variasi *reinforced* dan matriks, jadi komposit dengan sifat yang diinginkan bisa dibuat (Balasubramanian, 2014).



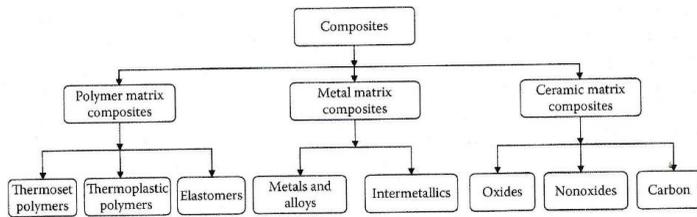
**Gambar 2.3** Klasifikasi Komposit Berdasarkan Serat dan Partikulat (Balasubramanian, 2014)

Berdasarkan fasa terdispersi, komposit bisa diklasifikasikan sebagai fiber reinforced composite (FRCs) dan komposit partikulat (Gambar 2.3). FRC bisa di fabrikasi sebagai lapisan tunggal atau komposit multilapisan. Ketika lapisan dalam komposit multilapisan dibuat dengan tipe sama sebuah serat penguat, disebut “ lamina “. Jika dua atau lebih tipe serat penguat digunakan dalam lapisan berbeda, disebut sebagai *Hybrid Composite*. Komposit seluruhnya akan mempunyai lapisan tunggal dalam komposit lapisan tunggal. Lalu juga termasuk komposit mempunyai orientasi sama dan sifatnya di setiap lapisan. Serat pendek atau panjang digunakan sebagai penguat dalam lapisan tunggal komposit (Balasubramanian, 2014).

*Hybrid Composite* dibuat dengan dua atau lebih tipe penguat. Biasanya dibuar dengan serat kaca/karbon, kaca/aramid, dan aramid/karbon. *Hybrid Composite* mempunyai keunggulan sifatnya atau cirinya dari bagian tipe penyusunnya. Contohnya pada *Hybrid Composite* kaca/karbon, biaya murah serat kaca, dan modulus tinggi serat karbon dengan diambil pertimbangan



membentuk biaya murah dan komposit modulus tinggi. (Balasubramanian, 2014).



**Gambar 2.4** Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks  
(Balasubramanian, 2014)

Berdasarkan material matriksnya, komposit di klasifikasikan sebagai *polymer matrix composite* (PMCs), *metal matrix composite* (MMCs), dan *ceramic matrix composite* (CMCs) Gambar (2.4). Tiga tipe komposit ini berbeda dalam metode manufakturnya, perilaku mekanik, dan karakter fungsinya. Material matriksnya bisa berupa polimer termoset, polimer thermoplastic atau elastomer dalam PMCs. Logam atau paduan metallic digunakan sebagai material matriks dalam MMCs. Umumnya logam ringan dan paduan seperti aluminium, titanium, dan paduannya yang digunakan. Dalam beberapa aplikasi khusus, logam berat seperti tembaga dan kobalt digunakan. Banyak oksida dan material keramik nonoksida digunakan sebagai material matriks CMCs (Balasubramanian, 2014).

## 2.2 Interface

Definisi klasik dari *interface* dalam komposit serat adalah permukaan yang dibentuk oleh batas umum dari serat penguat dan matriks yang bersentuhan dengan ikatan. Ini memiliki fisik dan sifat mekanik yang unik dari serat atau matriks. Di Sebaliknya, Interface adalah permukaan geometris dari kontak serat-matriks

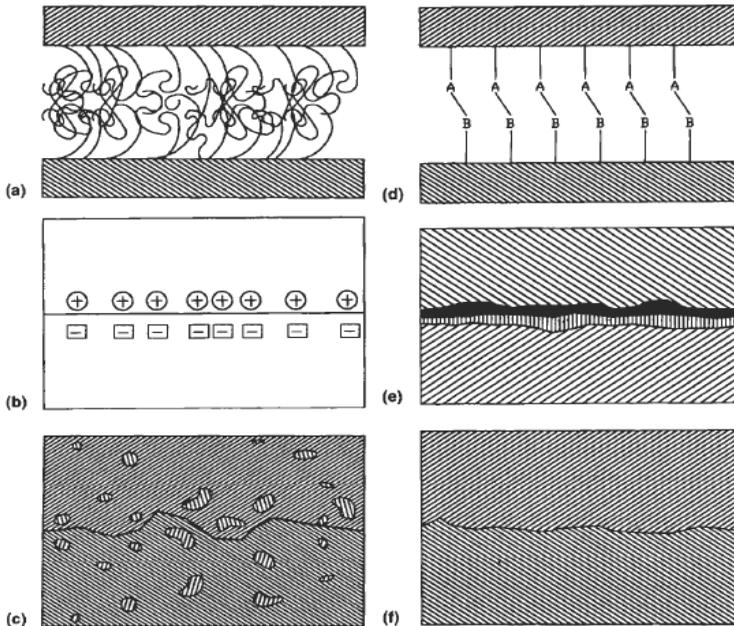
---



klasik serta wilayah volume terbatas yang membentang darinya, dimana bahan kimia, sifat fisik dan mekanik bervariasi baik secara kontinyu maupun secara bertahap antara serat *bulk* dan bahan matriks. Dengan kata lain, interfasa ada dari beberapa titik dalam serat melalui antarmuka yang sebenarnya ke dalam matriks, merangkul semua volume yang berubah selama proses penggabungan atau fabrikasi dari bahan serat dan matriks (Kim, 1998).

### **2.2.1 Teori Adhesi dan Tipe Ikatan**

Sifat ikatan tidak hanya bergantung pada susunan atomik, bentuk molekul dan susunan kimia dari serat dan matriks, tapi juga pada sifat morfologi serat, dan difusivitas unsur di masing-masing unsur. Oleh karena itu, system *interface* sangat spesifik untuk masing-masing matrik – serat. Adhesi pada umumnya dapat dikaitkan dengan mekanisme termasuk, namun tidak terbatas pada, adsorpsi dan *wetting*, daya tarik elektrostatik, ikatan kimia, ikatan reaksi, dan ikatan reaksi pertukaran. Skema ditunjukkan dalam Gambar 2.5



**Gambar 2.5** Ikatan *Interface* Terbentuk (a) oleh keterikatan molekul; (b) dengan daya tarik elektrostatis; (c) oleh interdifusi unsur; (d) oleh reaksi kimia antara kelompok A pada satu permukaan dan kelompok B pada permukaan lainnya; (e) dengan reaksi kimia berikut pembentukan senyawa baru, khususnya di MMC; (f) dengan *interlocking* mekanis (Kim, 1998).

## 2.2.2 Tipe – Tipe Ikatan dalam *Interface*

### 1. Ikatan Mekanis

*Simple mechanical keying or interlocking effects* antara dua permukaan bisa mengarah ke tingkat ikatan yang cukup besar. Dalam komposit diperkuat serat, ada pergerakan dari matriks ke serat pusat akan menghasilkan mencengkeram serat oleh matriks. Bayangkan, misalnya, situasi di mana matriks di komposit secara

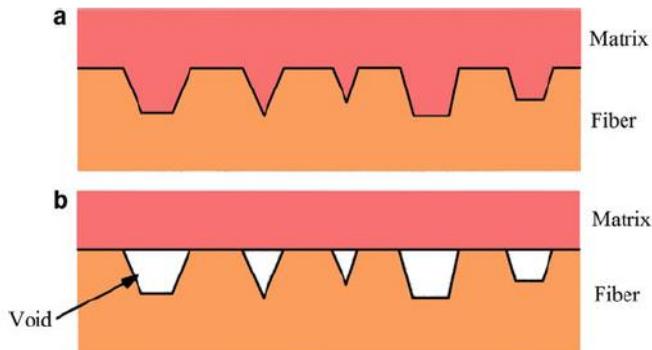
---



radial menyusut lebih banyak daripada serat pada pendinginan dari suhu tinggi. Secara umum, ikatan mekanis adalah ikatan energi rendah dengan ikatan kimia, yaitu kekuatan ikatan mekanis lebih rendah daripada ikatan kimia. Jika, di sisi lain matriks, polimer cair atau logam cair, tidak mampu menembus kekasaran pada permukaan serat, maka matriks akan memadat dan meninggalkannya rongga *interface*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. (Chawla, 2012).

Contoh kekasaran permukaan yang berkontribusi untuk kekuatan *interface* meliputi :

1. Perawatan permukaan serat karbon, misalnya oksidasi asam nitrat dari serat karbon, yang meningkatkan luas permukaan spesifik dan menyebabkan pembasahan yang baik di PMCs, akibatnya kekuatan komposit geser interlaminar yang ditingkatkan (ILSS)
2. Sebagian besar komposit matriks logam akan memiliki mekanis yang diinduksi kekasaran ikatan antara penguatan keramik dan matriks logam
3. Sebagian besar sistem CMC juga menunjukkan grip mekanis antara matriks dan serat



**Gambar 2.6** Ikatan Mekanis (a.) Ikatan Mekanis yang baik (b.)  
Ikatan Mekanis yang kurang baik (Chawla, 2012)

## 2. Ikatan Fisik dan Ikatan Kimia

Setiap ikatan yang melibatkan kekuatan lemah, sekunder atau van der Waals, Interaksi dipolar, dan ikatan hidrogen dapat diklasifikasikan sebagai ikatan fisik. Energi ikatan dalam ikatan fisik semacam itu sangat rendah, kira-kira 8-16 kJ / mol. Pergerakan atom atau molekuler, dengan proses diffusional, terlibat dalam kimia ikatan Larutan padat dan pembentukan senyawa dapat terjadi pada antarmuka, menghasilkan zona reaksi antar muka penguatan / matriks yang memiliki tertentu ketebalan. Ini mencakup semua jenis ikatan kovalen, ionik dan logam. Ikatan kimia melibatkan kekuatan primer dan energi ikatan berada pada kisaran kira-kira 40-400 kJ / mol (Chawla, 2012).

Ada dua jenis ikatan kimia utama :

1. *Dissolution bonding*. Dalam hal ini, interaksi antar komponen terjadi pada skala elektronik. Karena interaksi ini agak pendek, penting bahwa komponen tersebut masuk ke dalam sebesar skala atom. Ini menyiratkan bahwa permukaan harus diperlakukan dengan tepat untuk



menghilangkan pengotor. Setiap kontaminasi permukaan serat, atau gelembung udara atau gas yang terperangkap di *interface*, akan menghambat kontak intim yang dibutuhkan antar komponen.

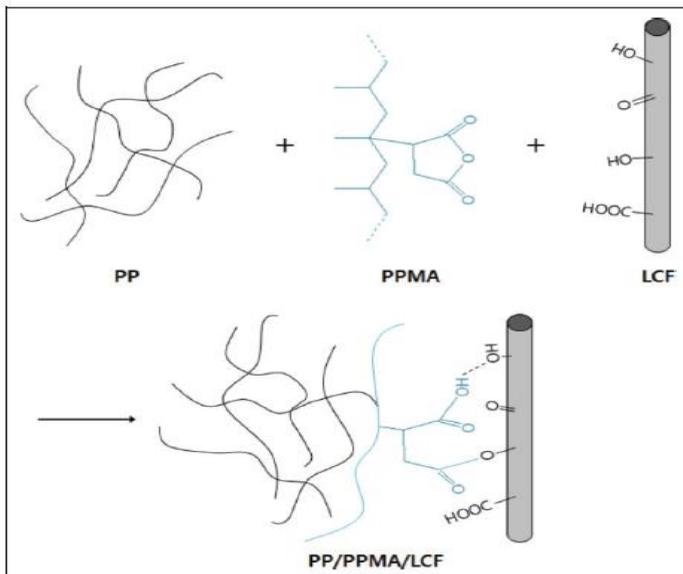
2. *Reaction bonding*. Dalam hal ini, transportasi molekul, atom atau ion terjadi dari satu atau kedua komponen ke lokasi reaksi, yaitu *interface*. Ini Transportasi atom dikendalikan oleh proses diffusional. Ikatan semacam itu bisa ada pada berbagai *interface*, misalnya kaca / polimer, logam / logam, logam / keramik atau keramik / keramik (Chawla, 2012).

### 2.3 Coupling Agent

Sifat dari campuran polimer atau sistem polimer yang terisi sangat bergantung pada kompatibilitas antara polimer konstituen dalam campuran atau antara polimer dan pengisi dalam sistem polimer-diisi. Terminologi lain seperti *wetting* dan *interfacial adhesion* terkadang digunakan untuk mencerminkan kompatibilitas. Untuk polimer yang diisi sistem, ketidaksesuaian menghasilkan *interface* yang lemah, yang mengalami pengurangan drastis dalam sifat mekanik. *Coupling Agent* digunakan untuk meningkatkan kompatibilitas, *wetting* atau interaksi antara polimer penyusun dalam campuran, atau antara polimer dan pengisi dalam sistem polimer. *Coupling Agent* telah ditemukan menjadi sangat sukses untuk meningkatkan sifat campuran termoplastik. Namun, dalam sistem resin termoset *Coupling Agent* banyak digunakan untuk memperbaiki *wetting* filler oleh resin dari matriks. Senyawa silan seperti trichlorovinyl silane, triethoxyvinyl silane, dan  $\gamma$ -glycidoxypropyl-trimethoxy silane adalah contoh *Coupling Agent* untuk resin termoset (Ratna, 2009).

### 2.3.1 Mekanisme Coupling Agent Pada Interface

Karena *Coupling Agent* memiliki berat molekul rata-rata yang rendah, maka *wettability* dari matriks meningkat ketika jumlah *Coupling Agent* meningkat menurut (Wong, 2012). Selanjutnya, ini *Coupling Agent* mempengaruhi *interfacial adhesion* antara matriks dan permukaan serat s dapat meningkatkan kekuatannya disebabkan terdapat *Chemical Bonding* (Kim, 2014).



**Gambar 2.7** Reaksi antara PP/PPMA/LCF (Kim, 2014)

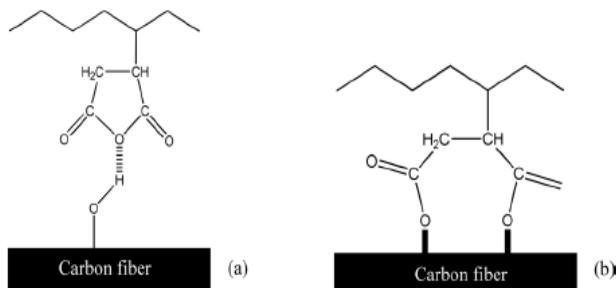
Reaksi *Coupling Agent* pada *interface* contohnya yaitu reaksi polipropilen sebagai Matriks lalu PPMA (*Maleic Anhydride Grafted-Polypropylene*) sebagai *Coupling Agent* dan LCF (*Long Carbon Fiber*) sebagai filler atau serat dapat bereaksi satu sama lain antara permukaan serat dan anhidrida maleat dari kelompok

---



PPMA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Gugus hidroksil pada permukaan serat mungkin terikat secara kovalen dengan PPMA karena permukaan serat karbon dapat mengandung beberapa kelompok kimia, seperti gugus karboksil, epoksi, eter, dan hidroksil (Kim, 2014).

Lalu contoh yang lain pada Gambar 2.8 yaitu ilustrasi interaksi molekuler yang terjadi antara serat karbon teroxyfluorinasi (mengandung oksigen dan fluorine yang tinggi) dan MAPP (*Maleic Anhydride Grafted-Polypropylene*) reaksinya antara serat karbon dan MAPP dijelaskan dalam reaksi berikut. Kelompok OH dari serat bereaksi dengan gugus anhidrida dan asam maleat dari MAPP membentuk Ikatan Hidrogen dan Ester (Hyun dkk., 2016).

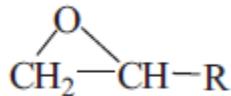


**Gambar 2.8** Ilustrasi interaksi molekuler yang digambarkan antara serat karbon teroxyfluorinasi dan MAPP (Hyun dkk., 2016)

## 2.4 Epoksi

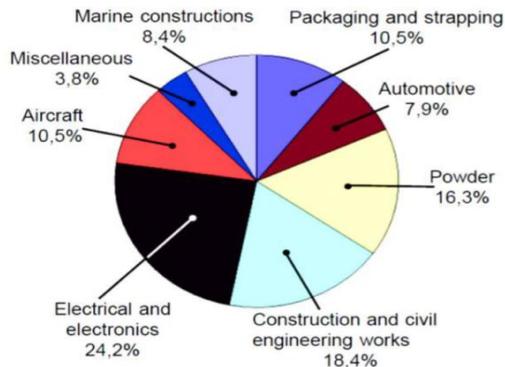
Resin Epoxy ditemukan tahun 1909 oleh Prieleschajew. Resin Epoxy di definisikan sebagai “ *low-molecular-weight pre-polymers* “ mengandung lebih dari satu grup epoxy dalam suatu fungsi (Gambar 2.9) :

---



**Gambar 2.9** Gugus Fungsi Epoksi (Jin, 2015)

Resin Epoxy merupakan resin jenis termoset , yang di cured menggunakan bermacam – macam variasi “ *curing agents* “ dengan reaksi *curing*. Sifatnya bergantung dengan kombinasi spesifik tipe sebuah resin epoksi dan “ *curing agents* “ yang digunakan (Jin, 2015). Karena mempunyai sifat mekanik yang bagus , adhesif tinggi untuk banyak substrat , dan ketahanan panas dan kimia bagus dan Epoksi dapat di aplikasikan di berbagai bidang (Gambar 2.10) (Jin, 2015).

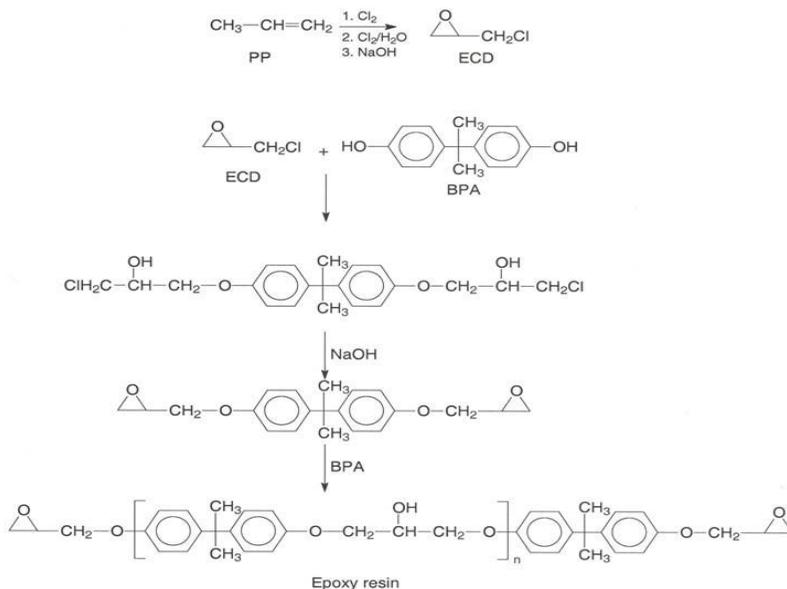


**Gambar 2.10** Aplikasi Epoksi (Augustsson, 2004)



### 2.4.1 Sintesis Epoksi

Resin Epoksi adalah senyawa yang mengandung lebih dari satu kelompok epoksida dalam satu molekulnya. Kelompok epoksida atau yang sering disebut sebagai kelompok glycidyl inilah yang menjadi alasan pemberian nama Epoksi. Epoksi berasal dari oksigen yang berikatan dengan rantai karbon yang disebut *oxide*, kata pertama *epi* yang berarti "*the outside of*" dan kata kedua berasal dari oksigen, yang kemudian dikenal dengan sebutan epoksi. Resin epoksi yang paling umum adalah diglycidyl ether dari bisphenol A (DGEBA), yaitu reaksi yang terjadi antara epiklorohidrin (ECD) dan bisphenol A (BPA) ditunjukkan pada Gambar 2.11 (Ratna, 2009).



**Gambar 2.11** Sintesis DGEBA (Ratna, 2009).

ECD dibuat dari polipropilena (PP) dengan mereaksikan klorin dengan natrium hidroksida. ECD mampu bereaksi dengan BPA dengan adanya sodium hidroksida. Langkah pertama adalah pembelahan cincin oksiran ECD oleh kelompok hidroksil BPA. Langkah kedua adalah siklisasi di media basa, yang mengarah ke pembentukan peralihan epoksi. Perantara kemudian mengalami perpanjangan rantai dengan BPA untuk menghasilkan resin epoksi. Berbagai macam resin dapat diproduksi dengan menyesuaikan konsentrasi reaktan. Resin cair dapat diregangkan lebih lanjut dengan BPA untuk membuat resin padat dengan berat molekul lebih tinggi (Ratna, 2009).



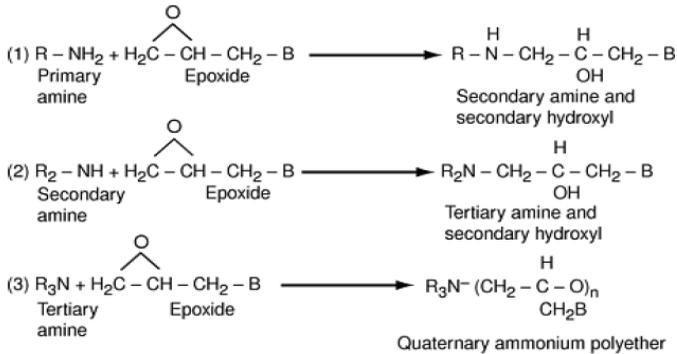
### **2.4.2 Curing Agents Epoksi**

*Curing Agents* Epoksi untuk mengendalikan reaksi *curing* resin epoksi. *Curing* resin epoksi dilakukan dengan menambahkan *curing agents*. Perubahan ireversibel pada resin epoksi terjadi selama proses *curing*. Kinetika *curing* dan Tg resin epoksi adalah tergantung pada struktur molekul *Curing Agents*. *Curing Agents* dapat dibagi menjadi *Curing Agents* tipe amina, alkali, anhidrida dan katalitik sesuai dengan komposisi kimia masing – masing (Jin , 2015). Ditunjukkan pada Tabel 2.1 Tipe- Tipe *Curing Agents* Beserta kelebihan dan kelemahannya dan juga reaksi epoksi dengan amina di gambar 2.12



**Tabel 2.1** Tipe- Tipe Curing Agents (Debdatta Ratna,2009)

Tipe	Kelebihan	Kelemahan
<i>Aliphatic amine</i>	Biaya murah	Keatsirian Tinggi
	Viskositas rendah	Beracun
	Mudah di campur	
	<i>Curing</i> pada temperatur kamar	
	Reaksi Cepat	
<i>Cycloaliphatic amine</i>	<i>Curing</i> pada temperatur kamar	Biaya Mahal
	Ketangguhan dan sifat termal lebih bagus dibanding <i>aliphatic amine</i>	Ketahanan Kimia Buruk
		Ketahanan Pelarut Buruk
<i>Aromatic Amine</i>	Tg Tinggi	Umumnya Berbentuk solid
	Ketahanan kimia dan sifat termal lebih tinggi dibanding <i>aliphatic amine</i> dan <i>cycloaliphatic amine</i>	Temperatur <i>curing</i> tinggi
<i>Anhydride</i>	Tg Tinggi dibandingkan dengan <i>amine curing agent</i> , ketahan kimia dan panas sangat bagus	Sulit dilakukan pencampuran dan <i>curing</i> membutuhkan temperatur tinggi
<i>Dcy</i>	Keatsirian rendah, adhesi meningkat, kelenturan dan ketangguhan bagus	Temperatur <i>curing</i> tinggi, sesitif terhadap kelembaman
<i>Polysulfide</i>	Kelenturan bagus dan <i>curing</i> cepat	sifat termal dan umur buruk
<i>Polyamide</i>	Keatsirian rendah, toksik rendah, <i>curing</i> temperatur tinggi, adhesi bagus, kelenturan dan ketangguhan bagus dibanding <i>aliphatic amine</i>	Tg rendah pada ikatan, biaya dan viskositas tinggi



**Gambar 2.12** Reaksi Epoksi dengan Amina (ASM, 2001)

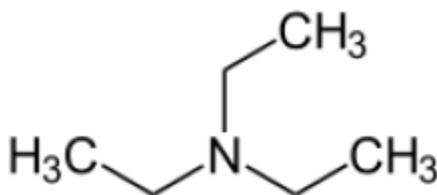
## 2.5 Trietilamina (TEA)

Trietilamina adalah senyawa kimia yang memiliki rumus  $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3$  dan umumnya disingkat menjadi  $\text{Et}_3\text{N}$ . Kadangkala ia juga disingkat menjadi TEA, namun singkatan ini dapat dirancukan dengan trietanolamina yang juga disingkat dengan singkatan yang sama. Trietilamina sering dijumpai dalam proses-proses sintesis organik karena bentuk amina bertrisubstituenya yang simetris dan berwujud cair pada suhu kamar. Trietilamina memiliki aroma busuk ikan yang mirip dengan amonia. Diisopropiletilamina (basa Hünig) sering digunakan sebagai pengganti trietilamina. Trietilamina juga bertanggungjawab terhadap aroma tumbuhan *Crataegus* (Howtorn, 2008).

Trietilamina umumnya dipakai dalam sintesis organik sebagai basa, umumnya untuk pembuatan ester dan amida dari asil klorida (Sorgi, 2001). Reaksi ini akan menghasilkan asam klorida yang akan kemudian bereaksi dengan trietilamina dan menghasilkan garam trietilamonium klorida. Trietilamina oleh karenanya menghilangkan asam klorida dari larutan reaksi sehingga reaksi dapat berjalan dengan penuh ( $\text{R}$ ,  $\text{R}' = \text{alkil}$ , aril):



ditunjukkan pada Persamaan 2.1 dan struktur kimia trietilamina ditunjukkan pada gambar 2.13



**Gambar 2.13** Struktur kimia Trietilamina (Sorgi, 2001)

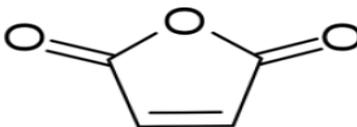
## 2.6 Maleic Anhydride

*Maleic Anhydride*, atau dalam Bahasa Indonesia dikenal dengan maleat anhidrat adalah salah satu senyawa organik yang memiliki rumus molekul  $C_6H_4O_3$  seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.14 senyawa ini memiliki rantai siklis dan dapat disintesis dengan mengoksidasi benzena ( $C_6H_6$ ) atau Butana ( $C_4H_{10}$ ). *Maleic Anhydride* adalah intermediate product yang artinya *Maleic Anhydride* merupakan produk yang berfungsi sebagai bahan baku dari produk lainnya. *Maleic Anhydride* memiliki banyak kegunaan di berbagai industri, namun paling banyak digunakan adalah sebagai bahan baku *unsaturated polyester resin*. Sekitar 64% dari produksi *Maleic Anhydride* di dunia terserap pada industri *unsaturated polyester resin* ini. Sedangkan kegunaan lainnya adalah sebagai alkyl resin, bahan kopolimer, agricultural chemical, dan lubricant additive. *Maleic Anhydride* dan *maleic acid* ester digunakan untuk modifikasi homopolimer pada industri cat. Maleic Anhidrida dapat dihasilkan dengan menggunakan dua proses yang berbeda. Proses ini adalah proses yang pertama kali ditemukannamun seiring berjalannya waktu ditemukan cara lain untuk mendapatkan *Maleic Anhydride* yaitu dengan mengoksidasi

---



senyawa butana. Proses oksidasi benzena ialah dengan mengoksidasi benzena dengan oksigen yang diperoleh dari udara dengan menggunakan katalis  $V_2O_5$ . Reaksi terjadi pada fase gas dan bersifat eksotermis sehingga biasanya reaksi dijalankan pada reaktor fixed bed multi-tube yang dilengkapi dengan pendingin untuk membawa panas keluar reaktor (Weissermelm, 1997).



**Gambar 2.14** Struktur kimia Anhidrat Maleat  
(Weissermelm, 1997)

Proses oksidasi butana ( $C_4H_{10}$ ) dengan oksigen untuk memproduksi Maleic Anhydride dilakukan pada temperatur 400-480°C. Katalis Vanadium Fosfor Oksida (VPO) umumnya digunakan sebagai katalis pada proses yang berdasarkan pada oksidasi n-butana. Pembuatan Maleic Anhydride dari oksidasi benzena adalah proses yang dipilih. Kelebihan dari proses oksidasi benzena ialah yield yang lebih tinggi dibandingkan dengan oksidasi butana dan reaksinya yang lebih sederhana dibandingkan dengan oksidasi butana karena benzena sudah berantai siklik seperti Maleic Anhydride sendiri. Kelemahan dari proses ini ialah harga bahan baku benzena yang lebih mahal dibandingkan dengan butana dan kurang ramah lingkungan karena menggunakan benzena yang bersifat toxic (Ketta, 1978). Sifat – sifat *Maleic Anhydride* ditunjukkan Tabel 2.2



**Tabel 2.2** Karakteristik *Maleic Anhydride* (Cheromics, 2016)

<b>Sifat</b>	<b>Nilai</b>
Kerapatan	1.6-2.25 gr/cm
Berat Molekul	98.1 gr/mol
Titik Leleh	60 C
Titik Didih	202 C
Densitas ( 20 C )	1,314 gr/m
Kelarutan	Larut dalam air sebesar 16% (30 C) larut dalam aseton, eter, kloroform, dan petroleum

Untuk meningkatkan kualitas produk komposit ditambahkan bahan pengikat (*coupling agent*) yang bertujuan untuk meningkatkan daya adhesi antara matrik dengan *interface* sehingga komposisi komposit semakin kuat. Penggunaan *Coupling agent* akan membentuk ikatan silang (*Cross Link*) antara satu jenis material dengan material lainnya sehingga komposit semakin kuat. *Coupling agent* yang mudah membentuk ikatan silang (*Cross Link*) antara polimer adalah anhidrat maleat. Anhidrat maleat adalah senyawa yang akan membentuk ikatan silang (*Cross Link*) antara polimer dengan polimer lainnya (Zulanazri, 2012).

### **2.7 Carbon Fiber (Serat Karbon)**

Serat karbon dibuat dari serat pitch, serat polimer (mis., poliakrilonitril) atau gas karbon (misalnya asetilena). Yang terbuat dari pitch dan serat polimer tersedia secara komersial, sedangkan yang terbuat dari Gas karbon belum tersedia secara komersial. Yang terbuat dari lapangan adalah serat polimer berbentuk pendek dan kontinyu, sedangkan yang dibuat dari gas karbon hanya dalam bentuk pendek. Serat terbuat dari pitch dan gas karbon lebih mudah dibandingkan dengan yang dibuat polimer, sehingga mereka dapat mencapai konduktivitas termal yang lebih tinggi dan listrik yang lebih rendah resistivitas (Chung, 1994).

---



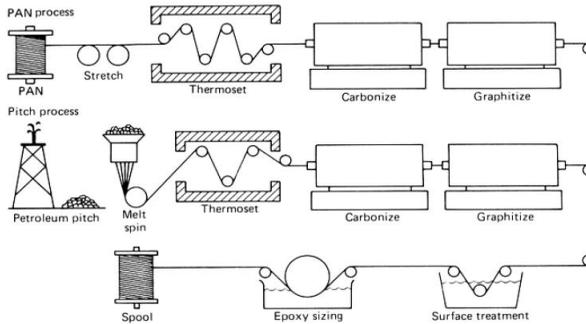
Serat PAN digunakan untuk dikategorikan menjadi modulus, *intermediate* dan modulus standar. Persembahan baru oleh produsen serat sedikit mengaburkan kategori ini. Perbedaan antara ketiga kategori untuk serat yang terbuat dari prekursor tertentu adalah karena kombinasi peregangan mekanis, perlakuan panas dan / atau pemintalan pemintalan. Pada Tabel 2.3 ditunjukkan sifat serat karbon. Lalu Proses Manufaktur Serat Karbon yaitu Sumber prekursor yang digunakan, dalam urutan volume, adalah PAN, pitch dan rayon. Meskipun rincian pemrosesan spesifik untuk setiap prekursor berbeda, semua mengikuti urutan dasar yang melibatkan pemintalan, stabilisasi, karbonisasi dan penerapan akhir atau ukuran untuk

**Tabel 2.3** Sifat Mekanik dan Fisik Prekursor PAN (ASM, 2001)

Sifat	Modulus Standar Komersial
Modulus Tarik ,Gpa ( $10^6$ psi)	228
Kekuatan Tarik	380
Elongasi	1.6
Resisivitas elektrik	1650
konduktivitas termal	20(11.6)
konduktivitas termal ekspnansi	-0.4
Densitas	1.8
Konten Karbon	95
Diameter Filamen	6 sampai 8

memudahkan penanganan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15 serat karbon terputus-putus juga sekarang diproduksi di sebuah proses batch dari gas hidrokarbon menggunakan mekanisme pertumbuhan padat-uap-cair (ASM, 2001).

---



**Gambar 2.15** Skema Proses Manufaktur Serat Karbon (ASM, 2001)

Serat Karbon berbasis PAN. Mayoritas dari semua serat karbon yang digunakan saat ini terbuat dari prekursor PAN, yang merupakan bentuk dari serat akrilik. Pembuatan prekursor dilakukan dengan memutar polimer PAN menjadi filamen dengan varian proses pembuatan serat tekstil standar. Serat PAN berwarna putih, dengan kerapatan sekitar  $1,17 \text{ g / cm}^3$  ( $0,042 \text{ lb / in}^3$ ) dan struktur molekul terdiri dari molekul rantai panjang yang berorientasi. Stabilisasi melibatkan peregangan dan pemanasan serat PAN sampai sekitar  $200$  sampai  $300^\circ \text{ C}$  ( $390$  sampai  $570^\circ \text{ F}$ ) dalam kandungan oksigen atmosfer untuk mengarahkan lebih jauh dan kemudian menghubungkan molekul, sehingga bisa bertahan pada pirolisa suhu tinggi tanpa membusuk. Peregangan setelah berputar dan selama stabilisasi membantu mengembangkan molekul yang sangat berorientasi struktur yang memungkinkan pengembangan modulus tarik tinggi dan kekuatan tarik yang meningkat pada perlakuan panas berikutnya (ASM, 2001).

Karbonisasi serat modulus standar dan menengah biasanya melibatkan pembekuan serat ke suhu mulai dari  $1000$  sampai  $1500^\circ \text{ C}$  ( $1800$  sampai  $2700^\circ \text{ F}$ ) dalam atmosfer inert, biasanya sampai kandungan karbon  $95\%$ . Tambahan tinggi



Langkah perlakuan panas disertakan hanya setelah karbonisasi untuk beberapa serat modulus sangat tinggi. Selama karbonisasi, Serat menyusut dengan diameter dan beratnya sekitar 50%. Pengendalian pada longitudinal shrinkage membantu berkembang orientasi molekul tambahan, meningkatkan sifat mekanik lebih lanjut. Setelah karbonisasi, serat dapat dijalankan melalui tahap pengolahan permukaan yang dirancang untuk membersihkan dan melampirkan kelompok fungsional ke permukaan serat, yang meningkatkan kekuatan ikatan dengan resin matriks. Kebanyakan produsen menggunakan oksidasi elektrolitik proses yang menciptakan gugus karboksil, karbonil dan hidroksil di permukaan untuk ikatan yang lebih baik. Ukuran atau selesai adalah kemudian diterapkan untuk meminimalkan kerusakan penanganan selama *spooling* dan meningkatkan ikatan dengan matriks resin (ASM, 2001).

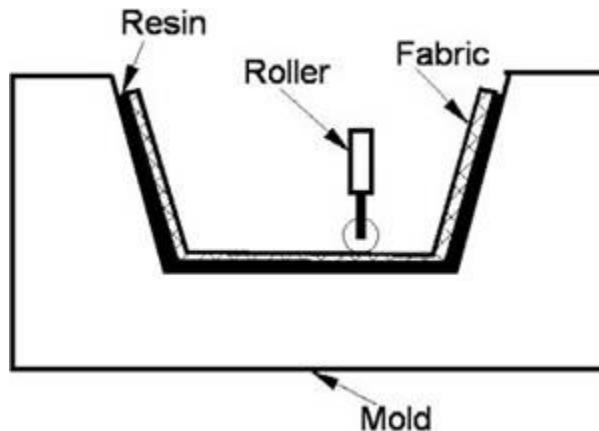
## 2.8 Proses Manufaktur Komposit

Material komposit memiliki beberapa teknik manufaktur yaitu

### 1. *Hand Lay Up / Wet Lay Up*

Pada awalnya, proses *wet lay-up* merupakan rekayasa yang dominan metode pembuatan bagian komposit. Di Proses ini, resin cair diaplikasikan pada cetakan dan kemudian penguatnya ditempatkan di atas rol digunakan untuk merekatkan serat dengan resin. Lapisan resin lain dan penguatan diaplikasikan sampai ketebalan yang sesuai terbentuk. Ini adalah proses yang sangat fleksibel yang memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan bagian dengan menempatkan berbagai jenis bahan kain dan tikar. Karena penguatannya ditempatkan secara manual, disebut juga proses *Hand lay-up*. Proses ini membutuhkan sedikit investasi dan keahlian modal dan karena itu mudah digunakan. Desain cetakan untuk proses *wet lay-up* sangat sederhana dibandingkan dengan Proses manufaktur lainnya karena prosesnya membutuhkan sebagian besar proses *curing* pada temperatur kamar dengan

tekanan rendah. Baja, kayu, GRP dan Bahan lainnya digunakan sebagai bahan cetakan untuk keperluan prototype. Skema proses lay-up basah ditunjukkan pada Gambar 2.16, di mana ketebalan bagian komposit dibangun dengan menerapkan serangkaian penguatannlapisan dan lapisan resin cair. Rol digunakan untuk memeras resin berlebih dan membuat distribusi resin yang seragam di seluruh permukaan. Dengan Meremas roller, pembulatan serat homogen diperoleh (Mazumdar, 2002).



**Gambar 2.16** Skema *Hand Lay-Up / Wet Lay-Up* (Mazumdar, 2002)

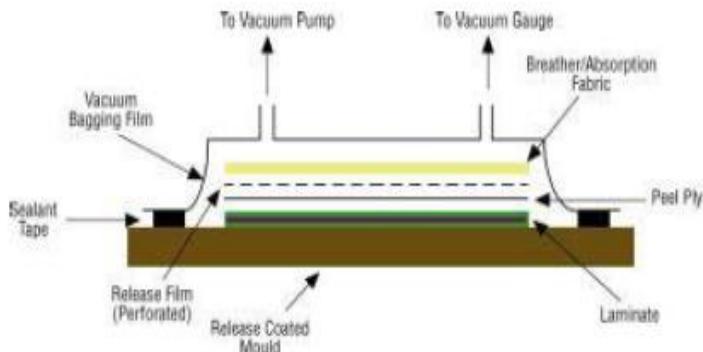
Bagian ini kemudian dicuring umumnya pada suhu kamar dan sekali dipadatkan, itu dihapus dari cetakan waktu siklus proses keseluruhan ditentukan oleh ukuran komponen sebagai begitu juga formulasi resin yang digunakan (Mazumdar, 2002).

## 2. *Vacuum Bagging*

Proses vacuum bag merupakan penyempurnaan dari hand lay-up, penggunaan dari proses vakum ini adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan kelebihan resin (Gambar 2.17 ). Pada

---

proses ini digunakan pompa vakum untuk menghisap udara yang ada dalam wadah atau tempat dimana komposit akan dilakukan proses pencetakan. Dengan divakumkan udara dalam wadah maka udara yang ada diluar penutup plastik akan menekan kearah dalam (Setyanto, 2012).



**Gambar 2.17** Skema *Vacuum Bagging* (Setyanto, 2012)

Hal ini akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam spesimen komposit akan dapat diminimalkan. Dibandingkan dengan hand lay-up, metode vakum memberikan penguatan konsentrasi yang lebih tinggi, adhesi yang lebih baik antara lapisan dan kontrol yang lebih terhadap rasio resin / kaca. Aplikasi dari metoda *vacuum bag* ini adalah pembuatan kapal pesiar, komponen mobil balap, perahu, dan lain-lain (Setyanto, 2012).

## 2.9 Komposit Pada Industri Kapal Laut

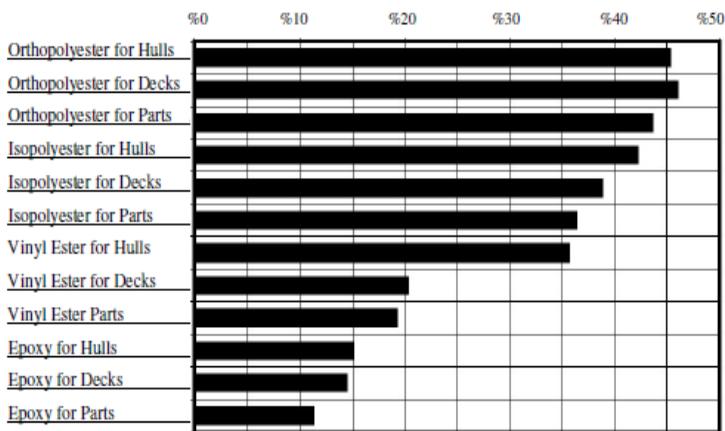
Material Komposit relatif merupakan material baru di dunia perkapalan. Pembangunan Kapal Tradisional (*Traditional Ship Building*) menggunakan material dari kayu, baja dan aluminium telah digantikan oleh komposit untuk bagian dari

---



struktur kapal dan interior pada kapal. Komposit pertama kali dikenalkan adalah Komposit *Fiber Reinforced Plastic* (FRP) yang merupakan bagian dari *Glass Reinforced Composite* (GRC) yang digunakan kapal Angkatan Bersenjata Amerika Tahun 1940 (Diniarto, 2011).

Penggunaan Komposit pada kapal telah banyak digunakan terutama pada kapal-kapal kecil dan perahu. Penyusun dari komposit pun semakin beragam mulai dari matriksnya baik polimer, resin epoksi, thermoplastik dan lainnya. Penggunaan berbagai macam resin pada bagian kapal ditunjukkan pada Gambar 2.18



**Gambar 2.18** Penggunaan Resin Pada Konstruksi Kapal Laut (GÖLPINAR, 2005)

Resin yang digunakan pada konstruksi kapal laut seperti Polyester (*Orthophthalic*), jenis ini sangat tahan terhadap proses korosi air laut dan asam encer lalu Polyester (*Isophthalic*), jenis tahan terhadap panas dan larutan asam, kekerasannya lebih

---



besar serta kemampuan menahan resapan air lebih baik dibandingkan dengan resin tipe ortho, *Epoxy*, jenis ini memiliki kemampuan menahan resapan air sangat baik dan kekuatan mekanik yang paling tinggi. Jenis ini memiliki ketahanan pada larutan kimia yang paling unggul (Yuwandana dkk., 2012). Perbandingan Sifat Mekanik dari masing – masing resin ditunjukkan pada Tabel 2.4

**Tabel 2.4** Perbandingan Sifat Mekanik masing – masing resin (GÖLPINAR, 2005)

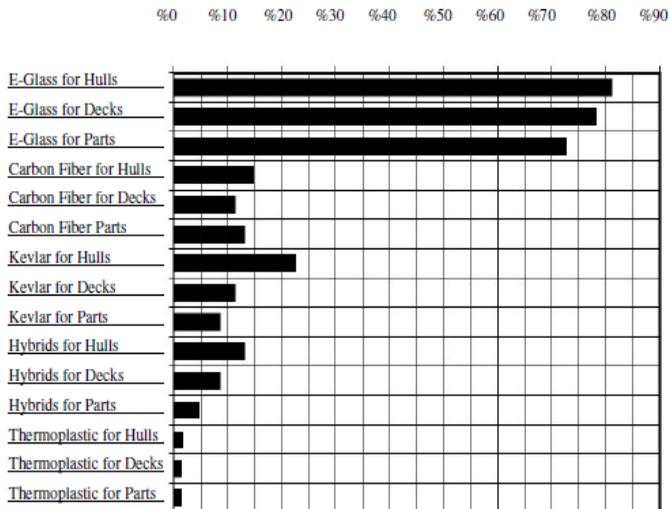
Resin	Kekerasan (Shore D)	Kekuatan Tarik psi x 103	Kekuatan Modulus psi x 105	Elongasi Maksimal %
<i>Orthophthalic</i>	42	7	5.9	0,91
<i>Isophthalic</i>	45	11.2	9.1	0,86
<i>Vinyl Ester</i>	35	11.0- 12.0	4.9	5.0- 6.0
<i>Epoxy</i>	86	7.96	5.3	7.7

Kemudian juga berbagai macam serat sudah mulai banyak di kembangkan yaitu serat kaca, serat karbon dan sejenisnya (Diniarto, 2011). Penggunaan berbagai macam serat pada bagian kapal ditunjukkan pada Gambar 2.19 dan perbandingan sifat – sifat mekanik masing – masing serat ditunjukkan pada tabel 2.5



**Tabel 2.5** Perbandingan Sifat Mekanik masing – masing serat (GÖLPINAR, 2005)

Serat	Densitas lb/in <sup>3</sup>	Kekuatan Tarik psi x 10 <sup>3</sup>	Kekuatan Modulus psi x 10 <sup>5</sup>	Elongasi Maksimal %
E-glass	0.94	500	10.5	4.80%
S-glass	0.9	665	12.6	5.70%
Aramid	0.52	525	18	2.90%
Carbon	0.62 - 0.65	350 - 700	33-57	0.38-2.0%

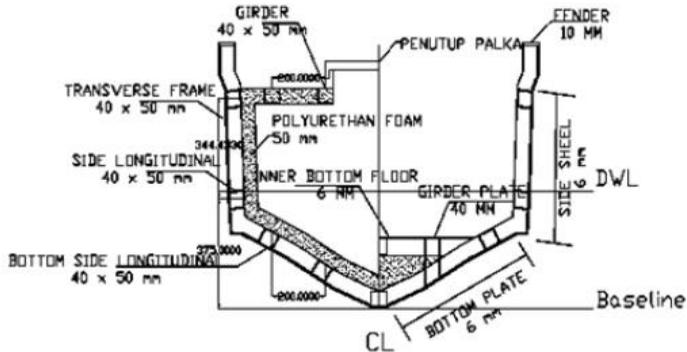


**Gambar 2.19** Penggunaan Serat Pada Industri Kapal Laut (GÖLPINAR, 2005)

Menurut Standar BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) Material *fiberglass* yang di gunakan untuk kontruksi harus



memiliki kekuatan uji tarik minimum 85 Mpa untuk Kapal Ikan ukuran 3 GT. Struktur Lambung Kapal Ikan 3 GT ditunjukkan pada gambar 2.20 (Ismail Marzuki, 2017).



**Gambar 2.20** Struktur Lambung Kapal Ikan 3 GT (Marzuki dkk., 2017)

lalu untuk Kapal Tipe Patroli V30 kekuatan minimum ditunjukkan pada tabel 2.6

**Tabel 2.6** Standar Minimum Kekuatan Kapal Tipe Patroli V30 menurut BKI (Amir dkk., 2014)

Kekuatan Tarik		Kuat Tekuk (Lengkung) (N/mm <sup>2</sup> )
Kuat Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Modulus Elastisitas (N/mm <sup>2</sup> )	
100	6000	150



## 2.10 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya (Hartono dkk.,2008) menggunakan Komposit berpenguat serat tebu karena serat ini memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi selain merupakan hasil limbah pabrik gula tebu, serat ini juga mudah didapat, murah, tidak membahayakan kesehatan, dapat terdegradasi secara alami (*biodegradability*) untuk menggantikan *fiberglass* untuk bahan konstruksi kapal tetapi kekuatan tarik yang didapat dari komposit serat tebu ini tidak mencapai standar yang di tetapkan BKI. Kemudian juga (Teguh dkk., 2016) menggunakan Komposit berpenguat serat nanas karena mudah didapat, murah, tidak membahayakan kesehatan, dapat mengurangi polusi lingkungan untuk menggantikan *fiberglass* untuk bahan konstruksi kapal dan kekuatan tarik yang didapat maksimal 34,8 Mpa dari komposit ini tidak mencapai standar yang di tetapkan BKI yaitu minimal 100 MPa.

Selain menggunakan serat alam terdapat juga yang menggunakan *fiberglass* yaitu (Ismail Marzuki, 2017) untuk Kapal Ikan 3-GT dan kekuatan tariknya mencapai standar yang ditetapkan BKI untuk kapal tersebut sebesar 85 MPa dan hasil yang didapat sebesar 86,50 MPa. Tetapi Kapal menggunakan bahan *fiberglass* mempunyai kelemahan yaitu stabilitas mekanik kurang baik dari pada kapal dengan material lain, kapal mudah terbawa oleh angin, tenaga pada kapal ikan untuk menarik peralatan penangkapan terlihat lebih lemah dibandingkan kapal dengan material lain, teknik khusus dikehendaki dalam membangun kapal , material tidak cukup kuat bila bergesekan dengan peralatan penangkapan dan material mudah terbakar seperti kayu (Dwi Putra Yuwanda, 2012). Lalu pada penelitian ini peneliti ingin menggunakan material *Fibercarbon Reinforced Plastics* sebagai material untuk lambung kapal karena material *fiber carbon* memiliki kelebihan dibanding *fiber glass* seperti kekuatan dan kekakuan tinggi (Uthirapathy T.,2015).

---

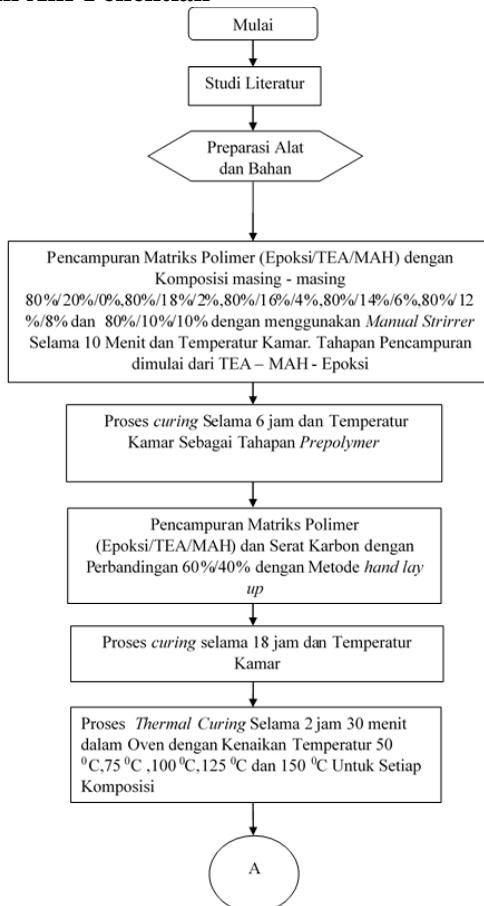


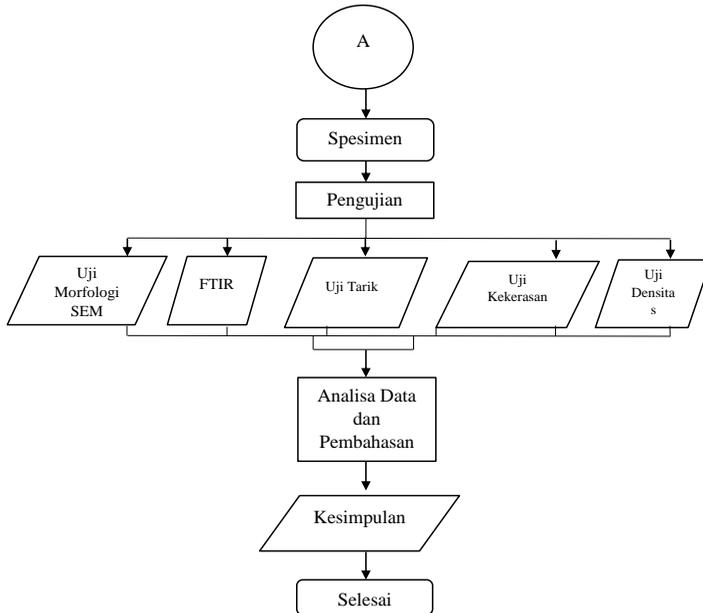
*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dari studi literatur yaitu mempelajari buku dan jurnal komposit kemudian preparasi alat dan bahan. Alat yang digunakan seperti *Aluminium Mold*, Timbangan Digital, Sendok, Roll, Mesin Uji SEM, Mesin Uji FTIR, Mesin Uji Tarik dan Alat Uji Kekerasan lalu bahan yang digunakan epoksi, MAH, TEA dan serat karbon. Setelah itu pembuatan spesimen komposit dengan Metode *Hand Lay Up*. Kemudian dilakukan pengujian seterusnya Analisa data dan Pembahasan Lalu Kesimpulan. Hal ini di tunjukkan pada Gambar 3.1



### 3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Epoksi

Epoksi yang digunakan merupakan bahan untuk campuran komposit Serat Karbon/Epoksi yang berupa cairan kental berwarna bening. Epoksi ditunjukkan pada Gambar 3.2 ini diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya tipe Eposchon-A.



**Gambar 3.2** Epoksi Tipe Eposchon-A

2. *Maleic Anhydride* (MAH)

*Maleic Anhydride* (MAH) seperti pada Gambar 3.3 merupakan bahan indikator yang digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap campuran komposit. MAH didapatkan dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya.



**Gambar 3.3** Maleic Anhydride

### 3.. Triethylamin (TEA)

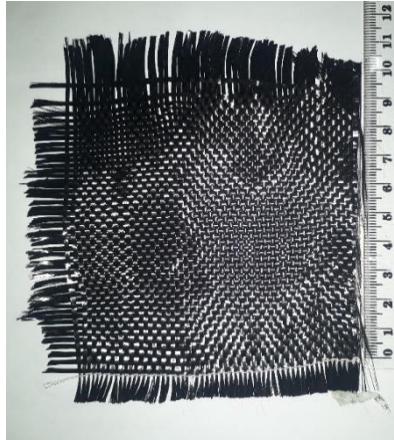
*Triethylamin* (TEA) seperti pada Gambar 3.4, merupakan bahan untuk campuran matriks polimer berupa liquid cair berwarna kuning bening. *Triethylamin* (TEA) didapatkan dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya.



**Gambar 3.4** Triethylamin (TEA)



4. Serat Karbon  
Serat Karbon Bentuk Plain Tipe 220 diperoleh dari Ngagel Jaya Kimia Ditunjukkan dalam Gambar 3.5



**Gambar 3.5** Serat Karbon

5. Wax  
Wax bermerek *Meguiars Mirror Glaze* diperoleh dari Ngagel Jaya Kimia Ditunjukkan dalam Gambar 3.6



**Gambar 3.6** Wax



### 3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Wadah Alumunium  
Wadah alumunium digunakan untuk proses pencampuran material.
  2. *Aluminium Foil*  
Digunakan untuk melapisi cetakan saat membuat komposit Serat Karbon/Epoksi
  3. Timbangan Digital  
Timbangan digital digunakan untuk menimbang massa bahan yang akan dicampurkan.
  4. Sendok  
Sendok digunakan untuk mengambil material.
  5. Roll  
Roll digunakan untuk meratakan matriks saat dituangkan ke komposit.
  6. Mesin Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)  
SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan komposit Serat Karbon/Epoksi. Mesin uji SEM yang digunakan adalah tipe Phenom ProX, milik Laboratorium Karakteristik Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
  7. Mesin Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)  
Digunakan untuk mengamati rantai dan gugus fungsi pada komposit serat karbon/epoksi, uji FTIR menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicolet IS10 milik Laboratorium Karakterisasi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
-



#### 8. Mesin Uji Tarik

Digunakan untuk mengukur kekuatan tarik dari komposit serat karbon/epoksi. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi matriks dan serat epoksi dengan perbandingan 60%:40%. Variable terikatnya adalah penambahan MAH/TEA pada matriks dengan komposisi 0/20,2/18,4/16,6/14,8/12,dan 10/10.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang dilakukan hingga didapatkan hasil berupa Komposit Serat Karbon/Epoksi untuk lambung kapal laut sebagai berikut:

1. Menyiapkan semua alat dan bahan.
2. Memotong serat karbon sesuai kebutuhan.
3. Mengukur massa campuran Matriks(Epoksi/TEA/MAH)/Serat Karbon 60%:40% lalu dicampur secara *manual stirrer* selama 10 menit ditunjukkan pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Pencampuran Matriks secara manual stirrer

- 4.. Menyiapkan cetakan yang kemudian diberikan Aluminium foil untuk menghindari perekatan komposit dengan cetakan.



5. Menyiapkan matriks dan selama 6 jam pada temperatur kamar ditunjukkan pada Gambar 3.8 .



**Gambar 3.8** Proses *curing* matriks selama 6 jam

6. Kemudian setelah itu Menuangkan matriks pada cetakan setebal kurang lebih 9 mm . Kemudian menyusun serat karbon dan kemudian menuangkan kembali matriks yang kemudian diratakan agar persebaran matriksnya merata dengan perbandingannya sesuai Metode ini merupakan metode *Hand Lay-up* ditunjukkan pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** *Hand Lay-up*

7. Proses *thermal curing* pada temperatur kamar selama kurang lebih 18 jam setelah itu proses *thermal curing* di oven dengan laju pemanasan 25°C Selama 2 jam 30 Menit ditunjukkan pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Proses *thermal curing* dalam Oven

8. Melakukan pengujian terhadap spesimen yang dibuat. Spesimen sudah jadi ditunjukkan pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Spesimen Komposit

### 3.6 Pengujian

Berikut merupakan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, antara lain:

1. **Pengujian *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM)**

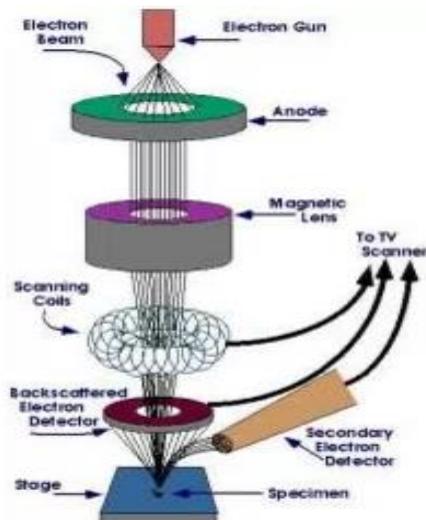
Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.



Pengujian SEM in mengikuti standar ASTM E986. Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi komposit Serat Karbon/Epoksi SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 – 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar berukuran  $< \sim 10\text{nm}$  pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar (Trewin, 1988). Data hasil SEM berupa gambar dengan perbesaran serta grafik yang menunjukkan intensitas unsur tertentu yang terdapat pada spesimen uji. Prinsip dasar SEM adalah memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan non-elastis. Dari pantulan non-elastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X. Sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron* (BSE). Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi BSE yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel dipindai dengan elektron. Elektron-elektron yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap terang pada monitor CRT (*Cathode Ray Tube*).



Sedangkan prinsip kerja EDX adalah melalui sinar X karakteristik. Pada saat ditembakkan dengan elektron, electron pada kulit terdalam akan terkesitasi dari kulit sehingga meninggalkan vakansi. Elektron dari kulit luar harus melepaskan sebagian energy agar dapat berpindah ke kulit dalam. Energi yang dilepaskan dipancarkan dalam



**Gambar 3.12** Alat Uji SEM

bentuk sinar X. Sinar X inilah yang diserap EDX dan ditampilkan dalam bentuk grafik puncak-puncak yang mewakili unsur tertentu. Prinsip kerja SEM dilambangkan pada Gambar 3.12. Pada pengujian SEM spesimen dibuat berdasarkan ASTM E2809 dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 4 mm lalu dilapisi dengan *coating* AuPd.



## 2. Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

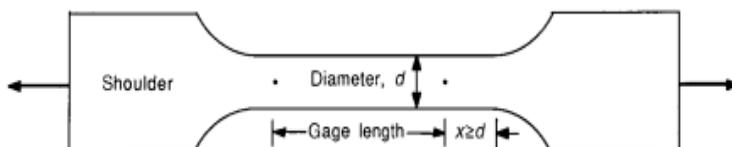
Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya menggunakan instrumen *Thermo Scientific Nicolet IS10*. Pengujian FTIR ini dilakukan untuk menentukan gugus fungsi material Serat Karbon/Epoksi. Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Pengujian FTIR bertujuan untuk melihat adanya gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada spesimen uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energy dengan suatu materi. Saat spesimen uji ditembakkan dengan sinar inframerah, atom-atom dalam spesimen uji akan bergetar atau bervibrasi sebagai akibat energi yang berasal dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron. Besar energi vibrasi setiap komponen molekul/ gugus berbeda-beda tergantung pada kekuatan ikatan yang terdapat pada molekul. Alat uji ditunjukkan pada Gambar 3.13



**Gambar 3.13** Alat Uji FTIR

### 3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. dengan menggunakan untuk mengetahui kekuatan komposit Serat Karbon/Epoksi untuk menerima beban *out-of-plane*. Salah satu cara untuk menganalisa kemampuan komposit tersebut yakni melalui uji tarik. Sistem mesin uji tarik bekerja dengan memberikan beban tarik secara konstan hingga spesimen mengalami failure. Standar yang digunakan adalah ASTM D638 Tipe I dengan panjang total 165 mm, *gauge length* 57 mm, dan ketebalan 7 mm. Spesimen uji tarik berbentuk plat dengan ukuran adalah sebagai berikut ditunjukkan pada gambar 3.14 :



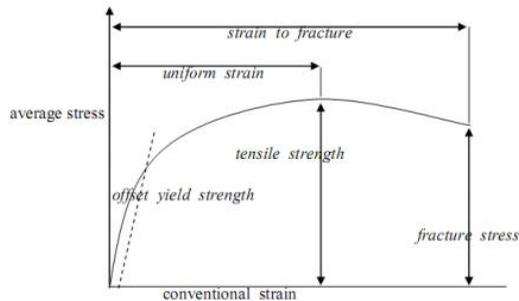
**Gambar 3.14** Dimensi Spesimen Uji Tarik.

**Tabel 3.1** Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638 (ASTM, 2010)

Dimensi	Tipe I (mm)	Tipe II (mm)	Tipe III (mm)	Tipe V (mm)	Toleransi (mm)
W	13	6	19	3.18	$\pm 0.5$
L	57	57	57	9.53	$\pm 0.5$
WO	19	19	29	9.53	$\pm 6.4$
LO	165	183	246	63.5	Min
G	50	50	50	7.62	$\pm 0.25$
D	115	135	115	25.4	$\pm 5$
R	76	76	76	12.7	$\pm 1$
T	$\leq 7$	$\leq 7$	7 – 14	$\leq 4$	-



Hasil yang diperoleh pada pengujian tarik adalah kurva antara  $\Delta F$  dan  $\Delta l$ . Kemudian nilai tersebut, diubah menjadi kurva *engineering stress-strain* ditunjukkan pada gambar 3.15



**Gambar 3.15** Kurva Tegangan Regangan

Untuk mendapatkan kurva *engineering stress-strain* dari kurva antara  $\Delta F$  dan  $\Delta l$  adaah dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

- $\sigma$  = Engineering Stress (N/mm<sup>2</sup>)
- F = Beban yang diberikan (N)
- A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)
- $\varepsilon$  = Strain (tidak bersatuan, dinyatakan dalam persentase)
- $\Delta L$  = Perubahan panjang (mm)
- L = Panjang setelah pembebanan (mm)



#### 4. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk menganalisis tingkat kekerasan dari sampel komposit Serat Karbon/Epoksi. Dimensi spesimen dan prosedur yang dilakukan menggunakan sumber acuan standar ASTM D2240 - Durometer Hardness. Dimana ketebalan minimal sampel yaitu 6 mm. Durometer ini bekerja mengukur ketahanan material terhadap penetrasi indentor seperti jarum berpegas. Skala yang digunakan pada pengujian ini adalah dalam nilai Shore D. Alat durometer dapat dilihat pada Gambar 3.16



**Gambar 3.16** Alat Durometer Shore D Hardness Test

#### 5. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan di Departemen Teknik Material FTI-ITS. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa berat per satuan volume komposit. Pengujian ini digunakan untuk menentukan densitas yang dihasilkan dari material yang telah dibuat. Pengujian densitas dilakukan dengan 2 metode, secara teoretis dan eksperimental. Secara teoretis, nilai densitas pada komposit serat karbon/epoksi dihitung menggunakan prinsip *rule of mixture* yang dituliskan pada persamaan 3.3 Standar yang

---



digunakan dalam pengujian densitas secara eksperimental adalah ASTM D792-08. Metode pengukuran densitas dengan teoretis dilakukan dengan perhitungan menggunakan prinsip *rule of mixture* dari komposit dengan menggunakan fraksi massa seperti pada persamaan 3.3

$$\rho_{composite} = (\rho_a \times W_a) + (\rho_b \times W_b) + (\rho_c \times W_c) \dots\dots\dots(3.3)$$

Sedangkan, pengukuran densitas dengan metode eksperimental dilakukan dengan mengikuti standar ASTM D 792-08. Metode ini merupakan perhitungan densitas dengan menentukan densitas dengan menggunakan perbedaan massa komposit pada saat di udara dan di dalam air untuk menentukan *specific gravity* yang kemudian dibandingkan dengan densitas air. Rumus mencari *specific gravity* pada material dituliskan dalam persamaan 3.4

$$Specific\ Gravity = \frac{mass\ in\ air\ (g)}{mass\ in\ water(g)} \times water\ density\ (\frac{g}{cm^3}) \dots\dots\dots(3.4)$$



### 3.7 Rancangan Penelitian

Untuk mendapatkan data yang sistematis, dibuat rancangan penelitian seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2

**Tabel 3.2 Rancangan Penelitian**

No.	Material (% Massa)			Serat Karbon	Pengujian					
	Matriks (60%)				Penguat (40%)	SEM	FTIR	Tarik	Kekerasan	Densitas
	Epoksi	TEA	MAH							
1	80	20	0	40	√	√	√	√	√	
2	80	18	2		√	√	√	√	√	
3	80	16	4		√	√	√	√	√	
4	80	14	6		√	√	√	√	√	
5	80	12	8		√	√	√	√	√	
6	80	10	10		√	√	√	√	√	



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

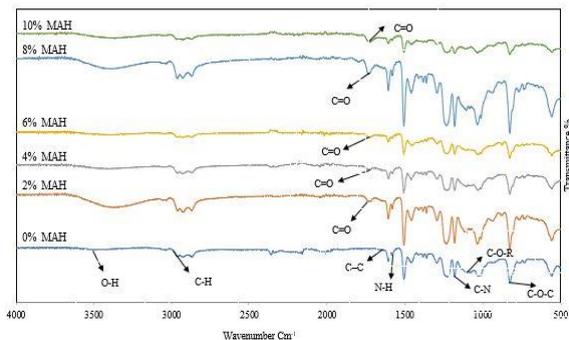
Pada penelitian ini telah dilakukan pencampuran antara Epoksi, *Triethylamine* (TEA), *Maleic Anhydride* (MAH) dan Serat Karbon. Dari proses pencampuran tersebut diperoleh material Komposit dengan matriks Epoksi/TEA/MAH dan pengisinya berupa Serat Karbon dengan komposisi matriks Epoksi/TEA/MAH (80/20/0), Epoksi/TEA/MAH (80/18/2), Epoksi/TEA/MAH (80/16/4), Epoksi/TEA/MAH (80/14/6), Epoksi/TEA/MAH (80/12/8), Epoksi/TEA/MAH (80/10/10). Komposisi matriks dengan pengisinya adalah 60:40. Komposisi massa MAH secara keseluruhan berurutan yaitu 0%, 1.2%, 2.4%, 3.6%, 4.8% dan 6%. Hasil dari pencampuran tersebut dipreparasi untuk kemudian dilakukan karakterisasi dan analisis seperti berikut.

### **4.1 Analisis Spektroskopi Inframerah Material Komposit Epoksi/Serat Karbon**

Analisis FTIR ini bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk pada material komposit Serat Karbon/Epoksi. Spektrum FTIR diperoleh dari permukaan spesimen material komposit pada matriks Epoksi/TEA/MAH dengan komposisi MAH sebesar 0, 2, 4, 6, 8 dan 10%. Analisis dilakukan dengan membandingkan spektrum gugus fungsi Epoksi, TEA, MAH dan Serat Karbon. Sebagai komponen penyusun material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Serat Karbon. Dari hasil pengujian yang dilakukan data seperti ada Gambar 4.1



Laporan Tugas Akhir  
Departemen Teknik Material FTI-ITS



**Gambar 4.1** Spektra FTIR Material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan Anhidrat Maleat (*Maleic Anhydride (MAH)*)

**Tabel 4.1** Peak FTIR, Gugus Fungsi dan Jenis Ikatan pada Material Komposit Serat Karbon/Epoksi

Peak	Gugus Fungsi	Jenis Ikatan
3482.35	O-H	Hidroksil
3034.30	C-H	Alkana (-CH <sub>2</sub> -)
1609.09	C=C	Aromatic Homocyclic
1027.14	C-O-R	Ether
824.61	C-O-C	Oxirane
1225.55	C-N	Amine
1580.69	N-H	Amine

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat gugus fungsi Matriks Epoksi/TEA/MAH pada komposisi 0% MAH Menurut (Goran Nikolic, 2010), terdapat gugus fungsi O-H pada daerah serapan 3482.35 cm<sup>-1</sup>, gugus fungsi C-H *aromatic* pada daerah serapan 3034.30 cm<sup>-1</sup>, C=C pada daerah serapan 1609.09 cm<sup>-1</sup> dan terdapat



C-O-R *Ether* pada daerah serapan  $1027.14\text{ cm}^{-1}$ , Kemudian Menurut (Maria dkk., 2012)., terdapat C-O-C *Oxirane* pada daerah serapan  $824.61\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini terlihat dari beberapa daerah serapan menunjukkan bahwa material tersebut merupakan Epoksi. Lalu juga Menurut (Angela dkk., 2015) terdapat gugus fungsi C-N pada daerah serapan  $1225.55\text{ cm}^{-1}$ , gugus fungsi N-H pada daerah serapan  $1580.69\text{ cm}^{-1}$  keduanya merupakan gugus fungsi *amines* karena terdapat senyawa *Triethylamine* (TEA).

Seiring dengan penambahan komposisi %MAH terdapat gugus *Anhydrides* (Anhidrat) karena terdapat serapan sekitar  $1700\text{ cm}^{-1}$  yaitu gugus fungsi C=O menurut (Hyun dkk., 2016). Terdapat gugus fungsi C=O karena menurut (Minggang dkk., 2014) adanya reaksi gugus epoksi dari resin epoksi dengan anhidrat dari MAH membentuk ikatan ester dan gugus karboksil baru pada waktu yang sama kemudian gugus karboksil dapat bereaksi untuk membentuk ikatan ester lainya dan menjadi gugus hidroksil baru. Hal ini dapat memengaruhi sifat mekanik serta sifat lainya pada material komposit ini.

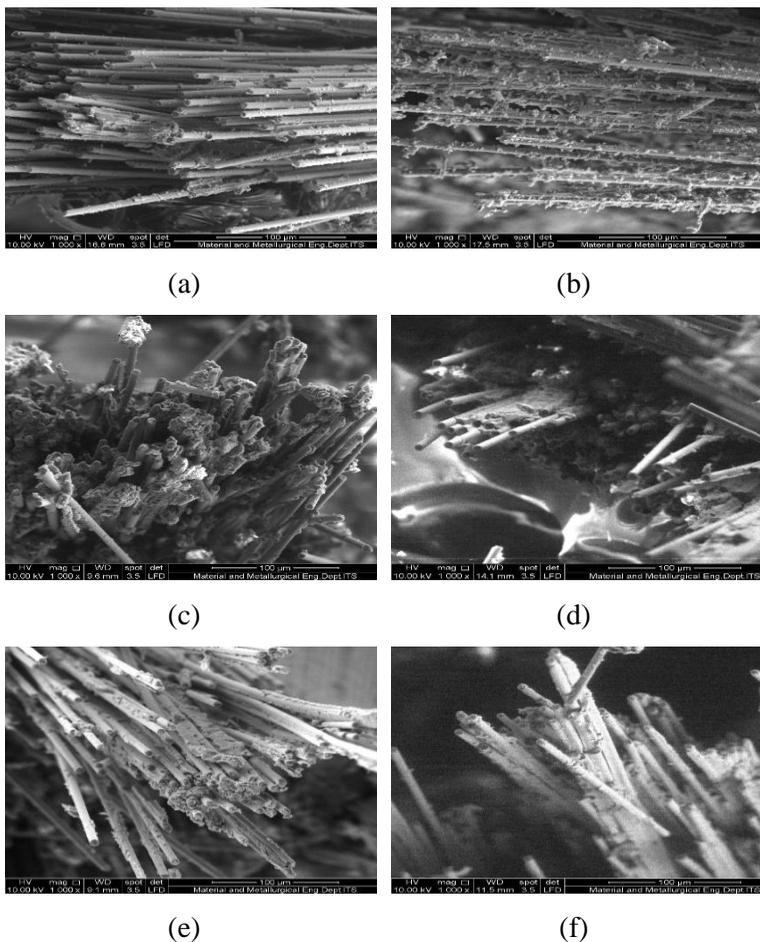
#### **4.2 Analisis Morfologi SEM Material Komposit Serat Karbon/Epoksi**

Analisis morfologi pada umumnya digunakan untuk mengetahui perilaku suatu material dan menentukan karakteristik material. Analisis SEM pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ikatan antara matriks dengan seratnya pada material serta menentukan ukuran serat satuan pada Komposit Serat Karbon/Epoksi. Sampel yang digunakan pada pengambilan gambar SEM adalah penampang hasil uji tarik material Komposit Serat Karbon/Epoksi.

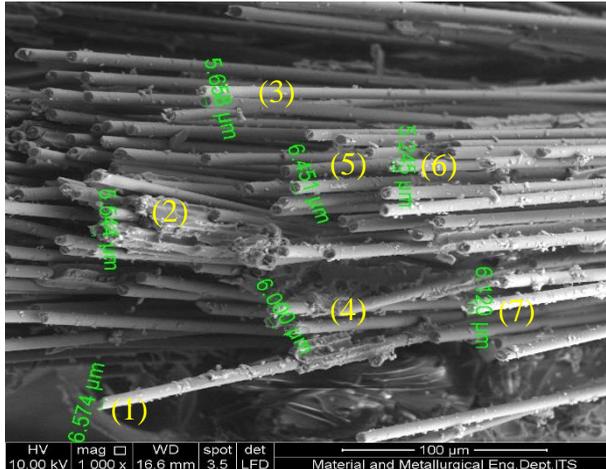


**Gambar 4.2** Bentuk patahan spesimen uji tarik material Komposit Serat Karbon/Epoksi dengan penambahan anhidrat maleat (*Maleic Anhydride (MAH)*)

Gambar 4.2 menunjukkan bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji tarik material komposit Serat Karbon/Epoksi. Dari seluruh spesimen, hampir semua bentuk patahan yang terjadi cenderung berupa *pull out* dari serat. Hal ini terlihat dari terdapat serat yang terlihat dari patahan yang cenderung mencuat keluar. Gambar 4.3 menunjukkan hasil mikrografi SEM bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji tarik material komposit Serat Karbon/Epoksi dengan perbesaran 1000x. Gambar tersebut menunjukkan pola patahan yang terjadi



**Gambar 4.3** Mikrografi SEM material Komposit Serat Karbon/Epoksi dengan Penambahan Anhidrat Maleat (*Maleic Anhydride* (MAH)) Perbesaran 1000x (a) 0%, (b) 2%, (c) 4%, (d) 6%, (e) 8%, (f) 10%



**Gambar 4.4** Mikroskopi SEM permukaan patahan uji tarik material komposit Serat Karbon/Epoksi 0% MAH dengan ukuran seratnya.

Dari Gambar 4.4, terlihat material berbentuk silinder yang merupakan serat karbon sebagai pengisi komposit. Diameter dari serat tersebut dapat diketahui dengan mengukur diameter dari beberapa titik serat yang terlihat dan mengambil rata-rata ukuran serat tersebut. Diameter dari beberapa titik serat dituliskan dalam Tabel 4.2

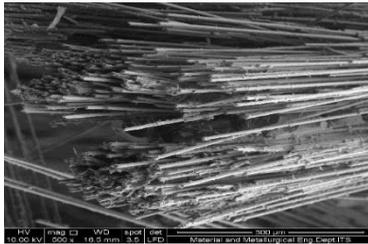


**Tabel 4.2** Diameter Serat Karbon pada Material Komposit Serat Karbon/Epoksi

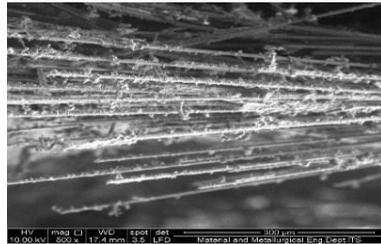
Kode Serat	Diameter ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata Diameter ( $\mu\text{m}$ )
1	6,574	
2	5,544	
3	5,658	
4	6,000	5,941 $\pm$ 4,862
5	6,451	
6	5,245	
7	6,120	

---

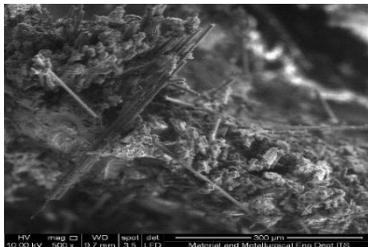
Dari Tabel 4.2, diketahui nilai beberapa titik serat seperti pada Gambar 4.5 antara lain, pada titik 1 diameter serat berukuran 6,574  $\mu\text{m}$  . pada titik 2, diameter serat berukuran 5,544  $\mu\text{m}$ . Pada titik 3, diameter serat berukuran 5,658  $\mu\text{m}$ , titik 4 diameter serat berukuran 6,000  $\mu\text{m}$ , titik 5 diameter serat berukuran 6,451  $\mu\text{m}$ , titik 6 diameter serat berukuran 5,245  $\mu\text{m}$ , dan pada titik 7 diameter serat berukuran 6,120  $\mu\text{m}$ . Nilai rata rata diameter serat kaca tersebut berukuran 5,941  $\mu\text{m}$ , diameter ini merupakan nilai diameter dari satu serat karbon. Menurut (Foley dkk., 2004) ukuran Diameter serat mempengaruhi Permeabilitas Serat sehingga semakin kecil ukuran diameter maka semakin kecil permeabilitasnya dan menyebabkan penyerapan resin ke serat lebih cepat begitu pula sebaliknya.



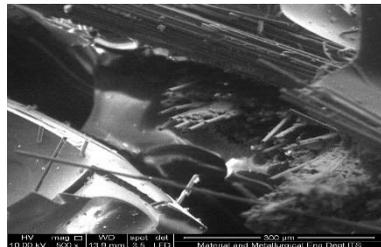
(a)



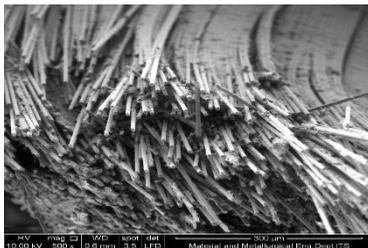
(b)



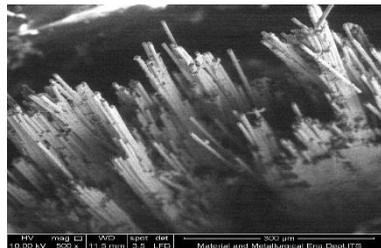
(c)



(d)

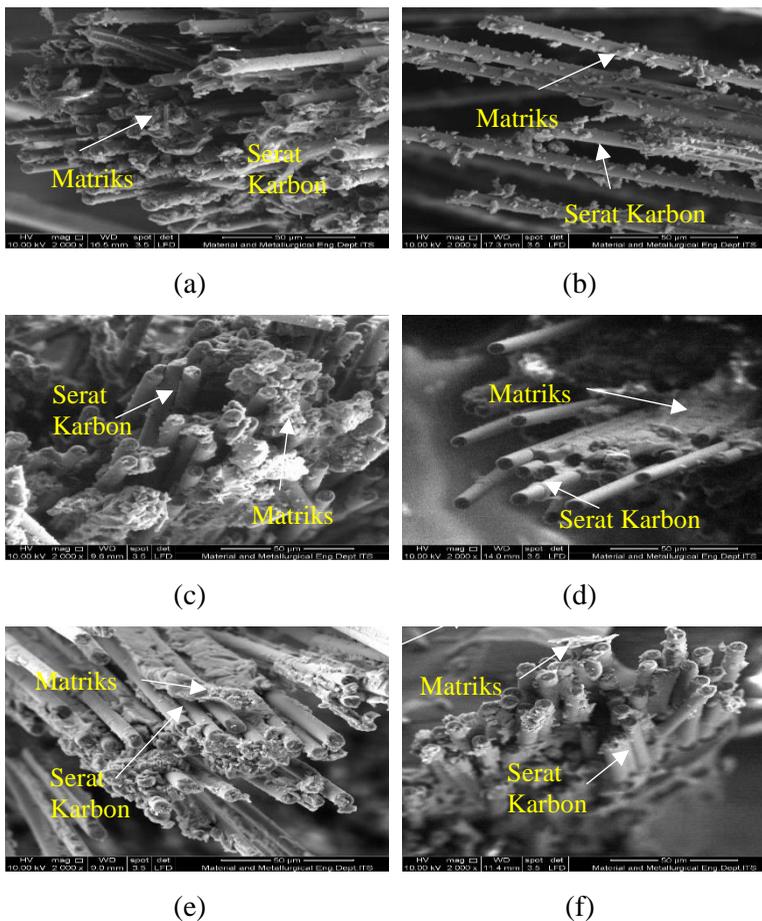


(e)



(f)

**Gambar 4.5** Mikrografi SEM material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan Anhidrat Maleat (*Maleic Anhydride* (MAH)) Perbesaran 500x (a) 0%, (b) 2%, (c) 4%, (d) 6%, (e) 8%, (f) 10%



**Gambar 4.6** Mikrografi SEM material Komposit Serat Karbon/Epoksi dengan Penambahan Anhidrat Maleat (*Maleic Anhydride* (MAH)) Perbesaran 2000x (a) 0%, (b) 2%, (c) 4%, (d) 6%, (e) 8%, (f) 10%



Dari Gambar 4.3, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, terlihat jika keseluruhan serat tersebut mengalami *fiber pullout*. Hal ini terlihat dari lepasnya serat dari matriks dari setiap gambar SEM tersebut. Dari spesimen tersebut terlihat pada sampel, patahan yang terjadi *Interfacial debonding*, dimana terlihat jika serat karbon pada sampel tersebut lepas dari matriksnya. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat adhesi antara matriks dan seratnya kemudian di lihat juga pada morfologinya semakin bertambah %MAH semakin terikat antara matriks dan seratnya. Pada Komposisi 0% MAH dapat dilihat bawah ikatan antara matriks dan seratnya buruk sehingga mempunyai adhesi yang tidak bagus sehingga sifat mekaniknya kurang bagus karena menurut (Guduri dkk., 2006) mempunyai *Interfacial bonding* yang buruk, kemudian pada saat penambahan %MAH dapat dilihat ikatan matriks dan seratnya semakin bagus hal ini dapat mengindikasikan adhesi yang bagus antara matriks dengan serat karbon ,karena dengan penambahan % MAH menurut (Hyun dkk., 2016) meningkatkan adhesi antara matriks dan serat lalu menurut (Minggang dkk., 2014) terdapat reaksi esterifikasi diantara gugus hidrosill membentuk gugus baru hal ini juga didukung dengan hasil FTIR. Reaksi yang terjadi pada permukaan serat yang menyebabkan *interfacial adhesion* yang kuat diantara matriks dan seratnya.

### **4.3 Analisis Densitas Material Komposit Serat Karbon/Epoksi**

Setiap material memiliki karakteristik masing masing. Pembuatan komposit dilakukan untuk memperoleh karakteristik unggul dari setiap material yang dicampurkan. Salah satu karakteristik yang dapat dianalisa adalah dengan menentukan densitas dari material. Tujuan menentukan densitas ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari komponen-komponen pencampur untuk menghasilkan suatu material yang memiliki keunggulan komponen-komponen penyusun material tersebut. Pada pengujian

---



densitas dalam penelitian ini, digunakan dua metoda untuk menentukan densitas, yakni secara teoretis dan eksperimental. Kedua cara ini dipilih untuk membandingkan nilai yang diperoleh secara teoretis dan eksperimen agar hasil yang diperoleh sesuai. Berikut pada Tabel 4.3 adalah densitas dari setiap material penyusun komposit.

**Tabel 4.3** Densitas Material Penyusun Komposit Serat Karbon/Epoksi

Material Penyusun	Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )
Epoksi	1,56
TEA	0,726
MAH	1,48
Serat Karbon	1,75

**Tabel 4.4** Nilai Densitas Teoritis Material Komposit Serat Karbon/Epoksi

Komposisi MAH (% wt)	Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )
0	1,06
2	1,07
4	1,08
6	1,09
8	1,1
10	1,11

Dari pengukuran densitas secara eksperimental, diperoleh nilai densitas seperti pada Tabel 4.5



**Tabel 4.5** Nilai Densitas Eksperimental Material Komposit Serat Karbon/Epoksi

Komposisi MAH (% wt)	Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )
0	1,23
2	1,09
4	1,03
6	1,15
8	1,09
10	1,03

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 didapat bahwa Nilai Densitas Teoritis dan Eksperimental tidak berbeda jauh selisihnya. Nilai Densitas Teoritis meningkat sesuai dengan bertambahnya komposisi MAH (% wt) tetapi Nilai Densitas Eksperimental fluktuatif. Nilai Densitas Eksperimental tertinggi terdapat pada komposisi 0% MAH sebesar  $1,23 \text{ g/cm}^3$ . Dari Hasil yang didapat nilai densitas komposit serat karbon/epoksi nilainya lebih rendah dibandingkan densitas logam seperti baja ( $\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$ ) dan aluminium ( $\rho = 2,71 \text{ g/cm}^3$ ) Menurut (Callister, 2007) dan juga masih lebih rendah dibanding *Glass Fiber Reinforced Plastic* yaitu sebesar ( $\rho = 1,544 \text{ g/cm}^3$ ) Menurut (Ardaya dkk., 2017). Hal ini juga membuktikan material komposit lebih ringan dibandingkan logam dan *Glass Fiber Reinforced Plastic*.

#### **4.4 Analisis Sifat Mekanik Tarik Material Komposit Serat Karbon/Epoksi**

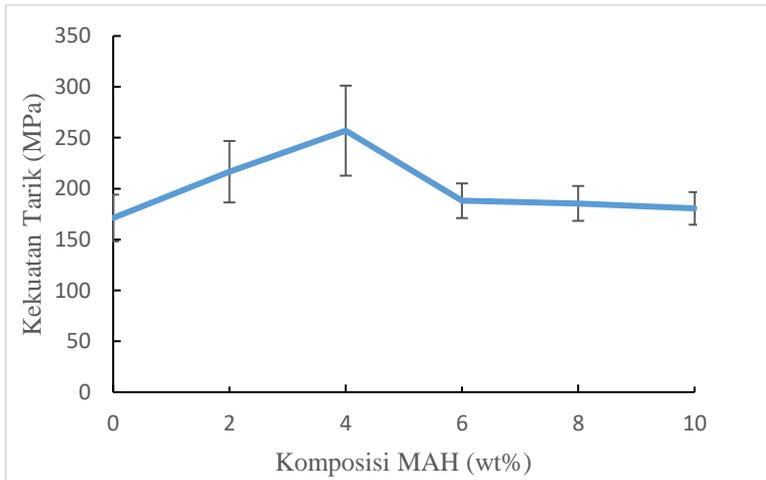
Metode lain yang digunakan dalam menentukan sifat mekanik dari sebuah material adalah dengan melakukan *Tensile Test* atau Uji Tarik. Metode Uji tarik ini merupakan metode umum dalam menentukan sifat mekanik dari sebuah material. Standar

---



yang digunakan untuk pengujian tarik pada komposit Serat Karbon/Epoksi adalah ASTM D638 tipe 1 dimana standar ini merupakan standar pengujian tarik khusus untuk material polimer dan komposit berserat.

Pada pengujian ini didapatkan nilai beban maksimal dan kekuatan tarik maksimal. Untuk material komposit serat karbon/epoksi (0% MAH) didapatkan beban tarik maksimal 201081,9 N dan kekuatan tarik maksimal 171,18 MPa. Lalu untuk komposit serat karbon/epoksi (2% MAH) didapatkan beban tarik maksimal 21270,8 N dan kekuatan tarik maksimal 216,65 MPa. Untuk Komposit serat karbon/epoksi (4% MAH) didapatkan beban tarik maksimal 22251,5 N dan kekuatan tarik maksimal 256,96 MPa. Kemudian untuk Komposit serat karbon/epoksi (6% MAH) didapatkan beban maksimal kekuatan tarik sebesar 17675,2 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 188,10 MPa. Komposit serat karbon/epoksi (8% MAH) didapatkan beban tarik maksimal 21162,6 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 185,49 MPa dan Komposit serat karbon/epoksi (10% MAH) didapatkan beban tarik maksimal 21756,8 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 180,57 MPa. Pengaruh variasi penambahan %MAH pada matriks terhadap kekuatan tarik maksimum dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8

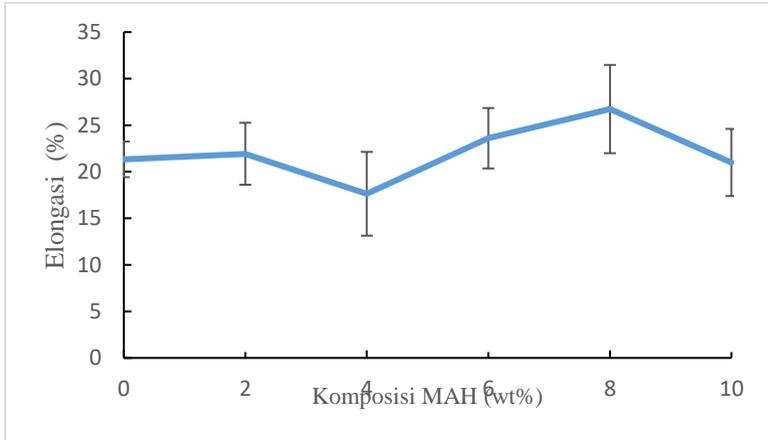


**Gambar 4.7** Sifat Tarik dari Material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan anhidrat maleat (*Maleic Anhydride* (MAH))

Dari Grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik meningkat dari komposisi 0% MAH hingga 4% MAH lalu nilai kekuatan tarik mengalami penurunan saat komposisi 6% MAH hingga 10% MAH. Nilai Kekuatan tarik meningkat dari komposisi 0% MAH sampai 4% MAH disebabkan meningkatnya *interfacial adhesion* (Jia dkk., 2015) antara matriks epoksi dan serat karbon (Nevin dkk., 2015) dan juga dapat dilihat pada morfologi SEM menunjukkan bertambahnya ikatan adhesi antara matriks dan seratnya, tetapi pada saat komposisi 6% MAH sampai 10% MAH mengalami penurunan karena *coupling agent* MAH menurut (Minggang dkk., 2014) mempunyai sifat mekanik yang buruk disebabkan berat molekul yang rendah, maka karena itu nilai kekuatan tarik maksimal di komposisi 4% MAH dan dilihat dari hasilnya memenuhi kekuatan tarik standar BKI untuk lambung kapal Ikan



3-GT minimum 85 MPa (Ismail dkk., 2017) dan Kapal Tipe Patroli V30 minimum 100 MPa (Amir dkk., 2014).



**Gambar 4.8** Nilai Elongasi Material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan anhidrat maleat (*Maleic Anhydride* (MAH))

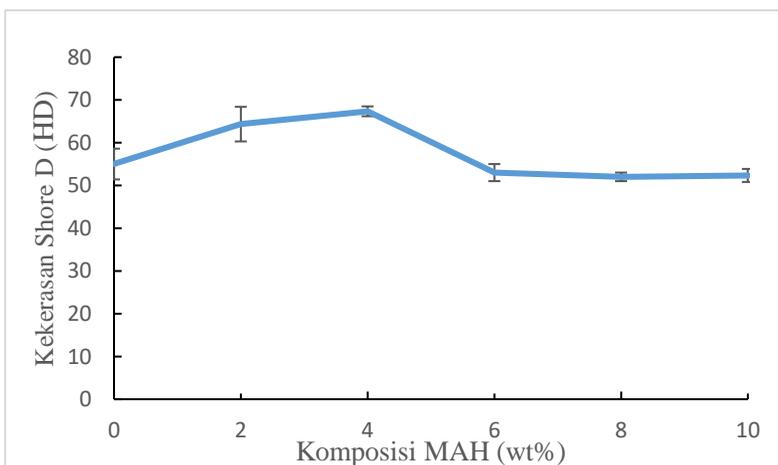
Dari Gambar 4.8, Nilai elongasi dari material komposit Serat Karbon/Epoksi mengalami nilai penurunan dari 0% sampai 4% lalu naik hingga 8% dan turun lagi di 10% disebabkan nilai regangan yang bervariasi. Nilai %elongasi tertinggi berada pada penambahan 8% MAH dengan nilai *Elongation* mencapai 26,73 %. Nilai kekuatan uji tarik berbanding terbalik dengan nilai elongasi tetapi pada saat komposisi 10% MAH mengalami penurunan disebabkan karena adanya impuritas.



#### 4.5 Analisis Sifat Mekanik Kekerasan Material Komposit Serat Karbon/Epoksi

Sifat mekanik pada sebuah material penting untuk diketahui agar material tersebut dapat diaplikasikan sesuai dengan sifat dan kebutuhannya. Salah satu cara dalam menentukan sifat mekanik sebuah material adalah dengan mengukur kekerasannya. Pengukuran kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik yang diperoleh dari sebuah material. Material yang diuji kekerasannya adalah material komposit Serat Karbon/Epoksi. Pengujian kekerasan pada material komposit Serat Karbon/Epoksi menggunakan standar ASTM D2270 – Durometer Test dengan indentor Shore-D.

Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata kekerasan Komposit Serat Karbon/Epoksi sesuai penambahan MAH pada matriks nya secara berurutan 0%,2%,4%,6%,8%, 10% yaitu : 55 ; 64,33 ; 67,33 ; 53 ; 52 dan 52,33 HD



**Gambar 4.9** Sifat Kekerasan Material Komposit Serat Karbon/Epoksi Dengan Penambahan anhidrat maleat (*Maleic Anhydride* (MAH))

---



Dari Gambar 4.9, terlihat terjadi kenaikan nilai kekerasan pada komposit Serat Karbon/Epoksi disebabkan meningkatnya komposisi MAH pada komposit tersebut (Mishra dkk., 2000) Lalu menurut (Nevin dkk., 2015) dengan penambahan *Maleic Anhydride* (MAH) meningkatkan nilai kekerasan komposit karena terdapat *interfacial adhesion* yang kuat diantara matriks dan seratnya. Nilai Kekerasan rata – rata maksimal terjadi pada komposisi 4% MAH pada komposit tersebut adalah 67,33 Hardness Shore D. Tetapi nilai kekerasan mengalami penurunan dari komposisi 6 % hingga 10% MAH disebabkan penurunan karena *coupling agent* MAH menurut (Minggang dkk., 2014) mempunyai sifat mekanik yang buruk disebabkan berat molekul yang rendah. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian tarik yang sudah dilakukan.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hasil penelitian Penambahan Anhidrat Maleat Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit Serat Karbon/Epoksi menunjukkan

1. Sifat Mekanik komposit serat karbon/epoksi dengan variasi penambahan Anhidrat Maleat mengalami kenaikan kekuatan tarik dan kekerasan. Kekuatan Tarik komposit serat karbon/epoksi memiliki nilai maksimal pada penambahan 4% MAH dengan nilai kekuatan 256,96 MPa. Nilai Elongasi Komposit Serat Karbon/Epoksi nilai maksimal pada penambahan 8% MAH dengan besar elongasi 26,73%. Nilai kekerasan maksimal terdapat pada penambahan 4% MAH sebesar 67,33 HD
2. Secara morfologi, dengan Penambahan Anhidrat Maleat (Maleic Anhydride (MAH)) Komposit Serat Karbon/Epoksi mengalami peningkatan adhesi pada ikatan antara matriks dan serat karbon

Sesuai dengan studi literatur yang ada dan disesuaikan dengan hasil eksperimen dimana material ini dapat diaplikasikan untuk lambung kapal standar BKI kapal ikan 3-GT dengan kekuatan tarik minimum 85 MPa dan Kapal Tipe Patroli V30 dengan kekuatan tarik minimum 100 MPa



## 5.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya:

1. Menggunakan sistem vakum untuk mengurangi terbentuknya *bubble* pada matriks
2. Menambah Uji Mekanik yaitu Uji Kelenturan dan Uji Impak

## DAFTAR PUSTAKA

- Amir Marasabessy, I. N. 2014. Metode Pemeliharaan Yang Tepat Lambung Kapal Tipe Patroli V30 Berbahan Fiber Glass. **Majalah Ilmiah UPN Vol 25 No 2**, 57-65.
- Angela Mugenda, O. B.-C. 2015. FTIR Analysis of Triethylamine Borane and White Fuming Nitric Acid Gaseous Combustion Products. **American Institute of Aeronautics and Astronautics**, 1 -16.
- Ardy Adhityameidy Andaru, H. A. 2017. **Pengaruh Komposisi Epoksi Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Termal Pada Komposit Serat Kaca/Vinil Ester/Epoksi Sebagai Kandidat Material Anti Peluru (Body Armor)**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ASM. 2001. **ASM Vol 21 Handbook of Composites**. USA: ASM International.
- Augustsson, C. 2004. **NM Epoxy Handbook**. Yuerby: Nils Malmgren AB.
- B. R. Guduri, A. S. 2006. Mechanical and Morphological Properties of Carbon Fiber Reinforced–Modified Epoxy Composites. **J Appl Polym Sci** **101**, 3529 - 3536.
- Balasubramanian. 2014. **Composite Materials And Processing**. USA: CRC Press.
- Chawla, K. K. 2012. **Composite Materials Science and Engineering Third Edition**. New York: Springer.
- Cheromics, P. (2016, December 6). *About Us: Parker Chomerics*. Retrieved from About Us: Parker Chomerics.: <https://chomerics.com/products/emi/coatings/index.html>
- Chung, D. D. 1994. **Carbon Fiber Composites**. USA: Butterworth-Heinemann.
- Diniarto, J. (2011). **Analisis Struktur Material Laminasi Untuk Lambung Kapal Kayu Tradisional**. Depok: Universitas Indonesia.

- Dwi Putra Yuwandana, F. P. 2012. **Desain dan Konstruksi Perahu Katamaran**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Fan-Long Jin, X. L.-J. 2015. Synthesis and application of epoxy resins: A review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry xxx (2015)** , xxx-xxx.
- GÖLPINAR, S. 2005. **Comparative Analysis of Materials in Recreational Boat Design: Fiber Reinforced Plastic Boat in Serial Production**. Izmir: Izmir Institute of Technology.
- Goran Nikolic, S. Z. 2010. Fast Fourier Transform IR Characterization of Epoxy GY Systems Crosslinked with Aliphatic and Cycloaliphatic EH Polyamine Adducts. **Sensors 2010, 10, 684-696; doi:10.3390/s100100684**, 684 - 696.
- Hartono Yudo, S. J. 2008. Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau dari Kekuatan Tarik dan Impak. **KAPAL, Vol. 5, No.2, Juni 2008**, 96-101.
- Howtorn. (2008, June 5). *h2g2*. Retrieved from h2g2: [https://h2g2.com/edited\\_entry/A34170932](https://h2g2.com/edited_entry/A34170932)
- Hyun-Il Kim, W. H.-K.-J.-H.-J. 2016. Effects of maleic anhydride content on mechanical properties of carbon fibers-reinforced maleic anhydride-grafted-poly-propylene matrix composites. **Carbon Letters Vol. 20, 39-46 (2016)**, 39 - 46.
- Ismail Marzuki, A. Z. 2017. Kajian Penerapan Aturan Klasifikasi pada Laminasi Struktur Konstruksi Lambung Kapal Ikan Fiberglass 3 GT. **Jurnal Wave Volume 11 Nomor 1, Juli 2017**, 15 - 22.
- Jang-Kyo Kim, Y.-W. M. 1998. **Engineered Interfaces In Fiber Reinforced Composites**. Netherlands: Elsevier.
- Jia-Hong Lin, C.-L. H.-F.-K.-I.-W. 2015. Polypropylene/Short Glass Fibers Composites: Effects of Coupling Agents on Mechanical Properties, Thermal Behaviors, and Morphology. **Materials 2015, 8**, 8279–8291.

- Jonathan Oroh, I. F. 2013. ANALISIS SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT DARI SERAT SABUT KELAPA. **Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat Vol 1 No 1**, 1-10.
- Kim, J. K. 2014. Compatibilizing effects of maleic anhydride-grafted polypropylene carbon fiber-reinforced PP composites. **Journal of Thermoplastic Composite**, 1–13.
- Kutz, M. 1998. Mechanical Engineer's Handbook, 2nd ed. In C. Zweben, **Composite Materials and Mechanical Design**. New York: Wiley.
- Ma'ruf, B. 2013. Analisis Kekuatan Laminasi Lambung Kapal Fiberglass yang Menggunakan Material Multiaxial. **Jurnal Standardisasi Volume 16 Nomor 1, Maret 2014**, 31 - 40.
- Mallick, P. 2008. **Fiber Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design**. USA: CRC Press.
- María González, J. C. 2012. **Applications of FTIR on Epoxy Resins – Identification, Monitoring the Curing Process, Phase Separation and Water Uptake**. Madrid: University Carlos III of Madrid.
- M. E. Foley, J. W. Gillespie, JR..2004. Modeling the Effect of Fiber Diameter and Fiber Bundle Count on Tow Impregnation during Liquid Molding Processes. **Journal of COMPOSITE MATERIALS, Vol. 39, No. 12/2005**, 1045-1065.
- Mazumdar, S. K. 2002. **Composites Manufacturing : materials, product, and process**. Florida, USA: CRC Press.
- Minggang Li, X. W. 2014. Synergetic effect of epoxy resin and maleic anhydride grafted polypropylene on improving mechanical properties of polypropylene/short carbon fiber composites. **Composites: Part A 67 (2014)**, 212-220.
- Nayiroh, N. 2013. **TEKNOLOGI MATERIAL KOMPOSIT**. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.

- Nevin Gamze Karsli, A. A. 2011. Effects of maleated polypropylene on the morphology, thermal and mechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites. **Materials and Design** **32** (2011), 4069-4073.
- Ratna, D. 2009. **Handbook of Thermoset Resins**. Shawbury: iSmithers.
- S. Mishra, J. N. 2000. The compatibilising effect of maleic anhydride on swelling and mechanical properties of plant-fiber-reinforced novolac composites. **Composites Science and Technology** **60** (2000), 1729-1735.
- Setyanto, R. H. 2012. Review: Teknik Manufaktur Komposit Hijau dan Aplikasinya. **Performa** (2012) Vol. 11, No. 1, 9-18.
- Sohel Rana, R. F. 2016. **Advance Composite Material for Aerospace**. USA: Elsevier.
- Sorgi, K. L. 2001. **Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis**. New York: John Wiley & Sons.
- Teguh Sulisty Hadi, S. J. 2016. Analisa Teknis Penggunaan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Ditinjau dari Kekuatan Tarik, Bending dan Impact. **Jurnal Teknik Perkapalan – Vol.4, No. 1 Januari 2016**, 323 - 331.
- Uthirapathy Tamilarasana, L. K. 2015. Mechanical Properties Evaluation of the Carbon Fibre Reinforced Aluminium Sandwich Composites. **Materials Research**. **2015; 18(5):**, 1029-1037.
- W.D. Callister, D. G. 2014. **Material Science and Engineering An Introduction**. USA: Wiley.
- Weissermelm, K. a.-J. 1997. **Industrial Organic Chemistry**. New York: VCH.
- Wong KH, M. D. 2012. Effect of coupling agents on reinforcing potential of recycled carbon fibre for polypropylene composite. **Compos Sci Technol** **2012; 72:**, 835–844.

Zulanazri, R. D. 2012. Perbandingan Ketebalan Serat Dalam Meningkatkan Kualitas Komposit Polipropilen Daur Ulang Dengan Metode Cetak Tekan. **Jurnal Teknologi Kimia Unimal**, 65-78.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### Lampiran A Perhitungan Densitas Eksperimental

$$\text{Specific Gravity} = \frac{\text{mass in air (g)}}{\text{mass in water(g)}} \times \text{water density} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

Contoh perhitungan:

0% MAH

massa di udara = 1,14 g

massa di air = 0,89 g

densitas air = 0,997 gram/cm<sup>3</sup>

$$= \frac{1,14 \text{ g}}{0,89 \text{ g}} \times 0,997 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\rho_{0\% \text{ MAH}} = 1,27 \text{ g/cm}^3$$

#### 1. Sampel 0% MAH

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	Specific Gravity (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
0% MAH	1,14	0,89	1,27	1,27

## 2. Sampel 2% MAH

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	Spesific Gravity (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
2% MAH	0,93	0,85	1,09	1,09

## 3. Sampel 4 % MAH

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	Spesific Gravity (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
4% MAH	1,02	0,98	1,03	1,03

## 4. Sampel 6% MAH

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	Spesific Gravity (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
6% MAH	1,11	0,98	1,15	1,15

#### 5. Sampel 8% MAH

---

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	Spesific Gravity (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
8% MAH	0,94	0,90	1,04	1,04

---

#### 6. Sampel 10% MAH

---

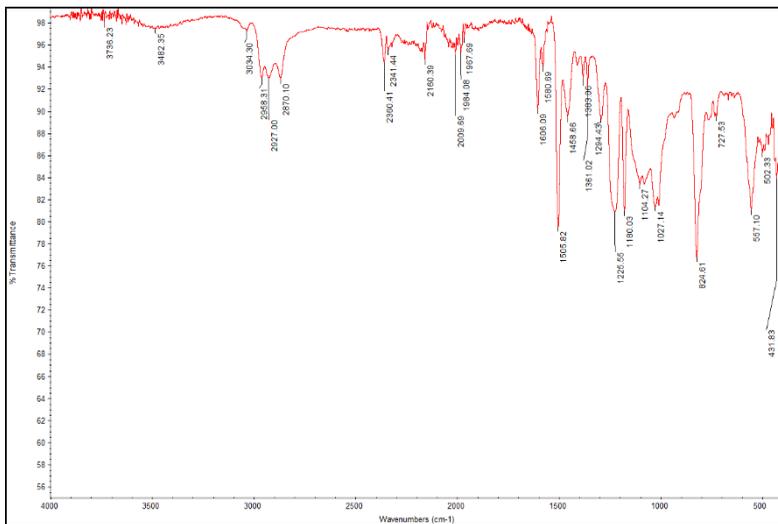
Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	Spesific Gravity (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
10% MAH	1,09	1,05	1,03	1,03

---

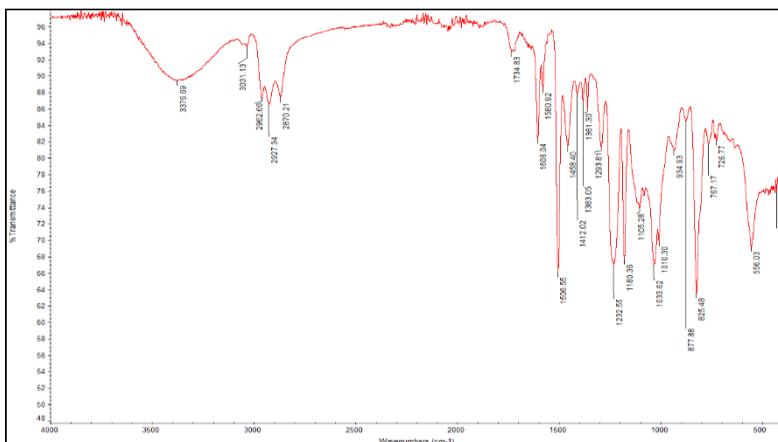
# Lampiran B

## Pengujian FTIR

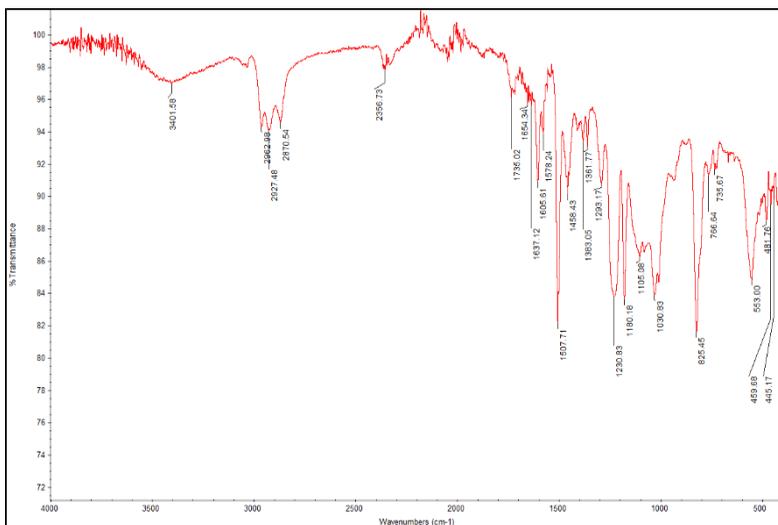
### 1. Komposit Serat Karbon/Epoksi (0% MAH)



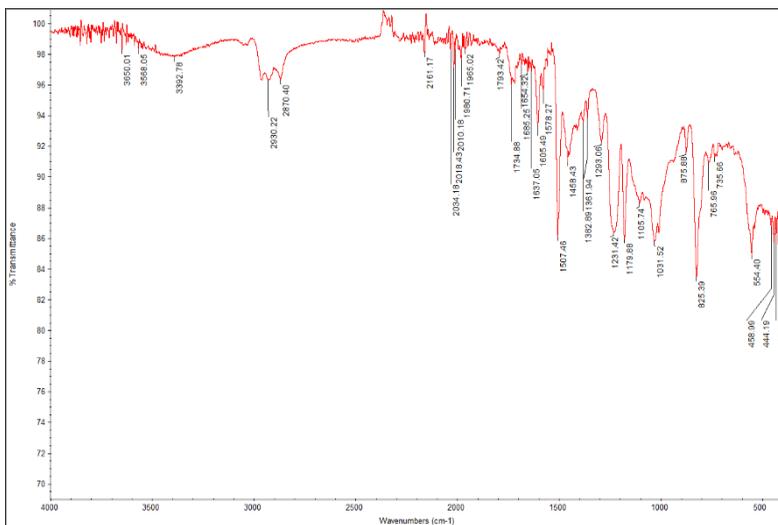
### 2. Komposit Serat Karbon/Epoksi (2% MAH)



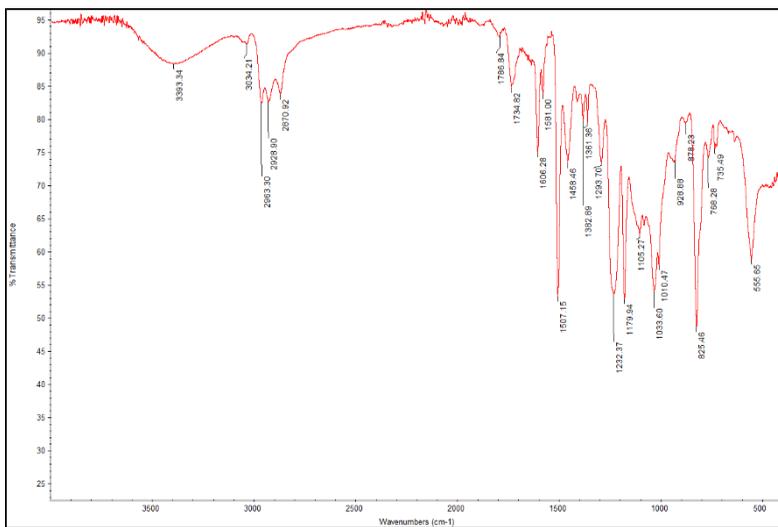
### 3. Komposit Serat Karbon/Epoksi (4% MAH)



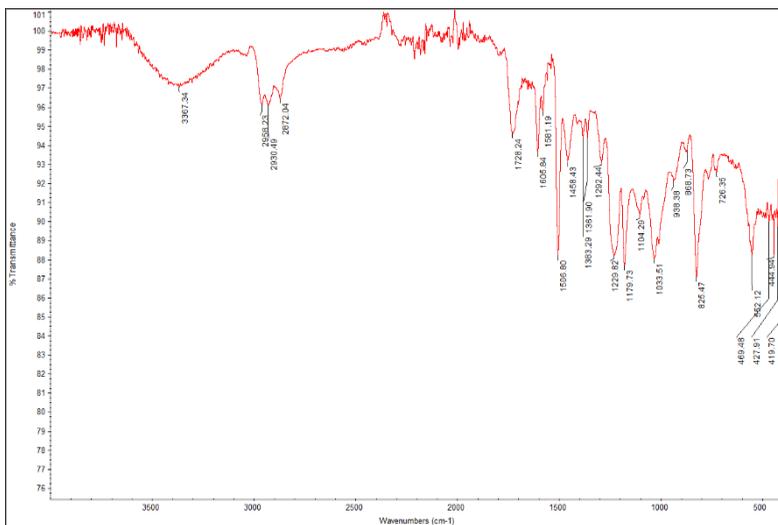
### 4. Komposit Serat Karbon/Epoksi (6% MAH)



## 5. Komposit Serat Karbon/Epoksi (8% MAH)



## 5. Komposit Serat Karbon/Epoksi (10% MAH)



## Lampiran C

### Data Pengujian Kekerasan

#### 1. Dimensi Spesimen Kekerasan

Sampel	<i>Length</i> (mm)	<i>Width</i> (mm)	<i>Height</i> (mm)
0% MAH	50	10	10
2% MAH	50	10	10
4% MAH	50	10	10
6% MAH	50	10	10
8% MAH	50	10	10
10% MAH	50	10	10

#### 2. Hasil Pengujian Rata rata

Sampel	<i>Left</i>	<i>Middle</i>	<i>Right</i>	<i>Average</i>
0% MAH	58	51	56	55
2% MAH	68	65	60	64,33
4% MAH	68	66	68	67,33
6% MAH	55	53	51	53
8% MAH	51	52	53	52
10% MAH	52	54	51	52.33

## Lampiran D

### Data Pengujian Tarik

1. Tabel Nilai Elongasi Material Komposit Serat Karbon/Epoks

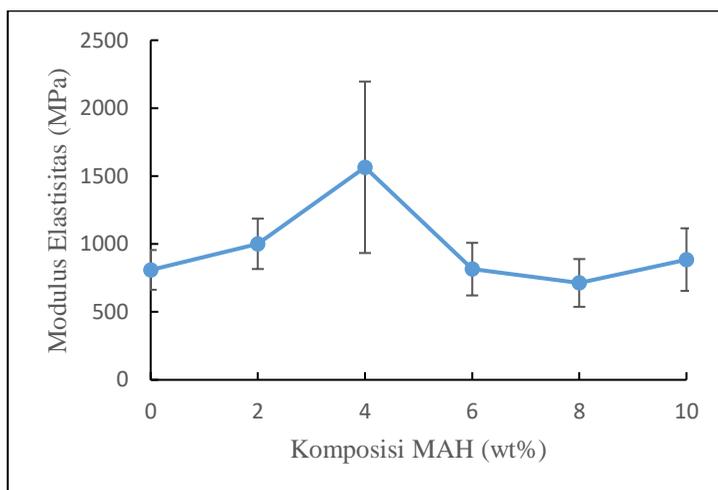
Kode Sampel	Elongasi (%)
0% MAH	21,3333
2% MAH	21,9333
4% MAH	17,6333
6% MAH	23,6
8% MAH	26,7333
10% MAH	21

2. Tabel Nilai Kekuatan Tarik Material Komposit Serat Karbon/Epoksi

Kode Sampel	Kekuatan Tarik (MPa)
0% MAH	171,1833333
2% MAH	216,6533333
4% MAH	256,9633333
6% MAH	188,1033333
8% MAH	185,49
10% MAH	180,57

3. Tabel dan Grafik Nilai Modulus Elastisitas Material Komposit Serat Karbon/Epoksi

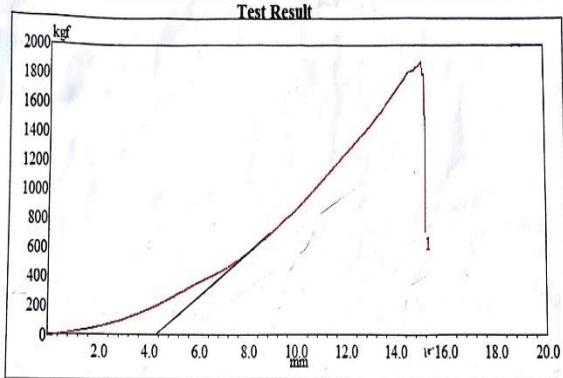
Kode Sampel	Modulus Elastisitas (MPa)
0% MAH	809,2838
2% MAH	1001,017
4% MAH	1564,674
6% MAH	814,8035
8% MAH	713,2363
10% MAH	884,9623



4. 0% MAH – 1



**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya



Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext.@Break mm
0%MAH-1	13.00	6.00	78.00	18554.0	17.75	15.17
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---







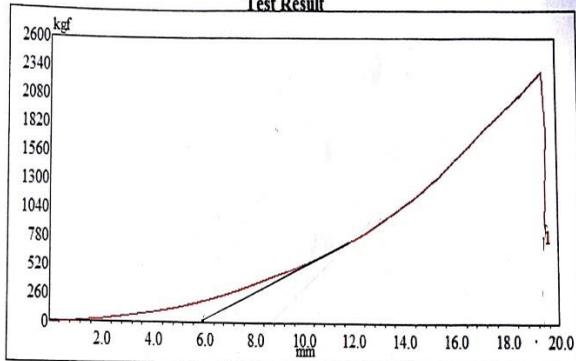


9. 2% MAH – 3



**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

**Test Result**



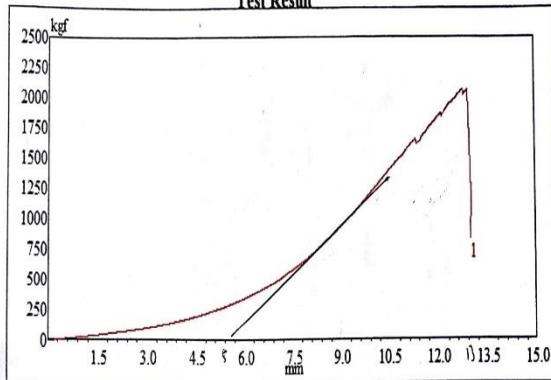
Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext.@Break mm
2%MAH-3	13.00	7.00	91.00	22512.3	247.4	19.45
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

10. 4% MAH – 1



**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Result



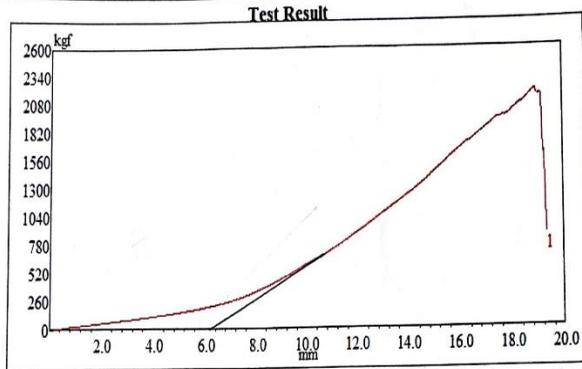
Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext.@Break mm
4%MAH-1	14.00	5.00	65.00	20264.3	281.1	12.97
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



12. 4% MAH – 3



**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

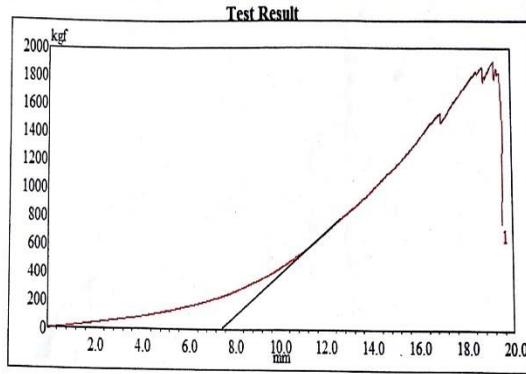


Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext.@Break mm
4%MAH-3	13.00	8.00	104.00	21485.3	206.6	19.31
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

13. 6 MAH% - 1



Laboratorium Metalurgi  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya



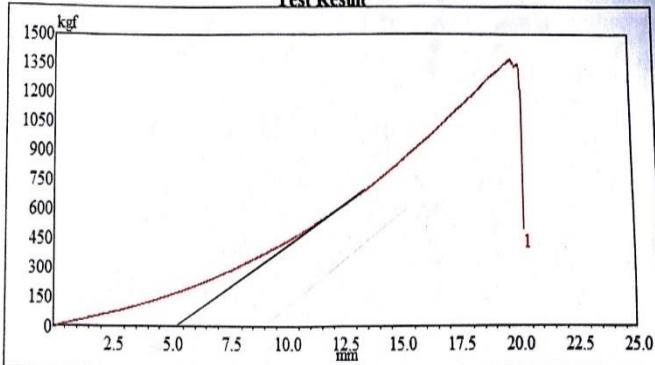
Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext.@Break mm
6%MAH-1	13.00	7.00	91.00	18744.1	206.0	19.52
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

14. 6% MAH – 2



**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

**Test Result**



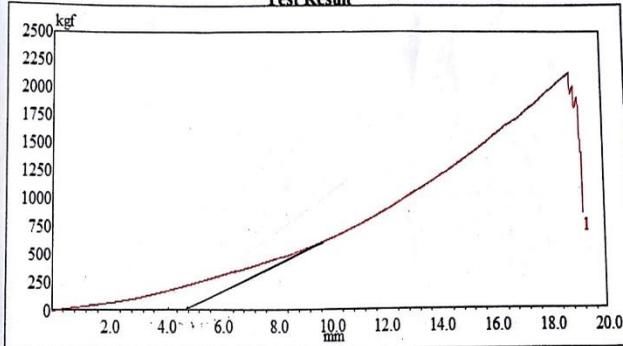
Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext. @ Break mm
6%MAH-2	13.00	1.00	104.00	13424.9	129.11	20.17
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

15. 6% MAH – 3



**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

**Test Result**



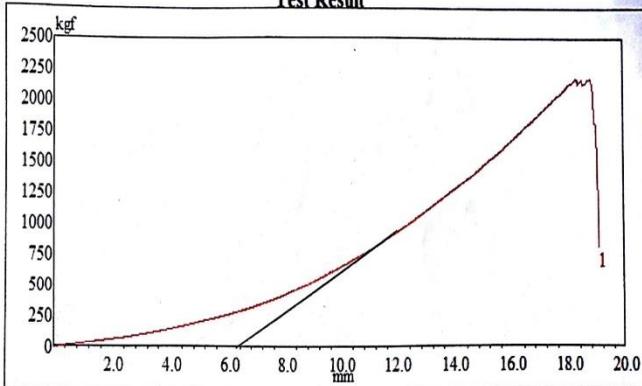
Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext.@Break mm
6%MAH-3	11.00	8.00	117.00	20856.6	184.2	19.17
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

16. 8% MAH – 1



**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

**Test Result**



Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext.@Break mm
8%MAH-1	13.00	8.66	91.00	21341.6	205.11	19.06
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



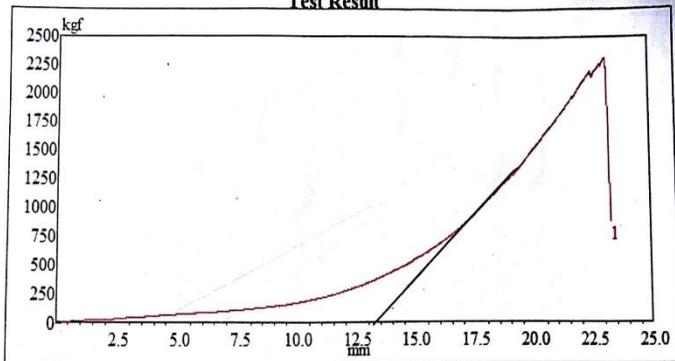


19. 10% MAH – 1



**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

**Test Result**



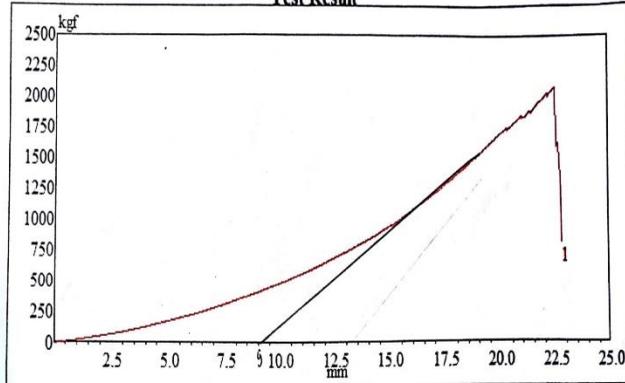
Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext.@Break mm
10%MAH-1	15.00	7.5	91.00	22748.0	35.63	23.27
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

20. 10% MAH – 2



**Laboratorium Metalurgi**  
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
 Fakultas Teknologi Industri  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

**Test Result**

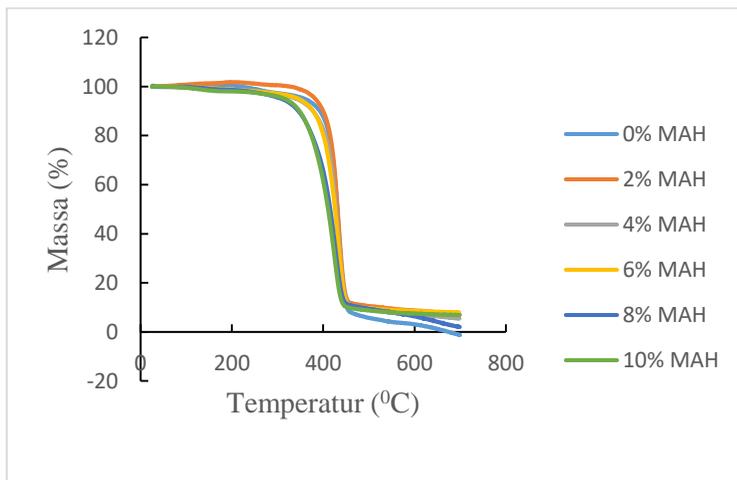


Spec. Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	UTS MPa	Ext.@Break mm
10%MAH-2	14.00	8.00	104.00	20411.9	184.25	22.75
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



## Lampiran E

### Hasil Pengujian TGA ((Thermogravimetric Analysis)



Sampel	T5 (°C)	T10 (°C)	Residu (%)
0% MAH	359,958	392,809	0
2% MAH	382,579	400,064	7
4% MAH	341,299	377,777	6
6% MAH	345,759	378,157	8
8% MAH	308,72	345,546	2
10% MAH	315,587	348,315	7

## BIOGRAFI PENULIS



Yudhistira Adityawardhana lahir di Jakarta pada tanggal 9 November 1996. Penulis merupakan putra pertama Samesto Nitisastro dan Anita Meyana dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Pendidikan Jayawijaya, SD Pendidikan Jayawijaya, SDI AI – Azhar 2 Pasar Minggu, SMPI AI – Azhar 2 Pejaten dan SMAI AI – Azhar 2 Pejaten. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material – Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya angkatan 2014. Di Departemen Teknik Material ini, penulis mengambil Bidang Studi Material Inovatif. Selama berkuliah di ITS, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, antara lain Staff Kementerian Kebijakan Kampus BEM ITS 2015 – 2016, Lalu Sekretaris Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI - ITS 2016 – 2017 dan Asisten Sekretaris Jendral Eksternal BK MWA WM ITS (2017-2018). Kemudian Penulis juga Aktif di kepanitiaan seperti OC Public Relation ILITS 2016 dan Ketua BPDK Pemira KM ITS 2016 dan juga pernah menjadi asisten laboratorium Kimia Material 2017.

Pengalaman kerja yang pernah ditempuh penulis yakni kerja praktik di PT. Pertamina RU VI Balongan pada bulan Juni hingga Juli 2017. Penulis dapat dihubungi melalui email [yudhis1996@gmail.com](mailto:yudhis1996@gmail.com).