



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 184834

STUDI PENAMBAHAN COUPLING AGENT 3-AMINOPROPYLTRIETHOXYSILANE (APTES) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI KOMPOSIT EPOKSI/SERAT KACA UNTUK LAMBUNG KAPAL

FARIS MAHDI KHOLIQ
NRP 02511540000004

Dosen Pembimbing:
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TL 184834

**STUDI PENAMBAHAN COUPLING AGENT
3-AMINOPROPYLTRIETHOXYSILANE (APTES)
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI
KOMPOSIT EPOKSI/SERAT KACA UNTUK
LAMBUNG KAPAL**

**FARIS MAHDI KHOLIQ
NRP 02511540000004**

**Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**STUDY OF ADDITION
3-AMINOPROPYLTRIETHOXYSILANE (APTES)
COUPLING AGENT ON MECHANICAL
PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF
EPOXY/GLASSFIBER COMPOSITE FOR SHIP
HULL**

**FARIS MAHDI KHOLIQ
NRP 02511540000004**

**Advisor
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2019**

(This page left intentionally blank)

**STUDI PENAMBAHAN COUPLING AGENT
3-AMINOPROPYLTRIETHOXYSILANE (APTES)
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI
KOMPOSIT EPOKSI/SERAT KACA UNTUK LAMBUNG
KAPAL**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

FARIS MAHDI KHOLIQ

NRP. 02511540000004

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc (Pembimbing I)
2. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T (Pembimbing II)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**STUDI PENAMBAHAN COUPLING AGENT
3-AMINOPROPYLTRIETHOXY-SILANE (APTES)
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI
KOMPOSIT EPOKSI/SERAT KACA UNTUK LAMBUNG
KAPAL**

Nama Mahasiswa : Faris Mahdi Kholiq
NRP : 02511540000004
Departemen : Departemen Teknik Material
Pembimbing : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Co-pembimbing : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T

Abstrak

Material komposit saat ini telah banyak digunakan dalam bidang kemaritiman seperti pada lambung kapal. Hal ini dikarenakan komposit memiliki keunggulan seperti konstruksi yang ringan, biaya produksi murah dan masih banyak lainnya. Namun pada kenyataannya kemungkinan kegagalan kerap kali terjadi pada material komposit, salah satunya yaitu kekuatan adhesi yang terjadi di wilayah interface antara serat dan matriks yang masih lemah. Saat ini, perlakuan kimia dengan menggunakan Coupling Agent adalah yang paling efektif. Coupling agent berfungsi sebagai bahan pengikat yang dapat meningkatkan daya adhesi antara matriks dan serat. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh komposisi 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES) sebagai salah satu Coupling Agent terhadap sifat mekanik dan morfologi dari komposit Epoksi/Serat Kaca sebagai kandidat material untuk lambung kapal. Metode yang digunakan yaitu surface treatment dengan silane coupling agent. Serat kaca di rendam di larutan APTES dan dilakukan pengeringan di dalam oven pada temperature 110°C selama 2 jam, sebelum proses hand lay up saat pembuatan komposit. Dari proses tersebut diperoleh material komposit yang memiliki variasi perlakuan, yaitu 0, 2, 4, 6, 8 % APTES. Dari hasil penelitian. Didapatkan nilai yang optimal saat matriks kontak dengan serat kaca, yaitu pada 6% dan 8%

APTES dengan sudut kontak 50°. Kekuatan Tarik tertinggi dimiliki komposit Epoksi/Serat Kaca dengan 4% APTES sebesar 191 MPa, modulus elastisitas tertinggi yaitu pada 4%APTES sebesar 838 MPa. sedangkan nilai elongasi tertinggi pada 0% APTES sebesar 33 %. Pada uji bending, nilai flexural strength tertinggi berada pada komposisi APTES 6% yaitu sebesar 391 MPa, flexural modulus tertinggi berada pada 6%APTES dengan nilai 7 GPa dan flexural strain tertinggi yaitu pada 6% APTES sebesar 6 %. Kesimpulannya Nilai kekuatan Tarik dan bending pada komposit Epoksi/Serat Kaca yang tersilikonisasi melebihi standar BKI material GFRP pada lambung kapal sehingga dapat diaplikasikan pada kapal GFRP.

Kata kunci : 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES), Coupling Agent, Interface, Lambung Kapal , Epoksi/Serat Kaca.

**STUDY OF ADDITION
3-AMINOPROPYLTRIETHOXY-SILANE (APTES)
COUPLING AGENT ON MECHANICAL PROPERTIES
AND MORPHOLOGY OF EPOXY/GLASSFIBER
COMPOSITE FOR SHIP HULL**

Student's Name : Faris Mahdi Kholiq
Student's ID : 02511540000004
Department : Material Engineering Department
Advisors : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
Co-Advisors : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T

Abstract

Composite materials are now widely used in maritime fields such as the hulls of ships. This is because composites had advantages such as lightweight construction, low production costs and many others. But in reality the possibility of failure often occurs in composite materials, one of which is the adhesion strength that occurs in the interface area between the fiber and matrix which is still weak. At present, the chemical treatment used Coupling Agent are the most effective. Coupling agent functions as a binder which can increased the adhesion between matrix and fiber. This study was conducted to analyze the effect of the composition of 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES) as one of the Coupling Agents on the mechanical and morphological properties of Epoxy/Glassfiber composites as a candidate material for ship hulls. The method used was surface treatment with silane coupling agent. Glass fiber immersed in the APTES solution and carried out drying in an oven at 110°C for 2 hours, before the hand lay up proceced when making composites. From the process obtained composite materials that have a variety of treatments, 0, 2, 4, 6, 8% APTES. From the results of the study. The optimal value was obtained when the matrix contacts with glass fibers, ie at 6% and 8% APTES with a contact angle of 50°. The highest tensile strength owned by Epoxy/Glassfiber composites with 4% APTES

of 191 MPa, the highest modulus of elasticity is at 4% APTES of 838 MPa. while the highest elongation value 33% at 0% APTES. In the bending test, the highest value of flexural strength owned by APTES with 6% composition equal to 391 MPa, the highest flexural modulus at 6% APTES with the highest value of 7 GPa and flexural strain at 6% APTES was 6%. In conclusion, the value of tensile and bending strength in Epoxy/Glassfiber composites that are tertiary over the BKI standard of GFRP material on the hull of the ship can be applied to GFRP vessels.

Keywords: *3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES), Coupling Agent, Interface, Ship Hull , Epoxy/Glassfiber.*

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 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES) Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit Epoksi/Serat Kaca Untuk Lambung Kapal”**.

Laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material, 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 hingga selesainya penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Kepala Departemen Teknik Material.
3. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc., selaku pembimbing I Tugas Akhir dan Kaprodi Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T selaku dosen wali yang memberi motivasi.

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 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Komposit	5
2.2 Interface	9
2.3 Epoksi	15
2.4 Serat Kaca	20
2.5 Coupling Agent	28
2.6 Hand Lay-Up	31
2.7 Komposit Pada Kapal	32
2.8 Penelitian Sebelumnya	39
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	
3.1 Diagram Alir	43
3.2 Bahan Penelitian	45
3.3 Alat Alat Penelitian	49
3.4 Variabel Penelitian	50
3.5 Prosedur Penelitian	50
3.6 Pengujian	54
3.7 Rancangan Penelitian	59

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil <i>FTIR</i>	61
4.2 Hasil <i>Scanning Electron Microscope</i>	66
4.3 Hasil Kemampubasahan	70
4.4 Hasil Uji Tarik	74
4.5 Hasil Uji Bending	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	93
UCAPAN TERIMA KASIH	123
BIODATA PENULIS	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi Material Komposit	6
Gambar 2.2 Karakteristik Serat / Matriks <i>Interface</i>	9
Gambar 2.3 Ikatan <i>Interface</i> Terbentuk	10
Gambar 2.4 Kenaikan Kapiler	12
Gambar 2.5 Tiga Kondisi Pembasahan	13
Gambar 2.6 Jenis Jenis Ikatan	14
Gambar 2.7 Gugus Fungsi Epoksi	15
Gambar 2.8 Aplikasi Epoksi	15
Gambar 2.9 Sintesis DGEBA	16
Gambar 2.10 Reaksi Epoksi dengan Amina	18
Gambar 2.11 Diagram Fasa CaO-SiO ₂	21
Gambar 2.12 Skema Proses Manufaktur Serat Kaca	23
Gambar 2.13 Jenis Jenis Serat Kaca Secara Komersial	24
Gambar 2.14 Struktur Permukaan Serat Kaca	27
Gambar 2.15 Struktur Ikatan Antara Gugus <i>Silane</i>	27
Gambar 2.16 Gugus Fungsi <i>3-Aminopropyltriethoxysilane</i> .	31
Gambar 2.17 Skema <i>Hand Lay-Up / Wet Lay-Up</i>	31
Gambar 2.18 Penggunaan Resin	33
Gambar 2.19 Penggunaan Serat Pada Industri Kapal Laut ...	35
Gambar 2.20 Hogging Pada Kapal	36
Gambar 2.21 Sagging Pada Kapal	37
Gambar 2.22 Gaya Dinamis Pada Kapal	38
Gambar 2.23 Hasil Uji SEM dari Serat Kaca	40
Gambar 2.24 Diagram <i>Fishbone</i> Penelitian	42
Gambar 3.1 Surface Treatment Pada Serat Kaca	43
Gambar 3.2 Diagram Alir Manufaktur Komposit	44
Gambar 3.3 Serat Kaca	45
Gambar 3.4 Epoksi	46
Gambar 3.5 <i>3-Aminopropyltriethoxysilane</i> (APTES)	46
Gambar 3.6 Methanol	47
Gambar 3.7 Acetone	48
Gambar 3.8 Wax	48
Gambar 3.9 Proses Surface Treatment	51

Gambar 3.10 Proses Manufaktur Komposit	53
Gambar 3.11 Mesin Uji SEM	54
Gambar 3.12 Mesin Uji FTIR	55
Gambar 3.11 Ilustrasi Sudut Kontak	56
Gambar 3.12 Dimensi spesimen uji tarik	56
Gambar 3.13 Mesin Uji Bending	58
Gambar 4.1 Spektra FTIR Komposit	58
Gambar 4.2 Spektra FTIR Serat Kaca.....	63
Gambar 4.3 Bentuk patahan specimen uji Tarik material	66
Gambar 4.4 Mikrografi SEM Permukaan Patahan	67
Gambar 4.5 Mikrografi SEM Permukaan Serat Kaca	68
Gambar 4.6 Mikroskopi SEM Permukaan Patahan Uji Tarik Dengan Ukuran Seratnya	69
Gambar 4.7 Droplet Air Pada Serat Kaca	71
Gambar 4.8 Sudut Kontak Pada Serat Kaca 0% APTES	72
Gambar 4.9 Grafik nilai <i>Wettability</i> SK	73
Gambar 4.10 Sifat Tarik dari Material Komposit Serat	76
Gambar 4.11 Nilai Modulus Elastisitas	77
Gambar 4.12 Nilai Elongasi Material Komposit Serat	78
Gambar 4.13 Kekuatan Bending dari Material Komposit	80
Gambar 4.14 <i>Flexural Modulus</i> dari Material Komposit	81
Gambar 4.15 <i>Flexural Strain</i> dari Material Komposit	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe- Tipe Curing Agents	17
Tabel 2.2 Sifat Mekanik dari Resin Epoksi	19
Tabel 2.3 Komposisi Beberapa Jenis Serat Kaca	20
Tabel 2.4 Perbandingan Sifat Serat Kekuatan Tinggi	22
Tabel 2.5 Rekomendasi <i>Coupling Agent</i> Silane.....	26
Tabel 2.6 Perbandingan Sifat Mekanik Resin	34
Tabel 2.7 Perbandingan Sifat Mekanik Serat.....	34
Tabel 2.8 Standar Minimum Kekuatan Lambung Kapal.....	35
Tabel 3.1 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik	57
Tabel 3.2 Perlakuan Serat Kaca	59
Tabel 3.3 Pembuatan Komposit	59
Tabel 4.1 Daerah Serapan Infra Merah	65
Tabel 4.2 Diameter Serat Kaca pada Material Komposit.....	70
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Wettability	72
Tabel 4.4 Tensile Properties dari material komposit.....	75
Tabel 4.5 Hasil Uji Bending Material Komposit	79

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di wilayah Indonesia, Kapal laut banyak menggunakan material *Fiberglass Reinforced Plastics (FRP)* sebagai bahan konstruksinya , seperti halnya digunakan 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, 2013). Ketergantungan pada bahan buatan komposit yang semakin tinggi menuntut terciptanya inovasi untuk mengembangkan material. Perkembangan teknologi bahan dewasa ini semakin pesat. Hal ini di dorong akan kebutuhan bahan yang dapat memenuhi karakteristik tertentu yang dikehendaki. Salah satu hasilnya adalah bahan komposit bermatriks polimer. Kemampuan untuk mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan , baik dari segi kekuatan, maupun bentuknya dan keunggulannya dalam rasio kekuatan terhadap berat, mendorong penggunaan komposit bermatriks polimer sebagai bahan pengganti material logam konvensional pada berbagai produk (Alian, 2011). 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.. Kemungkinan kegagalan tetap terjadi pada komponen komponen material komposit, Kegagalan biasanya terjadi akibat menerima beban geser atau beban tarik di luar batas kemampuan menahan beban. Salah satu hal yang menyebabkan hal ini adalah kekuatan adhesi

(kerekatan) antara serat dan matriks masih lemah atau belum mencapai standar yang diperlukan. Hal ini diakibatkan karena beberapa faktor, seperti, perbedaan sifat antara serat sintetis yang dapat menghasilkan sifat mekanik yang kurang baik (Jawaid, Sapuan, & Alothman, 2017). Pada saat serat berinteraksi dengan matriks, sifat adhesi yang kuat dan tahan lama pada *interface* dianggap sebagai syarat penting untuk mengembangkan komposit dengan sifat mekanik yang maksimum. Hal ini dikarenakan antara serat dan matriks memiliki peran penting dalam menentukan sifat mekanik dari komposit dimana transfer tegangan antara serat dan matriks melewati wilayah *interface*. Ikatan antarmuka yang baik dibutuhkan untuk mencapai kekuatan dan penguatan yang optimum pada komposit.

Material serat kaca dalam industri kapal telah diatur oleh Biro Klasifikasi Indonesia. Mengacu pada standar Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2016 mengenai *Rules For Fiberglass Reinforced Plastic Ships*, material yang diperlukan untuk kapal FRP yang menggunakan serat kaca dengan jenis *woven roving* ataupun *chopped* sebagai bahan utama lambung kapal harus memenuhi kekuatan tertentu yaitu untuk kekuatan Tarik minimal sebesar 98 N/mm² dan juga harus memenuhi kekuatan bending sebesar 150 N/mm². Dalam proses laminasi, kadar Serat kaca standar dalam rasio berat adalah sekitar 30% untuk jenis serat kaca *chopped* atau sekitar 50% untuk jenis serat kaca *woven roving* (Biro Klasifikasi Indonesia, 2016).

Perlakuan kimia yang tepat dapat mampu meningkatkan ikatan antara serat dan matriks, sehingga sifat komposit nantinya akan menjadi lebih baik. Pada penelitian ini peneliti menggunakan salah satu perlakuan kimia yang sejauh ini efektif di gunakan adalah dengan penambahan *Coupling Agent* terutama *silane treatment*. Reaksi kimia terjadi pertama kali antara *silane* dan permukaan serat kaca lalu diikuti reaksi antara serat kaca yang mengandung *silane* dengan matriks epoksi. *Coupling Agent* sendiri berfungsi sebagai bahan pengikat, yang mana bertujuan untuk meningkatkan daya adhesi antara matrik dengan filler sehingga

dengan penambahan Coupling Agent maka sifat komposit semakin baik.

1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh komposisi 3-*Aminopropyltriethoxysilane* (APTES) sebagai *Coupling Agent* terhadap sifat mekanik dari komposit Epoksi/Serat Kaca?
2. Bagaimana pengaruh komposisi 3-*Aminopropyltriethoxysilane* (APTES) sebagai *Coupling Agent* terhadap sudut pembasahan dari komposit Epoksi/Serat Kaca?
3. Bagaimana pengaruh komposisi 3-*Aminopropyltriethoxysilane* (APTES) sebagai *Coupling Agent* terhadap morfologi dari komposit Epoksi/Serat Kaca?

1.2 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pengaruh *impurities* pada saat proses pencampuran diabaikan.
2. Perubahan temperatur atmosfer selama proses pencampuran diabaikan.
3. Proses *mixing* pada saat proses *silane treatment* dianggap homogen.
4. Reaksi *curing* dianggap homogen.
5. Reaksi *silane surface treatment* dianggap homogen.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh komposisi 3-*Aminopropyltriethoxysilane* (APTES) sebagai *Coupling Agent* terhadap sifat mekanik dari komposit Epoksi/Serat Kaca.

-
2. Menganalisis pengaruh komposisi 3-*Aminopropyltriethoxysilane* (APTES) sebagai *Coupling Agent* terhadap sudut pembasahan dari komposit Epoksi/Serat Kaca.
 3. Menganalisis pengaruh komposisi 3-*Aminopropyltriethoxysilane* (APTES) sebagai *Coupling Agent* terhadap morfologi dari komposit Epoksi/Serat Kaca.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian untuk mengetahui pengaruh 3-*Aminopropyltriethoxysilane* terhadap kekuatan adhesi dan sifat mekanik pada material komposit Epoksi/Serat Kaca. Sehingga didapatkan nilai optimum dari proses *silane treatment* tersebut dan sebagai kandidat komposit yang berguna untuk meningkatkan dan mencapai performa maksimum pada lapisan komposit yang mengacu pada standar Biro Klasifikasi Indonesia dimana material yang diperlukan untuk kapal FRP yang menggunakan serat kaca dengan jenis *woven roving* ataupun *chopped* sebagai bahan utama lambung kapal harus memenuhi kekuatan tertentu yaitu untuk kekuatan Tarik minimal sebesar 98 N/mm^2 dan juga harus memenuhi kekuatan *bending* sebesar 150 N/mm^2 dengan. Selain itu penelitian ini juga berguna sebagai acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan material komposit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Material komposit di buat dengan menggabungkan dua atau lebih jenis material yang bertujuan untuk memberikan kombinasi sifat yang unik dimana sifat akhir dari material komposit lebih baik daripada sifat material penyusunnya (Mazumdar, 2002). Selain itu menurut (Sulistijono, 2012), Komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik yang dengan struktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Material campuran tersebut akan menghasilkan material yang baru yang memiliki sifat unggul dari material pembentuknya. Kombinasi atau Penggabungan tersebut, dapat memperbaiki dan mengembangkan sifat mekanik dan fisik dari material tersebut, diantaranya adalah kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan gesek, konduktivitas termal, ketahanan fisik, hingga berat.

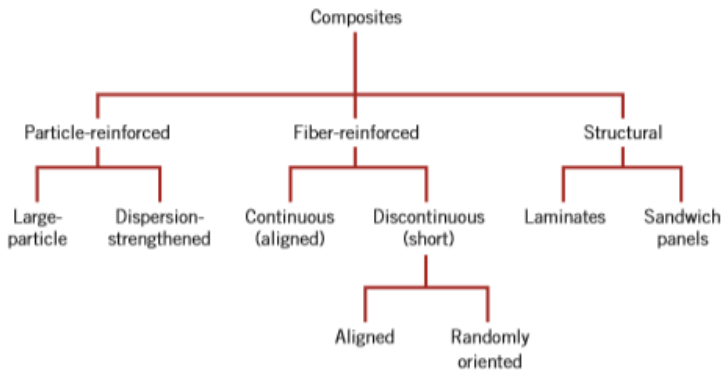
Sebuah material dapat dikatakan material komposit jika memenuhi tiga kriteria dibawah ini, yaitu:

1. Merupakan material yang dimanufaktur.
2. Mengandung dua atau lebih material yang secara fisik maupun kimia berbeda, dan fase yang diatur atau didistribusikan oleh *interface* yang memisahkannya.
3. Mempunyai karakteristik yang tidak dapat digambarkan oleh komponen apapun dalam isolasi (Chawla, 2011).

2.1.1 Karakterisasi Komposit

Pada umumnya, komposit terbentuk antara dua atau lebih material yang berbeda atau bisa kita sebut juga fasa yang berbeda, yaitu fasa diskontinyu yang cenderung lebih kuat dan kaku sebagai material penguat yang biasa disebut oleh kalangan umum sebagai *reinforced/filler*. Sedangkan fasa kontinyu lebih fleksibel dan memberi bentuk disebut sebagai matriks. Kedua fasa tersebut

memiliki jenis, sifat, bentuk, dan ukuran yang berbeda-beda sesuai kebutuhan pemakaian, sehingga sifat komposit tidaklah selalu sama karena tergantung dari kombinasi sifat pembentuknya.



Gambar 2.1 Klasifikasi Material Komposit Berdasarkan Jenis Penguat (*reinforced*)
(Callister, 2011)

Adapun Keunggulan material komposit akan efektif jika *specific modulus* dan *specific strength* diperhitungkan, karena semakin tinggi *specific modulus* dan *specific strength* dari material komposit, maka berat dari komponen dapat dikurangi (Hull, 1995). Material komposit kemudian dapat diklasifikasikan lagi berdasarkan jenis seratnya, dijelaskan pada Gambar 2.1 Komposit diklasifikasikan menjadi tiga kelompok berdasarkan jenis penguatnya, yaitu *fibrous composites* (komposit serat), *particulates composites* (komposit partikel) dan *laminates composites* (komposit lamina) (Callister, 2011).

2.1.2 Penguat/ Filler/(*Reinforced*)

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforced* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Filler adalah bahan pengisi yang digunakan dalam

pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Serat yang sering digunakan dalam pembuatan komposit antara lain serat E-Glass, boron, karbon dan lain sebagainya. Bisa juga dari serat alam antara lain serat kenaf, jute, rami, ijuk dan lain sebagainya (Gibson, 1994).

Penguat/*reinforced/filler* adalah fasa dalam komposit yang bersifat lebih kuat dan kaku, berfungsi untuk menguatkan komposit dan sebagai penanggung beban utama pada komposit. Ada keragaman yang signifikan dalam struktur kimia, bentuk, ukuran, dan sifat inheren dari berbagai senyawa anorganik dan organik yang digunakan sebagai pengisi. Mereka biasanya bahan yang kaku, tidak bercampur dengan matriks di kedua kondisi cair dan padat, dan, dengan demikian, membentuk morfologi terdispersi yang berbeda. Pengisi dapat diklasifikasikan sebagai zat anorganik atau organik dan selanjutnya dibagi lagi untuk bentuk dan ukuran atau aspek rasio. Terdapat beberapa jenis bentuk dan ukuran *reinforced* seperti whiskers, partikel dan juga Serat. Sifat mekanik serat sebagai penguat (*reinforced*) adalah kekuatannya lebih tinggi daripada matriksnya, berdiameter sekitar 10 mikrometer, dimensinya kontinu, atau pendek (diskontinu) dengan orientasi yang sama atau acak berupa tenunan, modulus elastisnya tinggi (sifat kekakuan). Penguat yang paling banyak digunakan dalam komposit memiliki bentuk serat karena bahan lebih kuat dan kaku dalam bentuk serat daripada bentuk lainnya (Callister, 2011).

2.1.3 Matriks

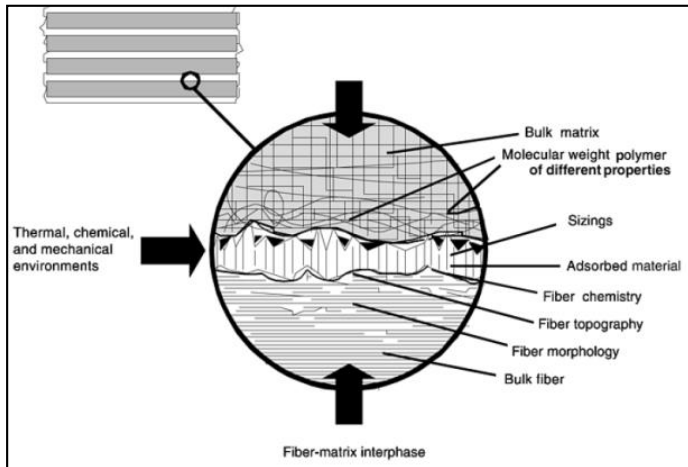
Menurut (Gibson, 1994), bahwa matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matriks adalah fasa dalam komposit yang memiliki bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks umumnya lebih lentur tetapi memiliki kekuatan yang lebih rendah. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks harus mampu meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matriks. Adapun Matriks pada komposit mempunyai peranan sebagai berikut.

-
1. Menjaga serat tetap berada pada tempatnya.
 2. Mentransfer tegangan antar serat.
 3. Memberikan perlindungan dari lingkungan yang merugikan.
 4. Melindungi permukaan serat dari degradasi mekanik (Mallick, 2007).

Umumnya matrik yang dipilih 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).

Komposit matriks polimer terdiri atas polimer (contoh: epoksi, polyester, polyurethane) yang diperkuat dengan serat berdiameter tipis (contoh: grafit aramid boron). Sebagai contoh, komposit grafit/epoksi lima kali lebih kuat daripada baja dalam basis weight-to-weight. Komposit serat polimer memiliki keunggulan, yaitu biaya yang lebih rendah, kekuatannya tinggi dan prinsip manufakturnya mudah. Kelemahan dari komposit serat polimer adalah temperatur operasi yang rendah, koefisien termal yang tinggi dan ekspansi kelembaban dan sifat elastisitas yang rendah pada arah tertentu (Kaw, 2006).

2.2 *Interface*

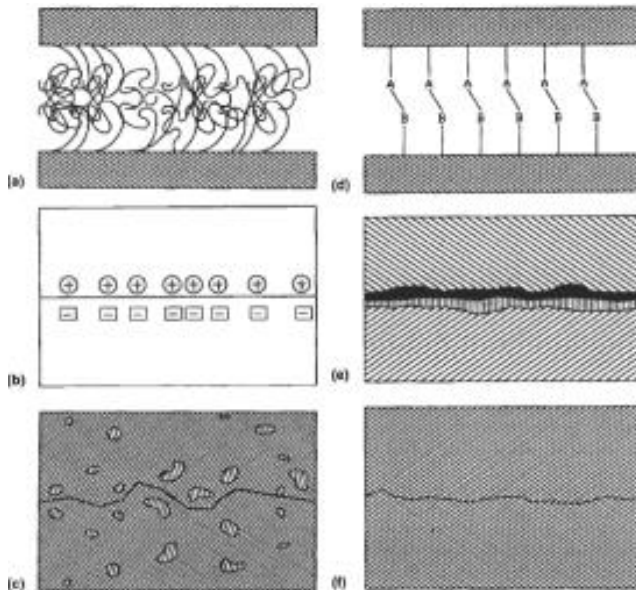


Gambar 2.2 Karakteristik Serat / Matriks *Interface* dalam Material Komposit
(Kim dan Mai, 1998)

Secara umum, komposit dapat dianggap terdiri dari 3 fasa, dimana 3 fasa itu terdiri dari matriks, *reinforced* dan yang ketiga adalah area yang mengelilingi *reinforced* yang disebut sebagai *interface*. *Interface* pada komposit serat dapat di definisikan sebagai permukaan yang dibentuk oleh batas antara penguat dan matriks yang bersentuhan dengan mempertahankan ikatan di antaranya untuk transfer beban. Pada intinya, *interface* merupakan batasan daerah antara dua material yang dapat mengubah parameter sifat material seperti konsentrasi elemen, struktur Kristal, modulus elastis, densitas, koefisien ekspansi termal, dll dari material satu ke material lainnya. Sifat fisik dan mekanik dari *interface* berbeda dari serat karbon atau matriks itu sendiri. *Interface* dimulai dari beberapa titik pada permukaan serat kemudian melewati daerah *interface* sepenuhnya hingga ke matriks. Pada Gambar 2.2 menunjukkan skematik konsep tiga lapis

dari *interface* diantara serat (*fibre*) dan matriks (Kim dan Mai, 1998).

Sifat *bonding* pada *Interface* tidak hanya bergantung pada faktor-faktor seperti susunan atom, formasi molekul, susunan kimia, dari serat dan matriks tetapi juga sifat morfologi dari serat, dan sifat difusivitas dari setiap elemen pada komponen. Pada intinya, penggunaan serat dan matriks yang berbeda akan menghasilkan karakteristik ikatan *interface* yang berbeda. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 dimana ikatan pada *interface* dapat dibentuk dengan berbagai macam salah satunya dikarenakan reaksi kimia yang bahkan dapat membentuk senyawa baru.



Gambar 2.3 Ikatan *Interface* Terbentuk (a) Ikatan Molekular; (b) Reaksi Elektrostatik; (c) Interdifusi Antar Elemen; (d) Reaksi Kimia Antara Grup A dan Grup B Pada Permukaan yang Berbeda; (e) Reaksi Kimia yang Menghasilkan Senyawa Baru; (f) *Mechanical Interlocking* (Kim dan Mai, 1998)

Pada material komposit, salah satu alasan mengapa *interface* penting karena *interface* melapisi area yang cukup besar hingga mencapai $3,000 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ dalam suatu komposit (Chawla, 2011). Pertimbangan utama mengenai hubungan serat oleh matriks dan jenis ikatan antara dua komponen adalah *wettability*. *Wettability* merupakan kemampuan untuk membasahi suatu permukaan dan menggambarkan tingkat kontak antara cairan dan zat padat.

Untuk menentukan apakah *Wettability* dapat dikatakan baik atau buruk, dapat diukur dengan pengukuran sudut kontak *liquid* dengan permukaan *solid*. Sudut kontak dibuat dengan menjatuhkan *liquid* ke permukaan substrat. Sudut kontak diperoleh dari garis singgung sepanjang tiga *interface*: padat/cair, cair/uap, dan padat/uap. Secara teori, dapat menggunakan persamaan Young, diperoleh dari persamaan 2.2.

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LS} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

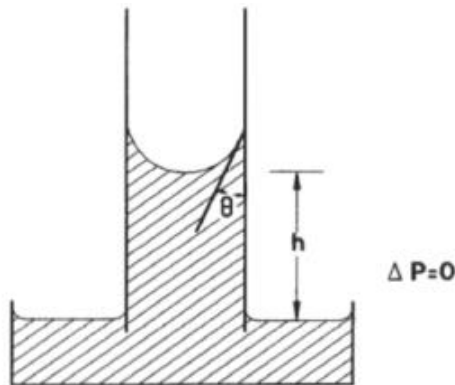
Dimana γ adalah energi permukaan spesifik, dan subskrip SV, LS, dan LV mewakili *interface* padat/uap, cairan/ padat, dan cairan/uap. Tanda γ menandakan pembasahan. Contoh kasus yang paling ekstrim yaitu ketika $\gamma = 0^\circ$ (Gambar 2.4), sesuai dengan pembasahan sempurna dan $\gamma = 180^\circ$, sesuai dengan tidak ada pembasahan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Namun dalam kondisi sebenarnya, jarang untuk mendapatkan nilai ekuilibrium dari γ .

Adapaun kunci untuk menciptakan adhesi yang baik pada *interface* matriks-serat adalah infiltrasi resin ke serabut serat selama proses fabrikasi. Kesenjangan momen yang ada di antara serat dapat menciptakan kekuatan kapilaritas yang sangat besar, yang sering ditandai dengan penurunan tekanan karena energi permukaan yang bekerja di kapiler kecil. Jika cairan tersebut membasahi dinding kapiler, maka cairan akan terbentang sejajar dengan dinding, dan permukaan harus berbentuk cekung. Kapilaritas sendiri merupakan fenomena cairan yang bergerak naik/turun melawan gaya gravitasi karena adanya tegangan

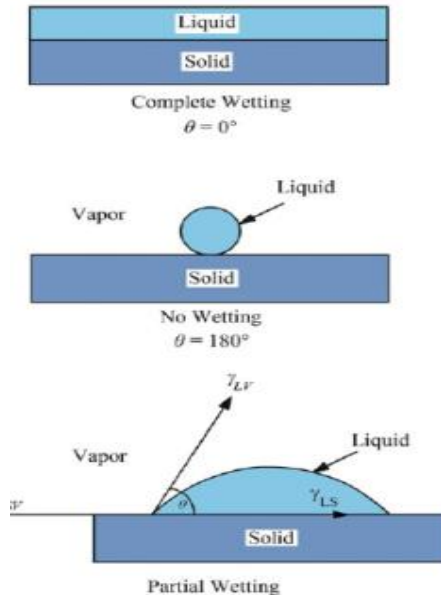
permukaan antara gaya adhesi dan kohesi. Kekuatan pendorong untuk infiltrasi, ΔP , yang ditunjukkan pada persamaan 2.2, adalah fungsi langsung permukaan tegangan cairan, γ_{LV} , dan berbanding terbalik dengan radius efektif kapiler, (r_c) (Kim dan Mai, 1998).

$$\Delta P = \Delta \rho g h = \frac{2\gamma_{LV} \cos \theta}{r_c} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana ΔP adalah perbedaan densitas antara fase cair dan gas, g merupakan percepatan karena gravitasi, dan h tinggi meniskus di atas permukaan cairan datar dimana ΔP harus nol. Sekali lagi jelas bahwa sudut kontak adalah salah satu parameter yang penting dalam mengendalikan kekuatan kapiler yang ada ketika $\theta < 90^\circ$.



Gambar 2.4 Kenaikan Kapiler, Menunjukkan Sudut Kontak, 0° , dan Tinggi Meniskus, h (Kim dan Mai, 1998)



Gambar 2.5 Tiga Kondisi Pembasahan (Chawla, 2011)

Kondisi pembasahan sendiri didasarkan pada sudut kontak dimana dikategorikan menjadi 5 jenis yaitu untuk kemampubasahan kuat berada pada sudut kontak $0-30^\circ$, kemampubasahan sedang berada pada sudut kontak $30-75^\circ$, kemampubasahan netral berada pada rentang $75-110^\circ$, kemampubasahan oli sedang berada pada rentang $105-150^\circ$ dan kemampubasahan oli yang kuat berada pada sudut kontak $150-180^\circ$.

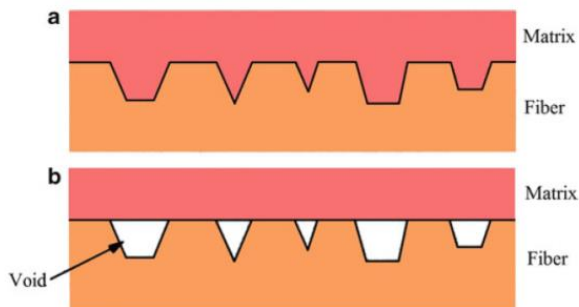
Untuk adhesi optimum, perekat harus benar-benar "membasahi" permukaan yang akan diikat. "Membasahi" berarti perekat mengalir dan menutupi permukaan untuk memaksimalkan area kontak dan kekuatan tarik menarik antara permukaan perekat dan ikatan. Material dengan energi permukaan yang lebih rendah, seperti air, akan secara spontan membasahi permukaan energi yang lebih tinggi, seperti kap mesin yang tidak berbantalan. Untuk

perekat cairan untuk secara efektif membasahi permukaan, energi permukaan perekat harus sama atau lebih rendah dari energi permukaan substrat yang akan diikat (adhesives.org).

2.2.1 Tipe Tipe *Bonding*

Reaksi kimia terjadi antara daerah interfasa. Ikatan kimia (*chemical bonding*) dibuat antara kelompok kimia pada permukaan serat dan kelompok kimia lain yang kompatibel dalam matriks.

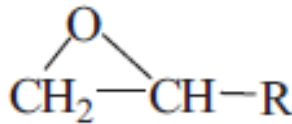
Seperti yang terjadi pada ikatan mekanik (*mechanical bonding*) (Gambar 2.6), antara dua lapisan saling mengikat (*interlocking*) sehingga membentuk sebuah ikatan. Setiap kontraksi matriks ke serat akan menghasilkan pencengkeraman serat oleh matriks. Dalam kasus ikatan mekanik, matriks harus mengisi seluruh area di permukaan serat. *Rugosity*, atau kekasaran permukaan, dapat berkontribusi pada kekuatan ikatan hanya jika matriks cair dapat membasahi permukaan serat, karena kekasaran permukaan dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dan menyebabkan pembasahan yang baik di *polimer matriks composite* (PMC), akibatnya kekuatan geser interlaminar yang ditingkatkan (ILSS) dari komposit (Chawla, 2011).



Gambar 2.6 Jenis Jenis Ikatan Mekanik (a) Ikatan Mekanik yang Baik. (b) Kurangnya Pembasahan Dapat Membuat Polimer atau Logam Cair Tidak Mampu Menembus Permukaan Serat, yang Menyebabkan Muncul Rongga di *Interface* (Chawla, 2011)

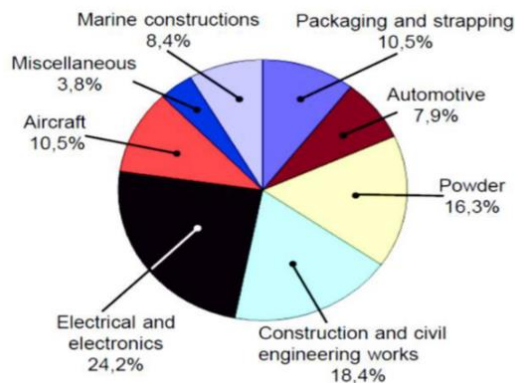
2.3 Epoksi

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 2.7).



Gambar 2.7 Gugus Fungsi Epoksi (Jin, Li, & Park, 2015)

Resin Epoxy merupakan resin jenis thermoset , 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. 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 seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 (Jin, Li, & Park, 2015).

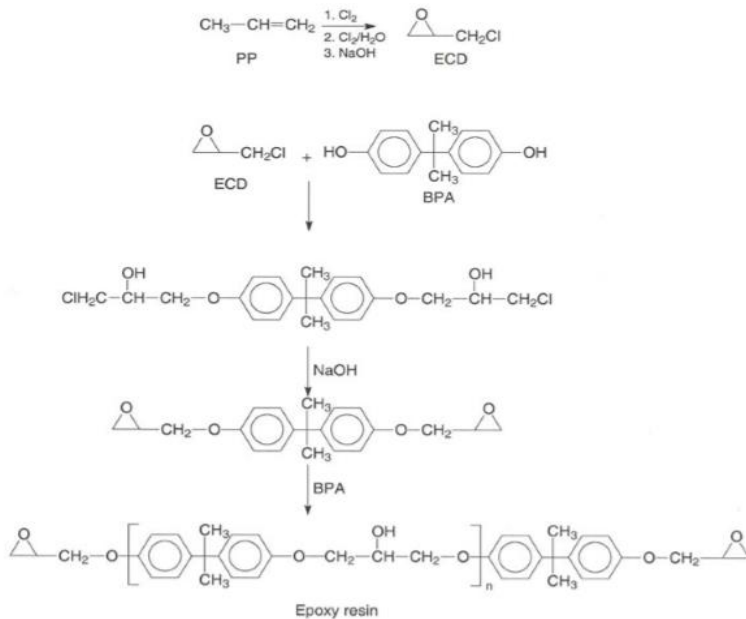


Gambar 2.8 Aplikasi Epoksi (Augustsson, 2004)

2.3.1 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 2.9 (Ratna, 2009).



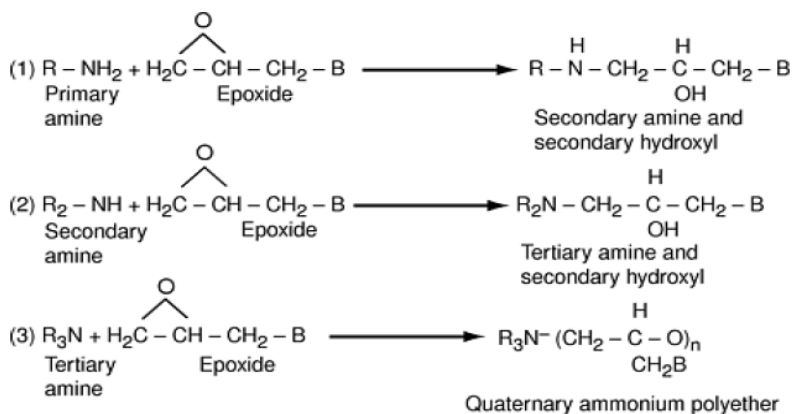
Gambar 2.9 Sintesis DGEBA (Ratna, 2009)

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).

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

Tipe	Kelebihan	Kelemahan
<i>Aliphatic Amine</i>	Biaya Murah, Viskositas rendah, mudah dicampur, <i>curing</i> pada temperatur kamar dan reaksi yang cepat	Keatsiran tinggi dan beracun
<i>Cycloaliphatic Amine</i>	<i>Curing</i> pada temperatur kamar dan ketangguhan dan sifat termal lebih bagus disbanding <i>aliphatic amine</i>	Biaya mahal, ketahan kimia buruk serta ketahanan pelarut buruk
<i>Aromatic Amine</i>	Tg Tinggi dan ketahanan kimia derta sifat termal lebih tinggi disbanding <i>aliphatic amine</i> dan <i>cycloaliphatic amine</i>	Umumnya berbentuk solidserta temperature <i>curing</i> tinggi
<i>Anhydride</i>	Tg Tinggi dibandingkan dengan <i>amine curing agent</i> ,	Sulit dilakukan pencampuran dan <i>curing</i>

	ketahanan kimia dan panas sangat bagus	membutuhkan temperature tinggi
<i>Dcy</i>	Keatsiran rendah, adhesi meningkat serta kelenturan dan ketangguhan bagus	Temperature curing tinggi serta sensitive terhadap kelembaman
<i>Polysulfide</i>	Kelenturan bagus dan curing cepat	Sifat termal dan umur buruk
<i>Polyamide</i>	Keatsiran rendah, toksin rendah, curing temperatur tinggi, adhesi bagus, kelenturan dan ketangguhan bagus dibandingkan dengan <i>aliphatic amine</i>	Tg rendah pada ikatan, biaya yang mahal serta viskositas yang tinggi



Gambar 2.10 Reaksi Epoksi dengan Amina (ASM, 2001)

Proses reaksi *Curing* pada epoksi dapat dikendalikan dengan menggunakan *Curing Agent*. *Curing* resin epoksi dilakukan dengan menambahkan *curing agents*. Perubahan *irreversibel* pada resin epoksi terjadi selama proses *curing*. Kinetika *curing* dan T_g 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, Li, & Park, 2015). Ditunjukkan pada Tabel 2.1 Tipe- Tipe *Curing Agents* Beserta kelebihan dan kelemahanya dan juga reaksi epoksi dengan amina di Gambar 2.10.

2.3.2 Sifat dan Aplikasi Epoksi

Resin Epoksi banyak digunakan karena fleksibilitasnya terhadap reaksi kimia dan sifatnya (Tabel 2.2) seperti, kekuatan dan modulus yang tinggi, sifat ketahanan aus dan ketahanan retak yang tinggi, ketahanan korosi baik, ketahanan terhadap temperatur tinggi, dan sifat listrik yang baik, dengan resistivitas yang tinggi (Ratna, 2009).

Tabel 2.2 Sifat Mekanik dari Resin Epoksi (Chawla, 2011)

Density, ρ (g/cm ³)	Strength, σ (Mpa)	Modulus, E (GPa)	Cure Shrinkage (%)	Use Temp (°C)
1,2-1,3	50-125	2,5-4	1-5	150

Resin epoksi dapat digunakan dalam teknik pencetakan dan laminating untuk membuat lembaran yang diperkuat serat kaca dengan kekuatan mekanik, ketahanan kimia, dan sifat isolasi yang lebih baik daripada yang diperoleh dengan poliester tak jenuh. *Casting*, pot, enkapsulasi, dan *embedment* dipraktekkan secara luas dengan resin epoksi di industri listrik dan cairan. Penggunaan penting lainnya termasuk lantai industri, perekat dan solder, busa,

permukaan jalan raya dan bahan tambalan, dan stabilisator untuk resin vinil (Billmeyer, 1984).

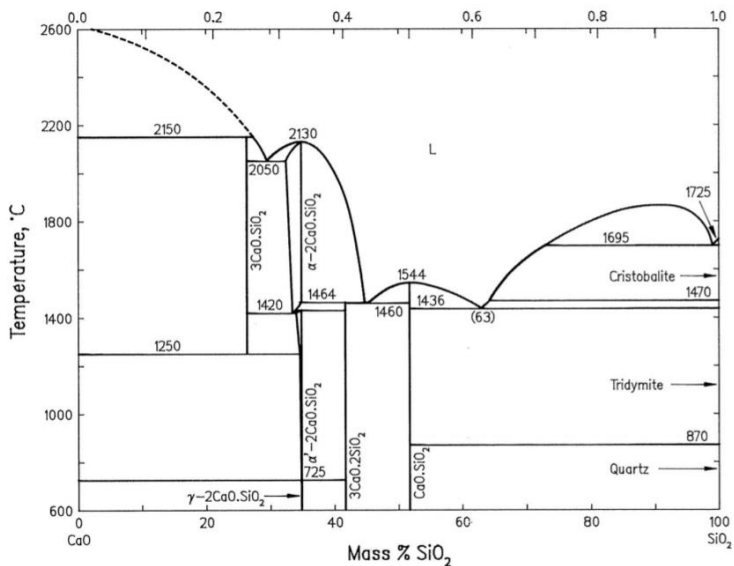
2.4 Serat Kaca

Serat kaca merupakan jenis serat penguat yang paling umum digunakan untuk komposit dengan jenis matriks polymer. Hal ini dikarenakan keuntungan yang dimiliki oleh serat kaca seperti low cost, high tensile strength, high chemical resistance dan merupakan isolator yang sangat baik (Mallick, 2008). Secara umum, Serat Kaca digolongkan dalam material *amorphous*, tidak dalam bentuk padat maupun cair. Serat kaca adalah nama umum seperti halnya serat karbon atau aluminium. Terdapat banyak komposisi kimia yang berbeda dari setiap serat kaca yang tersedia secara komersial. Serat kaca yang umum digunakan adalah yang berbasis silika (~50-60% SiO₂) dan mengandung sejumlah oksida lain seperti kalsium, boron, natrium, aluminium, dan besi (Chawla, 2012). Tabel 2.3 menampilkan komposisi beberapa serat kaca yang umum digunakan. Lalu, beberapa unsur lain ditambahkan untuk menurunkan temperatur dan meningkatkan viskositas. Beberapa komposisi dari serat kaca dapat bervariasi tergantung dari sifat yang diinginkan pada serat yang dihasilkan (Vaughan, 2011).

Tabel 2.3 Komposisi Beberapa Jenis Serat Kaca (Chawla, 2012)

Composition %wt	E-Glass	C-Glass	S-Glass
SiO ₂	55.2	65.0	65.0
Al ₂ O ₃	8.0	4.0	25.0
CaO	18.7	14.0	-
MgO	4.6	3.0	10.0
Na ₂ O	0.3	8.5	0.3
K ₂ O	0.2	-	-
B ₂ O ₃	7.3	5.0	-

Pada Tabel 2.4, diberikan perbandingan sifat serat kaca. E-glass adalah serat yang paling umum digunakan dikarenakan harganya yang murah, Penunjuk E adalah singkatan dari electrical dimana E glass memiliki sifat isolator yang baik selain memiliki kekuatan yang baik dan modulus young yang masuk akal, penunjuk C adalah singkatan dari corrosion, hal ini dikarenakan C-glass memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap korosi kimia dibandingkan jenis serat kaca lainnya. S-glass sendiri lebih mahal dibandingkan E-glass yang mana penunjuk S berarti memiliki kandungan silika yang tinggi yang membuat S-glass mampu menahan temperature yang tinggi daripada serat kaca lainnya (Chawla, 2012). Pada Tabel 2.3 terdapat 2 unsur yang dominan yaitu CaO dan SiO₂, Pada Gambar 2.11 ditunjukkan diagram fasa CaO-SiO₂.



Gambar 2.11 Diagram Fasa CaO-SiO₂ (White, Lee, Hessling, & Glaser, 2017)

Tabel 2.4 Perbandingan Sifat Serat Kekuatan Tinggi (Chawla, 2012)

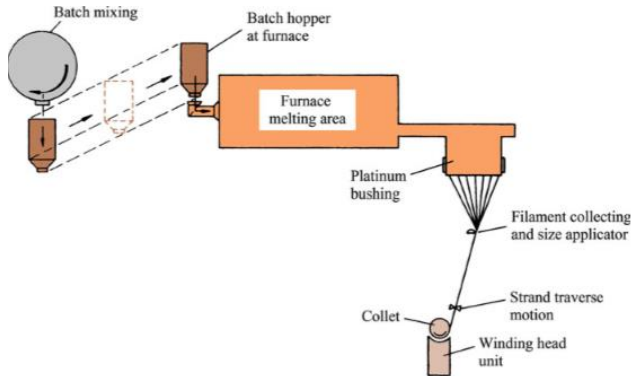
Type of Fiber	Tensile Strength (Ksi)	Tensile Modulus (Msi)	Elongation at Failure (%)	Fiber Diameter (μm)
E-Glass	500	11.0	4.7	5-20
S-2 Glass	650	12.6	5.6	5-10
Quartz	490	10.0	5.0	9

Tipe serat kaca yang paling banyak digunakan di industri adalah E-glass baik berupa *random chopped strand mat* (CSM) maupun *woven roving*. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit. Sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat bergantung dari serat yang digunakan. Serat kaca mempunyai karakteristik yang berbeda beda. Pada penggunaannya, serat kaca disesuaikan dengan sifat/karakteristik yang dimilikinya. Biaya produksi rendah, proses produksi yang sangat sederhana, memberikan serat kaca unggul dalam ratio (perbandingan) harga dan *performance*. Serat kaca banyak digunakan di industri industri otomotif seperti pada panel panel body kendaraan hingga di aplikasikan juga pada lambung kapal dan bagian bagian pesawat terbang dengan menjadikannya komposit glass/epoxy dan glass/polyester (Alian, 2011). Serat kaca sendiri sangat populer digunakan sebagai *filler/reinforced* dikarenakan beberapa alasan yaitu:

1. Mudah ditarik menjadi serat dengan kekuatan tinggi dari keadaan cair.
2. Sangat umum tersedia dan bisa dibuat menjadi GFRP secara ekonomis menggunakan berbagai macam teknik manufaktur komposit.
3. Sebagai serat, serat kaca relatif kuat, dan ketika menjadi filler, ia menghasilkan komposit yang memiliki kekuatan spesifik yang tinggi.

4. Ketika digabungkan menjadi komposit, serat kaca memiliki ketahanan zat kimia yang mana menjadikan komposit berguna dalam lingkungan korosif (Callister, 2009).

2.4.1 Proses Manufaktur Serat Kaca



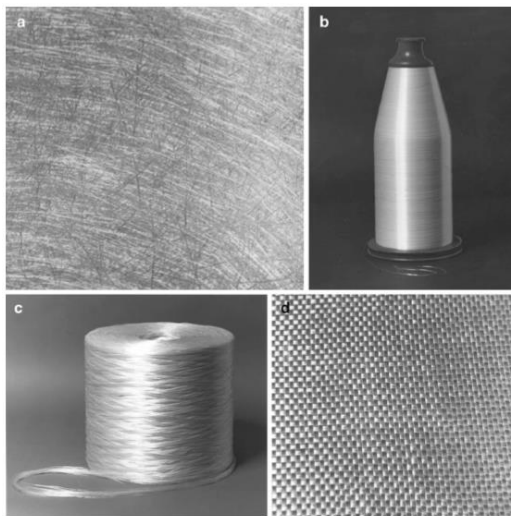
Gambar 2.12 Skema Proses Manufaktur Serat Kaca (Chawla, 2012).

Pada gambar 2.12 menunjukkan proses fabrikasi serat kaca secara konvensional terutama serat kaca Tipe E yang merupakan bahan utama dalam industri.

Pembuatan serat kaca dimulai dengan mencampurkan pasir silika, asam borat, dan beberapa bahan lain seperti tanah liat, batu bara, dan *fluorspar*. Material-material tersebut kemudian dilelehkan di *high-refractory furnace*, dengan temperatur leleh nya mencapai 1260°C (Vaughan.1998). Leburan gelas kemudian mengalir ke tungku penarik serat dalam sistem peleburan langsung. Serat kaca kontinu akan terbentuk ketika leburan kaca dari tungku mengalir turun melalui celah-celah kecil dalam tungku paduan platina yang disebut sebagai *bushing*. Tetesan kaca cair yang terekstrusi dari celah-celah *bushing* dikumpulkan, kemudian dilemahkan secara mekanik hingga dimensinya sesuai, melewati

semburan air dan melalui *revolving belt* yang memberikan lapisan yang berfungsi sebagai pelindung dan pelumas yaitu *binder*. Serat serat tersebut kemudian dipintal menjadi *core* dengan kecepatan sekitar 190 km/jam. Kumpulan serat tersebut kemudian dikeringkan atau dikondisikan untuk proses selanjutnya, seperti pada Gambar 2.12. Pada Gambar 2.13 menunjukkan beberapa bentuk dimana serat kaca tersedia secara komersial.

Serat Kaca sangat mudah rusak dikarenakan adanya cacat permukaan, oleh karena itu untuk meminimalisir hal ini dan membuat penanganan serat kaca menjadi lebih mudah, maka sizing treatment di berikan, seperti pelapisan yang mana melindungi dan mengikat filament filament menjadi untaian (Chawla, 2012).



Gambar 2.13 Jenis Jenis Serat Kaca Secara Komersial: (a) *Chopped Strand*, (b) *Continuous Yarn*, (c) *Roving*, (d) *Woven Roving* (Chawla, 2011)

2.4.2 Sifat Sifat Serat Kaca

Komposisi dari serat kaca berperan besar dalam menentukan sifat sebuah serat kaca. Pemakaian serat kaca yang semakin

meningkat dalam berbagai bidang dapat dihubungkan dengan *properties* yang dimiliki serat kaca tersebut. Serat kaca memiliki kekuatan *tensile* yang tinggi dibandingkan dengan kawat baja dalam beberapa aplikasi, ketahanan terhadap api dan panas yang baik, ketahanan kimia yang baik, tahan terhadap kelembaban, dan sifat termal yang baik, serta insulasi listrik yang baik.

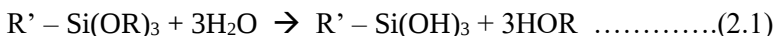
Kelemahan dari serat kaca yaitu modulus elastisitas yang rendah, adhesi dengan polimer yang rendah, *specific gravity* yang tinggi, sensitifitas abrasi (mengurangi kekuatan tarik) dan *fatigue strength* yang rendah (Vaughan, 1998).

2.4.3 *Surface Treatment* pada Serat Kaca

Bahan kimia seperti *Coupling agent* biasanya digunakan pada serat kaca yang mana bertujuan untuk meningkatkan kekuatan interfacial antara serat dan matriks melalui ikatan fisik dan kimia, selain itu juga bertujuan untuk melindungi permukaan serat dari kelembaban dan bahan-bahan atau cairan yang reaktif, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5 beberapa jenis *coupling agent* yang umum dan direkomendasikan untuk digunakan pada jenis polimer tertentu dan secara komersial.

Coupling agent yang umum digunakan pada serat kaca yaitu senyawa silikon organofungsional, yang dikenal sebagai *silane*. Struktur kimianya diwakili oleh $R_0-Si(OR)_3$, dimana group fungsional R_0 harus kompatibel dengan matriks resin yang digunakan agar dapat menjadi *coupling agent* yang efektif.

Permukaan serat kaca di *treatment* dengan *silane* pada larutan air. Ketika sebuah silane ditambahkan ke air, maka *silane* akan dihidrolisis untuk membentuk gugus $R_0-Si(OH)_3$ sesuai dengan Reaksi 2.1.

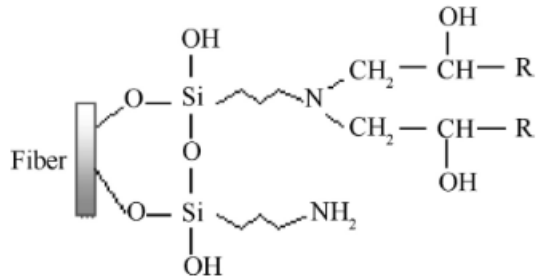


Sebelum serat kaca di *treatment* dengan *coupling agent*, permukaan serat kaca harus dibersihkan terlebih dahulu dari lapisan yang diberikan ketika proses manufaktur serat kaca. Lapisan tersebut dapat dibersihkan dengan cara memanaskan serat

dengan menggunakan oven yang memiliki sirkulasi udara pada temperature 340°C selama kurang lebih 15-20 jam. Setelah di panaskan serat direndam ke dalam larutan yang mengandung *silane*. Ikatan kimia (Si-O-Si) serta ikatan fisik (ikatan hidrogen) terbentuk diantara kelompok (OH) pada permukaan serat kaca (yang mana bersifat hidroskopi karena mengandung alkali) dan molekul $R_0\text{-Si}(\text{OH})_3$ (Gambar 2.14).

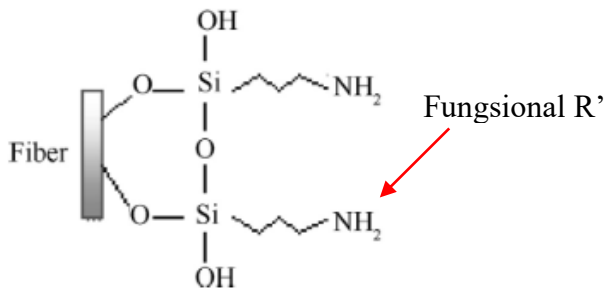
Tabel 2.5 Rekomendasi *Coupling Agent* Silane untuk *Glass Fiber Reinforce Thermoset Polymer* (Mallick, 2008)

<i>Coupling Agent</i>	<i>Thermoset Polymer</i>
<i>γ-Aminopropyltriethoxysilane</i>	Epoksi
<i>γ-Glycidyloxypropyltrimethoxysilane</i>	Epoksi
<i>N-b-Aminoethyl-g-aminopropyltrimethoxysilane</i>	Epoksi
<i>g-Methacryloxypropyltrimethoxysilane</i>	Polyester/Vinyl Ester
<i>Vinyl triethoxysilane</i>	Polyester/Vinyl Ester
<i>Vinyltris(b-methoxyethoxy)silane</i>	Polyester/Vinyl Ester



Gambar 2.14 Struktur Permukaan Serat Kaca dengan Perlakuan *Silane Treatment* (Prakash, 2017)

Ketika serat kaca yang sudah di *treatment* dimasukkan ke dalam matriks resin, maka gugus fungsional R' pada silane akan bereaksi dengan resin seperti Gambar 2.15 untuk membentuk ikatan kimia antara serat dan matriks.



Gambar 2.15 Struktur ikatan antara gugus *silane* dengan resin (Prakash, 2017)

Ikatan *interface* yang dibuat oleh *silane* atau zat penggabung lainnya memungkinkan transfer tegangan beban yang lebih baik antara serat dan matriks, yang mana pada bagiannya meningkatkan kekuatan Tarik serta kekuatan geser interlaminar dari komposit. Namun, tingkat peningkatan kekuatan tergantung pada kompatibilitas *coupling agent* dengan matriks resin itu sendiri.

Selain itu, telah dilakukan pengamatan bahwa meskipun *interface* yang kuat menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi, *interface* yang relatif lebih lemah dapat membantu disipasi energi yang lebih tinggi melalui debonding pada *interface* serat-matriks, yang mungkin bermanfaat untuk mencapai nilai ketangguhan terhadap *farcture* yang tinggi (Mallick, 2008).

2.5 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* digunakan untuk meningkatkan sifat campuran termoplastik. Namun, dalam sistem resin thermoset *Coupling Agent* banyak digunakan untuk memperbaiki *wetting* filler oleh resin dari matriks. Senyawa *silane* seperti trichlorovinyl silane, triethoxyvinyl silane, dan 3-glycidoxypropyl-trimethoxy silane adalah contoh *Coupling Agent* untuk resin termoset (Ratna, 2009).

2.5.1 Mekanisme *Coupling Agent* pada *Interface*

Menurut (Wong, 2012), *Coupling Agent* memiliki berat molekul rata-rata yang rendah, maka *wettability* dari matriks meningkat ketika jumlah *Coupling Agent* meningkat. Selanjutnya, *Coupling Agent* mempengaruhi *interfacial adhesion* antara matriks dan permukaan serat sehingga dapat meningkatkan kekuatan dikarenakan terdapat *Chemical Bonding* (Kim, 2014). Serat kaca-PMC telah digunakan secara luas lebih dari 3 dekade, permukaan serat kaca yang di baru preparasi dapat menyerap air

sangat cepat. Ini menghasilkan pembentukan permukaan terhidroksilasi. Jika paparan kelembaban terus berlanjut, cacat ukuran kritis akan terjadi karena penyerapan air. Proses ini sendiri sangat mungkin mengurangi kekuatan serat kaca itu sendiri. Intensitas penyerapan air dan oksidasi permukaan dapat bervariasi tergantung pada komposisi serat kaca. Dengan demikian permukaan kaca harus dilindungi dari serangan kimiawi air, silan banyak digunakan untuk perlindungan permukaan. Selain sebagai pelindung permukaan dari serangan kimiawi air, silane dapat bertindak sebagai *agent coupling* untuk meningkatkan adhesi antara serat kaca dengan matriks polimer. *Silane* diaplikasikan pada permukaan serat kaca bersamaan dengan komponen lainnya (Ratna, 2009).

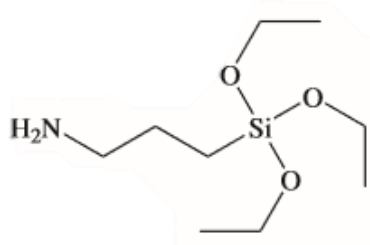
2.5.2 *Silane sebagai Coupling Agent*

Masalah utama dari membran komposit organik dan anorganik adalah ikatan antar muka antara matriks polimer dengan filler anorganik yang lemah sehingga dibutuhkan modifikasi pada permukaan filler sehingga dapat memperbaiki ikatan antar muka dengan matriks polimer. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan penambahan agen pengkopling yang berfungsi untuk memperbaiki interaksi antara partikel filler anorganik dengan matriks polimer melalui tahap ikatan kimia, dimana ikatan kimia dapat terbentuk jika terdapat gugus kimia pada permukaan filler yang dapat berikatan dengan gugus aktif pada matriks polimer (Salmah, 2005). Agen pengkopling yang umum digunakan untuk memodifikasi filler anorganik yaitu senyawa *silane*.

Silane adalah suatu senyawa yang berbasis silikon yang memiliki struktur umum $(\text{RO})_3\text{SiCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{-X1}$, dimana RO adalah gugus alkoksi seperti metoksi, etoksi, atau asetoksi yang dapat berikatan dengan matriks polimer, X adalah *organofunctional group* seperti amino metilakrilat, dan epoksi yang dapat mengikat permukaan filler anorganik, sedangkan $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$ merupakan jembatan alkil yang menghubungkan Si dengan X (Arkles, 2006). Interaksi antara silan dengan filler

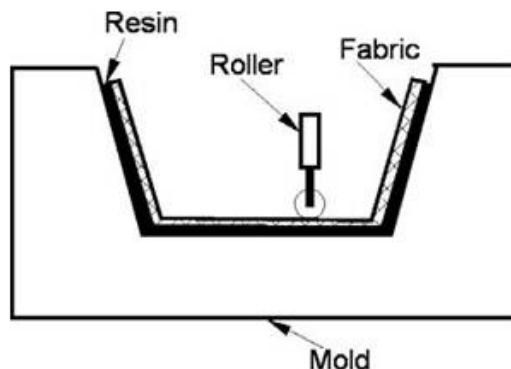
anorganik secara umum dapat terjadi melalui 4 tahap yaitu hidrolisis, kondensasi, ikatan hidrogen, dan pembentukan ikatan, dimana gugus alkoksi pada senyawa organosilan akan mengikat gugus hidroksil logam pada substrat anorganik yang mengandung silikon, aluminium, atau logam yang terdapat dalam strukturnya. Gugus alkoksi pada silikon akan terhidrolisis menjadi silanol baik melalui penambahan air atau sisa air pada permukaan substrat anorganik. Gugus silanol yang telah terbentuk berkoordinasi dengan gugus hidroksil logam pada permukaan anorganik untuk membentuk ikatan siloksan dan menghilangkan air

3-Aminopropyltriethoxy (APTES) merupakan salah satu gugus dari *aminosilane*, yang merupakan salah satu dari jenis silane *coupling agent*. APTES memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan yang baik antara bahan organik dan anorganik. APTES memiliki rumus molekul $C_9H_{23}NO_3Si$ dan gugus fungsi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16 (Gelest, 2014). Aminosilane saat ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan penelitian, terutama *3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES)* merupakan agen penggabung yang umum digunakan untuk modifikasi permukaan silika yang mana bertujuan untuk meningkatkan adhesi dalam komposit serat kaca/epoksi. APS juga digunakan untuk mengembangkan adhesi pada lapisan polimer pada kaca atau digunakan sebagai *coupling agent*. Selain itu APTES juga digunakan dalam menyatukan nanopartikel logam ke substrat silika dikarenakan interaksi yang kuat antara gugus amina dan partikel logam (Howarter & Youngblood, 2006). APS memiliki berat molekul sebesar 221,37 dengan densitas sebesar 0,945-0,955 g/cm³ (Haihang, 2018).



Gambar 2.16 Gugus Fungsi 3-Aminopropyltriethoxysilane (Gelest, 2014)

2.6 Hand Lay-Up/Wet Lay Up



Gambar 2.17 Skema *Hand Lay-Up / Wet Lay-Up* (Mazumdar, 2002)

Proses *wet lay-up* merupakan rekayasa yang dominan dalam 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 hingga mencapai ketebalan yang diinginkan. Ini adalah proses yang sangat fleksibel yang memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan bagian dengan menempatkan berbagai jenis bahan kain dan tika. Karena

penguatannya dilakukan secara manual, maka proses ini disebut juga proses Hand lay-up . Proses ini membutuhkan sedikit biaya dan keahlian, oleh karena itu mudah digunakan. Desain cetakan untuk proses wet lay-up sangat sederhana dibandingkan dengan Proses manufaktur lainnya karena prosesnya membutuhkan sebagian besar temperatur kamar untuk curing dengan tekanan rendah. Baja, kayu, GRP, dan Bahan lainnya digunakan sebagai bahan cetakan untuk keperluan prototype. Skema proses lay-up basah ditunjukkan pada Gambar 2.17, di mana Ketebalan bagian komposit dibangun dengan menerapkan serangkaian penguatan lapisan dengan resin cair. Rol digunakan untuk memeras resin berlebih dan membuat distribusi resin yang seragam di seluruh permukaan. Dengan menggunakan roller, maka persebaran matriks dan serat akan homogen dapat diperoleh (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).

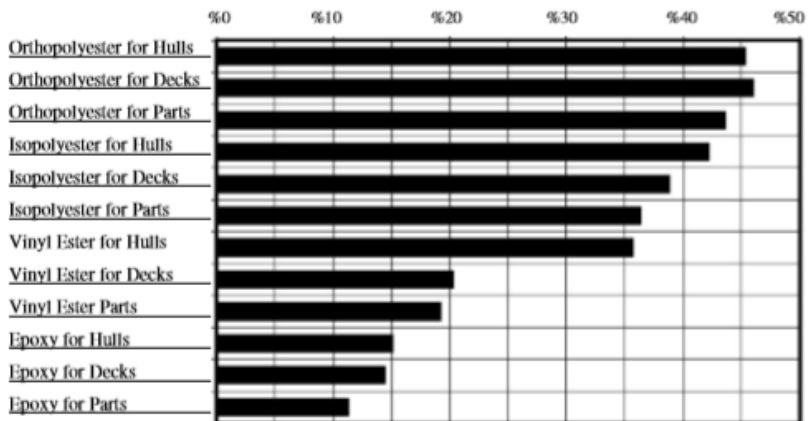
2.7 Komposit Pada Kapal

Menurut (GÖLPINAR, 2005), secara umum jenis jenis kapal terbagi berdasarkan bahan yang digunakan terbagi menjadi 4 yaitu kapal berbahan kayu, kapal berbahan baja, kapal berbahan komposit dan kapal berbahan ferrocement. Material Komposit relatif merupakan material baru di dunia perkapalan. Pembangunan Kapal Tradisional (*Traditional Ship Building*) menggunakan material dari kayu, baja,dan alumunium 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.

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, 2012). Perbandingan Sifat Mekanik dari masing – masing resin ditunjukkan pada Tabel 2.6.



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

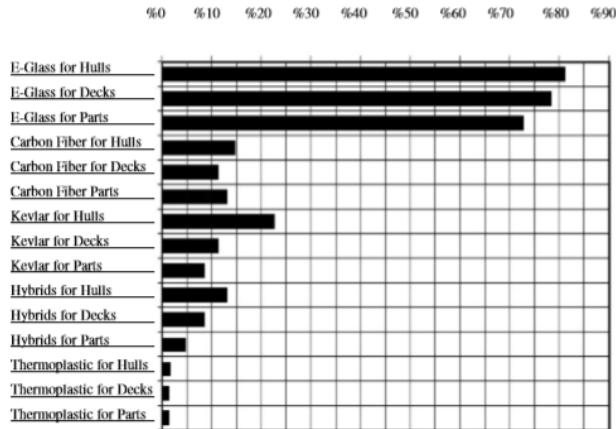
Tabel 2.6 Perbandingan Sifat Mekanik Masing – Masing Resin
(GÖLPINAR, 2005)

Resin	Kekerasan (Shore D)	Kekuatan Tarik (Psi x 10^3)	Kekuatan Modulus (Psi x 10^3)	Elongasi Maksimal (%)
Orthophthalic	42	7	5.9	0.91
Isophthalic	45	11.2	9.1	0.86
Vinyl Ester	35	11.0- 12.0	4.9	5.0-6.0
Epoksi	86	7.96	5.3	7.7

Berbagai macam serat sudah mulai banyak di kembangkan saat ini 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 2.7.

Tabel 2.7 Perbandingan Sifat Mekanik Masing – Masing Serat
(GÖLPINAR, 2005)

Serat	Densitas (lb/in ³)	Kekuatan Tarik (Psi x 10^3)	Kekuatan Modulus (Psi x 10^3)	Elongasi Maksimal (%)
E-Glass	0.094	500	10.5	4.80
S-Glass	0.09	665	12.6	5.70
Aramid	0.052	525	18	2.90
Carbon	0.062- 0.065	350-700	33-57	0.38-2.0



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

Material pada industri kapal sesuai standar dari Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2016 mengenai *Rules For Fiberglass Reinforced Plastic Ships* (Tabel 2.8), material yang diperlukan untuk kapal FRP yang menggunakan serat kaca dengan jenis *woven roving* ataupun *chopped* sebagai bahan utama lambung kapal harus memenuhi kekuatan tertentu yaitu untuk kekuatan Tarik minimal sebesar 98 N/mm^2 dan juga harus memenuhi kekuatan bending sebesar 150 N/mm^2 . Dalam proses laminasi, kadar Serat kaca standar dalam rasio berat adalah sekitar 30% untuk jenis serat kaca *chopped* atau sekitar 50% untuk jenis serat kaca *woven roving* (Biro Klasifikasi Indonesia, 2016).

Tabel 2.8 Standar Minimum Kekuatan Lambung Kapal menurut BKI (Biro Klasifikasi Indonesia, 2016).

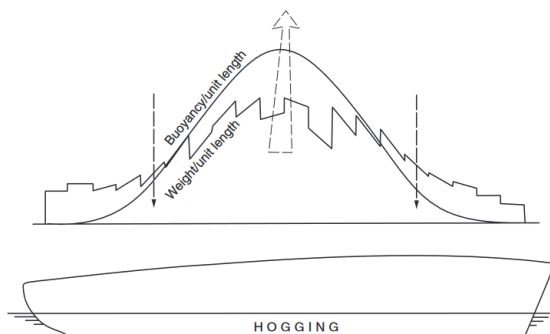
Kuat Tarik (N/mm^2)	Kuat Bending (N/mm^2)
98	150

2.7.1 Analisa Gaya Pada Kapal

Kapal modern umumnya dibangun dengan menggunakan konstruksi yang saling tersambung sehingga terhubung untuk memberikan kekuatan yang memadai di semua bagian kapal. Hal ini bertujuan untuk menahan kekuatan yang bekerja pada bagian bagian kapal dalam semua kondisi pelayanan.

Kekuatan yang bekerja pada kapal mungkin statis atau dinamis. Gaya statis disebabkan oleh perbedaan dalam berat dan daya apung, yang terjadi diseluruh bagian kapal. Gaya dinamis disebabkan oleh gerakan kapal di laut, aksi angin serta gelombang. Gaya Statis menyebabkan terciptanya 3 hal yaitu *longitudinal stress*, *transversal stress* dan *local stress*. Tegangan terbesar yang ditetapkan pada kapal sebagai kutuhan adalah karena distribusi beban di sepanjang kapal, dimana menyebabkan tegangan lentur longitudinal pada kapal. Pada *Longitudinal Stress*, gaya yang bekerja ada 2, yaitu gaya berat kapal dan semua yang di bawanya bekerja ke bawah dan komponen gaya vertical yaitu dari tekanan hidrostatik. Hal ini tergantung pada arah dimana momen lentur bertindak pada kapal, baik itu hogging ataupun sagging.

1. Hogging

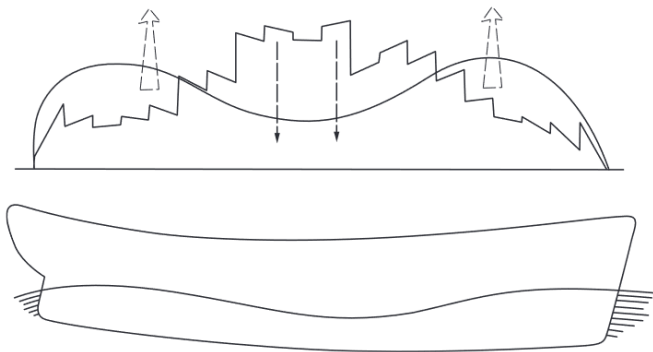


Gambar 2. 20 Hogging Pada Kapal (Molland, 2008)

Dalam keadaan air diam, beban karena gravitasi atau air, tentu saja mempengaruhi berat dan daya apung. Distribusi daya apung di sepanjang bagian kapal mengikuti kurva daerah sementara beratnya dinilai dengan mudah dalam satuan panjang dan menghasilkan diagram pada Gambar 2.20. pada gambar memberikan hasil putus putus yang akan membuat kapal menekuk kebawah atau *Hog*.

2. *Sagging*

Kondisi sebaliknya dikenal juga dengan *sagging* yang ditunjukkan pada Gambar 2.21. jika berat di tengah kapal melebihi daya apung atau ketika gelombang melintas di tengah kapal, kapal aka *sag*, seperti balok yang ditopang di ujung dan dimuat beban pada tengahnya.

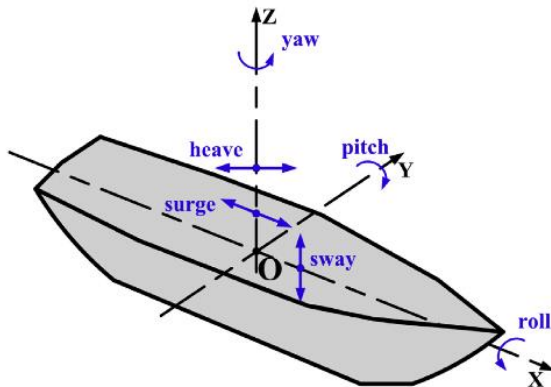


Gambar 2. 21 *Sagging* Pada Kapal (Molland, 2008)

Dalam *transverse stress*, bagian melintang di tengah kapal mengalami tekanan statis karena air di sekitar muatann internal kapal. *Local stress* sendiri disebabkan oleh beban yang dibawa kapal, getaran pada lambung dan beban yang terkonsentrasi di satu titik pada kapal.

Pada gaya dinamis, terdapat beberapa gaya yang terjadi pada kapal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22, yaitu

1. Surging yang merupakan gaya linier ke depan dan belakang (sepanjang sumbu x) dari sebuah kapal
2. Heaving yang merupakan gaya linier naik dan turun vertical (sepanjang y) dari sebuah kapal
3. Swaying yang merupakan gaya linier sisi ke sisi (sepanjang sumbu y) pada kapal
4. Rolling yang merupakan gaya rotasi pada kapal pada sumbu vertical
5. Pitching yang merupakan gaya rotasi pada kapal pada sumbu horizontal di kapal (Molland, 2008).



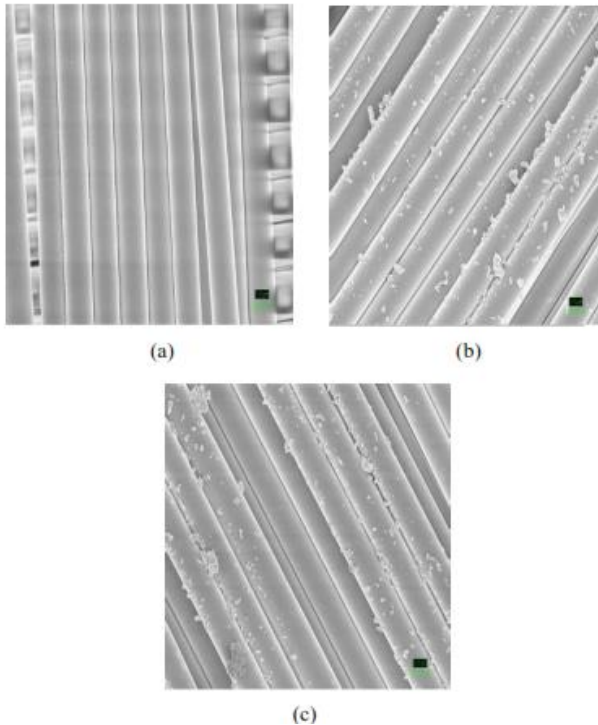
Gambar 2. 22 Gaya Dinamis Pada Kapal (Molland, 2008)

2.8 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ismail Marzuki, 2017) untuk Kapal Ikan 3-GT dimana penelitiannya bertujuan untuk melakukan tinjauan sejauh mana penerapan aturan klasifikasi pada proses produksi pembangunan kapal ikan 3-GT dengan melakukan pengujian Tarik dan kuat tekuk terhadap spesimen laminasi kapal ikan FRP 3 GT. Mereka menggunakan serat *Woven Roving* dan serat *Chopped Standard Mat* sebagai filler dengan menggunakan resin *Yukalac 235*. Lalu di dapatkan kekuatan tariknya mencapai standar yang telah ditetapkan BKI untuk kapal ikan tersebut sebesar 85 Mpa dan hasil yang didapat dari hasil pengujian sebesar 86,50 Mpa.

Pada penelitian sebelumnya (Kim dkk, 2014) melakukan penelitian mengenai pengaruh *silane coupling agent* terhadap sifat flexural dari komposit serat kaca. Mereka melakukan silane treatment dengan menggunakan γ -aminopropyltriethoxysilane (APTES) dan γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPS) pada permukaan serat kaca dimana penelitian ini bertujuan untuk meminimalisasi delaminasi serta meningkatkan *adhesi interface* antara serat kaca dengan resin UV. Pada pengujian SEM (Gambar 2.23) mereka menemukan bahwa APS dan GPS melekat dengan baik pada permukaan serat kaca.

Hal ini mengindikasikan bahwa *adhesi interface* dari komposit serat kaca meningkat. Hasil ini dapat dijelaskan dengan meningkatnya gugus hydroxyl dan hal ini menciptakan ikatan hidrogen yang lebih banyak pada *interface* antara serat kaca dengan silane *coupling agent*. Sebagai hasilnya, sifat optic dan sifat lentur film komposit serat kaca menjadi meningkat dengan adanya pengaruh *silane treatment* antara serat kaca dan matriks resin.



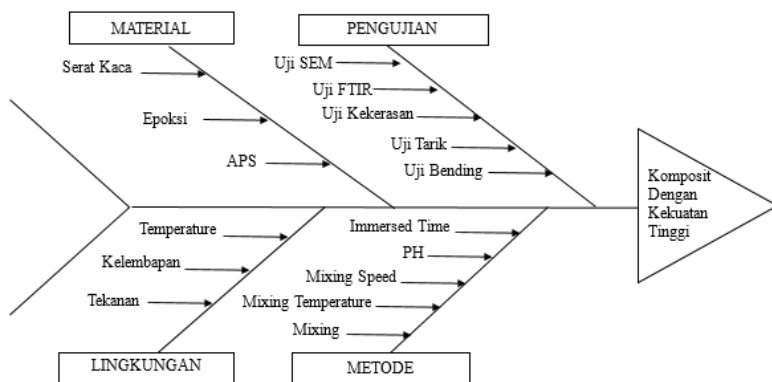
Gambar 2.23 Hasil Uji SEM dari Serat Kaca (a) tanpa perlakuan; (b) APS treatment; (c) GPS treatment (Kim dkk, 2014)

Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Park dkk tahun 2001, mereka menganalisa efek *silane coupling agent* terhadap interfasa dan *performance* dari Serat Kaca/UP. Pada penelitian yang dilakukan oleh park dkk, untuk meningkatkan adhesi *interface* antara serat dan matriks, 3-*methacryloxypropyltrimethoxy silane* (90 wt%, MPS) yang mengandung 3-*aminopropyltriethoxy silane* (10 wt%, APS) di aplikasikan pada *surface treatment* terhadap serat kaca dengan konsentrasi yang berbeda. MPS/APS di campurkan dengan

cosolvent methanol (95 wt% dari total pelarut) dan aquades (5 wt%). Setelah *coupling agent* di hidrolisis pada pH 4,0 selama 1 jam dengan menggunakan larutan asam asetat, lalu serat kaca di celupkan ke dalam larutan silan yang terhidrolisis selama kurang lebih 30 menit. Lalu di keringkan pada temperature kamar selama 48 jam.

Pada *interface* antara serat kaca dan *silane coupling agent*, gugus *hydroxyl* dari *silane* akan bereaksi dengan permukaan serat kaca membentuk ikatan *siloxane* dan ikatan *hydrogen*, yang mana mengindikasikan proses adhesi dari *silane coupling agent* pada permukaan serat kaca.

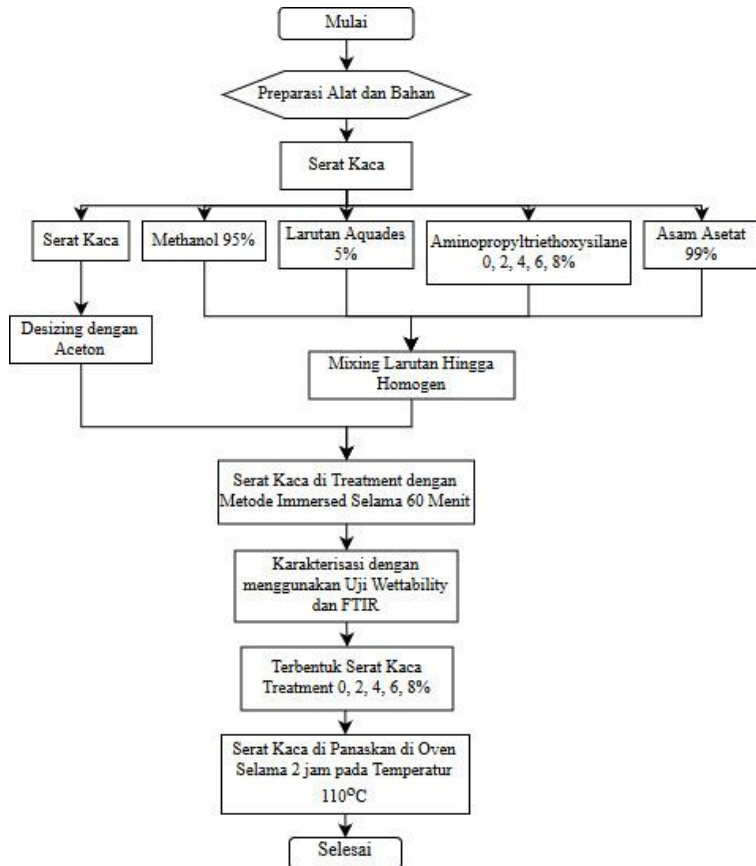
Menurut pengukuran sudut kontak, serat kaca yang di *treatment* dengan *silane coupling agent* menyebabkan peningkatan permukaan energi bebas. Dan sifat *interface* mekanik dari komposit meningkat dalam hal komposit yang diberi perlakuan *silane* dibandingkan dengan serat yang diterima dari pabrik dan nilai maksimum terjadi pada konsentrasi 0.2% berat MPS/APS, karena ikatan peptidaantara C=O dari MPS dan –NH dari APS. Hal ini mengungkapkan bahwa ikatan hidrogen yang merupakan salah satu komponen spesifik dari energy bebas permukaan, antara serat kaca dan *coupling agent* dan memainkan peran penting dalam meningkatkan adhesi pada *interface* dalam sistem komposit (Park, 2001). Gambar 2.24 menunjukkan diagram fishbone dimana terdapat beberapa faktor faktor yang dapat mempengaruhi hasil dari penelitian ini.



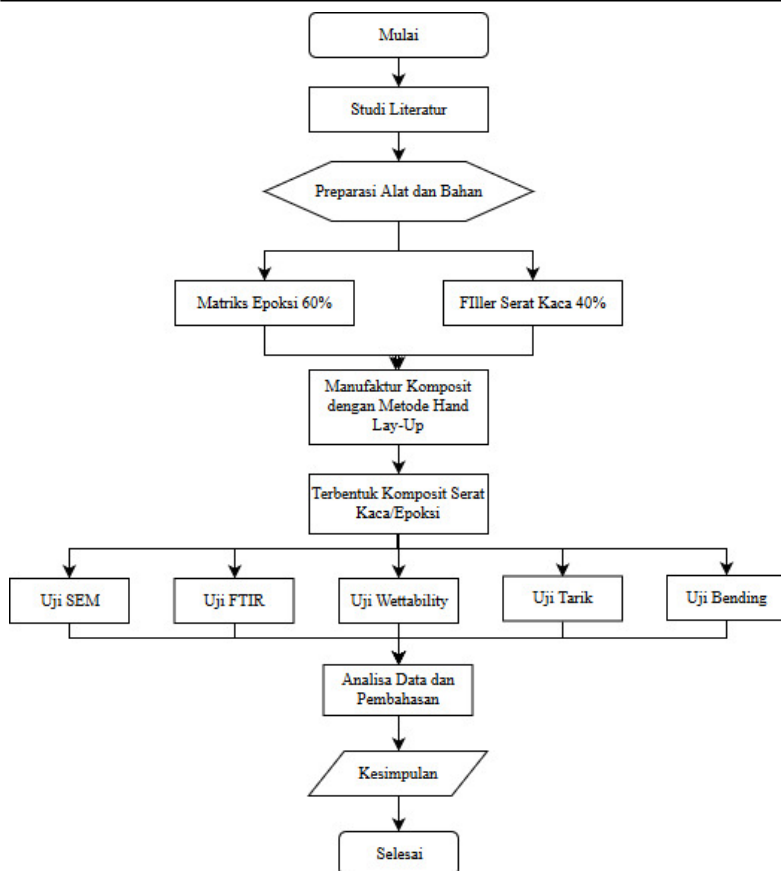
Gambar 2.24 Diagram *Fishbone* Penelitian

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 *Surface Treatment* Pada Serat Kaca



Gambar 3.2 Diagram Alir Manufaktur Komposit

Pada Gambar 3.1 dan 3.2 menjelaskan diagram alir penelitian yang mana terdiri dari pemahaman teori melalui studi literature kemudian menyiapkan alat dan bahan sebelum memulai penelitian. Bahan utama yang dibutuhkan adalah Serat Kaca, resin epoksi dan *3-Aminopropyltriethoxysilane* (APTES). Proses penelitian ini ini dibagi menjadi 5 kelompok, Yaitu pembuatan specimen GFRP dengan konsentrasi APS 0, 2, 4, 6, 8% Kemudian dilakukan proses *silane treatment* agar *Aminopropyltriethoxysilane* melapisi Serat Kaca, setelah itu dilakukan proses manufaktur komposit dan diteruskan dengan dilakukannya pengujian dan pembahasan.

3.2 Bahan Penelitian

Bahan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain yaitu:

1. Serat Kaca

Serat Kaca yang digunakan yaitu jenis roving ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Serat Kaca

2. Epoksi

Epoksi yang digunakan pada penelitian ini merupakan bahan untuk campuran komposit Epoksi/Serat Kaca yang berupa cairan

kental berwarna bening. Epoksi ditunjukkan Pada Gambar 3.4 ini diperoleh dari PT Justus Kimia Raya.



Gambar 3.4 Epoksi

3. *3-Aminopropyltriethoxysilane* (APTES)

3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES) seperti pada Gambar 3.5 merupakan bahan indikator yang digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap campuran komposit. APTES didapatkan dari Haihang Industry China.



Gambar 3.5 *3-Aminopropyltriethoxysilane* (APTES)

4. Methanol

Methanol pada penelitian kali ini sesuai Gambar 3.6 digunakan sebagai solvent pada saat proses surface treatment yang mana di dapatkan dari Sumber Ilmiah Persada.



Gambar 3.6 Methanol

5. Larutan Aquades

Larutan Aquades digunakan sebagai solvent pada proses silane treatment.

6. *Acetone*

Acetone pada Gambar 3.7 digunakan untuk desizing atau memurnikan kembali Serat kaca yang sudah di coating saat fabrikasi.



Gambar 3.7 Acetone

7. *Wax*

Wax bermerek *Mequians Mirror Glaze* diperoleh dari Ngagel Jaya Kimia ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Wax

3.3 Alat Alat Penelitian

Adapun alat alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Wadah Aluminium
Alat ini digunakan untuk proses pencampuran material matriks.
2. Gelas Ukur
Gelas ukur digunakan untuk merendam serat kaca dalam larutan Methanol/Aquades/APTES.
3. Pipet Tetes
Digunakan untuk mengambil bahan bahan material.
4. Alumunium foil
Digunakan untuk melapisi cetakan saat proses pembuatan komposit Epoksi/Serat Kaca.
5. Timbangan Digital
Timbangan Digital digunakan untuk menimbang massa bahan yang akan dicampurkan.
6. Sendok
Digunakan untuk mengambil bahan bahan material.
7. Roll
Alat Roll digunakan untuk meratakan matriks saat dituangkan ke dalam cetakan.
8. PH Meter
Alat ini digunakan untuk memastikan nilai PH larutan Methanol/Aquades/APTES mencapai PH 4.
9. Oven
Alat ini digunakan untuk mengeringkan serat kaca setelah proses surface treatment
10. Mesin Uji *Scanning Electro Microscope* (SEM)
SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan komposit Epoksi/Serat Kaca. Mesin uji SEM yang digunakan adalah tipe Inspect S50, milik Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS.

11. Mesin uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)
Digunakan untuk mengamati rantai dan gugus fungsi pada komposit Epoksi/Serat Kaca Uji FTIR menggunakan tipe Thermo Scientific Nicolet IS10 milik Laboratorium Karakterisasi, Departemen Teknik Material FTI-ITS.
12. Mesin Uji Tarik
Digunakan untuk mengukur kekuatan tarik dari komposit Epoksi/Serat Kaca. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Laboratorium Material inovatif, Departemen Teknik Material FTI-ITS.
13. Mesin Uji Bending
Digunakan untuk mengukur kekuatan bending dari komposit Epoksi/Serat Kaca. Mesin uji Bending yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Laboratorium Material inovatif, Departemen Teknik Material FTI-ITS.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengaruh penambahan konsentrasi APTES terhadap komposit Epoksi/Serat Kaca, yaitu dengan persentase variabel bebas yang diberikan pada penelitian ini yaitu 0, 2, 4, 6, 8 wt% penambahan APS dengan perbandingan komposisi komposit antara Serat Kaca dan Matriks yaitu sebesar 40:60.

3.5 Prosedur Penelitian

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang akan dilakukan hingga didapatkan hasil berupa komposit Epoksi/Serat Kaca.

3.5.1 Proses *Surface Treatment*

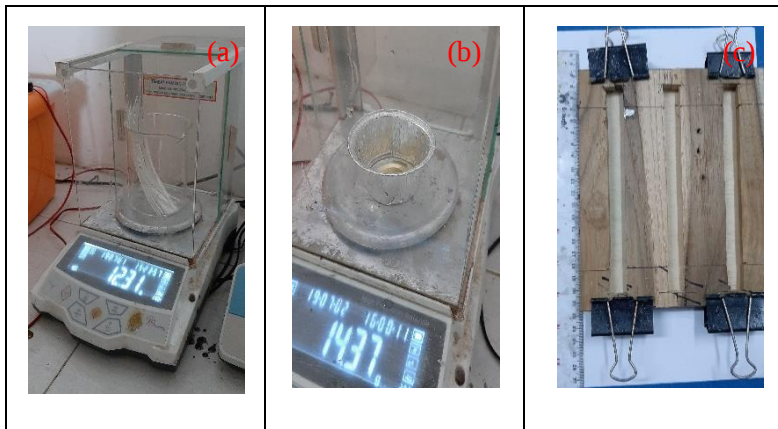


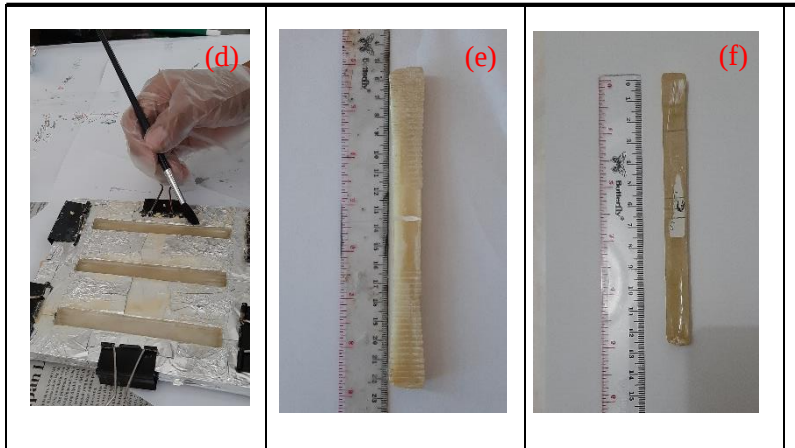
Gambar 3.9 Proses *Surface Treatment* Pada Serat Kaca

1. Menyiapkan semua alat dan bahan.
2. Memotong serat kaca sesuai kebutuhan.
3. Melakukan proses *Desizing* pada Serat Kaca menggunakan larutan Aceton selama 60 menit.

4. Mencampurkan *cosolvent* Methanol/Aquades dengan perbandingan 95/5 dan menambahkan APTES sesuai variasi yaitu 2, 4, 6, 8 % wt dari total *cosolvent*.
5. Melakukan penambahan asam asetat pada larutan *cosolvent* hingga PH larutan mencapai 4 dan di *steering* selama 60 menit pada 300 rpm.
6. Mencilupkan serat kaca ke dalam larutan Methanol/Aquades/APTES/Asam Asetat selama 30 menit
7. Melakukan proses pengeringan pada Serat Kaca yang sudah di *treatment* selama 2 jam pada temperature 110°C dengan menggunakan oven.
8. Menyimpan serat yang telah di *treatment* pada temperature kamar.

3.5.2 Proses Manufaktur Komposit





Gambar 3.10 Proses Manufaktur Komposit Epoksi/Serat Kaca

1. Mengukur massa campuran Matriks/Serat Kaca 60%/40% dimana untuk spesimen uji Tarik, berat total serat kaca yaitu 12 gram dan untuk resin sebesar 18 gram dengan total berat komposit 30 gram, untuk specimen bending serat kaca yaitu 8 gram dan resin sebesar 12 gram dengan berat total spesimen bending yaitu 20 gram.
2. Menyiapkan cetakan yang sudah dilapisi dengan aluminium foil dan wax untuk menghindari perekatan komposit pada cetakan.
3. Menyiapkan matriks dan menuangkan matriks pada cetakan setebal kurang lebih 9mm, kemudian menyusun Serat Kaca yang sudah di treatment kemudian menuangkan kembali matriks yang sudah dipersiapkan sebelumnya.
4. Meratakan persebaran matriks agar sesuai dengan perbandingannya, metode ini menggunakan metode *Hand Lay-Up*.
5. Didapatkan komposit dengan total rata rata berat 29,01 gram untuk spesimen Tarik dan 13,95 gram untuk spesimen bending dimana rata rata *shrinkage* yang terjadi sebesar 3,3%

-
6. Melakukan Pengujian terhadap spesimen yang dibuat.

3.6 Pengujian

1. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS seperti yang ditunjukkan Gambar 3.8. Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi serat kaca dan komposit yang belum dan sudah dilakukan *surface treatment*. Hasil SEM menunjukkan data berupa gambar dengan perbesaran serta grafik yang menunjukkan intensitas unsur tertentu yang terdapat pada spesimen uji. SEM memiliki komponen berupa tiga pasang elektromagnetik berfungsi untuk memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, kemudian oleh dua pasang *scan coil* di *scan*-kan dengan frekuensi *variable* pada permukaan sampel.

Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Sumber elektron SEM berasal dari bahan kawat tungsten berupa filamen. SEM memiliki *imaging detector* berfungsi untuk mengubah sinyal elektron menjadi gambar.



Gambar 3.11 Mesin Uji SEM

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

Pengujian FTIR pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS Surabaya menggunakan instrumen *Thermo Scientific Nicolet IS10* seperti yang ditunjukkan Gambar 3.9. Pengujian FTIR bertujuan untuk menentukan gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada spesimen uji. Gugus fungsi tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Usahakan sampel yang diuji mempunyai permukaan dan ketebalan yang rata. Mekanis kerja FTIR adalah sinar datang dari sumber akan diteruskan dan dipecah menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar nantinya akan dipantulkan menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. data yang diperoleh diubah ke bentuk digital dengan menggunakan konverter analog ke digital dan dikirimkan ke komputer untuk keperluan *Fourier-transformation*.

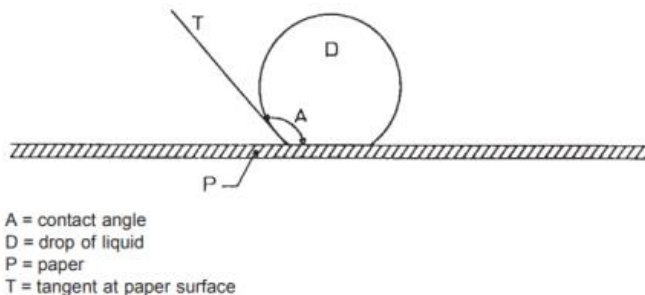


Gambar 3.12 Mesin Uji FTIR

3. Pengujian *Wettability*

Pengujian *wettability* dilakukan berdasarkan ASTM D7334 – 08 seperti Gambar 3.11. Menteteskan air sebanyak 2-3 tetes ke permukaan sampel, kemudian foto *contact angle* permukaan

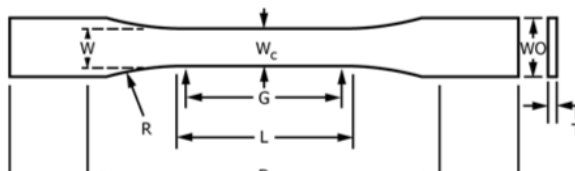
sampel untuk pengambilan sudut contact angle lalu dimasukkan dalam software Corel Draw X7. Setelah gambar jadi, buat garis lurus pada bentuk cekungan air untuk mengetahui besar sudut θ dari cekungan air pada permukaan sampel. Setetes air suling 0,2 ml ditempatkan di setiap panel uji dan gambar ditangkap menggunakan mikroskop dengan kamera digital. Foto-foto skala dicetak dan kemudian buat garis lurus pada bentuk cekungan air untuk mengetahui besar sudut θ dari cekungan air.



Gambar 3.13 Ilustrasi Sudut Kontak (ASTM, 2013)

4. Uji Tarik

Uji tarik dilakukan sesuai dengan standar *American Society for Testing Materials* (ASTM) D638 seperti Gambar 3.13, memakai tipe I dengan dimensi sesuai Tabel 3.1. Pengujian tarik dilakukan di Departemen Teknik Material untuk mengetahui kekuatan komposit serat karbon/epoksi untuk menerima beban *out-*



Gambar 3.14 Dimensi spesimen uji tarik menurut ASTM D638 (ASTM, 2015)

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 kegagalan.

Tabel 3.1 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638 (ASTM, 2015)

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

Hasil yang diperoleh pada pengujian tarik adalah kurva antara ΔF dan Δl . Kemudian nilai tersebut, diubah menjadi kurva *engineering stress-strain*. Untuk memperoleh kurva *engineering stress-strain* dari kurva antara ΔF dan Δl , digunakan persamaan 3.1 dan 3.2:

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

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

- σ = *Engineering Stress* (N/mm²)
 F = Beban yang diberikan (N)
 A = Luas penampang (mm²)
 ε = Strain (tidak bersatuan, dinyatakan dalam persentase)
 ΔL = Perubahan panjang (mm)
 L = Panjang setelah pembebanan (mm)

5. Uji Bending

Pengujian kekuatan lentur digunakan untuk menunjukkan kekakuan dari suatu material ketika di bengkokkan. Pengujian kelenturan dilakukan dengan metode threepoint bend, dimana specimen diletakkan pada kedua tumpuan dan dilakukan pembebanan ditengah specimen. Mesin yang digunakan adalah mesin uji bending milik laboratorium material inovatif di Dept Teknik Perkapalan ITS. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM D-790 seperti Gambar 3.13. Dimensi specimen yang diuji sesuai standar tersebut adalah 127x12.7x3 mm (ASTM, 2010).



Gambar 3.15 Mesin Uji Bending

Kekuatan lentur pada suatu material dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 3.4.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

σ_f : Kekuatan Lentur (Mpa)

L : Support Span (mm)

P : Beban Patah (N)
b : Lebar Spesimen (mm)
d : Tebal Spesimen (mm)

3.7 Rancangan Penelitian

Untuk mendapatkan data yang sistematis, maka dari penelitian ini dibuat rancangan penelitian seperti pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perlakuan Serat Kaca

Kode Sampel Serat Kaca	<i>Silane Treatment</i> (%APTES)	<i>Desizing</i>	Pengujian	
			<i>Wettability</i>	FTIR
SK 1	0	-	√	√
SK 2	2	√	√	-
SK 3	4	√	√	√
SK 4	6	√	√	-
SK 5	8	√	√	-

Tabel 3.3 Pembuatan Komposit

Kode	Material (%)			Pengujian		
	Serat Kaca	Epoksi	Hardener	Uji Tarik	SEM	Uji Bending
GFRP 1	40	30	30	√	√	√
GFRP 2	40	30	30	√	-	√
GFRP 3	40	30	30	√	√	√
GFRP 4	40	30	30	√	-	√
GFRP 5	40	30	30	√	√	√

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV

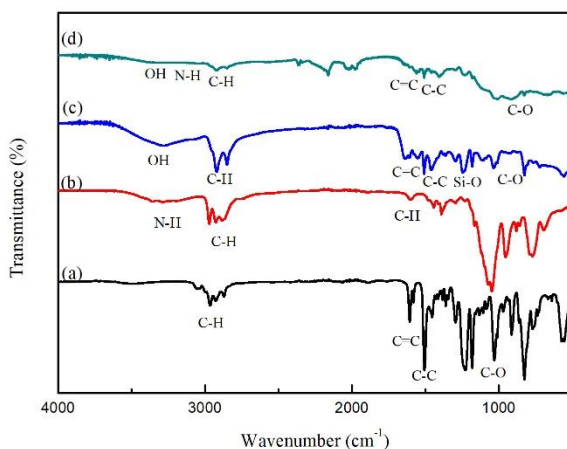
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan *surface treatment* pada serat kaca dengan menggunakan 3-*Aminopropyltriethoxysilane* (APTES). Dari proses treatment tersebut dilakukan pembuatan komposit dengan matriks epoksi dan pengisinya berupa serat kaca yang sudah di treatment dengan komposisi APTES sebesar 0, 2, 4, 6, 8%. Komposisi pengisinya adalah 40 %wt. Hasil dari proses tersebut di preparasi untuk kemudian dilakukan karakterisasi dan analisa sebagai berikut.

4.1 Hasil *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*

Analisa FTIR ini bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk pada material komposit Epoksi/Serat Kaca. Spektrum FTIR diperoleh dari masing masing bahan serta permukaan serat kaca sebelum dan sesudah tersilikonisasi. Analisa dilakukan dengan membandingkan *spectrum* gugus fungsi dari masing masing bahan dasar hingga setelah proses *surface treatment*.

Grafik FTIR terdapat sumbu x yang merupakan *Wavenumbers* (cm^{-1}) yaitu mewakili panjangnya gelombang yang dihasilkan pada saat reaksi dari rentang $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ sedangkan sumbu y merupakan *Transmittance* (%) yang mewakili besarnya transmisi atau perpindahan energi efektif yang terjadi selama reaksi, Gelombang tersebut memiliki titik-titik puncak yang menandakan terjadinya hambatan transmisi energi efektif dan memiliki arti telah terjadi aktivitas transformasi ikatan.



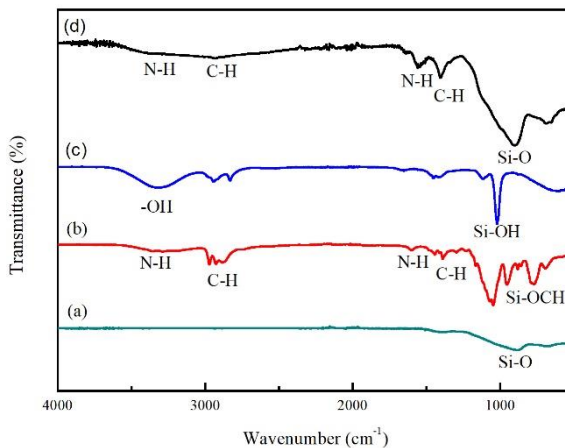
Gambar 4.1 Spektra FTIR dari (a) Epoksi , (b) APTES, (c) GFRP 0% APTES (d) GFRPS 4% APTES

Gambar 4.1 menunjukkan spectra FTIR dari komposit epoksi/serat kaca sebelum dan sesudah treatment serta spektra FTIR dari epoksi dan APTES. Pada Gambar 4.1 (a) Struktur molekul epoksi memiliki gugus fungsi antara lain gugus aromatik benzena, eter, alkohol dan gugus ester. Pada *peak* 2920.9 cm^{-1} terdapat gugus fungsi peregangan C-H dari CH_2 , 1605.6 cm^{-1} terdapat gugus fungsi C-C dari *aromatic rings*, kemudian 1507.84 cm^{-1} terdapat gugus fungsi C=C *aromatic* dan 1033.47 cm^{-1} mempunyai gugus fungsi C-O dari *oxirane group* (Gonzalez, dkk. 2012).

Gambar 4.1 (b), pada *peak wavenumber* $3291,74 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus amina (NH_2) N-H *stretching*. pada *peak wavenumber* $2926,38 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C-H *stretching* yang mana mengindikasikan kelompok propyl, *peak wavenumber* $1442,97 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C-H *stretching*, dan pada *peak wavenumber* $954,17 \text{ cm}^{-1}$ merupakan ikatan Si-

O *stretching* yang terdapat di dalam kelompok SiOCH (Park,2001).

Komposit sebelum di treatment pada Gambar 4.1 (c) menunjukkan peak yang kuat yaitu kelompok OH pada *wavenumber* 3279 cm^{-1} , gugus fungsi *ether* C-O-C dan *oxirane* C-O-C pada daerah serapan 1036 cm^{-1} dan 826 cm^{-1} , selain itu juga memiliki memiliki gugus fungsi *aromatik* C-C dan C=C pada daerah serapan 1508 cm^{-1} dan 1608 cm^{-1} . Material serat kaca ditunjukan dengan adanya gugus fungsi Si-O pada daerah serapan 1181 cm^{-1} (Bonon dkk, 2016) (Dagdag dkk, 2019) dan Gambar 4.1 (d) menunjukkan komposit setelah dilakukan proses *treatment* dimana muncul *peak* baru group NH pada *wavenumber* sekitar 3120 cm^{-1} (Kim dkk, 2011).



Gambar 4.2 Spektra FTIR dari (a) Serat Kaca (SK), (b) APTES, (c) APTES Terhidrolisis dan (d) Serat Kaca Tersilikonisasi

Hasil pengujian pada serat kaca, APTES, APTES terhidrolisis dan serat kaca tersilikonisasi, didapat data pada

Tabel 4.1. pada Gambar 4.2 (a) dimana merupakan hasil pengujian FTIR dari serat kaca tanpa perlakuan. Dari hasil pengujian didapatkan satu *peak* yang kuat pada *wavenumber* 880 cm^{-1} dimana merupakan ikatan Si-O-Si (Abbasi, Militky, & Gregr, 2013).

Pada Gambar 4.2 (b) dan (c) yang merupakan hasil pengujian FTIR dari APTES sebelum dan sesudah proses hidrolisis. terdapat beberapa puncak yang kuat pada Gambar 4.2 (b), pada *peak wavenumber* $3291,74\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus amina (NH_2) N-H *stretching*. pada *peak wavenumber* 2926 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H *stretching* yang mana mengindikasikan kelompok propyl, *peak wavenumber* 1390 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H *stretching*, dan pada *peak wavenumber* 954 cm^{-1} merupakan ikatan Si-O *stretching* yang terdapat di dalam kelompok SiOCH. Setelah mengalami proses hidrolisis, terdapat beberapa *peak* baru muncul yaitu pada *peak wavenumber* 3312 cm^{-1} dan 1021 cm^{-1} secara berurutan merupakan gugus dari kelompok OH dan Si-OH dimana terbentuk akibat proses hidrolisis. Beberapa *peak* pun berubah ketika proses hidrolisis terjadi, Gambar 4.2 (c) menunjukkan intensitas *peak* pada *wavenumber* 2926 cm^{-1} dan 954 cm^{-1} berkurang, hal ini menunjukkan hasil hidrolisis yang efisien pada penelitian ini (Park, 2001).

Gambar 4.2 (d) merupakan FTIR dari serat kaca tersilikonisasi, menunjukkan beberapa *peak* yang kuat *peak wavenumber* 3281 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus amina (NH_2) N-H *stretching*, *peak wavenumber* 2929 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H *stretching* yang mana mengindikasikan kelompok propyl, *peak wavenumber* 1560 cm^{-1} di asumsikan disebabkan oleh getaran deformasi gugus amino yang berkaitan dengan ikatan -H (hydrogen) atau interaksi gugus amina dengan permukaan serat kaca (Boerio & Williams, 1980), dan pada *peak wavenumber* 905 cm^{-1} merupakan ikatan Si-O *stretching*, mengindikasikan bahwa lapisan (APTES) telah terhidrolisis dan terpolimerisasi

membentuk *polysiloxane* pada permukaan serat kaca (Gudkk,1996).

Analisa spektrum FTIR mengungkapkan bahwa proses modifikasi permukaan menciptakan kelompok fungsional NH_2 pada permukaan serat yang dapat meningkatkan adhesi serat dengan matriks epoksi (Prakash, 2017).

Hasil ini sesuai dengan hasil pengujian SEM sesudah dan sebelum treatment yang ditunjukkan pada Gambar 4.5, pada serat kaca yang tersilikonisasi terdapat lapisan atau aglomerasi pada permukaan serat kaca, berbeda dengan serat kaca tanpa perlakuan yang mana terlihat bersih tanpa adanya lapisan atau aglomerasi.

Tabel 4.1 Daerah Serapan Infra Merah APTES dan Serat Kaca *Treatment*

Serat Kaca	Peak (cm^{-1})			Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi
	APTES	APTES Terhidrolisis	Serat Kaca Tersilikonisasi	
-	-	3312	-	-OH
-	3292	-	3281	N-H stretching
-	2926	-	2929	C-H stretching
-	-	-	1560	N-H bend
-	1390	-	-	C-H bend
-	-	1021	-	Si-OH
-	954	-	-	Si-OCH stretching
880	-	-	905	Si-O stretching

4.2 Hasil *Scanning Electron Microscope*

Analisa morfologi pada umumnya digunakan untuk mengetahui perilaku suatu material dan menentukan karakteristik material. SEM bertujuan untuk analisa morfologi dan mengetahui perilaku dari suatu material, pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ikatan antara matriks dengan seratnya pada material hingga kegagalan pada material komposit itu sendiri. Sampel yang digunakan pada pengambilan gambar SEM adalah penampang hasil uji Tarik material komposit Epoksi/Serat Kaca seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 yang dipotong secara *cross section*. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) menggunakan mesin FEI INSPECT S50 dengan tegangan 10.000 kV

Gambar 4.4 menunjukkan hasil mikrofografi SEM bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji Tarik material komposit

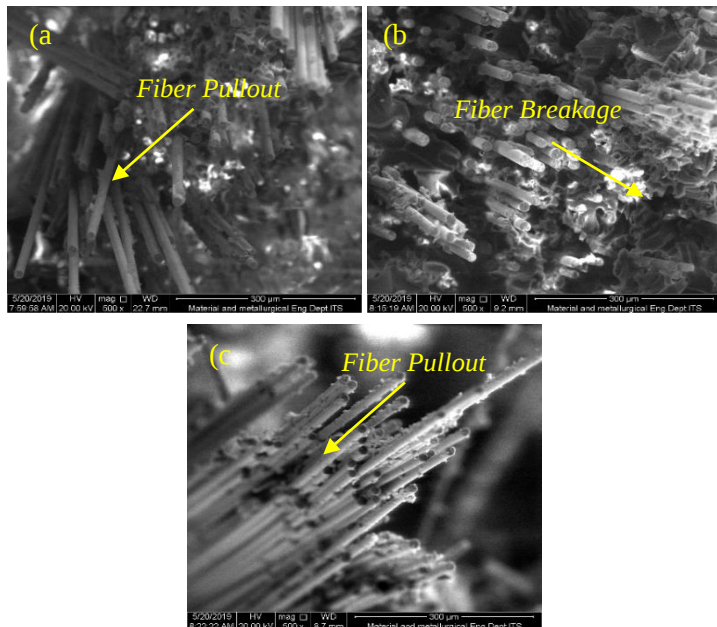


Gambar 4.3 Bentuk Patahan Specimen Uji Tarik Material Komposit Epoksi/Serat Kaca

Epoksi/Serat Kaca yang tersilikonisasi dengan perbesaran 500x. Gambar ini menjelaskan pola patahan yang terjadi pada Komposit Epoksi/Serat Kaca.

Dari Gambar 4.4, dapat diketahui pola patahan yang terjadi pada material komposit. Jika dilihat dari keseluruhan

mengalami *fiber pullout*. Pada Gambar 4.4 (a) menunjukkan permukaan patahan komposit dengan serat yang tidak di *treatment*. Pada gambar menunjukkan banyaknya terjadi *fiber pullout* yang mana mengindikasikan adhesi yang buruk pada serat yang tidak di *treatment*.

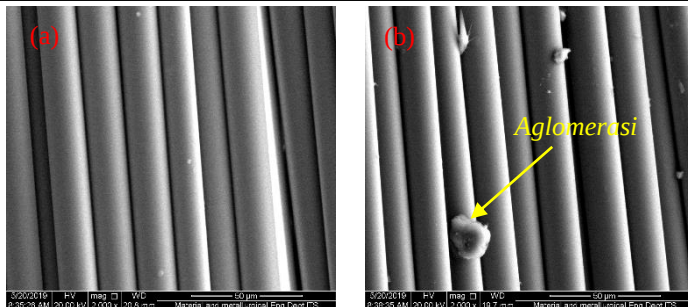


Gambar 4.4 Mikrografi SEM Permukaan Patahan Uji Tarik Material Komposit Epoksi/Serat Kaca Perbesaran 500x dengan Penambahan APTES: (a) 0%, (b) 4%, dan (c) 8%

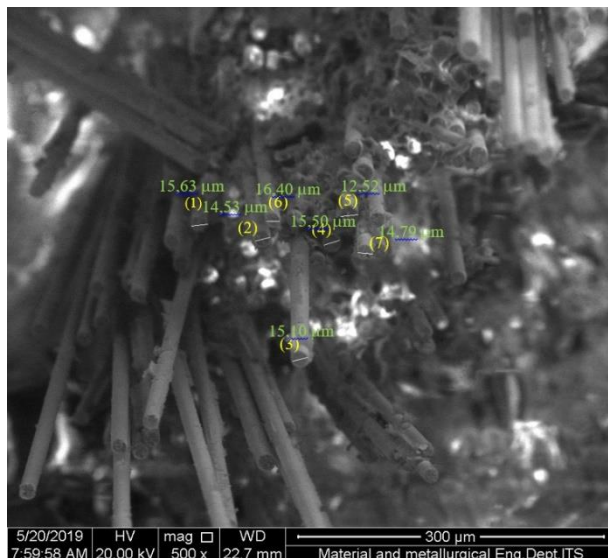
Gambar 4.4 (b) dan (c) yang mana tetap terjadi fiber pullout namun tidak sebanyak Gambar 4.4 (a) namun pada hasil uji SEM lebih banyak terjadi *fiber breakage* yaitu patahnya serat pada komposit. hal ini dikarenakan adhesi yang baik antara serat dan matriks dimana fungsional group dari amine pada permukaan serat kaca bereaksi dengan gugus epoksi membentuk ikatan kovalen (Prakash, 2017). Serat yang di

treatment saat terjadinya transfer beban dari matriks dapat mengurangi konsentrasi tegangan pada matriks. Hal yang sama juga menciptakan ikatan yang bagus antara serat dan matriks sehingga meningkatkan ketahanan akan kegagalan berupa fiber pullout pada komposit dibandingkan dengan serat yang tidak di treatment

Ketika variasi komposisi APTES lebih tinggi seperti pada Gambar 4.4 (c) menunjukkan terjadinya kegagalan berupa fiber pullout, dari hasil uji Tarik juga menunjukkan penurunan kekuatan tarik. Hal ini menurut (Kim dkk, 2011) lubricant effect terjadi pada serat kaca dengan variasi komposisi APTES lebih tinggi, yang akan menyebabkan ikatan yang lemah antara matriks dan serat dikarenakan lapisan polysiloxane. Pada saat variasi komposisi APTES lebih tinggi didapatkan ketebalan dari lapisan polysiloxane yang terabsorpsi pada permukaan serat kaca juga semakin tebal, hal ini juga menunjukkan bahwa ketebalan dari APTES juga mempengaruhi *mechanical properties* dari komposit Epoksi/Serat Kaca dengan serat kaca yang telah tersilikonisasi, semakin tebalnya lapisan maka akan membuat sifat mekanik dari komposit itu sendiri menurun dikarenakan sifat mekanik dari lapisan siloxane yang lemah (Gu dkk, 1996). Gambar 4.5 menunjukkan mikrofotografi serat kaca sebelum dan sesudah treatment. Serat kaca yang tersilikonisasi terdapat lapisan atau aglomerasi pada permukaan serat kaca, berbeda dengan serat kaca tanpa perlakuan yang mana terlihat bersih tanpa adanya lapisan atau aglomerasi (Kim dkk, 2014).



Gambar 4.5 Mikrografi SEM Permukaan Serat Kaca Pada Perbesaran 2000x (a) SK (b) SK Tersilikonisasi



Gambar 4.6 Mikroskopi SEM Permukaan Patahan Uji Tarik Material Komposit Epoksi/Serat Kaca 0% APTES Dengan Ukuran Seratnya.

Mikroskopi SEM Gambar 4.6 terlihat material berbentuk silinder yang merupakan serat kaca sebagai pengisi komposit. Diameter dari serat kaca tersebut dapat diketahui dengan mengukur diameter dari beberapa titik serat yang terlihat dari hasil SEM dengan menggunakan *software Image J* dan mengambil rata rata ukuran serat tersebut. Diameter dari beberapa titik serat dituliskan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Diameter Serat Kaca pada Material Komposit Serat Kaca/ Epoksi

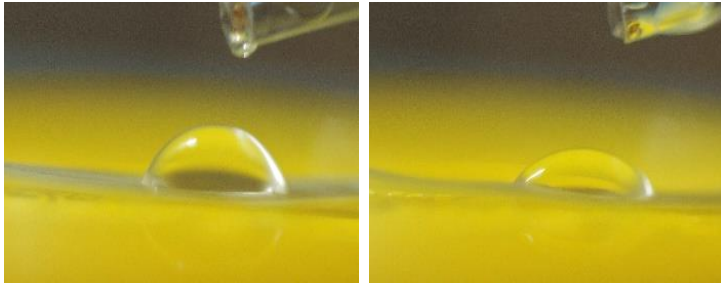
Kode Serat	Diameter (μm)	Rata-rata Diameter (μm)
1	15,63	15,23 $\pm$ 0,92
2	14,53	
3	14,10	
4	15,50	
5	16,40	

Dari Tabel 4.2, diketahui nilai beberapa titik serat seperti pada Gambar 4.5 antara lain, didapatkan dengan menggunakan *software Image J* dimana pada titik 1 diameter serat berukuran 15,63 μm . pada titik 2, diameter serat berukuran 14,53 μm . Pada titik 3, diameter serat berukuran 14,10 μm , titik 4 diameter serat berukuran 15,50 μm , titik 5 diameter serat berukuran 16,40 μm . Nilai rata rata diameter serat kaca tersebut berukuran 15,23 μm . diameter ini merupakan nilai diameter dari satu serat kaca.

4.3 Hasil Uji Kemampubasahan (*Wettability*)

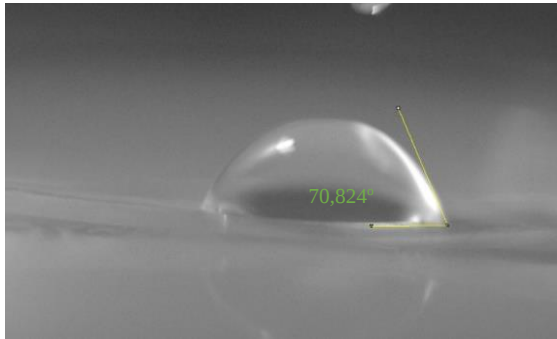
Pengujian *wettability* bertujuan untuk menentukan sifat kemampubasahan material. Dengan melakukan perhitungan sudut kontak maka akan diketahui sifat adhesi yang bagus atau buruk. Pada pengujian *wettability* ini, tetesan air pada serat diamati dan difoto menggunakan kamera cannon dengan lensa

makro, jarak pengambilan gambar 5 cm dari serat, seperti yang di tunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Droplet Air Pada Serat Kaca (a) SK
0% APTES (b) SK Tersilikonisasi 4%APTES

Kemampubasahan dikatakan bagus atau buruk dilihat dari sudut kontak yang terbentuk antara tiga garis singgung antarmuka, yaitu padat/cair, cair/uap, dan padat uap. Semakin kecil sudut (θ) yang dibentuk, semakin optimal dalam menghasilkan kemampubasahan serat-matrik. Sudut kontak yang mendekati nol menunjukkan bahwa permukaan memiliki kemampuan menyerap cairan dimana cairan memiliki tegangan permukaan lebih rendah daripada serat (Vicks, 1999). Gambar 4.8 menunjukkan contoh pengambilan sudut kontak antara serat-matriks. Tabel 4.3 merupakan nilai sudut kontak untuk setiap spesimen yang dihitung melalui *software Image J*.

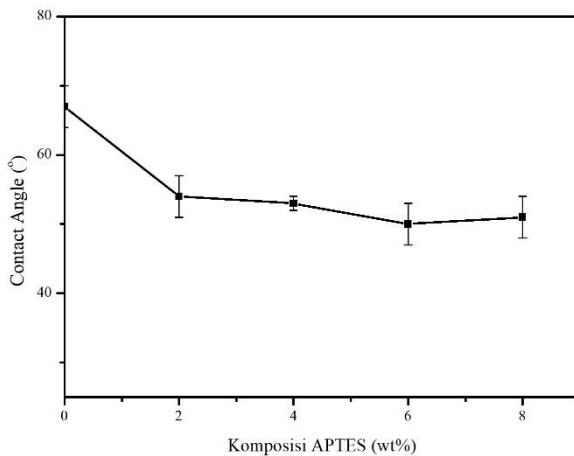


Gambar 4.8 Sudut Kontak Pada Serat Kaca 0% APTES

Untuk mendapatkan garis singgung tersebut, hasil foto dimasukkan ke *software Image J* untuk dilakukan pengukuran dan perhitungan, sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.3 yang merupakan nilai sudut kontak untuk setiap spesimen yang dihitung melalui *software Image J*.

Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian *Wettability*

Spesimen	Sudut Kontak (°)	Keterangan
SK 0%APTES	$67^{\circ} \pm 3^{\circ}$	Mampu basah sedang
SK 2%APTES	$54^{\circ} \pm 3^{\circ}$	Mampu basah sedang
SK 4%APTES	$53^{\circ} \pm 1^{\circ}$	Mampu basah sedang
SK 6%APTES	$50^{\circ} \pm 3^{\circ}$	Mampu basah sedang
SK 8%APTES	$51^{\circ} \pm 3^{\circ}$	Mampu basah sedang



Gambar 4.9 Grafik Nilai *Wettability* SK Dengan Variasi Jumlah Komposisi %APTES

Gambar 4.9 merupakan respon *trendline* pengaruh komposisi *3-Aminopropyltriethoxysilane* (APTES) terhadap serat kaca cenderung meningkat. Untuk variasi SK tanpa perlakuan atau komposisi 0% APTES didapatkan sudut kontak sebesar $67^{\circ} \pm 3^{\circ}$, SK 2% APTES didapatkan sudut kontak sebesar $55^{\circ} \pm 3^{\circ}$, SK 4% APTES dengan sudut kontak $53^{\circ} \pm 1^{\circ}$, SK 6% APTES dengan sudut kontak $50^{\circ} \pm 3^{\circ}$, dan SK 8% APTES didapatkan sudut kontak sebesar $51^{\circ} \pm 3^{\circ}$. dari hasil yang di dapat menunjukkan adanya perubahan sudut kontak yang signifikan antara serat kaca tanpa perlakuan dengan serat kaca yang tersilikonisasi. Dengan meningkatnya variasi komposisi APTES pada serat kaca, sudut kontak air menurun , karakteristik untuk pembasahan permukaan kering berkurang dari 67° untuk serat tanpa perlakuan menjadi 50° untuk serat dengan komposisi 6% APTES. Hal ini dikarenakan perlakuan pada serat kaca yaitu serat kaca tersilikonisasi merupakan

penyebab dari meningkatnya kemampubasahan dan sifat hidrofilisitas dari serat kaca.

Berdasarkan hasil SEM, setelah serat kaca yang telah di treatment dengan *3-Aminopropyltriethoxysilane*, membentuk lapisan atau aglomerasi *siloxane*. Menurut Wettmarshausen dkk (2015), Kekasaran permukaan yang diamati dari serat yang telah ditreatment tidak dianggap sebagai efek negatif, sebaliknya, dapat meningkatkan adhesi dengan lebih banyak *interlocking* mekanik, yaitu dengan meningkatkan area kontak ke matriks polimer dan jumlah ikatan yang mungkin terjadi lebih banyak di sepanjang antarmuka. Hasil yang didapat, nilai sudut kontak hampir sama namun ada juga berbeda, menurut penelitian yang dilakukan Zulkifli dan Onny (2009), hal ini disebabkan topografi permukaan serat yang sangat *irregular*, secara teori perhitungan, tingginya harga $\cos$ diikuti dengan besarnya harga tegangan permukaan serat-*vapour*, sehingga faktor yang mempengaruhi kemampu basahan selain interaksi *intermolecular*, topografi permukaan serat juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kemampubasahan.

4.4 Hasil Uji Tarik

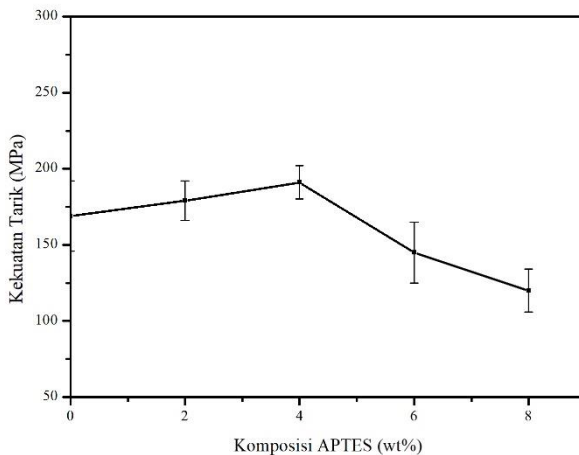
Metode lain yang digunakan dalam menentukan sifat mekanik dari sebuah material adalah dengan melakukan *Tensile Test* atau Uji Tarik. Metode ini merupakan metode umum dalam menentukan sifat mekanik dari sebuah material. Standar yang digunakan untuk pengujian tarik pada komposit Epoksi/Serat Kaca adalah 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 Epoksi/Serat Kaca (0% APTES) didapatkan beban tarik maksimal 19778 N dan kekuatan tarik maksimal 168 MPa. Lalu untuk Komposit komposit Epoksi/Serat Kaca (2% APTES) didapatkan beban tarik maksimal 25290 N dan

kekuatan tarik maksimal 179 MPa. Untuk Komposit Epoksi/Serat Kaca (4% APTES) didapatkan beban tarik maksimal 24889 N dan kekuatan tarik maksimal 191 MPa. Kemudian untuk Komposit Epoksi/Serat Kaca (6% APTES) didapatkan beban maksimal kekuatan tarik sebesar 18688 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 145 MPa dan Komposit Epoksi/Serat Kaca (8% APTES) didapatkan beban tarik maksimal 17529 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 120 MPa. Pengaruh treatment serat kaca terhadap variasi penambahan %APTES pada komposit Epoksi/Serat Kaca terhadap kekuatan tarik maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 4 *Tensile Properties* dari Material Komposit Epoksi/Serat Kaca

Material	Max. Load (N)	UTS (MPa)	Elongation (%)	Modulus Elasticity (MPa)
GFRP 0%APTES	20175 ±1811	168 ±13	33 ±2	708
GFRP 2%APTES	25290 ± 1413	179 ±23	31 ±3	762
GFRP 4%APTES	24889 ±1395	191 ±11	29 ±2	838
GFRP 6%APTES	18688 ±3401	145 ±20	29 ±2	702
GFRP 8%APTES	17529 ±981	120 ±14	31 ±0,5	589

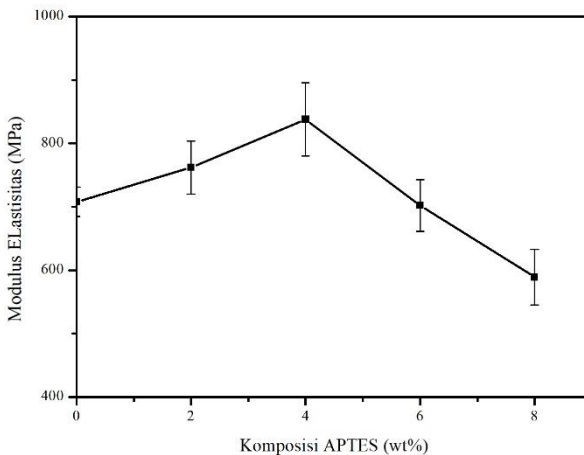


Gambar 4.10 Sifat Tarik dari Material Komposit Epoksi/Serat Kaca Dengan Penambahan 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES)

Dari grafik yang ditunjukkan Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik meningkat dari komposit dengan serat kaca yang tersilikonisasi 0% APTES hingga 4% APTES lalu nilai kekuatan tarik mengalami penurunan saat komposisi 6%APTES hingga 8%APTES. Nilai kekuatan Tarik meningkat dari komposisi 0%APTES hingga 4% APTES yang mana bisa di kaitkan dengan *interfacial adhesion* yang lebih baik pada 3 element tersebut yaitu serat kaca, matriks dan silane coupling agent (Park, 2001). Ini dapat diartikan bahwa *silane coupling agent* memperbaiki *interface* antara serat kaca dan epoksi dimana transfer tegangan dari matriks ke serat lebih efektif, sehingga bisa lebih baik dalam menahan perambatan retak selama pembebanan tarik (Yu Siwon, 2019). Hal ini sesuai dengan morfologi SEM dimana dengan meningkatnya variasi

APTES menyebabkan ikatan antara serat dan matriks menjadi lebih baik.

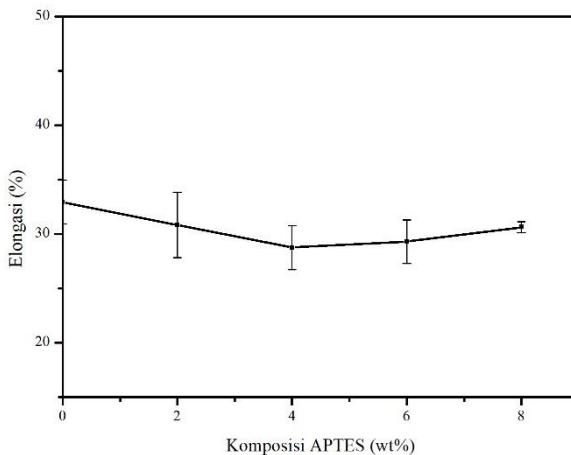
Komposit Serat Kaca dengan variasi komposisi APTES lebih tinggi menunjukkan trendline yang mengalami penurunan, terlihat terjadi penurunan dari 4% APTES sebesar 191 MPa menjadi 120 Mpa pada 8% APTES. Hal ini menurut (Park, 2001) dikarenakan ketebalan lapisan APTES, terjadinya *fiber pullout* pada serat dan matriks dan efek *plastisizing* (Oui dkk, 2006) yang terjadi pada variasi komposisi APTES yang lebih tinggi dimana ketiga hal itu menyebabkan penurunan sifat mekanik dari komposit, Sehingga nilai kekuatan Tarik pada komposit 8 % APTES lebih rendah. Hal ini tampak pada morfologi SEM komposit serat kaca dan epoksi.



Gambar 4.11 Nilai Modulus Elastisitas Komposit Epoksi/Serat Kaca Dengan Penambahan 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES)

Gambar 4.11 menunjukkan nilai modulus elastisitas komposit Epoksi/Serat Kaca dimana menunjukkan tren yang sama dengan nilai kekuatan Tarik pada komposit. Pada

Epoksi/Serat Kaca, spesimen yang memiliki nilai modulus elastisitas tertinggi yaitu 838 MPa yaitu pada komposit dengan variasi penambahan 4 % APTES dan nilai modulus elastisitas terendah yaitu 589 N/mm² yaitu pada komposit dengan variasi penambahan 8%APTES. Nilai modulus elastisitas meningkat dengan meningkatnya kekuatan material komposit ketika diberi treatment dengan APTES hingga komposisi 4%APTES, hal ini dikarenakan ikatan yang baik antara serat dan matriks, lalu mengalami penurunan pada variasi komposisi 6 dan 8 % APTES diikuti dengan penurunan nilai modulus elastisitas yang sejalan dengan penurunan pada kekuatan Tarik komposit dikarenakan kandungan APTES yang pada variasi lebih tinggi akan meningkatkan ketebalan lapisan dan memperburuk sifat mekanik.



Gambar 4.12 Nilai Elongasi Material Komposit Epoksi/Serat Kaca Dengan Penambahan 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES)

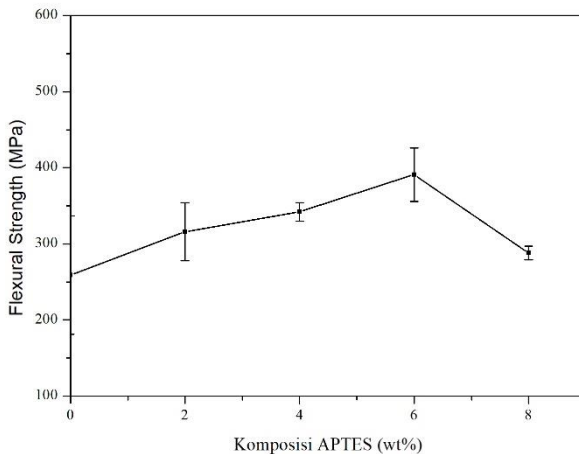
Dari Gambar 4.12, bertolak belakang dengan modulus elastisitas, nilai elongasi dari material komposit Epoksi/Serat Kaca mengalami nilai penurunan dari 0% sampai 4% lalu naik hingga 8%. Nilai elongasi tertinggi berada pada penambahan 0% APTES dengan nilai *Elongation* mencapai 33 %. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan komposisi APTES pada serat kaca tidak berkontribusi untuk meningkatkan ketangguhan pada komposit, Namun menyebabkan peningkatan kekakuan pada material komposit dengan komposisi APTES 4%. Dari data didapatkan bahwa nilai kekuatan uji tarik berbanding terbalik dengan nilai elongasi dari material komposit itu sendiri.

4.5 Hasil Uji Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui kekakuan dari komposit yang sudah dibentuk ketika di bengkokkan. Hasil uji bending ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Uji Bending Material Komposit

Material	Max. Load (N)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Strain (%)	Flexural Modulus (GPa)
GFRP 0%APTES	1267 ±472	259 ±78	4 ±1,1	5,7
GFRP 2%APTES	1467 ± 208	316 ±38	5 ±0,6	6,2
GFRP 4%APTES	1517 ±58	342 ±12	5 ±0,2	6,6
GFRP 6%APTES	1767 ±208	391 ±35	6 ±0,4	7,0
GFRP 8%APTES	1383 ±161	288 ±9	5 ±0,5	5,4

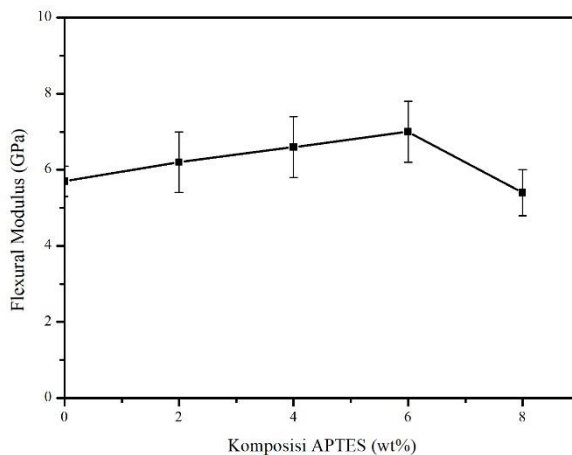


Gambar 4.13 Kekuatan Bending dari Material Komposit Epoksi/Serat Kaca Dengan Penambahan 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES).

Tabel 4.5 menunjukkan nilai kekuatan bending dari material komposit yang dibentuk dengan komposisi matriks epoksi dan serat kaca yang belum dan telah di *treatment*. Berdasarkan Gambar 4.13. Sama halnya dengan kekuatan tarik *trendline* menunjukkan peningkatan nilai kekuatan bending, dari hasil pengujian kekuatan bending tersebut menunjukkan nilai kekuatan bending (*Flexural Strength*) paling tinggi didapatkan pada GFRP 6%APTES dengan kekuatan bending sebesar 391 ± 35 MPa, sedangkan kekuatan bending paling kecil didapatkan pada GFRP 0%APTES dengan nilai kekuatan bending sebesar 259 ± 78 MPa. Kenaikan kekuatan bending ini dikarenakan ikatan yang baik antara serat dan matriks. Adhesi yang baik antara serat dan matriks dikarenakan fungsional group dari amine pada permukaan serat kaca bereaksi dengan gugus epoksi membentuk ikatan kovalen (Prakash, 2017). Sesuai dengan morfologi uji SEM, meningkatnya variasi

komposisi APTES maka menyebabkan *interfacial adhesion* yang lebih baik dan pada morfologi permukaan komposit serat kaca menunjukkan peningkatan ikatan matriks di permukaan serat kaca.

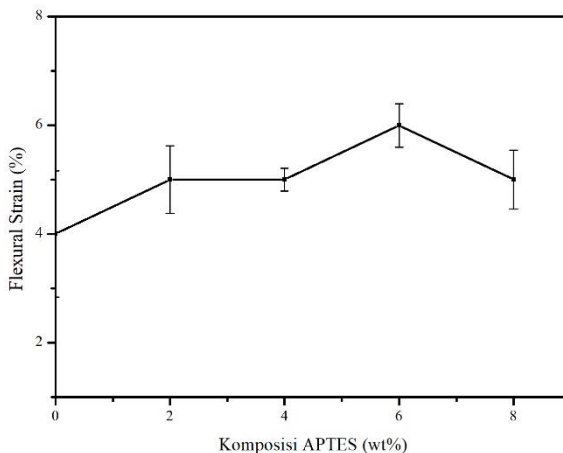
Namun nilai kekuatan bending pada material komposit mengalami penurunan pada GFRP 8%APTES. Hal ini dikarenakan variasi komposisi APTES yang terlalu tinggi meningkatkan ketebalan lapisan film pada serat kaca yang mana hal ini mengakibatkan sifat mekanik yang buruk (Gu dkk, 1996).



Gambar 4.14 *Flexural Modulus* dari Material Komposit Epoksi/Serat Kaca Dengan Penambahan 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES).

Gambar 4.14 menunjukkan nilai *flexural modulus* komposit Epoksi/Serat Kaca dimana menunjukkan tren peningkatan yang sama dengan nilai kekuatan Tarik pada komposit. Pada Epoksi/Serat Kaca, spesimen yang memiliki nilai *flexural modulus* tertinggi yaitu $7 \pm 0,8$ GPa yaitu pada komposit dengan penambahan 6 % APTES dan nilai *flexural*

modulus terendah yaitu $5,4 \pm 0,6$ GPa yaitu pada komposit dengan penambahan 0%APTES. Nilai *flexural modulus* meningkat dengan meningkatnya *flexural strength* material komposit ketika diberi *treatment* APTES hingga variasi komposisi 6%APTES. Fenomenan ini dapat dihubungkan dengan ikatan yang baik antara serat dan matriks, lalu menurun hingga variasi komposisi 8% APTES diikuti dengan penurunan pada *flexural strength* komposit dikarenakan variasi komposisi APTES yang lebih tinggi dapat memperburuk sifat mekanik komposit.



Gambar 4.15 *Flexural Strain* dari Material Komposit Epoksi/Serat Kaca Dengan Penambahan 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES).

Gambar 4.15 menunjukkan nilai *flexural strain* dari material komposit Epoksi/Serat Kaca yang telah di *treatment*. Nilai *flexural strain* tertinggi ada pada penambahan 6% APTES yaitu sebesar 6% dan nilai terendah ada pada 0% APTES sebesar 4 %. Peningkatan *flexural strain* ini dapat dikaitkan

dengan adanya *surface treatment* dengan menggunakan APTES.

Secara umum pada komposit mengalami kerusakan mikroskopis dalam matriks yang mana menurunkan sifat mekanik komposit dan akhirnya menghasilkan pembentukan retakan dan delaminasi transversal (Patel, dkk. 2018). Selain itu menurut (dhidhit, 2014) Void atau rongga yang terdapat pada spesimen juga akan menyebabkan initial crack, sebab terjadi konsentrasi tegangan saat komposit diberi pembebanan. Hal tersebut tentu mengakibatkan nilai kekuatan mekanik dari komposit akan menurun.

Dari hasil pengujian mekanik komposit Epoksi/Serat Kaca yang telah di beri perlakuan. Didapatkan bahwa semua variasi treatment sudah memenuhi standar BKI untuk lambung kapal GFRP, dimana untuk kekuatan Tarik minimum BKI sebesar 98 MPa dan kekuatan bending minimum sebesar 150 MPa dibandingkan dengan hasil pengujian di dapatkan nilai kekuatan Tarik maksimum sebesar 191 MPa dan kekuatan bending maksimum sebesar 391 MPa.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian *surface treatment* serat kaca dengan menggunakan coupling agent *3-Aminopropyltriethoxysilane* (APTES) terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit Epoksi/Serat Kaca menunjukkan

1. Sifat mekanik Komposit Epoksi/Serat Kaca dengan variasi penambahan APTES mengalami kenaikan kekuatan tarik dan kekuatan bending. Kekuatan Tarik Komposit Serat Karbon/Epoksi memiliki nilai maksimal pada penambahan 4% APTES dengan nilai kekuatan 191 MPa. Nilai Elongasi Komposit Epoksi/Serat Kaca nilai maksimal pada penambahan 0% APTES dengan besar elongitas 33%. Nilai kekuatan bending maksimal pada Epoksi/Serat Kaca didapat pada penambahan 6% APTES yaitu sebesar 391 MPa.
2. Sudut pembasahan dari serat kaca mengalami penurunan dengan adanya penambahan APTES
3. Secara morfologi, Dengan proses *silane treatment*, Komposit Epoksi/Serat Kaca mengalami ikatan antara matriks dan serat kaca yang lebih baik.

Sesuai dengan studi literatur yang ada dan disesuaikan dengan hasil eksperimen dimana material ini dapat diaplikasikan untuk lambung kapal standar BKI dengan kekuatan tarik minimum 98 MPa dan kekuatan bending minimum 150 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 Kekerasan dan Uji Impak
3. Melakukan Uji XRD untuk memastikan unsur unsur baru yang terbentuk di permukaan serat kaca.
4. Menggunakan alat khusus sesuai untuk pengujian *wettability*

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, A. R., Militky, J. & Gregr, J., 2013. **Heat Generation by Polypyrrole Coated Glass Fabric**. *Journal Of Textiles*, Volume 2013, p. 5.
- Alian, H., 2011. **Pengaruh Variasi Fraksi Volume Semen Putih Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Komposit Glass Fiber Reinforce Plastic (Gfrp) Berpenguat Serat E-Glass Chop Strand Mat Dan Matriks Resin Polyester**. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Sriwijaya*, Volume III, pp. 401-415.
- Anon., 2015. **Deep Sea Fishers**. [Online] Available at: <https://sight.ieee.org/projects/madras-deep-sea-artisanal-fishers/>
- Arkles, B., 2006. **Hydrophobicity, Hydrophilicity and Silane Surface Modification**.
- ASM, 2001. **ASM Handbook of Composite**. s.l.:ASM International.
- ASTM, 2010. **Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness**¹. United States: ASTM International.
- ASTM, 2010. **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**, United States: ASTM International.
- ASTM, 2013. **Standard Practice for Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement**, United States: ASTM International.
- ASTM, 2015. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**, United State: ASTM International.
- Augustsson, C., 2004. **NM Epoxy Handbook**. Yuerby: Nils Malmgren AB..
- BILLMEYER, F. W., 1984. **Textbook Of Polymer Science**. Canada: John Wiley & Sons, Inc..
- Biro Klasifikasi Indonesia, 2016. **Rules For The Classification And Construction**. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.

- Boerio, F. & Williams, J., 1980. **Structure And Properties Of Organosilane Primers For Adhesive Bonding**. *Applications of Surface Science* 7, pp. 19-31.
- Callister, W. D., 2011. **Materials Science And Engineering An Introduction**. 8th ed. s.l.:John Wiley & Sons, Inc..
- Chawla, K. K., 2012. **Composite Materials Science and Engineering**. Third ed. New York: Springer.
- Diniarto, J., 2011. **Analisis Struktur Material Laminasi Untuk Lambung Kapal Kayu Tradisional**.
- Djafar, Z. & Sutresman, O. S., 2009. **Pengaruh Perlakuan Permukaan Serat Alami Rami (Boehmeria Nivea) Terhadap Wettability dan Kemampuan Rekat Matrik Epoxy Resin**. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, pp. 129-134.
- Galluci, M., 2018. **The Struggle to Make Diesel-Guzzling Cargo Ships Greener**. [Online] Available at: <https://spectrum.ieee.org/transportation/marine/the-struggle-to-make-diesलगuzzling-cargo-ships-greener>
- Gelest, 2014. **Silane Coupling Agent: Connecting Across Boundaries**, Morrisville: Gelest, Inc.
- Gibson, R. F., 1994. **Principle Of Composite Material Mechanics**. s.l.:McGraw-Hill, Inc..
- Gölpinar, 2005. **Comparative Analysis Of Materials In Recreational Boat Design: Fiber Reinforced Plastic Boat In Serial Production**. s.l.:Izmir Institute of Technology .
- Gu, X. H., Xue, G. & Jiang, B. C., 1996. **Effect of Deposition Conditions for 3-Aminopropyltriethoxysilane on Adhesion Between Copper and Epoxy Resins**. *Applied Surface Science*, pp. 66-73.
- Haihang, 2018. **Technical Data Sheet of 3-Aminopropyltriethoxysilane**, Jinan: Haihang.
- Howarter, J. A. & Youngblood, J. P., 2006. **Optimization of Silica Silanization by 3-Aminopropyltriethoxysilane**. pp. 11142-11147.

- Ismail Marzuki, A. Z. ,. B. M., 2017. **Kajian Penerapan Aturan Klasifikasi pada Laminasi Struktur Konstruksi Lambung Kapal Ikan Fiberglass 3 GT.** *Jurnal Wave Volume 11 Nomor 1, Juli 2017: Hal: 15-22* , pp. 15 - 22.
- Jawaid, M., Sapuan, S. M. & Alothman, O., 2017. **Green Biocomposite: Manufacturing and Properties.** s.l.:Springer.
- Jin, F. L., Li, X. & Park, S. J., 2015. **Synthesis and application of epoxy resins: A review.** *Journal of Industrial and Engineering Chemistry xxx (2015) xxx–xxx*, pp. xxx-xxx.
- Kim, J. G., Choi, I. & Seo, I. S., 2011. **Flame and Silane Treatments for Improving the Adhesive Bonding Characteristics of Aramid/Epoxy Composites.** *Composite Structures*, pp. 2696-2705.
- Kim, J. K. & Mai, Y. W., 1998. **Engineered Interfaces In Fiber Reinforced Composites.** s.l.:Elsevier Science.
- Kutz, M., 1998. **Mechanical Engineer's Handbook 2nd Edition. In: Composite Materials and Mechanical Design.** New York: Wiley.
- Levander, O., 2017. **Forget Autonomous Cars—Autonomous Ships Are Almost Here.** [Online] Available at: <https://spectrum.ieee.org/transportation/marine/forget-autonomous-cars-autonomous-ships-are-almost-here>
- Mallick, P., 2008. **Fiber Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design.** USA: CRC Press.
- Ma'ruf, B., 2013. **Analisis Kekuatan Laminasi Lambung Kapal Fiberglass Yang Menggunakan Material Multiaxial.** September.
- Mazumdar, S. K., 2002. **Composites Manufacturing : Materials, Product, and Process.** Florida,USA: CRC Press.
- Molland, A. F., 2008. **The Maritime Engineering Reference Book.** Burlington: Elsevier Ltd.
- Oroh, J., Sappu, F. P. & Lumintang, R., 2013. **Analisis Sifat Mekanik Material Komposit Dari Serat Serabut Kelapa.** *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*, pp. 1-10.

- Oui, P. S., Sirisinha, C., Thepsuwan, U. & Hatthapanit, K., 2006. **Roles of Silane Coupling Agent Properties of Silica-Filled Polychloroprene.** *European Polymer Journal*, pp. 479-486.
- Park, S. J. & Jin, J. S., 2001. **Effect of Silane Coupling Agent on Interphase and Performance of Glass Fibers/Unsaturated Polyester Composites.** *Journal of Colloid and Interface Science*, pp. 174-179.
- Plueddemann, E. P., 1982. **Silane Coupling Agent.** s.l.:Plenum Press.
- Prakash, V. A. & Rajadurai, A., 2017. **Interlaminar Shear Strength Behavior of Acid, Base and Silane Treated E-Glass Fibre Epoxy Resin Composite On Drilling Process.** *Defence Technology*, pp. 40-46.
- Ratna, D., 2009. **Handbook of Thermoset Resins.** s.l.:iSmithers.
- Salmah, 2005. **Pencirian dan Sifat-Sifat Komposit Polipropilen (PP)/Etilena Propilena Diena Monomer (EPDM) Terisi Sludge Kertas,** Malaysia: University Sains Malaysia.
- Slamah, n.d. s.l.: s.n.
- Sulistijono, 2012. **Mekanika Material Komposit.** Surabaya: ITS Press.
- Vaughan, D. J., 1998. **Fiberglass Reinforcement.** s.l.:Chapman & Hall.
- Wettmarshausen, S. & Friedrich, J. F., 2015. **Coating of Carbon Fibers With Adhesion Promoting Thin Poly(acrylic acid) and Poly(hydroxyethylmethacrylate) Layers Using Electrospray Ionization.** *Journal of Adhesion Science and Technology*, Volume 29, pp. 1628-1650.
- White, J. F., Lee, J., Hessling, O. & Glaser, B., 2017. **Reactions Between Liquid CaO-SiO₂ Slags and Graphite Substrates.** *Metallurgical and Materials Transactions*, February, Volume 48B, pp. 506-515.
- Yu, S., Oh, K. H., Hwang, J. Y. & Hong, S. H., 2018. **The Effect of Amino Silane Coupling Agents Having Different Molecular Structures on the Mechanical Properties of**

Basalt Fiber-Reinforced Polyamide 6,6, Composite. *Journal Of Composite.*

Yuwandana, D. P., 2012. **Desain dan Konstruksi Perahu Katamaran.** Bogor: Institut Pertanian Bogor.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A Rule of Mixture Sifat Mekanik

Type	Chopped Fabric	Bidir/ Woven Fabric
Tensile Strength MPa	100	460
Tensile Modulus GPa	7.7	22
Flexural Strength MPa	180	600
Flexural Modulus GPa	7	21

(George,1982)

Mechanical Properties of Epoksi

Density	Tensile Strength (MPa)	Modulus Elasticity (GPa)
1,2-1,3	50-125	2,5-4

1. Tensile Strength Rule of Mixture (σ)

Tensile Strength (Upper)

$$\sigma = \sigma_{matriks} \times Vm + \sigma_{filler} \times Vf$$

Tensile Strength (Lower)

$$\sigma = \frac{\sigma_{matriks} \times \sigma_{filler}}{Vm \times \sigma_{filler} + Vf \times \sigma_{matriks}}$$

(Upper) $\sigma = 87,5 \times 0,6 + 460 \times 0,4 = 236,5 \text{ Mpa}$

(Lower) $\sigma = \frac{87,5 \times 460}{0,6 \times 460 + 0,4 \times 87,5} = 129,42 \text{ MPa}$

2. Flexural Strength Rule of Mixture (σ_f)

Flexural Strength (Upper)

$$\sigma_f = \sigma_{f_{matriks}} \times V_m + \sigma_{f_{filler}} \times V_f$$

Flexural Strength (Lower)

$$\sigma_f = \frac{\sigma_{f_{matriks}} \times \sigma_{f_{filler}}}{V_m \times \sigma_{f_{filler}} + V_f \times \sigma_{f_{matriks}}}$$

(Upper) $\sigma_f = 130 \times 0,6 + 600 \times 0,4 = 318 \text{ Mpa}$

(Lower) $\sigma_f = \frac{78000}{360+52} = 189 \text{ MPa}$

3. Perhitungan Komposisi Komposit

a. Spesimen Uji Tarik

Total massa : 30 gram

Perbandingan F/M : 40%/60%

$$F : \frac{40}{100} \times 30 = 12 \text{ gram}$$

$$M : \frac{60}{100} \times 30 = 18 \text{ gram}$$

b. Spesimen Uji Bending

Total Massa : 15 gram

Perbandingan F/M : 40%/60%

$$F : \frac{40}{100} \times 15 = 6 \text{ gram}$$

$$M : \frac{60}{100} \times 15 = 9 \text{ gram}$$

4. Perhitungan Shrinkage

a. Spesimen Uji Tarik

Massa awal : 30 gram

Massa akhir : 29,01 gram

$$\text{Shrinkage} : \frac{30 \text{ gram} - 29,01 \text{ gram}}{30 \text{ gram}} \times 100\% = 3,3\%$$

b. Spesimen Uji Bending

Massa awal : 15 gram

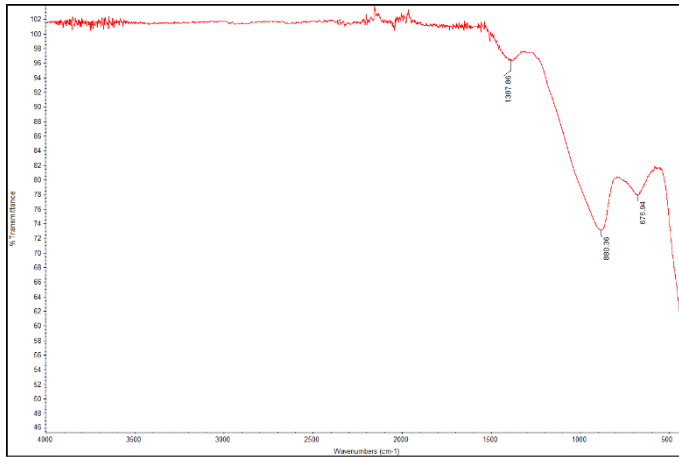
Massa akhir : 13,97 gram

$$\text{Shrinkage} : \frac{15 \text{ gram} - 14,43 \text{ gram}}{15 \text{ gram}} \times 100\% = 3,8\%$$

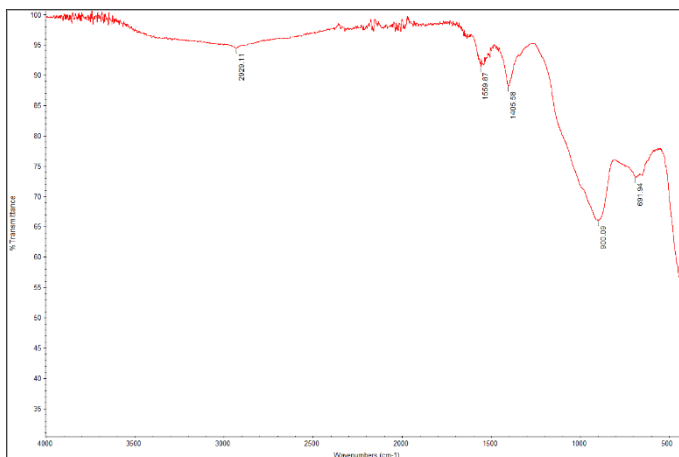
Lampiran B

Pengujian FTIR

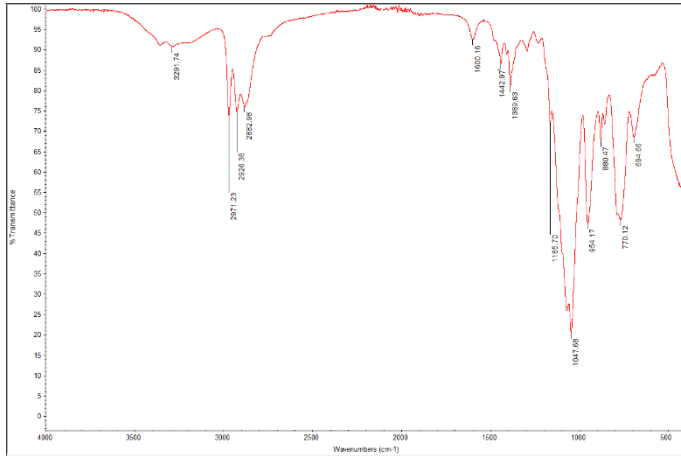
1. Serat Kaca



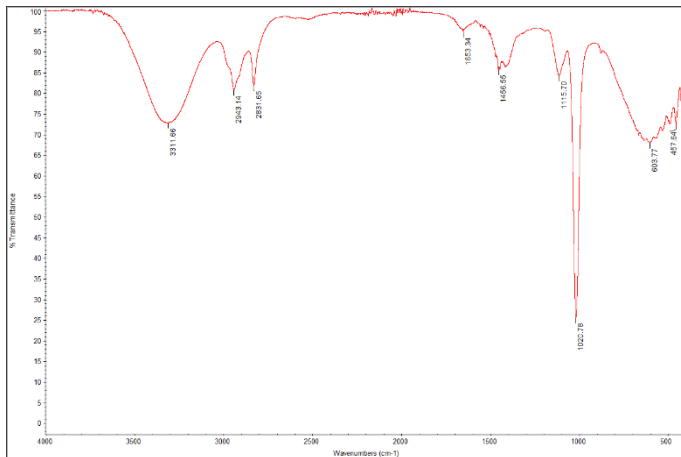
2. Serat Kaca Tersilikonisasi



3. 3-Aminopropyltriethoxysilane



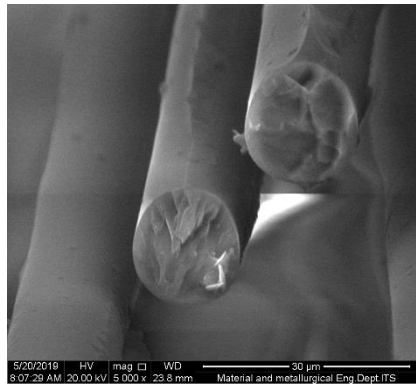
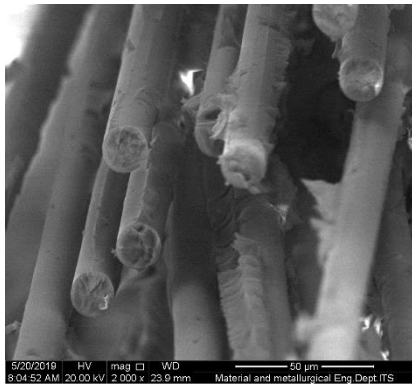
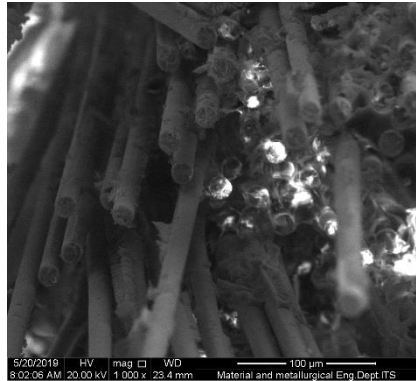
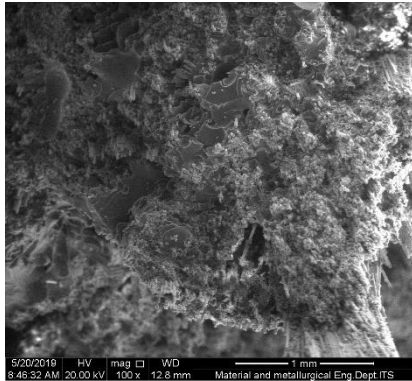
4. 3-Aminopropyltriethoxysilane Terhidrolisis



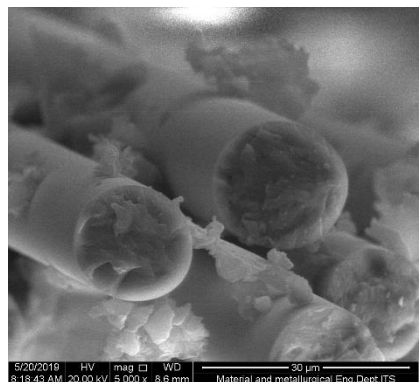
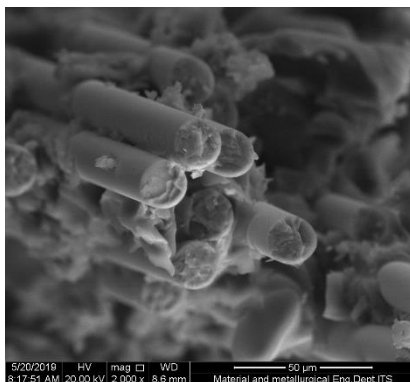
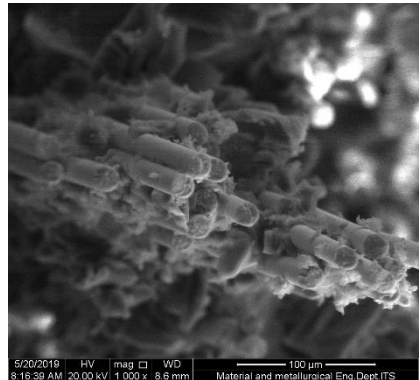
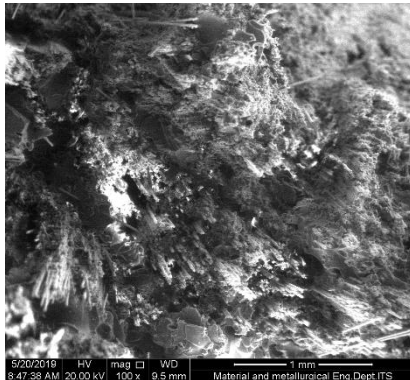
Lampiran C

Data Pengujian SEM

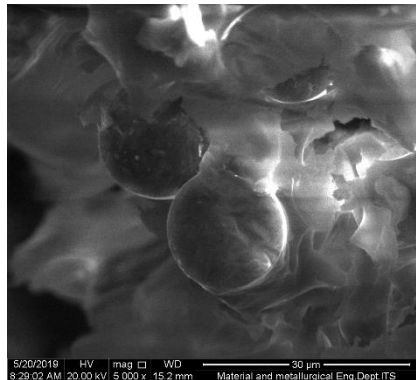
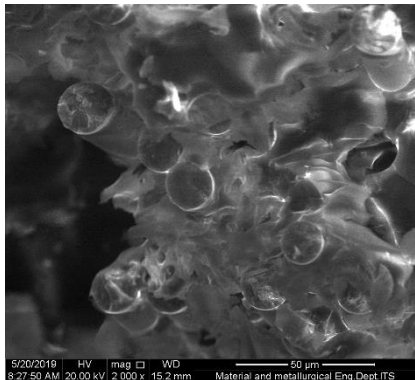
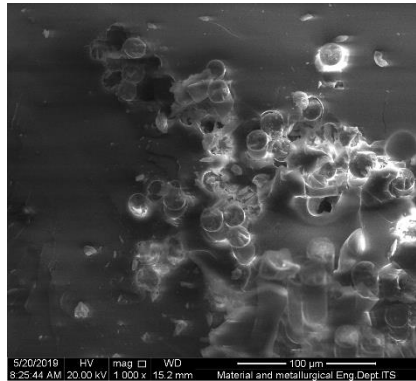
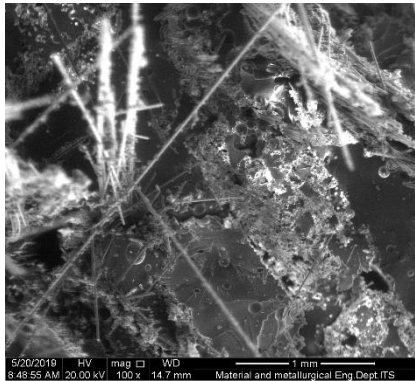
1. Komposit Serat Kaca/Epoksi 0% APTES



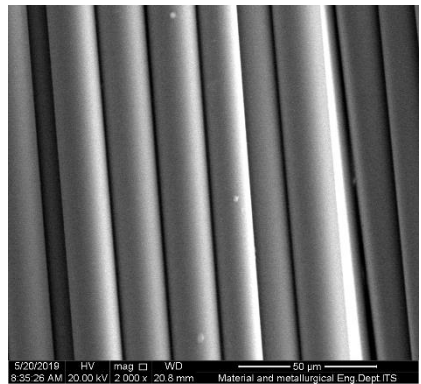
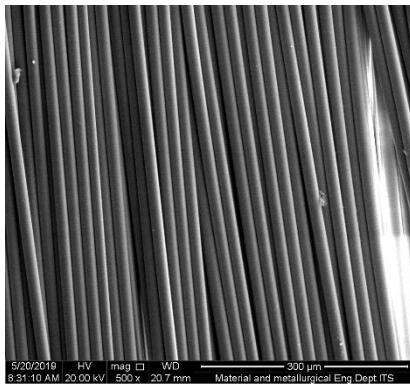
2. Komposit Serat Kaca/Epoksi 4%APTES



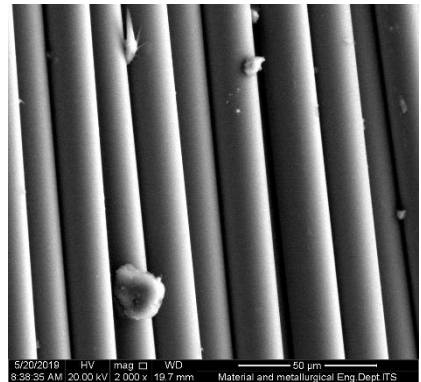
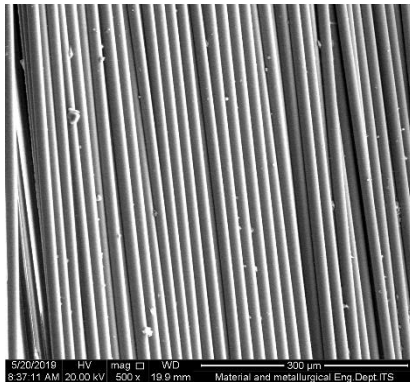
3. Komposit Serat Kaca/Epoksi 8% APTES



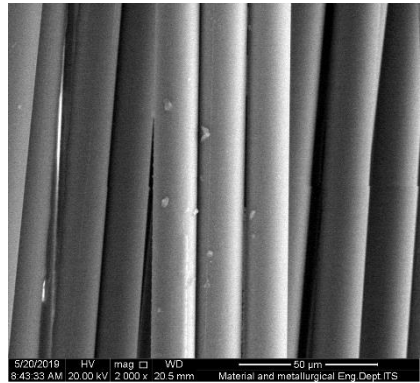
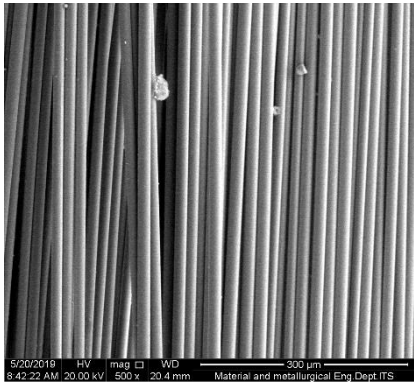
4. Serat Kaca 0% APTES



5. Serat Kaca 4% APTES



6. Serat Kaca 8% APTES



Lampiran D**Data Pengujian Wettability**

1. 0 % APTES

No	Label	Angle
1	1	64,596
2	2	70,824
3	3	66,87
4	Mean	67,430
5	SD	3,152

2. 2% APTES

No	Label	Angle
1	1	52,390
2	2	53,310
3	3	57,854
6	Mean	54,518
7	SD	2,925

3. 4% APTES

No	Label	Angle
1	1	54,278
2	2	52,136
3	3	52,633
6	Mean	53,016
7	SD	1,121

4. 6% APTES

No	Label	Angle
1	1	48,250
2	2	48,750
3	3	53,310
6	Mean	50,103
7	SD	2,788

5. 8% APTES

No	Label	Angle
1	1	48,518
2	2	54,524
3	3	48,553
6	Mean	50,532
7	SD	3,457

Lampiran E

Data Pengujian Tarik

Contoh Perhitungan Material Serat Kaca/Epoksi 4% APTES

I. Mencari Tegangan

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

σ = Engineering Stress (N/mm²)

F= Beban yang diberikan (N)

A= Luas penampang (mm²)

$$\sigma = 26249,55 \text{ N} / 128,84 \text{ mm}^2 = 203,73 \text{ MPa}$$

II. Mencari Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100\%$$

ε = Strain (tidak bersatuan, dinyatakan dalam persentase)

ΔL = Perubahan panjang (mm)

L = Panjang setelah pembebanan (mm)

$$\varepsilon = (17,83 \text{ mm} / 57 \text{ mm}) \times 100\% = 31\%$$

III. Modulus Elastisitas

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

E= Nilai Elastisitas

σ = Engineering Stress (N/mm²)

ε = Strain

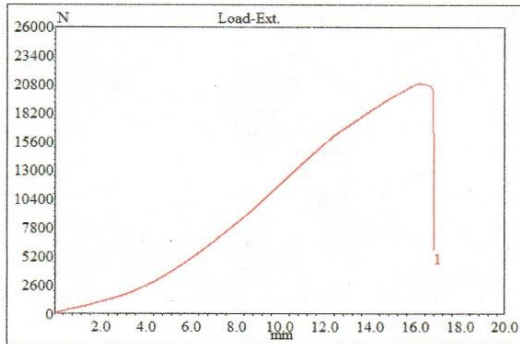
$$E = 88,481 \text{ MPa} / 0,0964 = 917,861 \text{ MPa}$$



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

Test Date : 30-04-2019

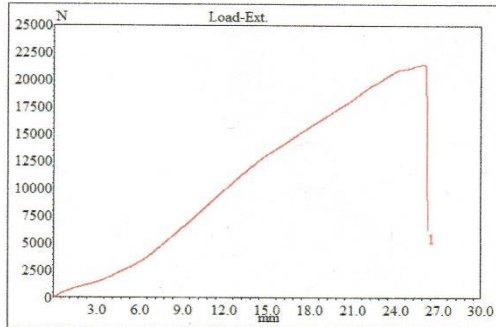
Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
0%APS-1	15.46	7.85	121.36	20968.40	172.78	16.21
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

Test Date : 30-04-2019

Test Result



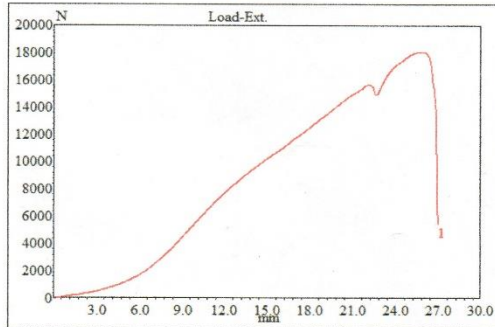
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
0%APS-2	14.88	7.99	118.89	21454.15	180.45	25.98
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 30-04-2019

Test Result



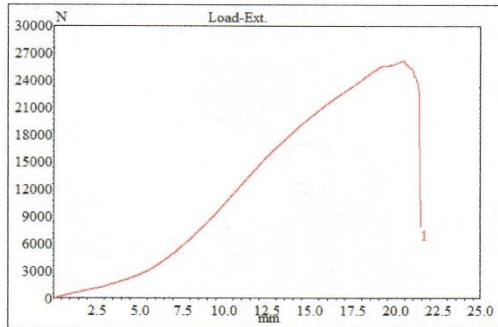
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
0%APS-3	14.76	7.95	117.34	18102.36	154.27	25.63
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 30-04-2019

Test Result



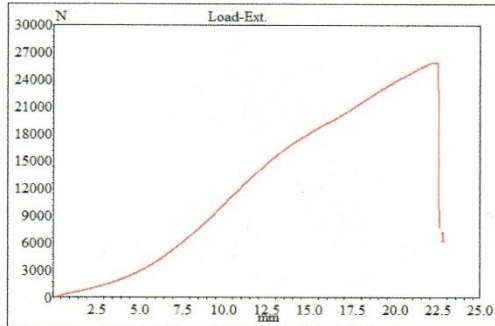
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
2%APS-1	14.82	8.77	129.97	26213.06	201.68	20.41
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 30-04-2019

Test Result



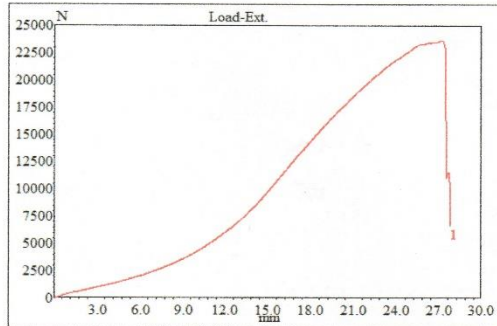
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
2%APS-2	15.04	9.63	144.84	25993.49	179.47	22.23
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 30-04-2019

Test Result



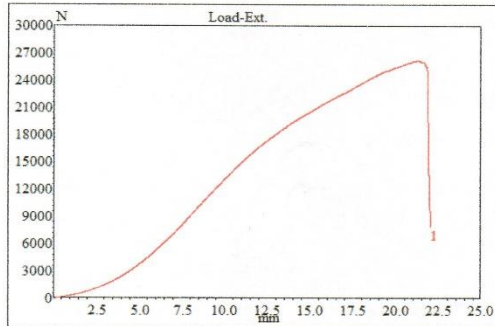
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
2%APS-3	15.16	10.09	152.96	23663.03	154.70	27.23
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 30-04-2019

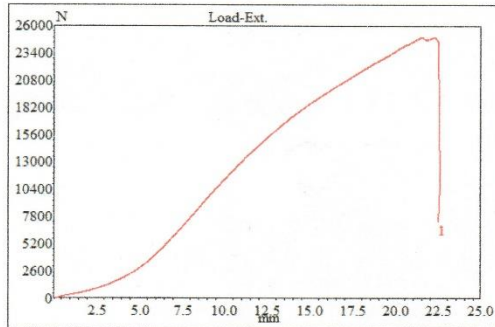
Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
4%APS-1	14.02	9.19	128.84	26249.55	203.73	21.33
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

Test Date : 30-04-2019

Test Result



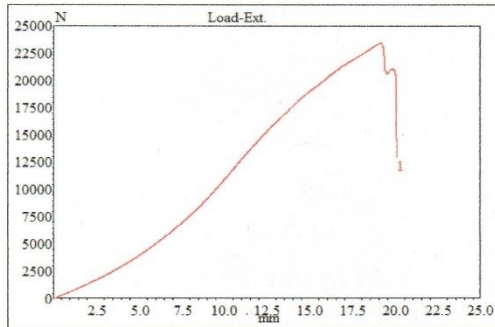
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
4%APS-2	14.82	9.15	135.60	24955.03	184.03	21.48
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 03-05-2019

Test Result



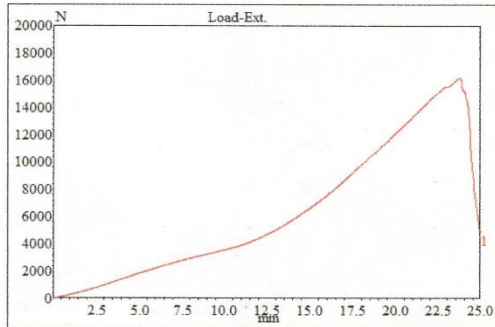
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
4%APS-4	15.25	8.35	127.34	23461.83	184.25	19.10
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 30-04-2019

Test Result



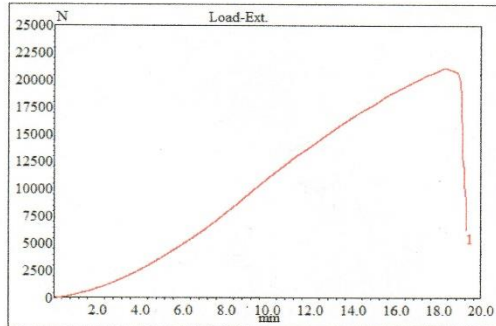
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
6%APS-1	14.71	8.44	124.15	16212.62	130.59	23.76
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 30-04-2019

Test Result



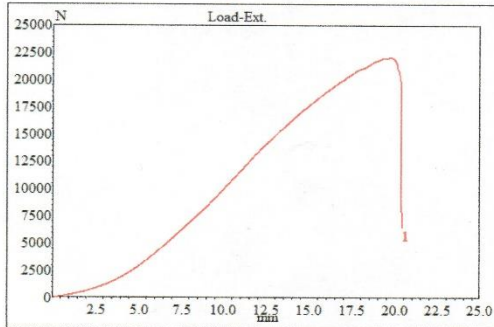
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
6%APS-2	14.50	9.19	133.25	21163.54	158.82	18.34
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 30-04-2019

Test Result



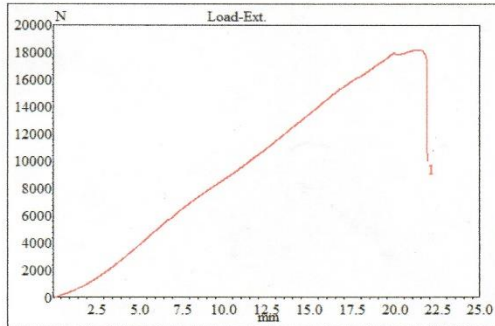
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
6%APS-3	12.86	8.35	107.38	22115.63	205.95	19.76
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 03-05-2019

Test Result



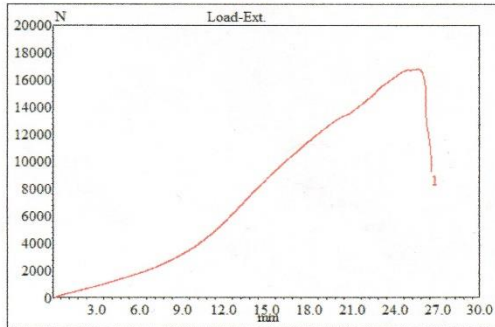
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
8%APS-1	14.38	9.75	140.21	18222.88	129.97	21.19
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 03-05-2019

Test Result



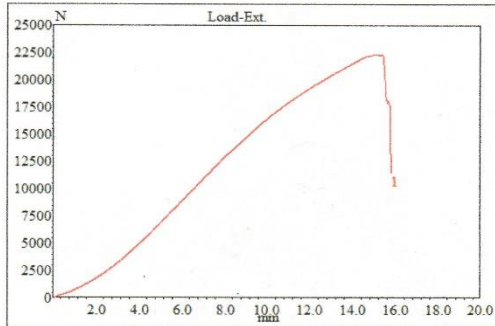
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Extens. @ Break mm
8%APS-2	14.52	10.55	153.19	16835.22	109.90	25.62
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



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

Test Date : 03-05-2019

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
8%APS-3	14.05	8.93	125.47	22392.19	178.47	15.07
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

Lampiran F

Data Pengujian Bending



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 22 Mei 2019
ORDER FROM :
TEST REFERENCE : ASTM 0790 - 10
WOOD SPECIES :
THICKNESS : 4,8 mm
SPEED :

1. BENDING TEST			Distance of Former (L)= 76,8 mm				Diameter Mandrel: 10 mm				
SAMPLE SPECIFICATION							BENDING TEST RESULTS				
TEST NO.	LENGTH (mm)	WIDTH (mm)	THICK (mm)	SPAN (mm)	DEFLECTION (mm)	LOAD (N)	LOAD (kg)	DEFLECTION (mm)	LOAD (N)	LOAD (kg)	DEFLECTION (mm)
1a	127	12,7	4,8			1,1	7	433,07			
1b	127	12,7	4,8			0,9	5	354,330			
1c	127	12,7	4,8			1,8	8	706,661			
2a	127	12,7	4,8			1,4	10	551,18			
2b	127	12,7	4,8			1,3	9	551,18			
2c	127	12,7	4,8			1,7	9,5	669,291			
3a	127	12,7	4,8			1,45	8,5	570			
3b	127	12,7	4,8			1,55	8	610,3			
3c	127	12,7	4,8			1,55	7	610,236			

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction .

BENDING STRENGTH = $3F_uL/2WT^2$

FLEXURAL STRAIN = $6DT/L^2$

Witnessed by :

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
FT. Kelautan ITS

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

Tester

AKM FAIRIL



LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 22 MEI 2019

ORDER FROM

TEST REFERENCE : ASTM D790-10

WOOD SPECIES

THICKNESS : 4,8 mm

SPEED

[illegible]

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction
BENDING STRENGTH = $3F_uL/2WT^2$
FLEXURAL STRAIN = $6DT/L^2$

Witnessed by :

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
FT. Kelautan ITS

1.

2.

5

4.

5.

AKH. FAIRIL N.

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT berkat lindungan dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan, adik, dan keluarga penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang melancarkan Tugas Akhir penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.
4. Bapak Moko selaku laboran di Laboratorium Material Inovatif yang membantu kelancaran penggunaan peralatan pendukung Tugas Akhir penulis.
5. Teman-teman SMA (Windi, Inten, Rani, Nursa'dah, Dian, Farhan, Iqbal dan Adi) yang telah mau mendengarkan keluh-kesah dan memberikan dukungan kepada penulis dari dulu hingga saat ini.
6. Teman-teman Kompetisi Mba Linda, Naufal, Dhaniar yang selalu memberikan support pada penulis semasa kuliah.
7. Teman-teman TATG Iftina, Triji dan Nabila Gusta sebagai tempat nyaman saya dalam membagi pengalaman, canda tawa dan keluh kesah.
8. Teman-teman ITS EXPO 2016,2017 dan 2018 sebagai wadah bagi penulis untuk berkembang dan selalu memberikan support kepada penulis dalam dunia perkuliahan dan proses pengerjaan Tugas Akhir.
9. Titania Eriani sebagai sahabat yang selalu memotivasi dan memberikan dukungan kepada penulis selama pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

-
10. Teman-teman *Non Metal Civillians* yang telah menemani dan senantiasa mendukung penulis semasa kuliah ini.
 11. Seluruh mahasiswa Teknik Material serta keluarga MT17 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
 12. BSO MTC HMMT FTI-ITS yang telah memberikan wadah bagi penulis untuk mengembangkan diri.
 13. Seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2019
Penulis

Faris Mahdi Kholiq
NRP 02511540000004

BIODATA PENULIS



Faris Mahdi Kholiq lahir di Bukittinggi pada tanggal 4 Mei 1998. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dari pasangan Bapak Efrizal dan Ibu Dahti Isnel. Penulis menempuh jenjang pendidikan di SDN 014 Galang, dilanjutkan di SMPN 15 Batam dan di SMAN 1 Batam. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material- Fakultas Teknologi Industri-

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya angkatan 2015.

Di Departemen Teknik Material ini, penulis mengambil Bidang Studi Material Inovatif. Selama berkuliah di ITS, penulis aktif mengikuti kegiatan Organisasi dan Big Event ITS, antara lain di Badan Semi Otonom Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) sebagai Sekretaris Umum BSO MTC (2017-2018), Koordinator Robot In Action ITS EXPO 2017 dan Konseptor Branding dan Ilmu ITS EXPO 2019. Pengalaman kerja yang pernah ditempuh penulis yakni kerja praktik di PT Chevron Pacific Indonesia pada bulan Juli hingga Agustus 2018.

Penulis mengambil Tugas Akhir pada semester delapan dengan judul **“STUDI PENAMBAHAN COUPLING AGENT AMINOPROPYLTRIETHOXYSILANE (APTES) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI KOMPOSIT EPOKSI/ SERAT KACA UNTUK LAMBUNG KAPAL”**, dibimbing oleh Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc sebagai Dosen Pembimbing 1 dan Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing 2.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)