



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL 141584

**STUDI SIFAT MEKANIK DAN SIFAT ADHESI
KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI YANG
DIPRODUKSI DENGAN ELEKTROPOLIMERISASI
METHYL METHACRYLATE DAN ANILINE UNTUK
APLIKASI ROMPI ANTI PELURU**

TAUFIK RAMADHANU

NRP 02511440000120

Dosen Pembimbing:

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



TUGAS AKHIR – TL 141584
STUDI SIFAT MEKANIK DAN SIFAT ADHESI
KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI YANG
DIPRODUKSI DENGAN ELEKTROPOLIMERISASI
***METHYL METHACRYLATE* DAN *ANILINE* UNTUK**
APLIKASI ROMPI ANTI PELURU

TAUFIK RAMADHANU
NRP 02511440000120

Dosen Pembimbing:
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D

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

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



UNDERGRADUATE THESIS – TL 141584
STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND
ADHESION OF CARBON FIBER / EPOXY
COMPOSITES PRODUCED WITH
ELECTROPOLYMERIZATION METHOD OF
METHYL METHACRYLATE AND ANILINE FOR
BULLETPROOF VEST MATERIAL CANDIDATES

TAUFIK RAMADHANU
NRP 02511440000120

Advisors:

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D

MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI SIFAT MEKANIK DAN SIFAT ADHESI
KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI YANG
DIPRODUKSI DENGAN ELEKTROPOLIMERISASI
METHYL METHACRYLATE DAN ANILINE UNTUK
APLIKASI ROMPI ANTI PELURU**

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

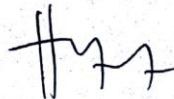
Oleh:

Taufik Ramadhanu

NRP 02511440000120

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.



(Pembimbing I)

Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Pd., S.T., M.Sc.



(Pembimbing II)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



**STUDI SIFAT MEKANIK DAN SIFAT ADHESI
KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI YANG
DIPRODUKSI DENGAN ELEKTROPOLIMERISASI
METHYL METHACRYLATE DAN ANILINE UNTUK
APLIKASI ROMPI ANTI PELURU**

Nama Mahasiswa : Taufik Ramadhanu
NRP : 02511440000120
Jurusan : Departemen Teknik Material
Pembimbing : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D

Abstrak

Komposit serat karbon (SK)/epoksi dapat digunakan untuk aplikasi rompi anti peluru. Ketika sebuah peluru pistol menghantam rompi anti peluru, peluru ditangkap dalam jaring serat yang sangat kuat. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh elektropolimerisasi anilin dan metil metakrilat terhadap sifat mekanik dan sifat adhesi dari komposit SK/epoksi/anilin dan SK/epoksi/metil metakrilat (MMA). Metode yang digunakan adalah dengan proses elektropolimerisasi. Elektropolimerisasi merupakan sintesis polimer menggunakan energi listrik. Power supply akan mengaliri energi listrik sebesar 2.17-2.85 V dengan arus 0.04 A ke elektroda Cu sebagai anoda dan elektroda serat karbon sebagai katodanya, agar larutan anilin atau MMA dapat mengendap pada serat karbon. Kemudian dilakukan pengeringan selama ± 24 jam sebelum proses hand lay up saat pembuatan komposit. Dari proses tersebut diperoleh material komposit yang memiliki variasi perlakuan, yaitu, serat karbon, serat karbon desizing, SK desizing/anilin, SK/anilin, SK desizing/MMA, dan SK/MMA. Setelah itu, dilakukan karakteristisik dan pengujian mekanik. Hasil yang optimal saat matriks kontak dengan serat karbon



desizing (penghilangan), yaitu SK desizing/anilin dengan sudut kontak $35,58^\circ \pm 8,75^\circ$. Kekuatan tarik tertinggi dimiliki komposit SK/epoksi sebesar $362,92 \pm 57,61$ MPa. Sedangkan nilai elongasi dan energi impak tertinggi dimiliki komposit SK desizing/epoksi/anilin, yaitu $29,65 \pm 7,20$ % dan 13,4 J. Kesimpulannya, sifat mekanik pada komposit mengalami penurunan pada nilai kekuatan tarik, tetapi mengalami peningkatan pada nilai elongasi dan energi impak seiring dengan elektropolimerisasi serat karbon dengan anilin atau MMA. Nilai kekuatan tarik untuk rompi anti peluru SK/epoksi melebihi rompi anti peluru kevlar/epoksi/serbuk Al_2O_3 . Sehingga dapat diaplikasikan pada standar NIJ tipe II dan IIA.

Kata kunci: Serat Karbon, Elektropolimerisasi, Sifat Adhesi, Sifat Mekanik.



**STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND
ADHESION OF CARBON FIBER / EPOXY COMPOSITES
PRODUCED WITH ELECTROPOLYMERIZATION
METHOD OF METHYL METHACRYLATE AND
ANILINE FOR BULLETPROOF VEST MATERIAL
CANDIDATES**

Student Name : Taufik Ramadhanu
Student ID : 02511440000120
Department : Material Engineering
Advisors : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D

Abstract

The carbon fiber (CF) / epoxy composite can be used for bulletproof vest applications. When a bullet pistol strikes a bulletproof vest, the bullet will have very strong fibers. This research was conducted to analyze the effect of aniline and methyl methacrylate towards mechanical properties and adhesion of CF / epoxy / aniline and CF / epoxy / methyl methacrylate (MMA) composites. The method used is by electropolimerization process. Electropolimerization is a synthesis of polymers using electrical energy. The voltage of the power supply was flowed 2.17-2.85 V with a current of 0.04 A to Cu electrodes as anode and carbon fiber electrodes as the cathode, in order for aniline or MMA solutions to precipitate on carbon fiber. Then the hoarding for $\pm$ 24 hours before manufactured the composite with hand lay up process. From the process, we obtain the composite that need, that is, with variation of carbon fiber, carbon fiber desizing, CF desizing / aniline, CF / anilin, CF desizing / MMA, and CF / MMA. Afterwards, characteristic



and mechanical testing were performed. The optimal wettability result when the matrix contact with carbon fiber desizing, which was CF desizing / aniline with contact angle $35.58^\circ \pm 8.75^\circ$. The highest tensile strength was CF / epoxy with $362,92 \pm 57,61$ MPa. While the elongation and the impact energy of CF desizing / epoxy / aniline had the highest value, reaching $29,65 \pm 7,20\%$ and 13,4 J. In conclusion, mechanical properties of composite with electropolymerization method had decrease on the tensile strength. On the contrary, the elongation and the impact energy with electropolimerization had increase for carbon fiber with aniline or MMA . Values for bulletproof vest CF / epoxy were higher than the bullet vest kevlar / epoxy / Al_2O_3 powder. Applicable to NIJ type II and IIA standards.

Keywords: *Carbon Fibers, Electropolimerization, Adhesion Properties, Mechanical Properties.*

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 SIFAT MEKANIK DAN SIFAT ADHESI KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI YANG DIPRODUKSI DENGAN ELEKTROPOLIMERISASI METHYL METHACRYLATE DAN ANILINE UNTUK APLIKASI ROMPI ANTI PELURU***”.

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, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Kedua orang tua, Gatut Subadio dan Nastiti yang selalu memberikan dukungan moril dan materil serta doa yang tidak henti untuk penulis .
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 yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST, Msc dan Ibu Rindang Fajarin S.Si, M.Si. selaku dosen wali yang memberi motivasi.
6. Teman-teman Lab. Material Inovatif yang membantu kelancaran proses penyusunan proposal tugas akhir ini.

7. Teman-teman MT 16 yang sangat membantu saya selama mengemban pendidikan di Surabaya dalam berbagai urusan.
8. Teman-teman toidi sebagai tempat nyaman saya untuk membagikan pengalaman, canda tawa dan keluh kesah.
9. Semua yang tidak dapat saya sebutkan disini yang memberi dukungan dan membantu kelancaran proses tugas akhir ini.

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

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
<i>TITLE PAGE</i>	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Komposit.....	5
2.1.1 Sejarah Komposit.....	5
2.1.2 Definisi Komposit.....	6
2.1.3 Karakteristik Komposit.....	6
2.2 Penguat (Reinforced)	9
2.3 Serat Karbon (<i>Fibre Carbon</i>).....	12
2.3.1 Karbon	12
2.3.1.1 Grafit.....	12
2.3.2 Struktur dan Karakteristik Serat Karbon.....	13
2.3.3 Proses Manufaktur Serat Karbon	15
2.3.4 Perlakuan Permukaan Serat Karbon.....	18
2.4 Matriks	19
2.4.1 Polimer Matriks	19
2.4.1.1 Klasifikasi Polimer	20
2.5 Resin Epoksi	22
2.5.1 Sejarah Epoksi	22
2.5.2 Proses Pembentukan dan Struktur Kimia Epoksi	22

2.6 Interfasa.....	24
2.6.1 Adsorpsi dan Kemampubasahan.....	26
2.6.2 Sifat Kristalografi Interfasa.....	29
2.6.3 Interaksi pada Interfasa	29
2.6.4 Tipe <i>Bonding</i>	31
2.7 <i>Methyl Methacrylate</i>	32
2.8 Anilin	34
2.9 Elektropolimerisasi	36
2.9.1 Voltametri	37
2.9.2 Voltametri Siklik.....	39
2.9.3 Voltametri Statik.....	40
2.9.4 Mekanisme Reaksi Elektropolimerisasi.....	41
2.10 Penelitian Sebelumnya.....	42
2.11 Pelindung Tubuh (<i>Body Armor</i>)	45
2.11.1 Sejarah Pelindung Tubuh (<i>Body Armor</i>)	45
2.11.2 Rompi Anti Peluru	45
2.11.3 Jenis Rompi Anti Peluru	46
2.11.4 Cara Kerja Rompi Anti Peluru.....	47
2.11.5 Standar Rompi Anti Peluru.....	48
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	55
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	55
3.2 Bahan Penelitian	56
3.3 Peralatan Penelitian.....	61
3.4 Variabel Penelitian.....	64
3.5 Prosedur Penelitian	65
3.6 Pengujian.....	67
3.7 Rancangan Penelitian.....	73
BAB IV PEMBAHASAN	75
4.1 Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> ...	75
4.2 Analisis <i>Scanning Electron Microscope</i>	81
4.3 Analisis Kemampubasahan (<i>Wettability</i>).....	89
4.4 Analisis Uji Tarik.....	93
4.5 Analisis Uji Impak	98
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	101
5.1 Kesimpulan	101

5.2 Saran	102
DAFTAR PUSTAKA.....	xxiii
LAMPIRAN.....	xxix
BIODATA PENULIS.....	xv

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Aplikasi Material Komposit.....	5
Gambar 2.2	Klasifikasi material komposit berdasarkan jenis penguat (<i>reinforced</i>).....	9
Gambar 2.3	(a) struktur lapisan grafit. (b) Struktur kisi heksagonal grafit.....	14
Gambar 2.4	Struktur kimia dalam molekul PAN teroksidasi. (a) Struktur molekul PAN dan (b) struktur yang kaku.....	17
Gambar 2.5	Skematik proses produksi serat karbon dengan bahan dasar PAN.....	17
Gambar 2.6	Struktur rantai molekuler yang berbeda: (a) linier, (b) bercabang, (c) cross-linked, (d) <i>ladder</i>	21
Gambar 2.7	Skema dari (a) polimer termoplastik dan (b) polimer termoset.	22
Gambar 2.8	Skema reaksi untuk sintesis resin epoksi tipe DGEBA.....	23
Gambar 2.9	Karakteristik serat / matriks interfasa dalam material komposit.	25
Gambar 2.10	Ikatan antarmuka terbentuk (a) ikatan molekular (b) reaksi elektrostatis; (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) <i>mechanical interlocking</i>	26
Gambar 2.11	Kenaikan kapiler, menunjukkan sudut kontak, dan tinggi meniskus, h.	28
Gambar 2.12	Tiga kondisi pembasahan.....	28
Gambar 2.13	Ilustrasi terjadinya surface tension, adanya gaya kohesi dan adhesi.	30
Gambar 2.14	(a) ikatan mekanik yang baik. (b) Kurangnya pembasahan dapat membuat polimer atau	

	logam cair tidak mampu menembus permukaan serat, yang menyebabkan muncul rongga antar muka	32
Gambar 2.15	Polimerisasi <i>Methyl Methacrylate</i>	33
Gambar 2.16	Skematik unit pengulang polimer untuk (i) <i>emeraldine base</i> , (ii) bentuk polaron <i>emeraldine salt</i> , dan (iii) bentuk bipolaron <i>emeraldine salt</i>	35
Gambar 2.17	Sel dalam analisis voltametri	38
Gambar 2.18	Grafik voltamogram suatu reaksi redoks	40
Gambar 2.19	Voltamogram LSV dari sistem redoks $\text{Fe}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	41
Gambar 2.20	Hasil mikrografi SEM dari Pan pada serat karbon.	43
Gambar 2.21	SEM mikrograf serat karbon setelah 20 siklus pemindaian volammetrik untuk elektropolimerisasi dalam larutan (a) asam akrilat.	44
Gambar 2.22	Rompi anti peluru yang tipe <i>soft armor</i> yang dibuat dengan laminat unidireksional.	46
Gambar 2.23	Cara kerja rompi anti peluru dalam menghentikan peluru.	47
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	55
Gambar 3. 2	Serat Karbon	56
Gambar 3. 3	Resin Epoksi	57
Gambar 3. 4	<i>Methyl Methacrylate</i> (MMA).	57
Gambar 3. 5	Anilin	58
Gambar 3. 6	Aquades	58
Gambar 3. 7	Alkohol	59
Gambar 3. 8	Elektroda Cu	59
Gambar 3. 9	Asam Sulfat (H_2SO_4)	60
Gambar 3. 10	<i>Acetone</i>	60
Gambar 3. 11	Proses Elektropolimerisasi	63
Gambar 3. 12	Tahap pembuatan spesimen komposit serat karbon/epoksi.	65

Gambar 3. 13	Mesin <i>Scanning Electron Microscopy</i>	67
Gambar 3. 14	Mesin FTIR	68
Gambar 3. 15	Ilustrasi sudut kontak.....	69
Gambar 3.16	Mesin Uji Impak <i>Charpy</i>	70
Gambar 3.17	Dimensi Beam Sederhana, Tipe <i>Charpy</i> , Spesimen Uji Impak.....	70
Gambar 3.18	Dimensi spesimen uji tarik menurut ASTM D638	71
Gambar 4.1	Spektra FTIR dari (a) Serat Karbon (SK), (b) MMA, (c) Anilin, dan (d) Epoksi..	75
Gambar 4.2	FTIR (a) SK/MMA dan (b) SK <i>desizing</i> /MMA	79
Gambar 4.3	FTIR (a) SK/Anilin dan (b) SK (<i>desizing</i>)/Anilin.	80
Gambar 4.4	Bentuk patahan spesimen uji tarik material komposit Serat Karbon/Epoksi dengan variasi serat: (a) SK/Anilin dan (b) SK.....	81
Gambar 4.5	Mikrografi SEM (1000x) material Komposit Serat Karbon/Epoksi, (a) SK (<i>desizing</i>)/Epoksi/Anilin, (b) SK /Epoksi, (c) SK/Epoksi/MMA, (d) SK (<i>desizing</i>)/Epoksi/MMA	82
Gambar 4.6	Mikrografi SEM serat karbon (5000x) dengan ukuran seratnya..	83
Gambar 4.7	Mikrografi SEM (10000x) (a) permukaan SK , (b) permukaan SK /MMA, (c) permukaan SK /Anilin, (d) permukaan SK <i>desizing</i> , (e) permukaan SK <i>desizing</i> /MMA dan (f) permukaan SK <i>desizing</i> /Anilin..	87
Gambar 4.8	Droplet matrik epoksi pada serat karbon (a) SK (<i>desizing</i>)/Anilin dan (b) SK <i>desizing</i>	90
Gambar 4.9	Sudut kontak pada SK (<i>non desizing</i>).	91
Gambar 4.10	Grafik nilai <i>wettability</i> SK/epoksi dan SK <i>desizing</i> /epoksi dengan variasi serat: Serat	

	Karbon (SK), Serat Karbon (SK)/MMA, dan Serat Karbon (SK)/Anilin.....	92
Gambar 4.11	Grafik nilai kekuatan tarik material komposit SK (<i>desizing</i>)/epoksi dan komposit SK/epoksi dengan variasi serat: SK, SK/MMA, dan SK/Anilin.....	95
Gambar 4.12	Grafik nilai perpanjangan (<i>elongation</i>) komposit SK/epoksi dan komposit SK (<i>desizing</i>)/epoksi dengan variasi serat: Serat Karbon, Serat Karbon/MMA, dan Serat Karbon/Anilin.....	96
Gambar 4.13	Grafik nilai impak SK/epoksi dan komposit SK (<i>desizing</i>)/Epoksi dengan variasi serat: serat karbon, serat karbon/MMA, dan serat karbon/anilin.....	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Klasifikasi Material Komposit	7
Tabel 2. 2	Perbandingan Sifat Mekanik	8
Tabel 2. 3	Tabel partikel pengisi (<i>Fillers/Reinforce</i>).....	10
Tabel 2. 4	Sifat-Sifat Grafit	13
Tabel 2. 5	Sifat mekanis serat karbon	14
Tabel 2. 6	Komposisi elemen pada permukaan serat karbon	15
Tabel 2. 7	Sifat mekanik dari resin epoksi	24
Tabel 2. 8	Sifat Mekanik dari <i>Poly(methyl methacrylate)</i> .34	
Tabel 2. 9	Spesifikasi anilin.....	35
Tabel 2. 10	Persyaratan rompi anti peluru untuk militer ...	50
Tabel 2. 11	Bobot maksimal standar panel untuk rompi anti peluru	51
Tabel 2. 12	Sifat mekanik dari beberapa serat balistik	52
Tabel 2. 13	Hasil uji dampak balistik untuk tenunan polos E- glass/epoxy dan twill carbon T300 / epoxy composite, d=5 mm, h=2 mm.....	53
Tabel 3. 1	Komposisi Komposit Serat Karbon/Epoksi.	64
Tabel 3. 2	Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638	72
Tabel 3. 3	Perlakuan Serat Karbon	73
Tabel 3. 4	Pembuatan Komposit	73
Tabel 4. 1	Karakteristik gugus fungsi MMA, anilin, epoksi, dan serat karbon.....	76
Tabel 4. 2	Diameter serat karbon pada material komposit serat karbon/epoksi	84
Tabel 4. 3	Hasil EDAX material komposit.	89
Tabel 4. 4	Data hasil pengujian <i>wettability</i>	91
Tabel 4. 5	Data hasil uji tarik material komposit Serat Karbon/Epoksi	94
Tabel 4. 6	Hasil uji dampak pada material komposit SK/epoksi.	98

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komposit merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih material yang berbeda yang dicampur secara fisik bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik dan kimia yang baru dan lebih baik. Salah satu komposit yang banyak digunakan di industri yaitu komposit serat karbon/epoksi. Sifatnya yang kuat, kaku dan ringan merupakan pilihan ideal untuk aplikasi di mana kinerja yang membutuhkan performa produk yang sangat baik rompi anti peluru. Rompi anti peluru adalah pakaian yang dirancang untuk melindungi pemakainya dari berbagai serangan. Mereka dapat dibuat untuk menghentikan berbagai jenis ancaman, seperti peluru, pisau dan jarum, atau kombinasi dari serangan yang berbeda. Pada awal tahun 1960-an, ditemukan material baru berupa serat yang membuat generasi sekarang memakai bahan-bahan tersebut sebagai pelindung. Ketika sebuah peluru pistol menghantam rompi anti peluru, peluru ditangkap dalam "jaring" serat yang sangat kuat. Serat-serat ini menyerap dan membubarkan energi benturan yang ditransmisikan ke rompi dari peluru, menyebabkan peluru berdeformasi. Energi tambahan diserap oleh setiap lapisan bahan berturut-turut di rompi, sampai saat peluru telah dihentikan (Regassa dkk, 2014). Namun, kegagalan kerap terjadi pada komponen material berbahan komposit, Kegagalan biasanya terjadi akibat menerima beban geser atau beban tarik di luar batas kemampuan menahan beban tersebut. 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 karbon yang merupakan *hydrophilic* dengan matriks polimer yang merupakan *hydrophobic* dapat menghasilkan sifat mekanik yang kurang baik (Jawaid, dkk. 2017) pada serat saat



berinteraksi dengan matriks. Sifat adhesi yang kuat dan tahan lama pada antarmuka dianggap sebagai syarat penting untuk mengembangkan komposit dengan sifat mekanik yang maksimum.

Sifat antarmuka antara serat karbon dan epoksi ini dapat terjadi karena adanya ikatan kimia yang dibentuk oleh gugus fungsi pada *interface* seperti gugus hidroksil atau karboksil. Namun, kebanyakan matriks polimer hanya menampilkan afinitas kimia rendah pada serat dan juga resin epoksi memiliki interlaminar kekuatan geser yang rendah sehingga menyebabkan komposit CFRP mengalami *fiber pull off* atau *debonding*. Untuk mendapatkan kekuatan adhesi yang baik pada komposit CFRP, diperlukan peningkatan sifat fisik dan kimia dengan cara rekayasa permukaan (*surface*) karbon. Perlakuan ini mengeraskan permukaan serat, menambahkan kelompok gugus fungsional dan, akibatnya, meningkatkan interaksi matriks-serat. Kelemahannya terhadap permukaan adalah dapat menurunkan kekuatan *impact* pada komposit CFRP. (B. Zinger dkk, 1988). CFRP ditandai dengan kekuatan dan kekakuan yang tinggi ditambah dengan kerapatan rendah. Selain itu, komposit ini menampilkan perilaku deformasi elastis, penyerapan energi tinggi, koefisien ekspansi termal yang rendah, ketahanan terhadap korosi dan kapasitas beban dinamis. Pada penelitian sebelumnya oleh (Bauer, dkk, 2017), melakukan elektropolimerisasi *acrylic acid* terhadap *carbonfibre/epoxy*. Setelah dilakukan elektropolimerisasi, terjadi pertumbuhan *electrodeposited film* pada CFRP. Saat pengujian FTIR setelah elektropolimerisasi, terlihat OH dan grup hidroksil, kemudian C=O yang merupakan dari grup karboksil. Ini akan meningkatkan sifat adhesi. Hasilnya *polyacrylic acid* (PAA) menempel pada CFRP dan menghasilkan sifat adhesi dua kali lebih kuat daripada CFRP tanpa perlakuan. Perlakuan lapisan permukaan pada serat karbon telah banyak mengubah *surface free energy* dan meningkatkan sifat mekanik komposit. Penelitian yang dilakukan oleh (Wibawanto dan Darminto, 2012) yaitu



elektropolimerisasi *polyaniline* (PANi) pada elektroda karbon, menyatakan bahwa elektropolimerisasi PANi dengan metode galvanostik berhasil menumbuhkan *film* PANi pada elektroda karbon, dibuktikan dengan terdapat C-H *bending*, C=C *benzoid* dan C=C *kuinoid* yang merupakan karakter dari PANi.

Metode yang digunakan dalam merekayasa permukaan serat karbon pada penelitian ini adalah proses elektropolimerisasi, karena hasilnya yang sesuai dapat meningkatkan kekuatan adhesi berdasarkan dari percobaan yang sudah dilakukan oleh para peneliti beberapa tahun ke belakang. Menurut (Bauer dkk, 2017), keunggulannya adalah penerapan langsung film polimer organik (penggantian ukuran), perbaikan sifat *wettability*, dan pengendalian struktur (misalnya tingkat hubungan dengan molekul penghubung silang). Selain itu, transfer teknologi dari laboratorium ke skala industri sederhana, dengan biaya proses rendah. Teknik elektropolimerisasi banyak digunakan untuk memproduksi polimer, sehingga pada kasus ini, elektropolimerisasi yang dilakukan merupakan *polymer coating*. *Polymer coating* adalah sejenis perawatan permukaan untuk serat karbon yang dapat meningkatkan reaktivitas antara serat karbon dan matriks dengan memperkenalkan kelompok fungsional kimia dan mengubah *surface energy* serat karbon untuk memperbaiki sifat *wettability* permukaan serat karbon ke matriks resin. (Hung, dkk. 2008). Dari penjelasan ini, penulis akan melakukan penelitian rekayasa serat karbon pada komposit CFRP menggunakan proses elektropolimerisasi dengan *aniline* dan *methyl methacrylate* sebagai elektrolit untuk diendapkan ke komposit serat karbon/epoksi.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh metil metakrilat dan anilin terhadap sifat mekanik dari komposit serat karbon/epoksi?



2. Bagaimana pengaruh metil metakrilat dan anilin terhadap sifat adhesi dari komposit serat karbon/epoksi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh impuritis pada saat proses pencampuran diabaikan.
2. Perubahan temperatur atmosfer selama proses pencampuran diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh metil metakrilat dan anilin terhadap sifat mekanik dari komposit serat karbon/epoksi.
2. Menganalisis pengaruh metil metakrilat dan anilin terhadap sifat adhesi dari komposit serat karbon/epoksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *aniline* dan *methyl methacrylate* terhadap kekuatan adhesi dan sifat mekanik pada material komposit serat karbon/epoksi. Sehingga didapatkan nilai optimum dari proses elektropolimerisasi tersebut dan sebagai kandidat komposit yang berguna untuk meningkatkan performa pada lapisan komposit. Serta berguna untuk studi aplikasi rompi anti peluru. Penelitian ini juga diharapkan berguna sebagai acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan ilmu komposit dan polimer.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

2.1.1 Sejarah Komposit

Aplikasi komposit sudah diterapkan sejak jaman dahulu sekitar 10000 SM, dapat diketahui dari beberapa peninggalan jaman dahulu yaitu berupa tombak yang terbuat dari tulang hewan, kemudian kayu yang selalu digunakan di kehidupan sehari-hari, dan penemuan terbesar adalah kota Arg-e-Bam dengan luas sekitar 180.000 meter persegi, merupakan struktur komposit terbesar di dunia yang membuktikan peradaban dalam sejarah manusia, terbuat dari batu bata terdiri dari jerami dan lumpur, beberapa contoh tersebut merupakan penggunaan dari komposit alami. Ketika teknologi komposit dipromosikan pada awal tahun 1960an penekanannya adalah peningkatan kinerja dengan cara mengurangi berat struktural, namun masih sedikit permintaannya, di tahun 1970an permintaan komposit mulai meningkat seiring dengan tingginya harga bahan bakar sehingga diperlukan material yang berfungsi secara optimal dengan biaya yang lebih rendah. (Varvani-Farahani, 2009). Sekarang, material komposit sudah banyak digunakan di bidang transportasi seperti pesawat, mobil, kapal bahkan rompi anti peluru (Gambar 2.1) karena menghasilkan bahan dengan ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan korosi dan kelelahan (*fatigue*).



Gambar 2. 1 Aplikasi Material Komposit (Regassa dkk. 2014)



2.1.2 Definisi Komposit

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. (Sulistijono, 2012). 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, berat.

Hal yang sama diterangkan oleh (Chawla, 2011) yang mengatakan bahwa 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.

2.1.3 Karakteristik Komposit

Umumnya, komposit terbentuk antara dua atau lebih material yang berbeda atau bisa kita sebut juga fasa, 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. Material komposit telah diklasifikasikan menjadi beberapa bagian sesuai ide dan konsep yang ingin diterapkan,



pada Tabel 2.1 dijelaskan bahwa komposit diklasifikasikan dalam empat grup beserta contohnya.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Material Komposit (Hull, 1995)

Grup	Contoh
Material Komposit Alam	1. Kayu
	2. Bambu
	3. Tulang
	4. Otot dan jaringan lainnya
Material Mikrokomposit	1. Paduan metal (besi)
	2. Termoplastik (<i>polysterene</i>)
	3. Termoplastik berpenguat (<i>Reinforced Thermoplastic</i>)
	4. Senyawa cetakan lembaran (<i>Sheet moulding compound</i>)
Material Makrokomposit	1. Besi Galvanik (<i>Galvanized Steels</i>)
	2. Baling-baling helikopter
	3. Balok beton berpenguat
Material Nanokomposit	1. Polimer tanah liat nanokomposit

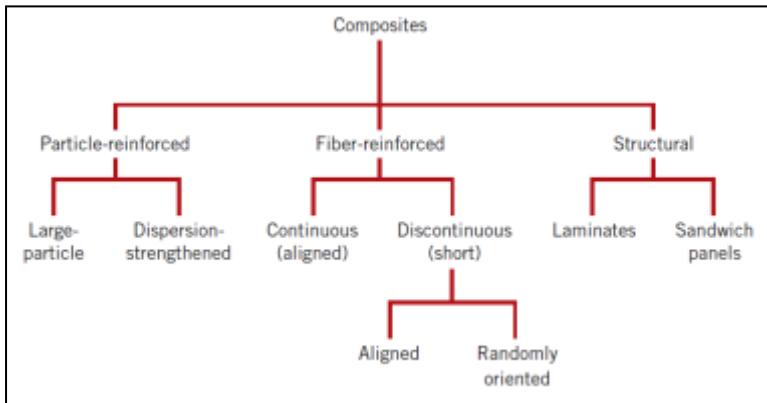
Dalam beberapa dekade, perkembangan komposit dalam dunia teknik sudah mulai mengalami peningkatan, contohnya, penggunaan serat karbon dan juga serat kaca sebagai salah satu pilihan para ilmuwan dalam mengembangkan teknologi, khususnya dibidang transportasi. Ini membuktikan bahwa material tradisional seperti besi dan baja, mulai ditemukan penggantinya, karena material komposit unggul di beberapa aspek pada sifat mekaniknya, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 di atas.



Tabel 2. 2 Perbandingan Sifat Mekanik (Hull, 1995)

No	Material	Density (Mg.m ⁻³)	Tensile Strength (MN.m ⁻²)	Elongation to Fracture (%)
1	<i>High Strength Al-Zn-Mg alloy</i>	2.8	503	11
2	<i>Quenched and tempered low alloy steel</i>	7.85	2050-600	13-28
3	<i>Nylon 6.6</i>	1.14	70	60
4	<i>Carbon fiber epoxy resin unidirectional laminae</i>	1.62	1400	0.8

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 2.2. Komposit diklasifikasikan menjadi tiga kelompok berdasarkan jenis penguatnya, yaitu *fibrous composites* (komposit serat), *particulates composites* (komposit partikel) dan *laminates composites* (komposit lamina).



Gambar 2. 2 Klasifikasi material komposit berdasarkan jenis penguat (*reinforced*). (Callister, 2011)

2.2 Penguat (*Reinforce*)

Istilah pengisi sangat luas dan mencakup rentang material yang sangat luas. Kita dapat mendefinisikan sebagai pengisi berbagai bahan padat partikulat (anorganik, organik) yang berbentuk tidak beraturan, *acicular*, *fibrous* (serat), atau *plate-like* (pipih) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan digunakan dalam pembebanan volume yang cukup besar pada plastik. Penguat/*reinforce/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.



Tabel 2. 3 Tabel partikel pengisi (Fillers/Reinforce). (Xanthos, 2010)

Bentuk	Rasio	Contoh
Kubus	1	Feldspar and Kalsit.
Bola	1	Bola Kaca.
Balok	1-4	Kuartz, kalsit, silika, dan barit.
Pipih	4-30	Kaolin, alumina hidrat, talek.
<i>Flake</i>	50-200 ++	Mika, grafit, <i>nanoclays</i> montmorillonit.
Serat	20-200 ++	Wollastonit, serat kaca, serat kayu, serat asbestos, serat karbon, nanotube karbon.

Terdapat beberapa jenis bentuk dan ukuran *reinforce* diantaranya adalah:

1. **Whiskers.** Kristal tunggal (monokristal) yang memanjang, dengan rasio panjang terhadap diameternya lebih besar dari 10 mikro dan dengan diameter yang identik kurang dari 1 mikro. Penguat komposit partikel bisa berbentuk fiber pendek yang disebut CMS (*Chopped Strand Mats*) atau disebut dengan *whiskers* (Sulistijono.2012).
2. **Particles.** Partikel dalam komposit partikel mempunyai fungsi untuk mendistribusi beban secara merata dalam material dan menghambat deformasi plastik yang berada di celah-celah sekitar partikel. Jenis partikel penguat terbagi menjadi dua, yaitu *large particle* dan *dispersion-strengthened composite*. Pertama, *large particle*, memiliki beragam geometri tetapi sebaiknya memiliki dimensi yang sama pada setiap arah. Untuk penguat yang efektif, partikel sebaiknya kecil dan dapat terdistribusi secara konstan pada matriks. Kedua, *dispersion-strengthened composite* biasanya adalah



partikel dengan material yang sangat inert, dapat digunakan pada pencampuran dengan paduan metal untuk dikeraskan dan dikuatkan. Mekanisme penguatannya adalah adanya interaksi antara partikel dan daerah dislokasi yang terletak pada matriks bersamaan dengan *precipitation hardening* (Callister, 2011).

3. **Serat (*Fiber*)**. Serat-serat dibuat dari logam, keramik, dan polimer, contohnya, kevlar, kemudian serat grafit yang disebut dengan serat karbon, serat kaca yang terbuat dari silika. Serat yang dicampur dengan matriks akan meningkatkan modulus matriks karena ikatan yang kuat pada serat akan memberikan modulus yang tinggi. Sifat mekanik serat 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).

Penggunaan serat sebagai bahan rekayasa didasarkan pada tiga karakteristik penting (Chawla, 2011):

1. Diameter kecil berhubungan dengan ukuran butirannya atau unit mikrostrukturnya. Ini memungkinkan untuk mendapatkan fraksi kekuatan yang lebih tinggi saat pada kondisi serat dalam jumlah besar. Semakin kecil ukuran, semakin rendah kemungkinan untuk terjadi ketidaksempurnaan pada suatu material.
2. Rasio aspek tinggi (panjang/diameter, l/d), yang memungkinkan sebagian besar beban yang diterapkan dipindahkan melalui matriks ke serat dalam kondisi kaku dan kuat.
3. Tingkat fleksibilitas yang sangat tinggi, yang merupakan karakteristik dari material serat yang memiliki modulus rendah atau kekakuan dan diameter kecil.



2.3 Serat Karbon

2.3.1 Karbon

Karbon merupakan zat yang telah ada semenjak proses terbentuknya bumi. Karbon terdapat pada semua benda mati dan makhluk hidup. Karbon terdapat di udara dalam bentuk gas karbondioksida. Pada tumbuhan, karbon terdapat pada batang, daun, akar, buah, juga pada daun-daun kering yang telah berguguran. Karbon juga tersimpan dalam perut bumi sebagai batu kapur, grafit, intan, minyak bumi, gas alam, batu bara dan tanah gambut (Suprianto dkk. 2012)

Karbon atau zat arang merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dan nomor atom 6 pada tabel periodik. Sebagai unsur golongan 14 pada tabel periodik, karbon merupakan unsur non-logam dan bervalensi 4 (tetravalen) sehingga terdapat empat atom di setiap unit selnya, yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Karbon memiliki beberapa bentuk moleku, yaitu, *diamond*, *graphite*, *fullerens*, dan *carbon nanotube* (Callister, 2011). Namun, dalam pembahasan ini, akan difokuskan terhadap karbon grafit.

2.3.1.1 Grafit

Karbon merupakan anisotropik, memiliki sifat konduktor listrik dan panas di dalam lapisannya karena memiliki ikatan logam, dan memiliki sifat konduktor listrik dan panas pada bagian tegak lurus dengan lapisan karbon karena terdapat ikatan van der Waals yang lemah antar lapisan. Sifat konduktivitas listrik yang dimiliki grafit menjadikan grafit sebagai material yang digunakan sebagai elektroda elektrokimia.

Karena anisotropi, grafit dapat mengalami reaksi kimia dengan menyisipkan reaktan (interkalat) diantara lapisan *graphene*, dan membentuk senyawa (senyawa interkalasi). *Graphite Intercalation Compound* (GIC), tempat terdapatnya



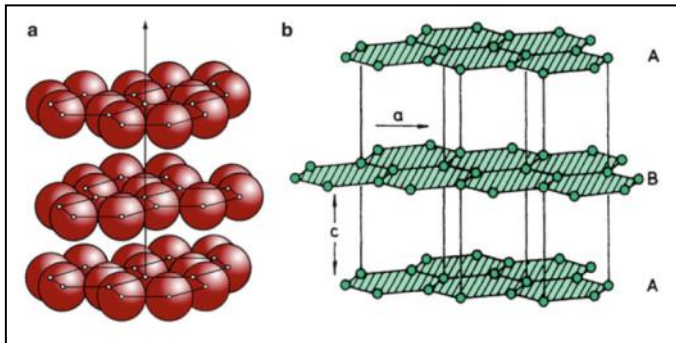
proses *charging* antara interkalat dengan grafit membuatnya lebih konduktif daripada grafit. Konduktivitasnya lebih tinggi daripada *Electromagnetic Magnetic Interference* (EMI). Kebanyakan dari GIC dapat mengelupas pada saat pemanasan. Ini terjadi karena tidak adanya pengikat yang kuat. Pada grafit, ada 16 energi band dan hanya 8 energi band yang terisi. Sehingga grafit termasuk semi-logam. Energi bandnya sekitar 0.03 eV. Sifat dan karakteristik dari grafit dapat dilihat pada Tabel 2.4. (Prasetya, 2017)

Tabel 2. 4 Sifat-Sifat Grafit (Prasetya, 2017)

Sifat	Nilai
Komposisi kimia	C (80-99.7%), Fe ₂ O ₃
Kerapatan	1.6-2.25 gr/cm ³
Warna	Hitam keabu-abuan
Konduktivitas Panas	200W/mK
Titik Leleh	4027 °C - 4427 °C

2.3.2 Struktur dan Karakteristik Serat Karbon

Karakteristik dari serat karbon pada umumnya sama dengan grafit yaitu merupakan anisotropik dan struktur dasarnya adalah heksagonal grafit kristalit (Gambar 2.3). Kekuatan ikatan tinggi antara atom karbon di bidang basal memberikan modulus yang sangat tinggi sepanjang sumbu serat, sedangkan jenis ikatan Van der Waals yang lemah antara lapisan yang bersebelahan menghasilkan modulus rendah di sepanjang bidang ujung.



Gambar 2. 3 (a) struktur lapisan grafit. (b) Struktur kisi heksagonal grafit. (Chawla, 2011)

Keuntungan dari serat karbon, dapat dilihat pada Tabel 2.5, adalah rasio kekuatan tarik dan modulus tarik yang tinggi, koefisien ekspansi termal yang rendah (yang memberikan stabilitas dimensi pada aplikasi antena ruang angkasa), kekuatan kelelahan tinggi, dan konduktivitas termal yang tinggi. Kelemahan dari serat karbon adalah rendahnya tekanan terhadap kegagalan, hambatan rendah, dan konduktivitas listrik yang tinggi, yang dapat menyebabkan 'korsleting' pada mesin listrik tak terlindungi. (Mallick 2007).

Tabel 2. 5 Sifat mekanis serat karbon (Kim dan Mai, 1998)

Sifat	<i>High Strength, Type I</i>	<i>Intermediate Modulus Type II</i>	<i>High Modulus, Type III</i>
Diameter (μm)	6.8	6.9	7.9
Densitas (g/cm^3)	1.7-1.8	1.74	1.85-1.96
Kekuatan Tarik (Mpa)	3000-5600	4800	2400-3000
Perpanjangan (%)	1.0-1.8	2	0.38-0.5
Modulus Young (Gpa)	235-295	296	345-520



Nilai modulus dari serat karbon tergantung dari tingkat kesempurnaan saat kondisi manufaktur. Ketidaksempurnaan dalam baris serat menimbulkan rongga berbentuk lilitan serat yang kompleks memanjang terhadap sumbu *axis* pada serat karbon. Hal ini menyebabkan kekuatan serat karbon menurun. Pengaturan bidang lapisan pada penampang serat berpengaruh terhadap karakteristik *tranverse* dan *shear* (geser) dari serat. Sifat mekanis dari serat ini ditentukan oleh komposisi prekursor dan waktu temperatur proses pembuatan. Secara umum, semakin tinggi suhu proses maksimum, semakin besar derajat orientasi kristal pada sumbu serat, dan karenanya semakin tinggi modulus seratnya. Peningkatan modulus biasanya dicapai dengan pengurangan kekuatan dan keuletan. Kekuatan tarik dan modulus tarik juga dipengaruhi oleh jumlah kristalinitas dan adanya cacat (Jong-Kyo Kim dan Yiu-Wing Mai, 1998). Permukaan Serat karbon sendiri memiliki gugus fungsi yang mengandung banyak oksigen seperti karbonil, karboksil, dan hidroksil yang tertera pada Tabel 2.6

Tabel 2. 6 Komposisi elemen pada permukaan serat karbon (Yao, 2017)

Tipe Serat	Kandungan Elemen Pada Permukaan (%)					
	C	O	Si	N	S	O/C
Karbon	84	12.1	0.33	2.87	0.68	14.4

2.3.3 Proses Manufaktur Serat Karbon

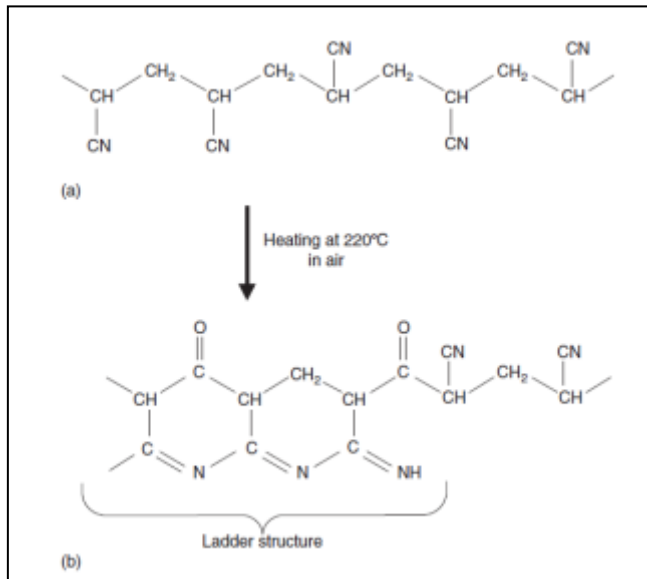
Serat karbon dibuat dari beberapa jenis prekursor yang berbeda yaitu, *polyacrylonitrile* (PAN), rayon (selulosa) dan mesofasa (*pitch*). Namun, prekursor yang paling umum digunakan untuk membentuk serat karbon adalah *polyacrylonitrile* (PAN) (Kim dan Mai, 1998). PAN mengandung senyawa dari grup nitril (CN) (Gambar 2.4) yang tersusun pada rantai polimer. Filamen dipintal dan diregangkan pada suhu tinggi, filamen kemudian dipanaskan di udara pada temperatur



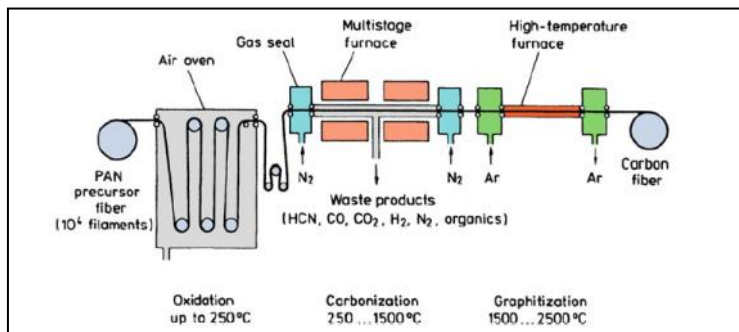
200°C-300°C selama beberapa jam sehingga kelompok-kelompok CN akan bergabung menjadi satu membentuk struktur yang lebih stabil dan kaku, dan beberapa grup CH_2 akan teroksidasi. Setelah itu dilakukan tahap karbonisasi dengan memanaskannya pada temperatur 1000°C-2000°C. Tegangan dipertahankan pada filamen untuk mencegah penyusutan. Seperti pada Gambar 2.5, reduksi atom nitrogen dan oksigen membuat filamen mengandung banyak atom karbon, disusun dalam pola cincin (*aromatic ring*). Filamen grafit menghasilkan modulus tarik, namun kekuatan tariknya mungkin relatif rendah. Kekuatan tarik dapat ditingkatkan dengan meregangkan filamen pada kondisi panas di atas 2000°C (Mallick, 2007).

Dalam proses fabrikasi serat karbon, perlu dilakukan *sizing* (perekatan) bertujuan untuk (Jong-Kyo Kim dan Yiu-Wing Mai, 1998):

- (1) Melindungi permukaan serat dari kerusakan.
- (2) Mengikat serat bersama untuk kemudahan pengolahan.
- (3) Melumasi serat sehingga bisa menahan tegangan *abrasive*.
- (4) Memberikan sifat anti-elektrostatik.
- (5) Memberikan hubungan kimia antara permukaan serat dan matriks sehingga meningkatkan ikatan pada antarmuka.



Gambar 2. 4 Struktur kimia dalam molekul PAN teroksidasi. (a) Struktur molekul PAN dan (b) struktur yang kaku. (Mallick, 2007)



Gambar 2. 5 Skematik proses produksi serat karbon dengan bahan dasar PAN. (Chawla, 2011)



2.3.4 Perlakuan Permukaan Serat Karbon

Permukaan serat karbon tidak aktif secara kimia dan harus diberi perlakuan untuk membentuk permukaan gugus fungsi yang menghasilkan ikatan kimia yang baik dengan matriks polimer. Perlakuan pada permukaan juga meningkatkan luas permukaan dengan menciptakan *micropores* atau lubang permukaan pada permukaan serat karbon berpori. Peningkatan luas permukaan memberikan jumlah titik kontak yang lebih besar untuk ikatan serat-matriks. Menurut (Mallick, 2007) perlakuan permukaan serat karbon terdiri dari dua jenis, bersifat oksidatif dan nonoksidatif:

1. Perlakuan permukaan oksidatif menghasilkan gugus fungsional asam, seperti karboksilat, fenolik, dan hidroksilat, pada permukaan serat karbon. Mereka dapat dilakukan baik dalam gas yang mengandung oksigen (udara, oksigen, karbon dioksida, ozon, dll.) atau dalam cairan (asam nitrat, natrium hipoklorida, dll.). Oksidasi fase gas dilakukan pada 2508 °C atau di atas, dan sering menggunakan katalis. Oksidasi pada suhu sangat tinggi menyebabkan *pitting* berlebih pada permukaan serat karbon dan mengurangi kekuatan serat. Asam nitrat adalah cairan yang paling umum digunakan untuk fase cair oksidasi. Efektivitas perlakuan dalam memperbaiki sifat permukaan tergantung konsentrasi asam, waktu perawatan, dan temperatur, serta jenis seratnya.
2. Beberapa perlakuan permukaan nonoksidatif telah dikembangkan untuk serat karbon. Dalam salah satu perlakuan ini, permukaan serat karbon dilapisi dengan polimer organik yang memiliki gugus fungsional yang mampu bereaksi dengan matriks resin, contoh pelapis polimer adalah kopolimer anhidrida stirena-maleat, kopolimer metil akrilat-



akrilonitril, dan poliamida. Metode yang digunakan untuk melapisi permukaan serat adalah elektropolimerisasi, di mana serat karbon digunakan sebagai salah satu elektroda dalam larutan asam monomer atau campuran monomer. Hasil perbaikan diperoleh jika permukaan serat karbon teroksidasi sebelum proses pelapisan.

2.4 Matriks

Matriks merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar berfungsi untuk mengikat material penguat dan memberi bentuk. Matriks pada komposit mempunyai peranan sebagai berikut (Mallick, 2007):

1. Menjaga serat tetap pada tempatnya.
2. Mentransfer tegangan antara serat.
3. Memberikan perlindungan dari lingkungan yang merugikan.
4. Melindungi permukaan serat dari degradasi mekanik.

Terdapat bermacam-macam matriks dalam pembuatan komposit, beberapa yaitu, polimer *thermoset*, epoksi, dan *vinyl ester* merupakan matriks yang sering dijumpai pada industri ataupun badan penelitian karena mudah untuk diproses dan viskositasnya rendah.

2.4.1 Polimer Matriks

Polimer didefinisikan sebagai molekul rantai panjang yang mengandung satu atau lebih unit pengulangan atom (*monomer*) digabungkan oleh ikatan kovalen yang kuat, terdiri dari hidrogen (H) dan karbon (C) (hidrokarbon). Bahan polimer (biasa disebut plastik untuk polimer sintesis) adalah molekul polimer dalam jumlah besar dengan struktur kimia yang serupa (tapi tidak sama panjangnya). Molekul dengan jumlah unit pengulangan atom kurang dari sepuluh disebut *oligomer* dan memiliki sifat mekanik yang berbeda dibandingkan dengan *high-*

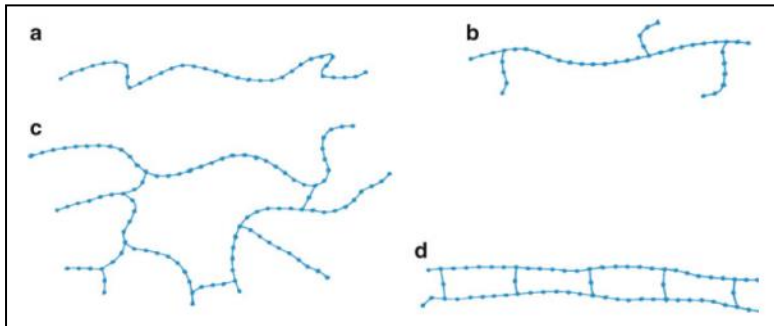


molecular-weight polymer. (Fried, 2014). Panjang rantai polimer ditentukan dengan banyaknya unit pengulangan atom pada rantai, disebut *degree of polymerization* (DP). Berat molekul pada polimer merupakan produk berat molekul dari unit pengulangan atom dan DP. (Billmeyer, 1984)

2.4.1.1 Klasifikasi Polimer

Polimer dapat diklasifikasikan berdasarkan karakteristik proses pembentukan atau tipe mekanisme polimerisasi. Lebih spesifik, klasifikasi dapat ditentukan berdasarkan struktur polimer. Menurut (Chawla, 2011) molekul polimer memiliki struktur konfigurasi rantai yang berbeda-beda, berikut merupakan beberapa jenisnya:

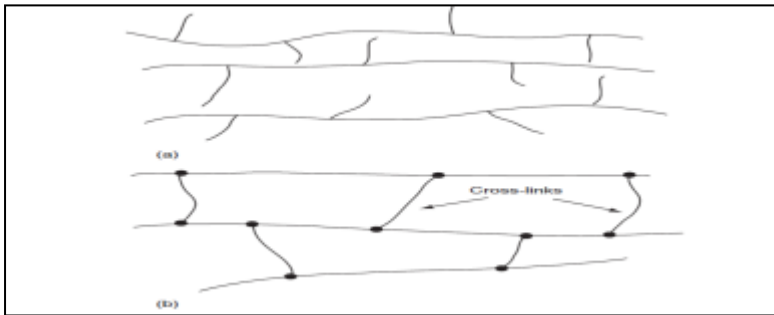
1. **Polimer linier**. Seperti namanya, jenis polimer ini terdiri dari panjang rantai atom dengan kelompok monomer berada pada sisi. Contohnya termasuk polietilena, polivinil klorida, dan polimetil metakrilat (PMMA). Gambar 2.6 a menunjukkan konfigurasi polimer linier; perhatikan gulungan dan lentur rantai.
2. **Polimer bercabang**. *Polymer branching* dapat terjadi dengan linear, cross-linked, atau jenis polimer lainnya.
3. **Polimer cross-linked**. Dalam kasus ini, molekul dari satu rantai terikat yang lain. Dapat dilihat pada Gambar 2.6 c. *Cross-linking* rantai molekul menghasilkan jaringan tiga dimensi. *Cross-linking* membuat molekul sulit bergeser melewati satu sama lain. Dengan demikian polimer semacam itu kuat dan kaku.
4. **Polimer Ladder**. Jika kita memiliki dua polimer linier yang dihubungkan secara teratur (Gambar 2.6 d) kita mendapatkan polimer tangga. Polimer tangga lebih kaku daripada polimer linier.



Gambar 2. 6 Struktur rantai molekuler yang berbeda: (a) linier, (b) bercabang, (c) *cross-linked*, (d) *ladder* (Chawla, 2011).

Polimer dapat dibedakan menjadi dua kelompok utama berdasarkan perilaku proses panas yaitu *thermoplastic* dan *thermoset* (Gambar 2.7). Polimer dapat dipanaskan untuk diproses agar mendapatkan hasil dengan bentuk yang diinginkan disebut *thermoplastic* (Billmeyer, 1984). Dalam polimer termoplastik, molekul secara individu tidak bergabung secara kimia bersama. Dengan penerapan panas, ikatan sekunder dalam polimer termoplastik padat dapat sementara terurai dan molekulnya sekarang dapat dipindahkan relatif satu sama lain atau mengalir ke konfigurasi baru jika ada tekanan diterapkan. (Mallick, 2007)

Thermoset merupakan kelompok polimer dengan rantai individunya telah terhubung secara kimia oleh ikatan kovalen selama polimerisasi. Proses ini sifatnya permanen tidak dapat dibentuk ulang, kemudian cenderung menolak *creep* dan *solvent attack*, sehingga cocok untuk material komposit, *coating*, dan aplikasi *adhesive*. (Billmeyer, 1984). *Thermoset* dalam prosesnya, mengalami reaksi *curing* yang melibatkan *crosslinking* antara rantai polimer. *Curing agent* dapat diinisiasi dari *chemical agent*, panas, tekanan, atau *electron beam*. (Chawla, 2011)



Gambar 2. 7 Skema dari (a) polimer termoplastik dan (b) polimer termoset. (Mallick, 2007)

2.5 Resin Epoksi

2.5.1 Sejarah Epoksi

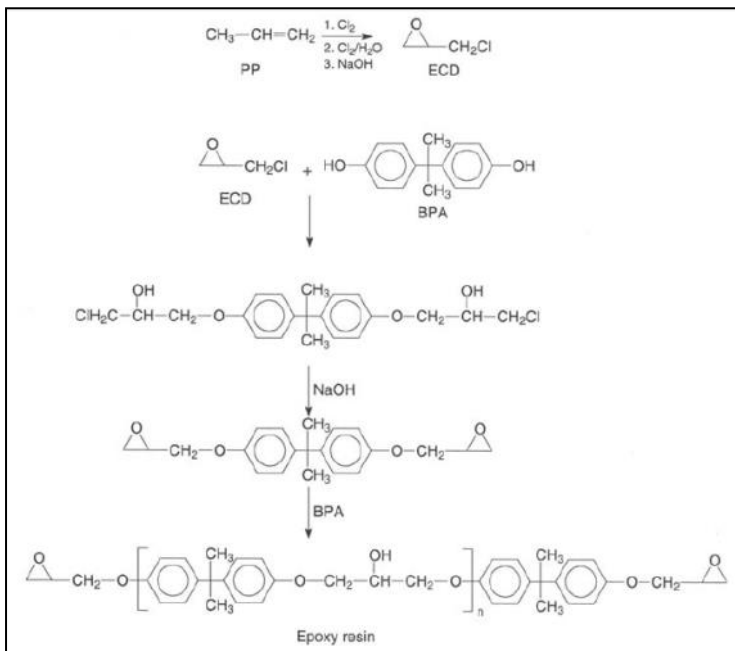
Pada tahun 1936, Dr. Pierre Castan dari Swiss berhasil melakukan sintesis epoksi resin berbasis bisphenol A yang dikeraskan dengan phthalic acid anhydride. Penelitian dilanjutkan oleh Dr. S.O. Greenlee dengan mengembangkan epoksi resin dari *epichlorohydrin* dan *diglycidyl ether of Bisphenol A* (DGEBA). Resin epoksi mulai diproduksi secara masal di Eropa dan Amerika pada tahun 1940-an. Pengembangan resin epoksi bertujuan untuk menemukan *binding agent* (agen pengikat) untuk pelapisan yang memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap bahan-bahan kimia. Saat ini, berbagai macam resin epoksi dengan berbagai konsistensi sudah tersedia. (Brown, 2002)

2.5.2 Proses Pembentukan dan Struktur Kimia Epoksi

Epoksi resin merupakan *thermoset* resin yang memiliki struktur *oxirane rings* (C_2H_4O) dalam struktur molekul mereka. Resin epoksi yang umum digunakan dan dijumpai di pasaran adalah *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA), dibuat dari reaksi *epiklorohidrin* (ECD) dan *bisphenol A* (BPA). Dilihat dari Gambar 2.8, proses pembuatan epoksi yaitu, ECD dibuat dari polipropilena (PP) dengan mereaksikan klorin dengan natrium



hidroksida. ECD 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 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 dengan BPA untuk membuat resin padat dengan berat molekul lebih tinggi. Dengan demikian resin epoksi tersedia dalam berbagai konsistensi dari cairan kental rendah sampai padatan. (Ratna, 2009)



Gambar 2. 8 Skema reaksi untuk sintesis resin epoksi tipe DGEBA (Ratna, 2009)



2.5.3 Sifat dan Aplikasi Resin Epoksi

Resin Epoksi banyak digunakan karena fleksibilitasnya terhadap reaksi kimia dan sifatnya (Tabel 2.7) 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. 7 Sifat mekanik dari resin epoksi (Chawla, 2011)

Density, ρ (g/cm ³)	Strength, σ (MPa)	Modulus, E (GPa)	Poisson's ratio, ν	CTE, α (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Cure shrinkage (%)	Use temp. (°C)
1.2–1.3	50–125	2.5–4	0.2–0.33	50–100	1–5	150

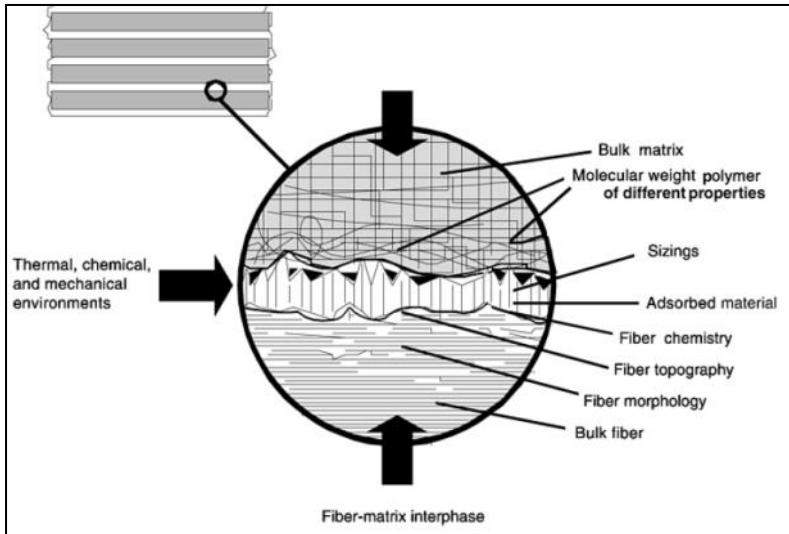
Resin epoksi dapat digunakan dalam teknik pencetakan dan laminating untuk membuat lembaran yang diperkuat serat kaca dengan kekuatan mekanik, ketahanan kimia, dan sifat isolasi yang lebih baik daripada yang diperoleh dengan poliester tak jenuh. *Casting*, pot, enkapsulasi, dan *embedment* dipraktekkan secara luas dengan resin epoksi di industri listrik dan cairan. Penggunaan penting lainnya termasuk rantai industri, perekat dan solder, busa, permukaan jalan raya dan bahan tambalan, dan stabilisator untuk resin vinil. (Billmeyer, 1984)

2.6 Interfasa

Kita dapat mendefinisikan interfasa sebagai perekat (*bonding agent*) dari dua buah material penyusun (matriks dan penguat), contohnya *adhesive*. Pada intinya, interfasa 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 interfasa berbeda dari serat karbon atau matriks itu sendiri. Interfasa dimulai dari beberapa titik pada permukaan serat kemudian melewati daerah interfasa sepenuhnya hingga ke

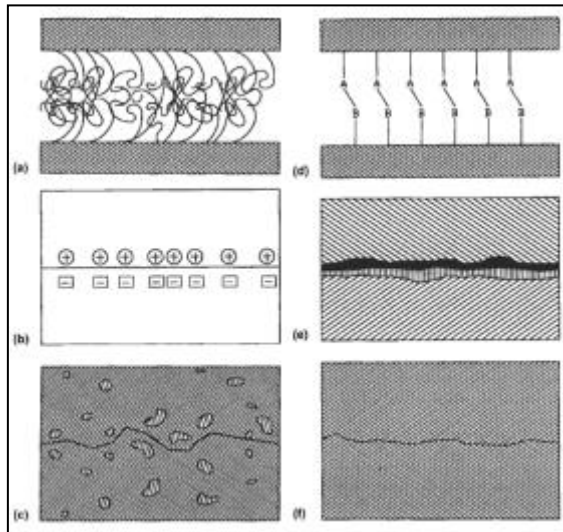


matriks. Pada Gambar 2.9 menunjukkan skematik konsep tiga lapis dari interfasa diantara serat (*fibre*) dan matriks. (Kim dan Mai, 1998)



Gambar 2. 9 Karakteristik serat / matriks interfasa dalam material komposit. (Herrera-Franco dan Drzal. 1992)

Sifat *bonding* bergantung pada beberapa faktor yaitu, susunan atom, formasi molekul, susunan kimia, dari fiber dan matriks, sifat morfologi dari serat, dan difusivitas dari setiap elemen pada komponen. Pada intinya, penggunaan *fibre* dan *matrix* yang berbeda akan menghasilkan karakteristik ikatan antarmuka (*interface*) yang berbeda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 (Kim dan Mai, 1998).



Gambar 2. 10 Ikatan antarmuka terbentuk (a) ikatan molekular (b) reaksi elektrostatis; (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)

2.6.1 Adsorpsi dan Kemampubasahan

Salah satu alasan mengapa *interface* penting karena *interface* melapisi area yang cukup besar, dapat 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 antarmuka: padat/cair, cair/uap, dan padat/uap. Secara teori, dapat menggunakan persamaan Young, diperoleh dari rumus berikut:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LS} + \gamma_{LV} \cos \theta, \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana γ adalah energi permukaan spesifik, dan subskrip SV, LS, dan LV mewakili antarmuka padat/uap, cairan/ padat, dan cairan/uap. Tanda γ menandakan pembasahan. Kasus ekstrimnya adalah: $\gamma = 0^\circ$ (Gambar 2.11), sesuai dengan pembasahan sempurna dan $\gamma = 180^\circ$, sesuai dengan tidak ada pembasahan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12. Namun dalam prakteknya, jarang untuk mendapatkan nilai ekuilibrium dari γ .

Kim dan Mai (1998) mengungkapkan bahwa kunci untuk menciptakan adhesi yang baik pada antarmuka 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 , adalah fungsi langsung permukaan tegangan cairan, γ_{LV} , dan berbanding terbalik dengan radius efektif kapiler, (r_c).

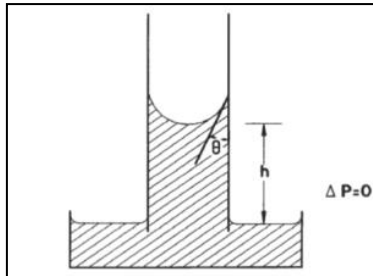
$$\Delta P = \Delta \rho g h = \frac{2\gamma_{LV} \cos \theta}{r_c} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana ΔP adalah perbedaan densitas antara fase cair dan gas, g merupakan percepatan karena gravitasi, dan h tinggi

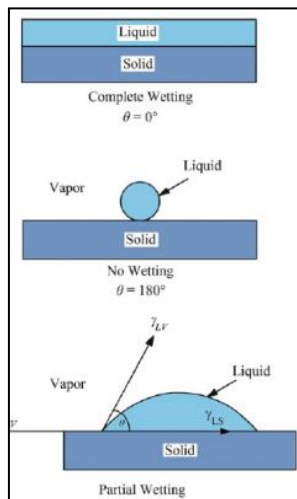


Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

meniskus di atas permukaan cairan datar dimana ΔP harus nol. Sekali lagi jelas bahwa sudut kontak adalah salah satu parameter terpenting yang mengendalikan kekuatan kapiler yang ada hanya pada saat $\theta < 90^\circ$.



Gambar 2. 11 Kenaikan kapiler, menunjukkan sudut kontak, θ , dan tinggi meniskus, h (Kim dan Mai, 1998).



Gambar 2. 12 Tiga kondisi pembasahan (Chawla, 2011).



2.6.2 Sifat Kristalografi Interfasa

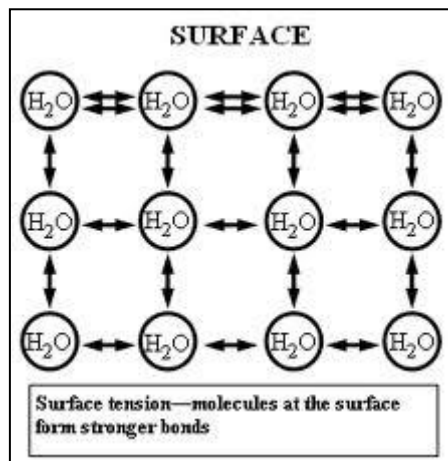
Struktur atom dalam interfasa, terdapat interfasa koheren, semi-koheren, dan inkoheren. Koheren adalah di mana atom pada interfasa membentuk bagian dari kedua kisi kristal. Artinya, ada penghubung satu-ke-satu antara bidang kisi di kedua sisi interfasa. Interfasa koheren memiliki beberapa strain koherensi yang berhubungan dengannya karena tarikan bidang kisi dalam dua fase untuk memberikan kontinuitas pada interfasa ke atom di kedua sisi antarmuka. Sedangkan interfasa yang mengandung dislokasi untuk menghantarkan regangan interfasa yang besar dan hanya memiliki sebagian registrasi atom, disebut interfasa semi-koheren. Interfasa semi-koheren tidak memiliki ketidakcocokan kisi yang sangat besar antara fasa, dan ketidakcocokan kecil ditampung oleh dislokasi pada interfasa. Semakin bertambahnya ukuran kristal, kerapatan dislokasi pada antarmuka meningkat, dan akhirnya dislokasi akan berkurang; Artinya, tidak mungkin lagi menentukan posisi atom individual di interfasa. Interfasa seperti itu disebut interfasa yang inkoheren. Secara kristalik, sebagian besar interfasa yang ditemui dalam serat, *whisker*, atau komposit yang diperkuat partikel adalah inkoheren. (Chawla, 2011)

2.6.3 Interaksi pada Interfasa

Pada permukaan bebas, atom atau molekul tidak dikelilingi oleh atom atau molekul lain di semua sisi, mereka memiliki ikatan atau tetangga hanya di satu sisi. Maka, terjadi suatu ketidakseimbangan gaya pada permukaan yang menghasilkan penataan kembali atom atau molekul di permukaan. Kita menyebut suatu energi yang berlebih dengan *surface energy* (Jm^{-2}) yang merupakan energi per satuan luas berhubungan dengan permukaan karena ikatan yang tidak terpenuhi di permukaan atau dapat kita artikan sebagai energi yang dibutuhkan untuk membuat luas permukaan unit. Energi permukaan tergantung dari orientasi kristalografi. *Surface*



tension (tegangan permukaan) adalah kecenderungan untuk meminimalkan total energi permukaan dengan meminimalkan luas permukaan. *Surface tension* terjadi karena adanya gaya tarik menarik dipermukaan, dari *liquid* yang kontak dengan udara atau *liquid* yang tidak bercampur, disebabkan juga karena adanya gaya kohesi (yaitu gaya tarik-menarik antar partikel sejenis) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13. Resultan gaya tidak sama dengan nol. . Permukaan energi dan tegangan permukaan secara numerik sama untuk bahan isotropik. Tegangan permukaan umumnya diberikan dalam satuan N / m, yang sama dengan Jm². (Chawla, 2011)



Gambar 2. 13 Ilustrasi terjadinya *surface tension*, adanya gaya kohesi dan adhesi. (Sugiman, 2012)

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

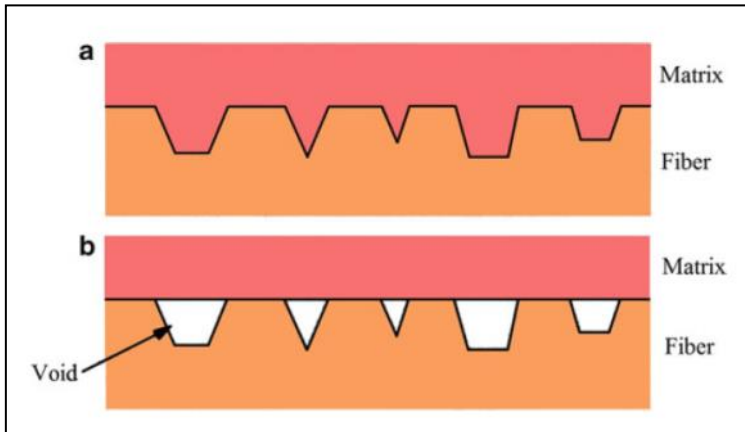


permukaan yang lebih rendah, seperti air, akan secara spontan membasahi permukaan energi yang lebih tinggi, seperti kap mesin yang tidak berbantalan. Untuk perekat cairan untuk secara efektif membasahi permukaan, energi permukaan perekat harus sama atau lebih rendah dari energi permukaan substrat yang akan diikat. (adhesives.org)

2.6.4 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. Kelompok fungsional yang ada pada permukaan serat karbon termasuk -COOH , C-OH and C=O . Perlakuan oksidatif permukaan serat karbon banyak digunakan untuk ikatan kimia dengan resin polimer. (Zhang, 2012)

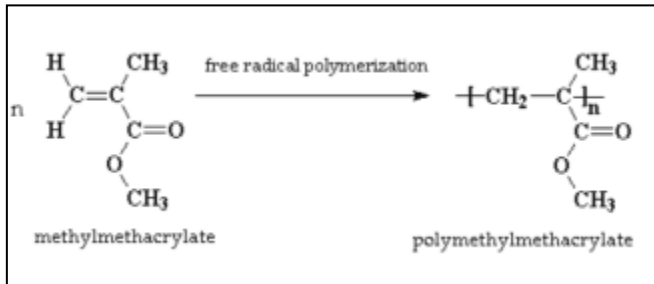
Pada ikatan mekanik (*mechanical bonding*) (Gambar 2.14), antara dua lapisan saling mengikat (*interlocking*) sehingga membentuk sebuah ikatan. Setiap kontraksi matriks ke serat akan menghasilkan pencengkeraman serat oleh matriks. Dalam kasus ikatan mekanik, matriks harus mengisi seluruh area di permukaan 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 PMC, akibatnya kekuatan geser interlaminar yang ditingkatkan (ILSS) dari komposit (Chawla, 2011).



Gambar 2. 14 (a) ikatan mekanik yang baik. (b) Kurangnya pembasahan dapat membuat polimer atau logam cair tidak mampu menembus permukaan serat, yang menyebabkan muncul rongga antar muka (Chawla, 2011).

2.7 Methyl Methacrylate (MMA)

Poli (metakrilat) adalah polimer dari ester asam metakrilat. Paling umum digunakan di antaranya adalah poli (metil metakrilat) (PMMA). Poli (metil metakrilat) atau poli (metil 2-metilpropenoat) adalah polimer metil metakrilat, dengan rumus kimia $(C_5H_8O_2)_n$. Ini adalah polimer yang bening dan tidak berwarna. Poli (metil metakrilat) diproduksi dengan polimerisasi radikal bebas metil-metakrilat dalam massa atau polimerisasi suspensi sesuai dengan Gambar 2.15



Gambar 2. 15 Polimerisasi *methyl Methacrylate* (Koleva, 2005).

Polimerisasi radikal bebas merupakan proses di mana suatu polimer terbentuk dari penambahan berturut-turut radikal bebas gugus atau atom-atom membentuk molekul. Setelah penciptaan radikal bebas, monomer unit, rantai polimer tumbuh pesat dengan penambahan berurutan dari gugus ke radikal bebas. Polimerisasi radikal bebas merupakan rute sintesis untuk mendapatkan berbagai macam polimer yang berbeda.

PMMA adalah polimer termoplastik linier, rantai polimernya yang panjang lebih tipis dan halus. PMMA memiliki kekuatan mekanik tinggi, modulus Young tinggi dan perpanjangan (*elongation*) rendah. Ini adalah salah satu termoplastik yang paling keras dan juga sangat tahan gores. Polimer ini juga menunjukkan kelembaban rendah dan kemampuan menyerap air, karena produk yang dibuat memiliki stabilitas dimensi yang baik. Sifat dari PMMA dapat dilihat dari Tabel 2.8.



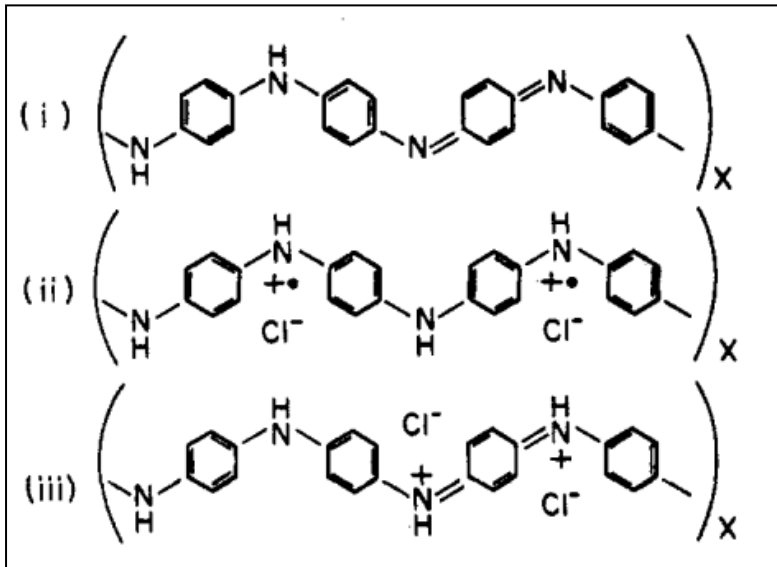
Tabel 2. 8 Sifat Mekanik dari Poly(*methyl methacrylate*) (Koleva, 2005)

Sifat Mekanik	Nilai
Densitas	1,18 g/cm ³
Kekerasan, Rockwell M	63-97
Kekuatan Tarik	47-79 MPa
Pemanjangan (<i>Elongation</i>)	1-30%
Modulus Tarik	2,2-3.8 GPa
Modulus Lentur	3-3.5 GPa

Kemampuan untuk membuat PMMA memungkinkan pembuatan optik kompleks yang mudah dan murah. Lensa refleksi kompleks, yang digunakan pada lampu ekor mobil, dibuat dari PMMA. PMMA telah digunakan untuk perlindungan dan keamanan di jendela teller bank, sebagai penghalang di mobil polisi, di panel di sekitar arena hoki (Pan dkk, 2013).

2.8 Anilin

Anilin (fenilamin atau aminobenzene) adalah senyawa organik dengan rumus kimia $C_6H_5NH_2$ yang berikatan kovalen (Tabel 2.9). Terdiri dari gugus fenil yang melekat pada gugus amino, anilin merupakan amina aromatik prototipikal. Anilin memiliki karakteristik secara umum yaitu, tidak berwarna (bening), berminyak, bau menyengat. Anilin merupakan hidrokarbon hidropobik dengan gugus amina sehingga sukar larut dalam air. (Deni Hadiana, 2012). Anilin tidak berwarna, namun dapat berubah warna secara perlahan jika ada interaksi dengan udara sehingga teroksidasi berubah menjadi kuning atau merah-coklat. (Konaka dkk, 1968)



Gambar 2. 16 Skematik unit pengulang polimer untuk (i) *emeraldine base*, (ii) bentuk polaron *emeraldine salt*, dan (iii) bentuk bipolaron *emeraldine salt*. (Pouget dkk, 1991)

Tabel 2. 9 Spesifikasi anilin (Hadiana, 2012)

Nama IUPAC	Benzena amina
Rumus Molekul	C ₆ H ₅ NH
Berat Molekul	93,13 g/mol
Titik Leleh	-6 °C
Titik Didih	184 °C
Berat Jenis	1,03 g/cm ³
Kelarutan dalam Air	0,3 g/L
Kemurnian	99,5%

Pada polimerisasi anilin, unit-unit monomer anilin mengalami reaksi kopling (kopling kepala-ekor) sehingga polianilin mengandung cincin benzena dan atom nitrogen. Hal ini



juga menyebabkan nilai konduktivitas polianilin meningkat (Hagiwara, 1987).

Polianilin dapat dibedakan berdasarkan keadaan teroksidasinya yakni lekomeraldin dalam bentuk tereduksi penuh dan tidak memiliki atom nitrogen yang teroksidasi, emeraldin dalam bentuk setengah teroksidasi dimana memiliki setengah atom nitrogen yang teroksidasi, dan pernigranilin dalam bentuk teroksidasi penuh dimana semua atom nitrogennya teroksidasi. Bentuk polianilin yang paling penting adalah emeraldin terprotonasi (garam emeraldin). Emeraldin terprotonasi dapat langsung dihasilkan dari polimerisasi oksidatif anilin baik secara kimia, elektrokimia, maupun enzimatis (Hadiana, 2012).

Tahap polimerisasi pada anilin dibagi menjadi tiga, yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi. Menurut Dian Eka (2009), tahap inisiasi merupakan oksidasi anilin menjadi radikal kation diikuti dengan formasi dimer p-aminodifenilamin (PADPA) kemudian teroksidasi menjadi N-fenil1,4-benzokuinondiimin (PBQ). Selanjutnya adalah tahap propagasi, di mana terjadi penambahan monomer pada ujung rantai melalui proses redoks antara rantai yang teroksidasi penuh, sebagai reduktor dan anilin sebagai oksidator. Terakhir merupakan tahap terminasi yang mendeaktifkan ujung rantai dengan kombinasi (kopling) radikal-radikal, disproporsionasi atau monomer habis dikonsumsi. (Hadiana, 2012)

2.9 Elektropolimerisasi

Proses pelapisan serat karbon dengan polimer konduktif melibatkan proses elektrokimia yang berlangsung pada permukaan serat karbon. Dalam proses tersebut terjadi transfer elektron antara serat karbon dengan molekul-molekul elektroaktif di dalam larutan. Secara elektrokimia, terjadinya reaksi redoks karena adanya transfer muatan melalui antarmuka logam (*m*) dan larutan (*aq*), seperti persamaan 2.3



Elektroda sebagai sumber elektron, terjadi perpindahan elektron antara dua fasa (*m* dan *aq*) sehingga terjadi pemisahan muatan. Ini yang menyebabkan perbedaan potensial. Reaksi transfer muatan persamaan 2.4



Dengan *n* adalah jumlah elektron yang ditransfer, Nernst menunjukkan bahwa potensial electrode pada kondisi kesetimbangan dinyatakan oleh persamaan 2.5

$$E_c = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[O]}{[R]} \dots\dots\dots (2.5)$$

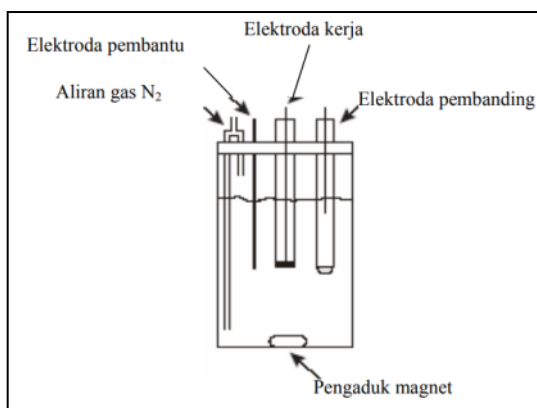
Reaksi tersebut terjadi ketika elektroda/serat karbon telah dimasukkan ke dalam larutan. Di kasus ini, elektroda sebagai elektron. Hal ini menyebabkan terjadinya pemisahan muatan antara elektroda dengan larutan karena perpindahan elektron yang bergerak menuju kesetimbangan antara dua fasa (*m* dan *aq*). Pemisahan muatan ini menghasilkan perbedaan potensial antarmuka elektroda dan larutan. (Harris, 2008)

2.9.1 Voltametri

Voltametri merupakan teknik elektroanalitik menggunakan prinsip elektrolisis yang berfokus pada hubungan reaksi kimia dan besaran listrik, seperti potensial dan arus. Dalam teknik voltametri, potensial dapat diatur. Kelebihan dari teknik voltametri adalah sensitifitas tinggi, limit deteksi yang rendah dan memiliki daerah linier yang lebar. Pada voltametri, terdapat istilah voltamogram yang merupakan kurva perbandingan antara arus dan potensial yang dihasilkan. (Rahayu, 2008)



Gambar 2.17 menjelaskan bahwa sel voltametri terdiri dari tiga buah elektroda yang dicelupkan ke dalam elektrolit. Elektroda pertama yaitu elektroda pembanding (*reference electrode*) yang berfungsi menjaga nilai potensial yang melewati antarmuka elektroda dan larutan selalu tetap. Elektroda pembanding yang digunakan adalah Ag/AgCl atau elektroda kalomel jernih (EKJ). Elektroda yang kedua adalah elektroda pembantu (*auxiliary electrode*). Elektroda ini terbuat dari bahan inert seperti Pt yang berfungsi mengalirkan arus antara elektroda kerja dan elektroda pembantu. Dan ketiga adalah elektroda kerja (*working electrode*), merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi dan reduksi analit, bergantung dari potensial yang diberikan.



Gambar 2. 17 Sel dalam analisis voltametri (Rahayu, 2008)

Pada penelitian kali ini, elektroda kerja yang digunakan adalah serat karbon. Elektroda pembanding yang digunakan adalah elektroda Hg/HgCl. Untuk menjaga potensial elektroda pembanding tetap, digunakan elektroda pembantu yang memiliki hambatan lebih kecil dari Hg/HgCl, sehingga aliran arus menuju elektroda pembanding kecil atau mendekati nol dan pengukuran

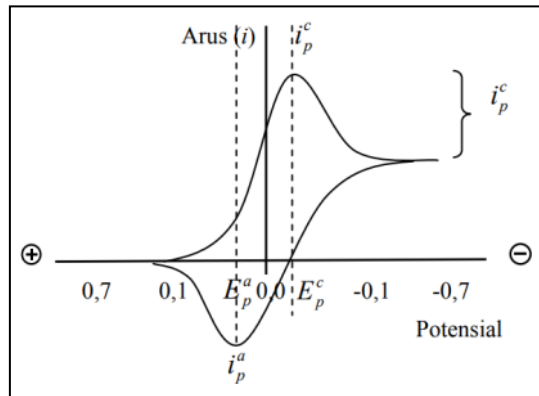


arus terjadi pada elektroda kerja dan elektroda pembantu. (Rahayu, 2008)

Dalam voltametri, terdapat arus difusi, arus ini merupakan arus yang ingin diukur pada analisis voltametri karena besarnya tergantung konsentrasi ion-ion analit yang terdapat dalam larutan. Arus difusi ini disebabkan oleh reaksi redoks pada permukaan elektroda. Ketika elektroda kerja dihubungkan dengan sumber potensial listrik, permukaan elektroda mendapatkan potensial yang cukup besar, sehingga ion-ion dalam larutan elektrolit yang memiliki muatan berlawanan akan bergerak menuju permukaan elektroda dan berdifusi untuk mengimbangi muatan. Ion-ion analit ini menghasilkan arus difusi. (Rahayu, 2008)

2.9.2 Voltametri Siklik

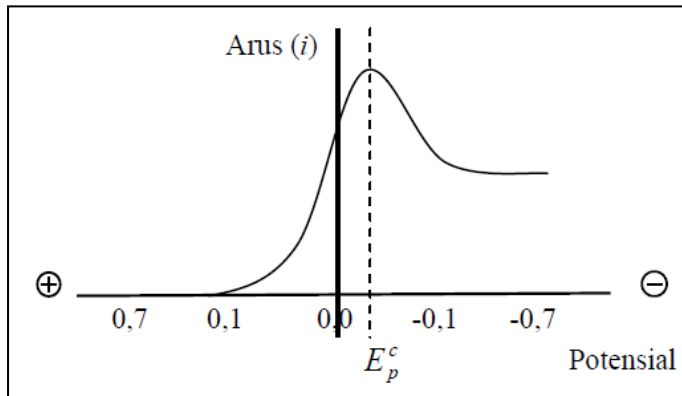
Teknik ini menggunakan arus sebagai fungsi potensial untuk menganalisis analit. Potensial ini akan bergerak bolak-balik sesuai pola oksidasi-reduksi. Pada grafik voltametri siklik seperti Gambar 2.18, arus akan bergerak ke arah potensial negatif menghasilkan reaksi reduksi dengan puncak arus katodik i_p^c pada potensial E_p^c , dan sebaliknya, jika ke arah potensial positif, akan menghasilkan arus puncak anodik i_p^a pada potensial puncak E_p^a . Teknik Voltametri siklik ini digunakan untuk mengkarakterisasi sifat-sifat elektrokimia polimer konduktif, mempelajari proses adsorpsi molekul elektroaktif pada elektroda, dan mengetahui informasi kualitatif dari proses reaksi oksidasi-reduksi. (Harris, 2008)



Gambar 2. 18 Grafik voltamogram suatu reaksi redoks (Harris, 2008)

2.9.3 Voltametri Statik

Pada voltametri statik, pemindaian dilakukan dari batas potensial yang lebih rendah menuju yang lebih tinggi. Karakteristik LSV bergantung pada laju reaksi transfer elektron, reaktivitas kimia dan laju pemindaian potensial. Dalam pengukuran dengan LSV, arus listrik dialurkan sebagai perubahan potensial. Harris (2008), memberikan contoh pada sistem redoks $\text{Fe}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$, maka pemindaian potensial dalam larutan yang hanya mengandung Fe^{3+} akan menghasilkan voltamogram seperti Gambar 2.19



Gambar 2. 19 Voltamogram LSV dari sistem redoks $\text{Fe}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$ (Harris, 2009)

2.9.4 Mekanisme Reaksi Elektropolimerisasi

Menurut McCallum dan McKerron, 1982, mereka melakukan penelitian terhadap *polymethyl methacrylate* (PMMA) menggunakan proses elektropolimerisasi dan menyatakan bahwa terdapat molekul-molekul yang terabsorpsi ke elektroda. Maka dari itu, adanya tahapan proses absorpsi molekul ke elektroda, yaitu

1. Reaksi Elektroda

Reduksi langsung dari molekul MMA, $\text{MMA} + e \rightarrow \text{MMA}^-$, yang dapat memulai polimerisasi di bawah kondisi yang sesuai. Hasil potensial diukur dalam milivolt pada permukaan katoda dan anoda. Selain itu diketahui bahwa reaksi elektroda dengan tegangan lebih rendah akan mendominasi.

2. Ionisasi

Adanya kemungkinan inisiasi oleh atom hidrogen selama elektropolimerisasi, namun, walaupun adanya atom hidrogen, reaksi pada elektroda juga melibatkan molekul H_2SO_4 yang berujung pada elektropolimerisasi PMMA. Perubahan konsentrasi H_2SO_4 mempengaruhi berat molekul lebih banyak daripada laju



polimerisasi. Akhirnya diketahui bahwa akrilamida dapat di elektroinisiasi di katoda dengan adanya berbagai asam. Bukti ini menandakan bahwa elektroinisiasi oleh hidrogen atom dapat terjadi dan terjadi mekanisme yang sesuai pada penelitian ini. Hasil dari pengujian PMMA menunjukkan konsentrasi radikal yang konstan selama eksperimen. Sehingga disimpulkan bahwa inisiasi terjadi pada tahap awal reaksi, inisiasi dan terminasi.

3. Propagasi

Diketahui bahwa berat molekul tidak tergantung arus yang mengalir selama polimerisasi ionik, tapi panjang rantai tersebut menghasilkan hubungan terbalik dengan arus elektropolimerisasi radikal bebas. Perilaku berat molekul dapat dibenarkan oleh propagasi radikal bebas jika H_2SO_4 beroperasi seperti yang dijelaskan. Asam yang dikoordinasikan pada ujung makro radikal yang berkembang, memungkinkan tahap propagasi namun menghambat penghentian bimolekuler untuk polimerisasi radikal bebas MMA.

4. Terminasi

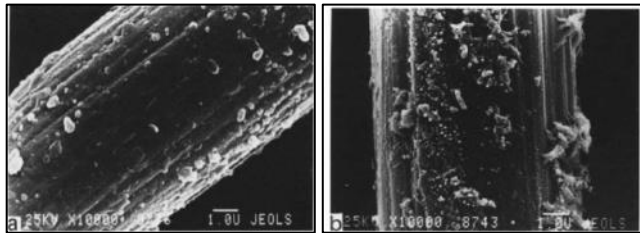
Polimerisasi berhenti ketika semua radikal sudah terhubung menjadi satu kesatuan untuk membentuk polimer

2.10 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Zinger dkk tahun 1989, mereka melakukan elektropolimerisasi menggunakan *aniline* dalam larutan asam (1M HCL) untuk meningkatkan kekuatan *interlaminar shear strength* dari serat karbon. Proses elektropolimerisasi ini bertujuan untuk merekayasa permukaan serat karbon untuk mendapatkan *interface* yang baik kerekatannya antara serat karbon dan resin epoksi. Polianilin dilapiskan ke serat karbon dalam proses anodik langsung, yang menghasilkan struktur terbuka dan dapat diakses. Pelapisan tebal PAN diperoleh terutama dengan menerapkan potensial konstan 0,8 V antara CF dan SCE dalam sel-sel tunggal atau multi-kompartemen. Deposisi PAN dianalisa menggunakan



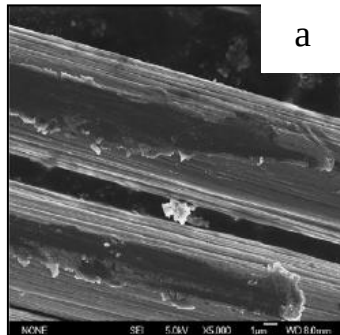
SEM seperti pada gambar 2.20 dan teknik elektrokimia yang tersedia, hasilnya terdapat pertumbuhan mekanisme nukleasi.



Gambar 2. 20 Hasil mikrografi SEM dari PAN pada serat karbon.
(Zinger dkk, 1989)

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kai-Bing Hung dkk tahun 2008, mereka melakukan elektropolimerisasi menggunakan *polyacrylic acid (PAA)*, untuk meningkatkan sifat adhesi dari *composite carbonfibre/epoxy*. Proses elektropolimerisasi ini bertujuan untuk merekayasa permukaan serat karbon untuk mendapatkan *interface* yang baik kerekatannya antara serat karbon dan resin epoksi. Hasil dari pengujian SEM, FTIR, dan *wettability* menyatakan bahwa elektropolimerisasi dapat merekatkan morfologi dan energi bebas dari permukaan serat karbon. Dihasilkan juga gugus fungsi berupa $-OH$, $-NH_2$, and $-COOH$ yang dapat meningkatkan sifat adhesi.

Pengujian SEM yang dilakukan setelah proses elektropolimerisasi dengan PAA membuat morfologi mereka menjadi kasar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22. Dapat dilihat bahwa terjadi pengendapan monomer–monomer ke serat karbon. Untuk pengujian FTIR (Gambar 2.21), spektrum menunjukkan bahwa banyak kelompok fungsional teridentifikasi pada permukaan serat karbon yang dapat menguntungkan struktur antarmuka saat membentuk komposit.



Gambar 2. 21 SEM mikrograf serat karbon setelah 20 siklus pemindaian volammetrik untuk elektropolimerisasi dalam larutan (a) asam akrilat. (Hung dkk, 2008)

Modifikasi serat karbon melalui elektropolimerisasi merupakan cara sederhana untuk mengendalikan tingkat adhesi serat-matriks dan mengatur perilaku mekanis komposit, yang mengindikasikan elektropolimerisasi dapat memberikan metode yang layak untuk mengatasi permukaan serat karbon dalam sistem komposit.

Pembuatan rompi anti peluru jenis *Multilayered Armor System* (MAS) dilakukan oleh Fernanda Santos da Luz dkk, (2015) menggunakan komposit serat *jute*/epoksi/kevlar/ Al_2O_3 keramik. Pengujian balistik dilakukan sesuai standar NIJ dengan amunisi 7,62 mm. Hasilnya, untuk tiga material di lapisan kedua pada MAS adalah serupa. Namun, dalam performa individual tes balistik, aramid (kevlar) menghamburkan lebih sedikit energi, sedangkan komposit serat *jute* dan epoksi lebih efisien.

Penelitian yang dilakukan oleh Jawad Kadhim Oleiwi dkk, (2015) adalah pembuata rompi anti peluru dari komposit Kevlar/*unsaturated* polyester dengan variasi 0% serbuk Al_2O_3 dan 3% Al_2O_3 . Nilai maksimum modulus elastisitas yang diperoleh untuk komposit diperkuat kevlar tanpa Al_2O_3 adalah 1205 MPa pada ($V_f = 43\%$), sedangkan nilai maksimum



modulus elastisitas yang diperoleh untuk komposit diperkuat kevlar dengan AL_2O_3 adalah (500 MPa) pada ($V_f = 43\%$). Kekuatan tarik meningkat dari (95MPa) pada ($V_f = 5\%$) untuk mencapai (237 MPa) pada ($V_f = 43\%$) dari serat kevlar.

2.11 Pelindung Tubuh (*Body Armor*)

2.11.1 Sejarah Pelindung Tubuh (*Body Armor*)

Armor didefinisikan oleh Cavallarro (2011) sebagai bentuk pelindung yang digunakan pada tubuh untuk melindungi diri dari serangan fisik. Menurut Williams (2002), awal mula penggunaan *armor* diperkirakan dimulai pada abad ke 3 sebelum masehi oleh suku Celt berupa baju zirah dari baja. Dengan munculnya senjata api pada tahun 1500-an, maka kebutuhan akan perlindungan dari senjata tersebut meningkat. Munculnya *soft armor* pertama kali menurut sejarah digunakan oleh tentara Jepang pada era *medieval*, tentara tersebut menggunakan bahan sutra sebagai bahan *soft armor*. *Soft armor* pertama kali digunakan di Amerika pada akhir abad ke 19. Lalu generasi terbaru dari rompi balistik, “*Flak Jacket*”, muncul pada masa perang dunia ke-2. Baju pelindung ini terbuat dari nilon balistik. Jaket ini dapat menahan pecahan munisi, namun tidak efektif terhadap senjata pistol dan senapan. Hingga pada akhir era 1960-an, muncul serat baru sebagai bahan utama untuk membuat baju pelindung yang digunakan pada saat ini (Hart.2001).

2.11.2 Rompi Anti Peluru

Rompi anti peluru merupakan salah satu jenis *body armor* yang memiliki fungsi untuk melindungi diri dari peluru. Rompi anti peluru yang ada saat ini umumnya dibuat dengan serat berperforma tinggi (*aramid*, UHMWPE, dsb.) seperti pada Gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Rompi anti peluru yang tipe *soft armor* yang dibuat dengan laminat unidireksional. (Cavallaro, 2011)

2.11.3 Jenis Rompi Anti Peluru

Menurut standar NIJ 0101.06, jenis rompi anti peluru yang ada saat ini, antara lain:

a) *Flexible Body Armor*

Merupakan *Body Armor* yang terbuat dari material berbasis tekstil. Konstruksi *body armor* tersebut berupa rompi yang memberikan area perlindungan yang lebih luas dibandingkan dengan *rigid plate armor*. Secara umum, jenis ini memberikan perlindungan terhadap serangan pistol.

b) *Hard Armor* atau *Rigid Armor*

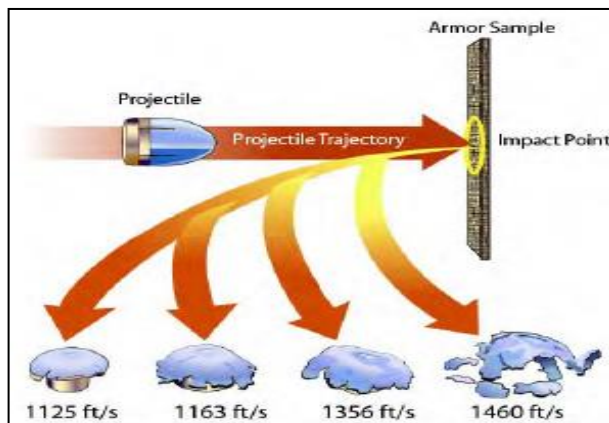
Merupakan *body armor* yang kaku. Di dalam konstruksinya diberikan pelat kaku di dalamnya untuk memberikan perlindungan terhadap serangan senapan.

c) *In-Conjunction Armor*

Merupakan kombinasi antara dua *flexible armor* atau *flexible armor* dengan pelat tambahan yang didesain untuk memberikan perlindungan dari serangan.

2.11.4. Cara Kerja Rompi Anti Peluru

Rompi anti peluru memiliki fungsi untuk mengurangi dampak dari hantaman peluru. Cara kerja rompi anti peluru yakni material yang ada dalam rompi anti peluru akan menahan peluru, menyerap energi impact yang dihasilkan oleh peluru dan disebarkan ke permukaan material sebagai energi panas dan peluru akhirnya terdeformasi (Grant dkk, 2012). Untuk memberikan perlindungan lebih dari *blunt trauma*, diberikan pelat tambahan untuk meningkatkan penyerapan dan penyebaran energi impact pada rompi anti peluru (Cavallarro, 2011). Cara kerja rompi anti peluru dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2. 23 Cara kerja rompi anti peluru dalam menghentikan peluru (Cavallarro, 2011).

Babu dkk, (2007) memberikan *analytical model* dalam memperkirakan *ballistic limit* pada material sasaran yang berbeda ketika terkena impact dari proyektil. Energi kinetik awal yang dimiliki oleh peluru yang bergerak akan sepenuhnya diserap atau sebagian diserap oleh sasaran selama penetrasi peluru. Pembentukan akan terjadi pada saat sebelum mencapai *ballistic limit* dan setelah mencapai *ballistic limit*. Energi yang diserap



oleh target saat terkena impak proyektil dibagi menjadi tiga tahapan, antara lain:

- a) Tahap I : Energi yang terserap akibat defleksi elastis oleh target.
- b) Tahap II : Energi yang terserap oleh target saat ditembusnya sebagian ujung proyektil.
- c) Tahap III : Energi yang terserap oleh target saat ditembusnya bagian utama peluru.

2.11.5. Standar Rompi Anti Peluru

Menurut standar NIJ-0101.06 (Amerika), rompi anti peluru diklasifikasikan kedalam 5 golongan, antara lain:

- a) Tipe IIA (9 mm; .40 S&W):
Jenis rompi ini dapat diuji dengan peluru: 9 mm FMJ RN (*Full Metal Jacket Rounded Nose*) dengan masa spesifik 8,0 g (124 gr) dan kecepatan peluru $355-373 \pm 9,1$ m/s, .40 S&W FMJ (*Full Metal Jacket*) dengan masa spesifik 11,7 g (180 gr) dan kecepatan peluru $325-352 \pm 9,1$ m/s.
 - b) Tipe II (9 mm; .357 Magnum):
Jenis rompi ini dapat diuji dengan peluru: 9 mm FMJ RN (*Full Metal Jacket Rounded Nose*) dengan masa spesifik 8,0 g (124 gr) dengan kecepatan peluru $379-398 \pm 9,1$ m/s dan .357 Magnum JSP (*Jacketed Soft Point*) dengan masa spesifik 10,2 g (158 gr) dan kecepatan peluru $408-436 \pm 9,1$ m/s.
 - c) Tipe IIIA (.357 SIG; .44 Magnum):
Jenis rompi ini dapat diuji dengan peluru: .357 SIG FMJ FN (*Full Metal Jacket Flat Nose*) dengan masa spesifik 8,1 g (125 gr) dengan kecepatan peluru $430-448 \pm 9,1$ m/s dan .44 Magnum SJHP (*Semi Jacketed Hollow Point*) dengan masa spesifik 15,6 g (240 gr) dan kecepatan peluru $408-436 \pm 9,1$ m/s.
-



- d) Tipe III (Senapan):
Dalam golongan ini terdapat 2 jenis *armor*, yakni Tipe III *Hard Armor* (dengan sisipan pelat) dan Tipe III *armor* fleksibel. Tipe ini dapat diuji dengan 7.62 mm FMJ, peluru *steel jacketed* (designasi militer Amerika M80) dengan masa spesifik 9,6 g (147 gr) dan kecepatan peluru $847 \pm 9,1$ m/s.
- e) Tipe IVA (Senapan Tembus *Armor (AP Rifles)*):
Jenis rompi ini juga terdapat 2 tipe, yakni tipe *Hard Armor* dan *Flexible Armor*. Kedua jenis ini dapat diuji dengan peluru empera .30 tembus pelindung (*armor piercing*) dengan masa spesifik 10,88 gr (188 gram) dengan kecepatan peluru $878 \pm 9,1$ m/s.

Di Indonesia, standar rompi anti peluru dibuat oleh Dinas Litbang ABRI yang dikenal dengan Standar Spesifikasi Teknik (SST). Standar tersebut memberikan penilaiannya berdasarkan material anti peluru yang digunakan. Standar rompi tahan peluru untuk personil militer mempunyai standar seperti yang tercantum pada Tabel 2.10.



Tabel 2. 10 Persyaratan Rompi Anti Peluru Untuk Militer (Zubaidi dkk, 2009)

No.	Persyaratan
1	Memberikan kekebalan bagi pemakai terhadap senjata tajam dan tembakan.
2	Rompi anti peluru harus ringan enak dipakai dan tidak mengganggu gerakan
3	Tahan terhadap segala cuaca dan tidak mudah sobek
4	Rompi taktis dan rompi Dakhura dapat memberikan efek kejut kepada lawan (menurunkan moril lawan).
5	Rompi Intel dan WAL/WIP dapat menjamin kerahasiaan.
6	Mudah dalam pemakaian dan pelepasan

Berat panel dipersyaratkan dengan kekuatan dalam menahan peluru yang bergantung pada tipe peluru dan *level*. Persyaratan bobot panel maksimal pada setiap *level* dan setiap standar internasional menurut (Zubaidi dkk, 2009) disajikan pada Tabel 2.11.



Tabel 2. 11 Bobot Maksimal Standar Panel Untuk Rompi Anti Peluru (Zubaidi dkk., 2009).

Tipe	Bobot Maksimal Panel (Kg) pada Level						
	I	IIA	II	II+	III A	III	IV
Model RTP	-	3,2	3,5	3,8	4,1	5,2	6,2
<i>Bullet Proof Vest Prestige</i>	-	2,2	2,4	-	-	-	-
<i>Bullet Proof Vest Surveillance</i>	1,4	2,3	2,5	-	-	-	-
<i>Bullet Proof Vest Underwear</i>	1,0	1,7	2,5	-	-	-	-
<i>Fragmentation Proof Vest Model II (French Army)</i>	1,0	1,7	1,9	-	-	-	-

Terdapat beragam material yang digunakan untuk *body armor*. Hani, dkk. (2012), merangkum beberapa material yang umumnya digunakan pada *body armor*, sebagaimana pada Tabel 2.12.



Tabel 2. 12 Sifat mekanik dari beberapa serat balistik (Hani, dkk. 2012)

Material	Tensile Strength (MPa)	Density (g/cm ³)	Tensile Modulus (GPa)	Elongation (%)
<i>Polypropylene</i>	500	0,829	2	6
<i>E-Glass</i>	2750	2,57	73	2,5
<i>S-Glass</i>	4710	2,48	-	2,8
<i>Carbon Fiber</i>	4000	1,75	131	2,8
<i>Aramid (Kevlar or Twaron)</i>	3200	1,44	131	4

Naik (1994) menyatakan bahwa untuk kondisi benturan balistik yang identik, limitasi balistik lebih tinggi untuk *E-glass/epoxy* daripada *carbon fibre/epoxy* seperti ditunjukkan pada Tabel 2.13. Untuk *E-glass/epoxy*, energi yang diserap oleh deformasi serat sekunder dan kegagalan tarik serat primer adalah mekanisme penyerapan energi utama. Untuk *carbon fibre/epoxy*, mekanisme penyerapan energi utama adalah deformasi serat sekunder dan kekuatan geser.



Tabel 2. 13 Hasil uji dampak balistik untuk tenunan polos E-glass/epoxy dan twill carbon T300 / epoxy composite, $d=5$ mm, $h=2$ mm. (Naik,1994)

	Material		
	<i>Plain wave E- glass/epoxy</i>	<i>Twill weave T300 carbon/epoxy</i>	<i>Twill weave T300 carbon/epoxy</i>
<i>Projectile MassMp (g)</i>	2.8	1.8	2.8
<i>Predicted ballistic limit, Vm (m/s)</i>	159	99	83
<i>Experimental ballistic, Vm (m/s)</i>	150	105	-
<i>Predicted damage size, rd (mm)</i>	9.6	-	-
<i>Experimental damage size, rd (mm)</i>	10	-	-
<i>Predicted surface radius of the core, rf (mm)</i>	35	59	61

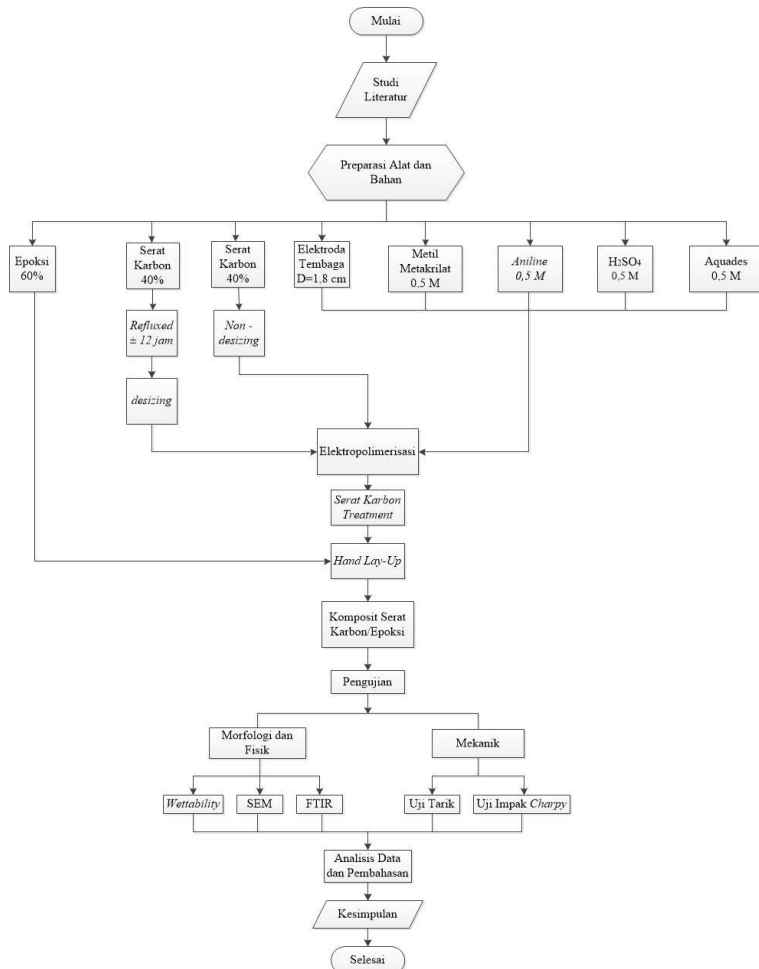


(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



Pada Gambar 3.1 menjelaskan diagram alir penelitian yang dimulai dengan pemahaman teori kemudian menyiapkan alat dan bahan sebelum memulai penelitian. Bahan utama yang dibutuhkan adalah serat karbon, resin epoksi, *methyl methacrylate* (MMA), dan *aniline* (ANi). Bahan ini dibagi menjadi dua kelompok, yaitu pembuatan spesimen CFRP menggunakan serat karbon/epoksi *non desizing* dan pembuatan spesimen CFRP melalui proses elektropolimerisasi menggunakan larutan anilin dan MMA, yaitu, serat karbon/epoksi *desizing*, serat karbon/epoksi/MMA *non desizing*, serat karbon/epoksi/MMA *desizing*, serat karbon/epoksi/anilin *non desizing*, dan serat karbon/epoksi/anilin *desizing*. Kemudian dilakukan proses elektropolimerisasi agar elektrolit mengendap pada lapisan CFRP, setelah itu dilakukan pengujian dan pembahasan.

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Serat Karbon

Serat karbon pada Gambar 3.2 didapatkan dari Ngagel Jaya Kimia (NJK), merupakan salah satu bahan dasar pembentuk komposit yang berfungsi sebagai penguat. Memiliki sifat konduktif sehingga mudah menghantarkan listrik. Serat karbon yang digunakan memiliki pola *plain weave* (1x1).



Gambar 3. 2 Serat Karbon



2. Epoksi

Epoksi pada Gambar 3.3 merupakan bahan polimer yang berfungsi sebagai matriks dalam pembentukan komposit serat karbon. Epoksi didapatkan dari Justus Kimiaraya.



Gambar 3. 3 Resin Epoksi

3. *Methyl Methacrylate* (MMA)

Methyl Methacrylate (MMA) pada Gambar 3.4 adalah senyawa organik dengan rumus $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$. Ini adalah cairan tak berwarna. *Methyl methacrylate* didapatkan dari Sumber Ilmiah Persada (SIP).



Gambar 3. 4 *Methyl Methacrylate* (MMA)



4. Anilin

Anilin pada Gambar 3.5 merupakan bahan bersifat cair berwarna bening kekuningan. *aniline* didapatkan dari Sumber Ilmiah Persada (SIP).



Gambar 3. 5 Anilin

5. Larutan Aquades

Aquades pada Gambar 3.6 merupakan larutan dengan tingkat kemurnian yang tinggi, digunakan untuk membilas serat karbon setelah direndam dalam elektrolit.



Gambar 3. 6 Aquades



6. Alkohol

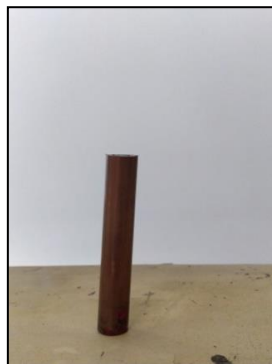
Metanol Gambar 3.7 merupakan larutan alkohol tak berwarna (bening) digunakan untuk membersihkan elektroda tembaga setelah pemakaian di beda elektrolit.



Gambar 3. 7 Alkohol

7. Elektroda Cu

Elektroda Cu pada Gambar 3.8 sebagai elektroda pembantu. Bermuatan positif sebagai anoda. As/Rod Cu didapatkan di PT. Sutindo Sejahtera.



Gambar 3. 8 Elektroda Cu.



8. H_2SO_4
 H_2SO_4 pada Gambar 3.9 digunakan sebagai katalis untuk anilin dan *methyl methacrylate*.



Gambar 3. 9 Asam Sulfat (H_2SO_4).

9. *Acetone*
Acetone pada Gambar 3.10 digunakan untuk *desizing* atau memurnikan kembali serat karbon yang sudah di-coating saat fabrikasi.



Gambar 3. 10 *Acetone*.



3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

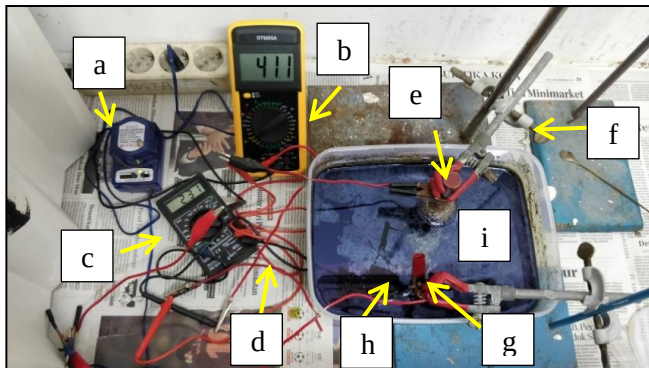
1. *Aluminium Foil*
Digunakan untuk melapisi cetakan saat membuat komposit serat karbon/epoksi dan juga melapisi sebagian area elektroda tembaga saat proses elektropolimerisasi.
2. Gelas Ukur
Untuk mengukur volume elektrolit yang dibutuhkan.
3. Kuas
Kuas digunakan untuk meratakan matriks saat dituangkan ke serat karbon.
4. Kabel
Kabel digunakan untuk menghantarkan listrik ke elektroda.
5. Penjepit Buaya
Penjepit buaya disambungkan pada kabel untuk menahan elektroda pembantu dan elektroda kerja.
6. Wadah/*Batch*
Wadah digunakan sebagai tempat elektrolit dan proses elektropolimerisasi dan proses *refluxed*
7. Selang
Selang digunakan untuk mengaliri air dari wadah ke *condenser* kemudian ke wadah kembali.
8. *Condensor*
Condensor digunakan untuk mendinginkan air yang mendidih agar uap *acetone* kembali ke gelas kimia.
9. Spatula/Sendok
Spatula atau sendok digunakan untuk mengambil bahan dan mengaduk bahan.
10. *Power Supply*
Power supply memberikan arus listrik yang diinginkan untuk dialirkan ke elektroda.



11. Multimeter
Multimeter sebagai alat untuk mengukur tegangan dan kuat arus.
12. Mesin uji Scanning Electron Microscopy (SEM)
Digunakan untuk mengamati morfologi permukaan komposit *fibrecarbon/epoxy*. Mesin Uji SEM yang digunakan adalah tipe Phenom ProX, milik Laboratorium Karakteristik Material Departemen Teknik Material FTI-ITS.
13. Mesin Uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)
Digunakan untuk mengamati rantai dan gugus fungsi pada komposit *fibrecarbon/epoxy*. Uji FTIR menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicolet IS10 milik Laboratorium Karakterisasi, Departemen Teknik Material FTI-ITS.
14. Uji *Wettability*
Uji *wettability* digunakan untuk mengetahui sudut *contact angle* permukaan sampel dengan cara menteteskan air.
15. Mesin Uji Tarik
Digunakan untuk mengukur kekuatan tarik dari komposit serat karbon/epoksi. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material FTI-ITS
16. Mesin Uji Impak *Charpy*
Digunakan untuk menganalisa kemampuan dari material komposit komposit Serat karbon/Epoksi terhadap serangan impact. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS.



Proses Elektropolimerisasi yang ditunjukkan oleh
Gambar 3.11



Gambar 3. 11 Proses Elektropolimerisasi

Gambar 3.11 mendeskripsikan alat dan bahan yang digunakan ssat proses elektropolimerisasi, yaitu

- a. *Power Supply*
- b. *Amperemeter*
- c. *Voltameter*
- d. Kabel
- e. Anoda Cu
- f. Statif dan klem
- g. Pencapit Buaya
- h. Katoda Serat Karbon
- i. Elektrolit (Aquades, HCl, MMA/Anilin)



3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis polimer sebagai elektrolit untuk melapis *carbonfibre/epoxy* yaitu, *methyl Methacrylate* (MMA), dan *aniline* dengan komposisi seperti Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Komposisi komposit serat karbon/epoksi.

No	Material	Komposisi			Waktu rendam Serat Karbon (menit)
		Serat Karbon	Resin (60%)		
			Epoksi A	Curing Agent B	
1	Komposit Serat Karbon/Epoksi	40%	50%	50%	±30
2	Komposit Serat Karbon <i>desizing</i> /Epoksi	40%	50%	50%	±30
3	Komposit Serat Karbon/Epoksi /Anilin	40%	50%	50%	±30
4	Komposit Serat Karbon <i>desizing</i> /Epoksi /Anilin	40%	50%	50%	±30
5	Komposit Serat Karbon/Epoksi /MMA	40%	50%	50%	±30
6	Komposit Serat Karbon <i>desizing</i> /Epoksi /MMA	40%	50%	50%	±30

3.5 Prosedur Penelitian



Gambar 3. 12 Tahap pembuatan spesimen komposit serat karbon/epoksi.

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan



yang akan dilakukan hingga didapatkan hasil berupa komposit *carbonfibre/epoxy* yang dilapisi dengan MMA/Anilin.

Ditunjukkan dengan Gambar 3.12.

1. Mempersiapkan semua alat dan bahan.
2. Membuat larutan elektrolit dengan mencampurkan larutan MMA/ANi dengan H_2SO_4 (*initiator*) dan H_2O (air) sesuai komposisi yang sudah ditentukan.
3. Menuangkan hasil campuran dari setiap MMA dan *aniline* ke wadah masing-masing yang tertutup rapat untuk dijadikan elektrolit dalam proses elektropolimerisasi.
4. Serat karbon yang ingin di *desizing*, dilakukan proses *refluxed*. Sebaliknya, serat karbon *non desizing* langsung dicampur dengan epoksi.
5. Memasang rangkaian kabel dihubungkan dengan adapter untuk mengaliri listrik sebesar 2.17 V-2.85 V dan 0.04 A.
6. Memasang tiga jenis elektroda, yaitu elektroda kerja (serat karbon), dan elektroda pembantu (*As/Rod tembaga*) untuk dihubungkan ke elektrolit.
7. Melakukan proses elektropolimerisasi selama 30 menit untuk masing-masing spesimen.
8. Setelah elektropolimerisasi dilakukan, serat karbon diangkat dan dibilas dengan aquades.
9. Dilakukan pengeringan kurang lebih sehari dalam temperatur ruangan
10. Mencampur epoksi A dengan *curing agent* dengan komposisi 50:50
11. Serat karbon kemudian di *lay up* dengan kuas dan dicampur dengan epoksi.
12. Komposit dikeringkan kurang lebih 24-48 jam
13. Melakukan preparasi untuk setiap pengujian.
14. Melakukan pengujian terhadap spesimen.



3.6 Pengujian

1. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian SEM/EDX dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS seperti yang ditunjukkan Gambar 3.13. Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi komposit yang belum dan sudah dielektropolimerisasi. Pengujian yang dilakukan dilengkapi dengan EDX sehingga dapat mengidentifikasi unsur yang ada pada spesimen. 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* discan-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. 13 Mesin *Scanning Electron Microscopy*.



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

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya menggunakan instrumen *Thermo Scientific Nicolet IS10* seperti yang ditunjukkan Gambar 3.14. 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 (Stuart, 2004).

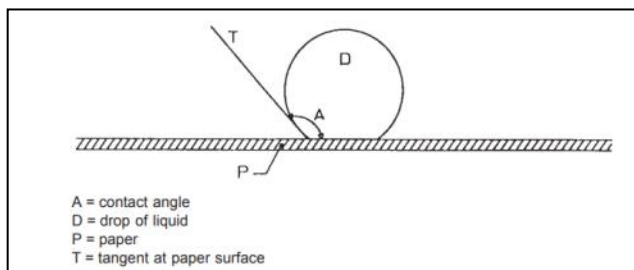


Gambar 3. 14 Mesin FTIR.



3. Pengujian *Wettability*

Pengujian *wettability* dilakukan berdasarkan ASTM D7334 – 08 seperti Gambar 3.15. Mentetaskan 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. 15 Ilustrasi sudut kontak.

4. Pengujian Impak *Charpy*

Pengujian impak dilakukan di Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS seperti yang ditunjukkan Gambar 3.16. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa kemampuan dari material komposit Serat karbon/epoksi terhadap impak.. Metode pengujian impak pada penelitian ini menggunakan mesin uji impak metode *Charpy*. Standar yang digunakan pada pengujian impak

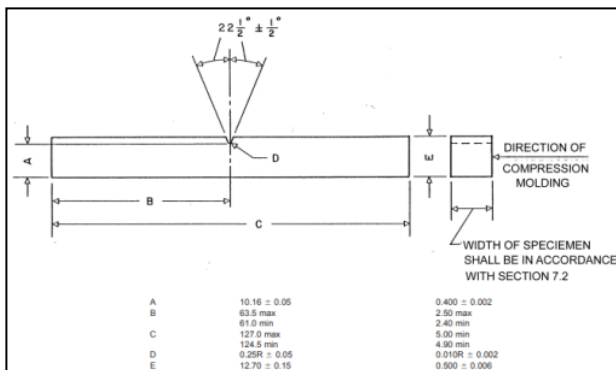


Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

Charpy untuk komposit serat karbon/epoksi menggunakan ASTM D6110-04 seperti Gambar 3.17. Spesimen diletakkan mendatar dan kedua ujung spesimen ditumpu pada suatu landasan. Letak takikan (*notch*) tepat ditengah dengan arah pemukulan dari belakang takikan. Alat yang digunakan bermerek Wolfrund dengan beban impak maksimum 150 J.



Gambar 3. 16 Mesin Uji Impak *Charpy*.



Gambar 3. 17 Dimensi Beam Sederhana, Tipe *Charpy*, Spesimen Uji Impak.



Pada pengujian impak, energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan joule dan dibaca langsung pada skala (dial) penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji. Harga impak (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode *charpy* :

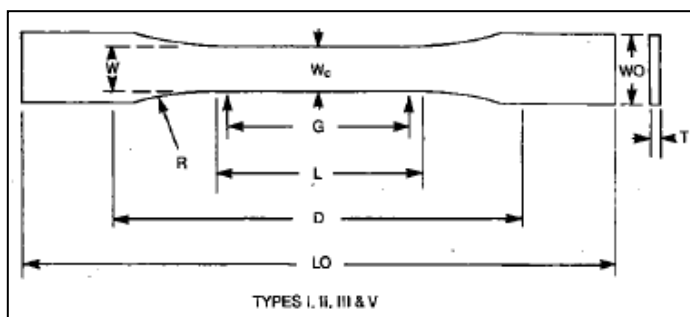
$$HI = E/A \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.1}$$

dimana, E = energi yang diserap (joule).

A = luas penampang di bawah takik (mm^2)

5. Uji Tarik

Uji tarik dilakukan sesuai dengan standar American Society for Testing Materials (ASTM) D638 seperti Gambar 3.18, memakai tipe I dengan dimensi sesuai Tabel 3.2. Pengujian tarik dilakukan di Departemen Teknik Material untuk mengetahui kekuatan komposit serat karbon/epoksi untuk menerima beban *out-of-plane*. Salah satu cara untuk menganalisa kemampuan komposit tersebut yakni melalui uji tarik. Sistem mesin uji tarik bekerja dengan memberikan beban tarik secara konstan hingga spesimen mengalami kegagalan.



Gambar 3. 18 Dimensi spesimen uji tarik menurut ASTM D638.(ASTM, 2008)



Tabel 3. 2 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638.(ASTM, 2010)

Dimensi	Tipe I (mm)	Tipe II (mm)	Tipe III (mm)	Tipe V (mm)	Toleransi (mm)
W	13	6	19	3.18	± 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 :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.2}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.3}$$

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)



3.7 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan penelitian dan rancangan jadwal penelitian seperti pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 di bawah.

Tabel 3. 3 Perlakuan Serat Karbon.

Kode Sampel Serat Karbon	Elektropolimerisasi		Pengujian	
	Anilin	MMA	Wettability	FTIR
<i>Non Desizing</i>				
CF 1	-	-	√	√
CF 2	-	√	√	√
CF 3	√	-	√	√
<i>Desizing</i>				
CF 5	-	-	√	√
CF 6	-	√	√	√
CF 7	√	-	√	√

Tabel 3. 4 Pembuatan Komposit.

Kode Sampel Komposit	Material (% massa)		Pengujian		
	Serat Karbon	Epoksi	Uji Tarik	Uji Impak Charpy	SEM
CFRP 1	40	60	√	√	√
CFRP 2	40	60	√	√	√
CFRP 3	40	60	√	√	√
CFRP 4	40	60	√	√	√
CFRP 5	40	60	√	√	√

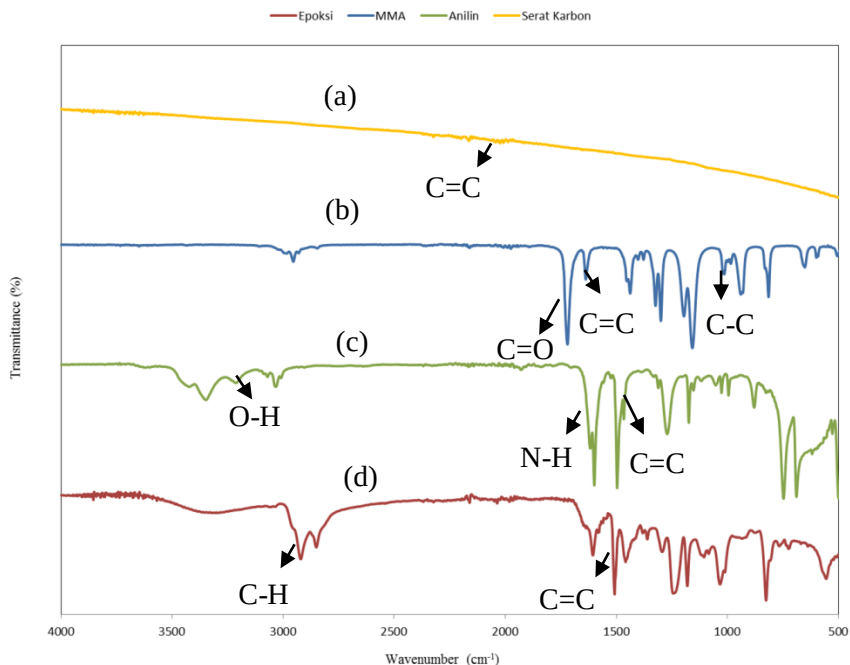


(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*



Gambar 4. 1 Spektra FTIR dari (a) Serat Karbon (SK), (b) MMA, (c) Anilin, dan (d) Epoksi.

Grafik FTIR terdapat *Transmittance* (%) yang mewakili besarnya transmisi atau perpindahan energi efektif yang terjadi selama reaksi, sedangkan *Wavenumbers* (cm^{-1}) mewakili panjangnya gelombang yang dihasilkan pada saat reaksi. Gelombang tersebut memiliki titik-titik puncak yang menandakan



terjadinya hambatan transmisi energi efektif dan memiliki arti telah terjadi aktivitas transformasi ikatan. Dari hasil pengujian pada bahan dasar pembentuk komposit, didapat data seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Karakteristik gugus fungsi MMA, anilin, epoksi, dan serat karbon.

Gugus Fungsional				
No	Bahan	Peak	Gugus Fungsional	Jenis Ikatan
1	MMA	2954.12	C-H	Alkane
		1719.85	C=O	Carboxylic Acids
		1637.56	C=C	Alkene
		1377.67	C-O	Carboxylic Acids
		1299.68	C-O	Ester
		1195.89	C-O	Ether
		1157.9		
		1013.88	C-C	Alkane
2	Anilin	3347.39	N-H	Amines
		3213.61	O-H	Carboxylic Acids
		3034.47	C-H	Aromatic
		1617.35	N-H	Amines
		1466.07	C=C	Aromatic
		1271.17	C-N	Amines
		1173.98	C-O	Carboxylic Acids
		1052.73	C-O	Alcohol
		747.55	N-H	Amines



3	Epoksi	3295.69	C-H	<i>Aromatic</i>
		2920.9	C-H	<i>Alkane</i>
		2850.88	C-H	
		1605.6	C-C	<i>Aromatic</i>
		1507.84	C=C	<i>Aromatic</i>
		1458.82		
		1243.88	C-O	<i>Alcohol</i>
		1180.53	C-O	<i>Aliphatic</i>
		1033.47	C-O	<i>Symetrical Aromatic</i>
		826.06	C-C	<i>Alkane</i>
4	Serat Karbon	2163.82	C=C	<i>Alkenes</i>
		2024.92		

Gambar 4.1 menunjukkan bahan dasar pada penelitian ini. Pada *methyl methacrylate*, *peak* $2,952\text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus fungsi C-H untuk vibrasi peregangan dari grup $-\text{CH}_3$ dan $-\text{CH}_2$. Kemudian terdapat *grup acrylate carboxyl* yang ditunjukkan dengan *peak* 1719.85 cm^{-1} dan gugus fungsi C=O. Mulai 1157.9 cm^{-1} hingga 1377.67 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan peregangan C-O-C (Duan G. dkk, 2008).

Hasil spektrum inframerah anilin, sesuai data referensi (Hiahua Zhu dkk, 2013) terdapat kecocokan antara keduanya. Pada 1466.07 cm^{-1} terdapat gugus fungsi C=C *aromatic benzoid*, 1271.17 cm^{-1} terdapat gugus fungsi C-N *amines*, 3034.47 cm^{-1} terdapat gugus fungsi C-H *aromatic* (Elena dkk, 2012).

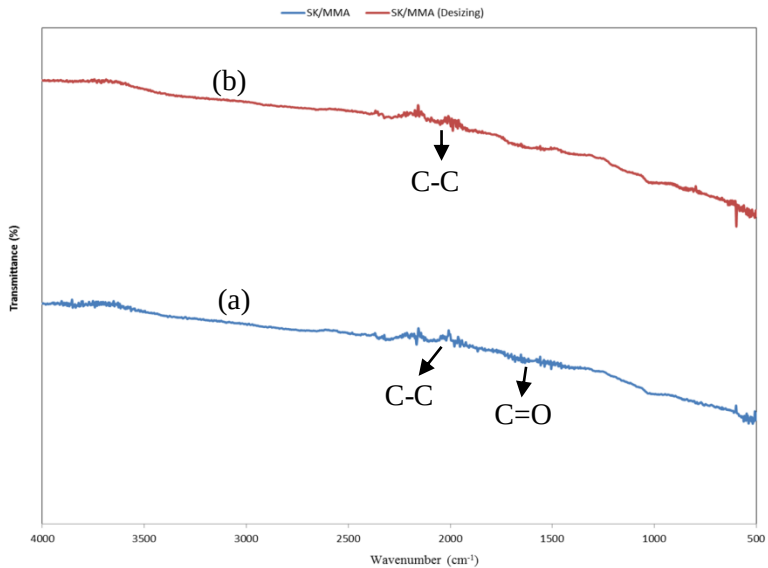
Struktur molekul epoksi memiliki gugus fungsi antara lain gugus aromatik benzena, eter, alkohol dan gugus ester. Pada



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).

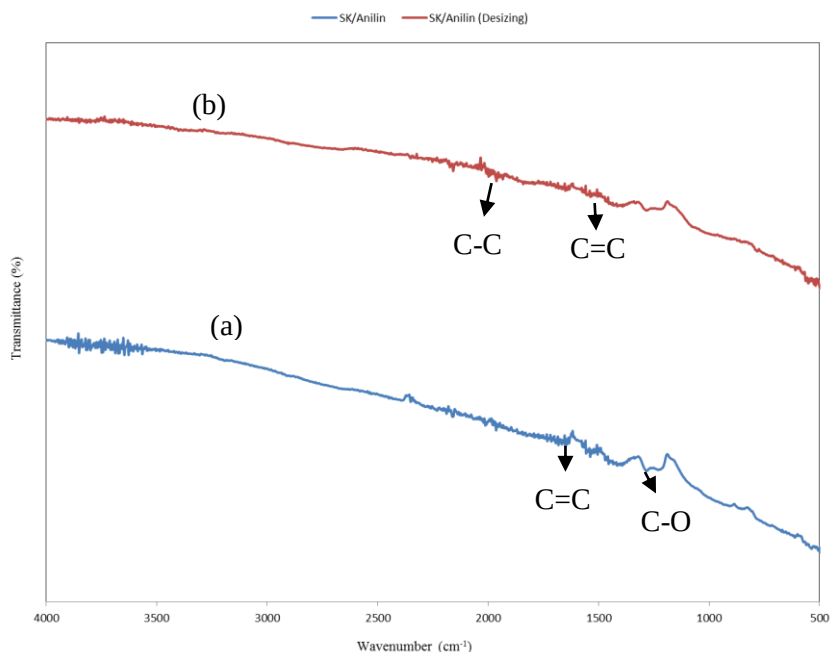
(Kai-Bing Hung, dkk. 2008) mengatakan bahwa elektropolimer dapat memberikan sifat *wettability* yang menguntungkan terhadap resin matrik dengan munculnya kelompok aktif seperti $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, dan $-\text{COOH}$, yang juga dapat meningkatkan adesi interfasial dalam komposit.

Pada serat karbon, terdapat gugus fungsi peregangan C=C dengan intensitas kuat, yaitu pada *wavenumber* 2163.82 cm^{-1} dan 2024.92 cm^{-1} (A. Skoog, 2006). Serat karbon kemudian ada yang di-*desizing*, setelah itu di elektropolimerisasi dalam larutan asam yang dicampur dengan anilin dan *methyl methacrylate* (MMA). Hasil dari FTIR menunjukkan perbedaan pada nilai *peak* nya dan terdapat perubahan gugus fungsi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan 4.3



Gambar 4. 2 FTIR (a) SK/MMA dan (b) SK *desizing*/MMA.

Gambar 4.2 (a) merupakan serat karbon (SK)/MMA, mempunyai puncak terletak pada $1634,04 \text{ cm}^{-1}$ dan $1682,7 \text{ cm}^{-1}$ yang ditetapkan sebagai C=O dan puncak $2105,32$ yang ditetapkan sebagai C-C. Menurut (Baicheng Weng, dkk. 2014), observasi hasil FTIR ini menandakan bahwa interaksi antara MMA dan SK mengubah asimetri dan menimbulkan gugus fungsi C=O dari kelompok MMA.



Gambar 4. 3 FTIR (a) SK/Anilin dan (b) SK (*desizing*)/Anilin.

Pada Gambar 4.3 menunjukkan spektra dari serat karbon (SK) anilin *desizing* dan serat karbon (SK) anilin *non desizing*. Gambar 4.3 (a) Gambar 4.3 mempunyai puncak $1281,97\text{ cm}^{-1}$ dengan gugus fungsi C-O merupakan *carboxylic Acids* dan puncak $1651,12\text{ cm}^{-1}$ adalah *alkene* (C=C) (b) mempunyai puncak $1537,75\text{ cm}^{-1}$ dan $1651,12\text{ cm}^{-1}$ dengan gugus fungsi C=C merupakan *aromatic* dan *alkene* dan $2158,41\text{ cm}^{-1}$ dengan gugus fungsi C-C merupakan *alkyne*. Anilin yang muncul pada *peak* $1600, 1500, 1200, \text{ dan } 470\text{ cm}^{-1}$, menurut (Aydin & Jude, 2010) *peak* tersebut merupakan C=N *stretch*, C-N *stretch*, N-H *deformation* dan *p-substituted benzene ring*.

4.2 Analisis *Scanning Electron Microscope*

Analisis morfologi pada umumnya digunakan untuk mengetahui perilaku suatu material dan menentukan karakteristik material. SEM bertujuan untuk analisis morfologi dan mengetahui perilaku dari suatu material, pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ikatan antara matriks dengan seratnya pada material, kegagalan material, dan menentukan ukuran serat satuan pada Komposit Serat Karbon/Epoksi/MMA/Anilin. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) menggunakan mesin FEI INSPECT S50 dengan tegangan 10.000 kV. Sampel yang digunakan pada pengambilan gambar SEM adalah spesimen hasil uji tarik material Komposit Serat Karbon/Epoksi/MMA/Anilin yang dipotong secara *cross section*.



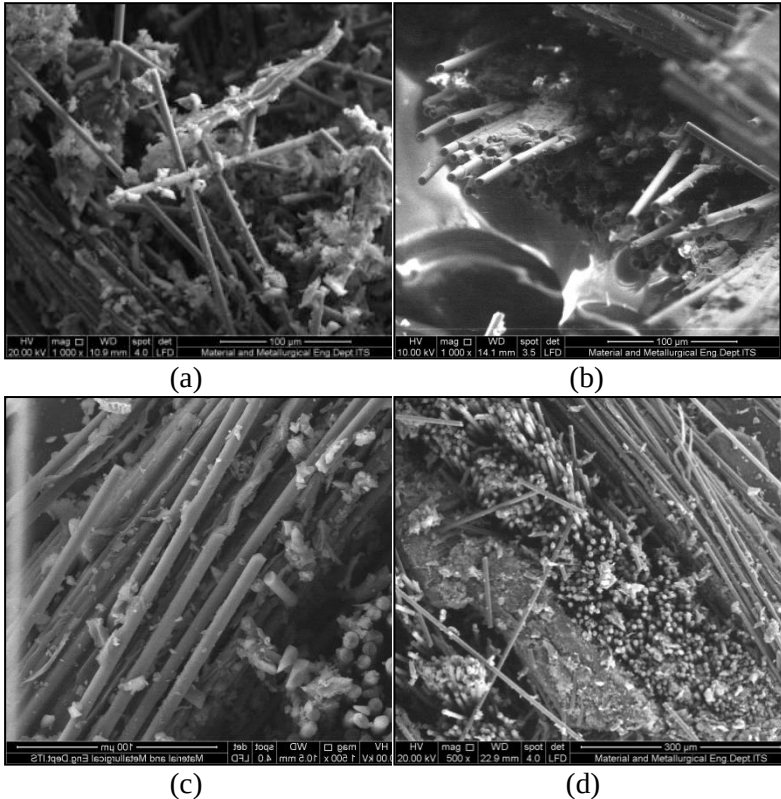
Gambar 4. 4 Bentuk patahan spesimen uji tarik material komposit Serat Karbon/Epoksi dengan variasi serat: (a) SK/Anilin dan (b) SK.

Gambar 4.4 menunjukkan bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji tarik material Komposit Serat Karbon/Epoksi. Dilihat dari spesimen di atas, terdapat beberapa tipe kegagalan yang terjadi. Secara visualisasi, bahwa pada Gambar 4.4 (a) dan (b) terdapat serat yang menjalar keluar dan patah secara tak beraturan merupakan kegagalan *fiber breaking*, *debonding* dan *fiber pullout*. Namun, ada komposit tidak patah sepenuhnya, melainkan hanya terjadi pergeseran dan terdapat lapisan yang



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

terlepas dari ikatan lapisan lainnya merupakan kegagalan *delamination*.

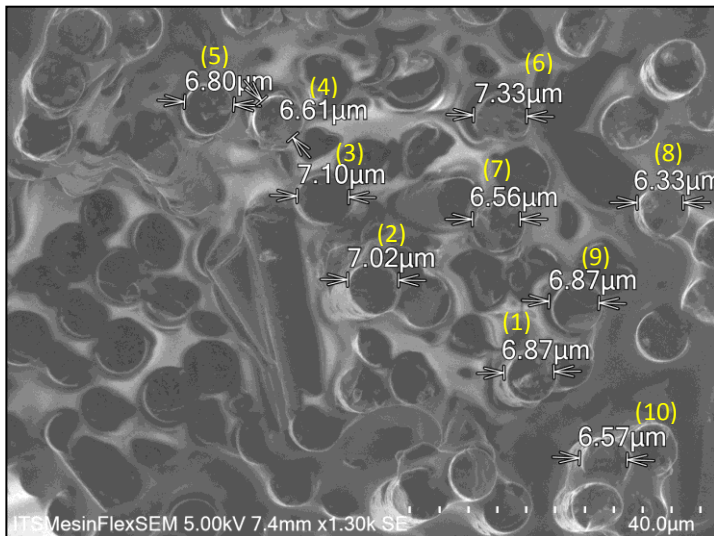


Gambar 4.5 Mikrografi SEM (1000x) material Komposit Serat Karbon/Epoksi, (a) SK (*desizing*)/Epoksi/Anilin, (b) SK /Epoksi, (c) SK/Epoksi/MMA, (d) SK (*desizing*)/Epoksi/MMA.

Hal ini didukung dari hasil pengujian SEM yang menunjukkan bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji tarik material komposit serat karbon (SK)/epoksi. Dari Gambar 4.5 (a),

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

terlihat patahan pada serat karbon yang terjadi karena serat tidak mampu menerima gaya atau beban. Perpatahan ini terjadi jika regangan penguat/serat lebih rendah dari pada regangan matriks, sehingga saat menerima beban, pertambahan panjang matriks tidak diikuti oleh pertambahan panjang penguat atau serat. Gambar 4.5 (b) memperlihatkan kegagalan *fiber pull out*, dilihat dari tertariknya serat karbon keluar dari matriksnya pada saat terjadinya regangan saat serat mengalami patah, sebagai akibat adanya peristiwa *debonding*. Gambar 4.5 (c) menunjukkan peristiwa *debonding*, disebabkan gaya adesi antara penguat dan matriks yang lemah. Selain itu kemampuan matriks untuk mengisi ruang antara serat juga sangat mempengaruhi. Gambar 4.5 (d) menunjukkan peristiwa *delamination* yang mengakibatkan ketangguhan komposit menurun.



Gambar 4. 6 Mikrografi SEM serat karbon (5000x) dengan ukuran seratnya.



Gambar 4.6, terlihat serat karbon berbentuk silinder sebagai pengisi komposit. Diameter dari serat tersebut dapat diketahui dengan mengukur diameter dari beberapa titik serat yang terlihat dan mengambil rata rata ukuran serat tersebut. Diameter dari beberapa titik serat dituliskan dalam Tabel 4.2. Ukuran serat karbon berpengaruh terhadap proses peresapan atau infiltrasi matriks untuk melapisi serat karbon. Menurut Folley dan Gillespie (2004), semakin kecil jari-jari serat karbon, waktu infiltrasi meningkat terutama karena penurunan yang signifikan pada permeabilitas serat. Diameter serat secara langsung mempengaruhi kekuatan dan porositas serat individu (Singha dkk, 2012).

Tabel 4. 2 Diameter serat karbon pada material komposit serat karbon/epoksi

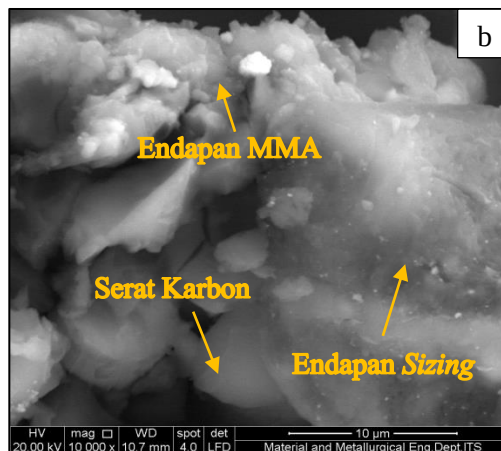
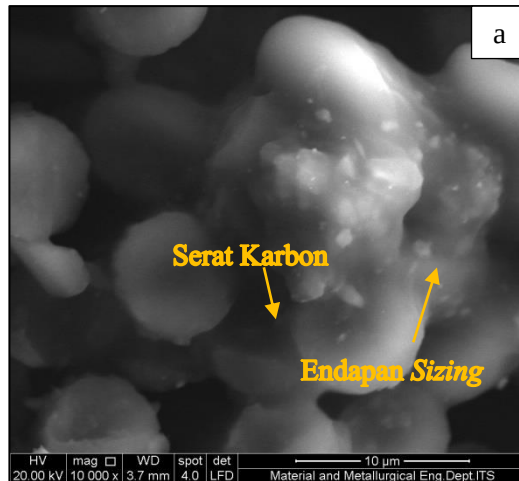
Kode Serat	Diameter (μm)	Rata-rata Diameter (μm)
1	6,87	$6,80 \pm 0,23$
2	7,02	
3	7,10	
4	6,61	
5	6,80	
6	7,33	
7	6,56	
8	6,33	
9	6,87	
10	6,57	

Dari Tabel 4.2, diketahui nilai beberapa titik serat seperti pada Gambar 4.6 antara lain, pada titik 1 diameter serat berukuran $6,87\mu\text{m}$. pada titik 2, diameter serat berukuran $7,02\mu\text{m}$. Pada titik 3, diameter serat berukuran $7,10\mu\text{m}$, titik 4 diameter serat berukuran $6,61\mu\text{m}$, titik 5 diameter serat berukuran $6,80\mu\text{m}$, titik 6 diameter serat berukuran $7,33\mu\text{m}$, titik 7 diameter serat

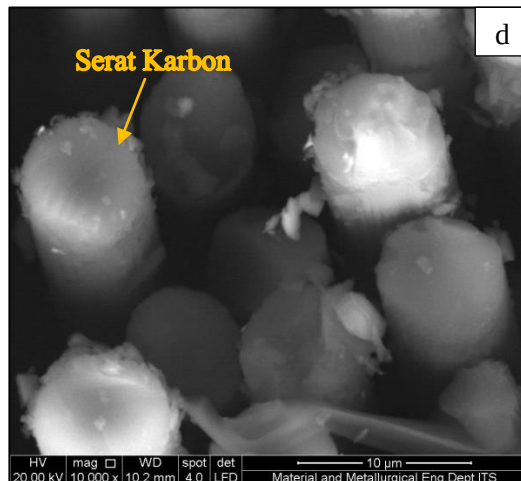
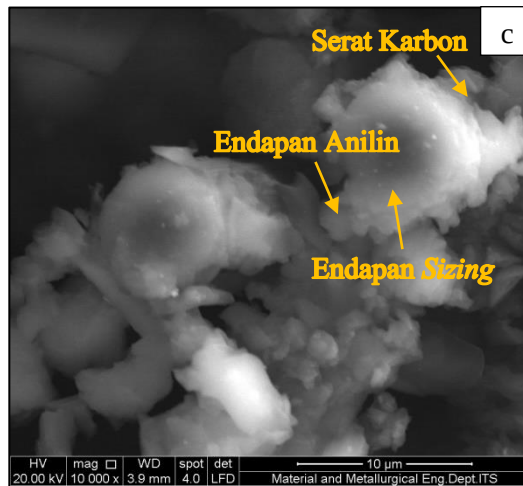


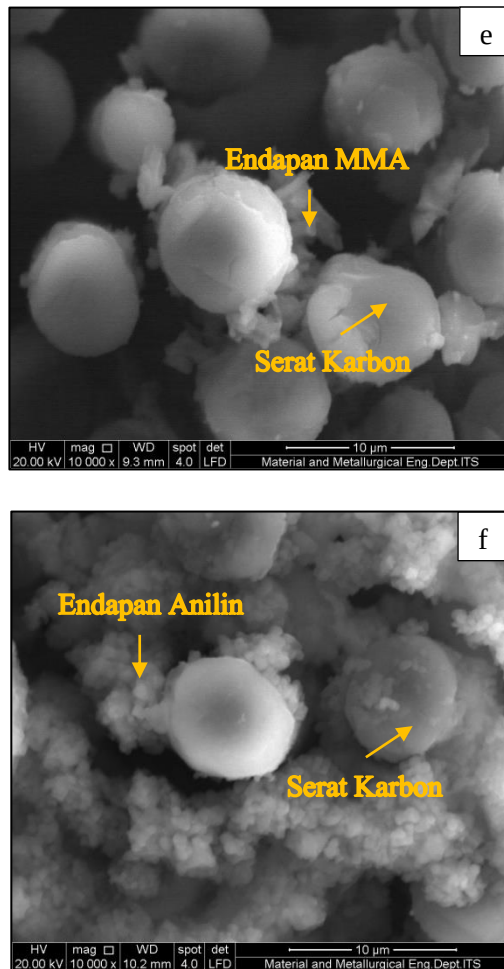
Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

berukuran $6,56 \mu\text{m}$, titik 8 diameter serat berukuran $6,33 \mu\text{m}$, titik 9 diameter serat berukuran $6,87 \mu\text{m}$ dan , titik 10 diameter serat berukuran $6,57 \mu\text{m}$. Jadi, rata-rata ukuran dari serat karbon ini adalah berdiameter $6,80 \pm 0,23 \mu\text{m}$.



BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN





Gambar 4. 7 Mikrografi SEM (10000x) (a) permukaan SK , (b) permukaan SK /MMA, (c) permukaan SK /Anilin, (d) permukaan SK desizing, (e) permukaan SK desizing/MMA dan (f) permukaan SK desizing/Anilin.



Gambar 4.7 (a) menunjukkan serat karbon (SK) *non desizing* tanpa perlakuan apapun, hasilnya terlihat serat karbon dan terdapat endapan, yaitu merupakan *sizing* yang berfungsi sebagai pelapis (*coating*) serat karbon. Terbentuk saat proses manufaktur serat karbon berupa polimer. *Sizing* ini mengandung atom karbon aktif, seperti hidroksil, karboksil dan *ether* (Dai, 2011). Gambar 4.7 (b) dan (c) menunjukkan serat karbon (SK) *non desizing* dielektropolimerisasi dengan *methyl methacrylate* (MMA) dan anilin. Hasilnya terdapat endapan MMA atau anilin yang membentuk aglomerat dan yang menyelimuti serat karbon secara rata. Selain itu, terdapat *sizing* yang masih menempel pada serat karbon. Gambar 4.7 (d) menunjukkan serat karbon (SK) *desizing* (penghilangan) yang di-*refluxed* menggunakan *acetone* selama ± 12 jam. Hasilnya terlihat sebagian besar *sizing* sudah hilang dan serat karbon lebih mendominasi. Terdapat gumpalan endapan yang diidentifikasi sebagai MMA (Gambar 4.7 e) dan anilin (Gambar 4.7 f). Kedua gambar memiliki kesamaan, yaitu lapisan MMA atau anilin yang didepositkan muncul menjadi lapisan yang homogen tetapi mempunyai struktur kasar terdiri dari banyak aglomerat yang terdistribusi secara merata. Pada gambar yang ditunjukkan anak panah adalah MMA dan anilin sebagai lapisan yang didepositkan pada serat karbon.

Perlu dicatat bahwa hanya beberapa serat yang benar-benar dilapisi tetapi serat lainnya dari bundel tetap tidak dilapisi. Menurut Wettmarshausen, dkk (2015) tidak cukup kontak listrik dari serat-serat ini ditemukan menjadi alasan untuk kurang sempurnanya pelapis yang mengendap pada serat. Morfologi ini ditafsirkan sebagai pengendapan tanpa adanya pelarut, sehingga aglomerat tidak dapat larut. Aglomerat diasumsikan terbentuk karena adanya *charging*.

Komposisi kimia lapisan yang terbentuk ini ditunjukkan dengan hasil EDAX pada Tabel 4.3. Hasil yang sama ditunjukkan oleh SK/MMA (*desizing* dan *non desizing*) dan SK (*desizing* dan *non desizing*), namun dengan presentase karbon dan oksigen



yang berbeda. Berdasarkan Dai dkk, (2011), pada permukaan *sized* dan *desized* serat karbon yang mereka teliti, terdapat dua unsur utama yaitu karbon dan oksigen. Untuk SK/anilin, selain mengandung unsur C dan O, terdapat juga unsur N. Hal ini sesuai dengan hasil FTIR anilin yang mengandung amina (N-H). Sehingga dapat diindikasikan bahwa MMA dan anilin menempel pada serat karbon.

Tabel 4. 3 Hasil EDAX material komposit.

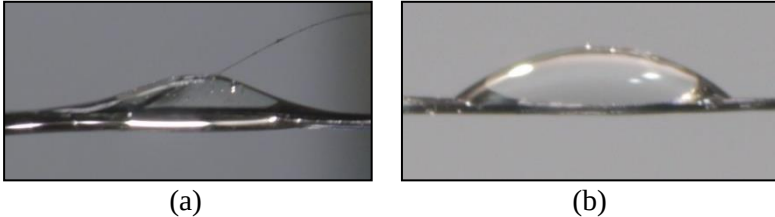
No	Material	Unsur	At%
1	SK	C	62.15
		O	37.85
2	SK <i>desizing</i>	C	87.65
		O	12.35
3	SK/MMA	C	57.03
		O	41.40
4	SK (<i>desizing</i>)/MMA	C	52.47
		O	45.86
5	SK/Anilin	C	65.30
		O	28.25
		N	6.45
6	SK (<i>desizing</i>)/Anilin	C	57.64
		O	23.00
		N	9.73

4.3 Analisis Kemampubasahan (*Wettability*)

Pengujian *wettability* bertujuan untuk menentukan sifat kemampubasahan pada suatu material. Dengan melakukan perhitungan, akan diketahui sifat adesi yang bagus atau buruk. Pada pengujian *wettability* ini, tetesan epoksi pada serat diamati dan difoto menggunakan kamera makro dengan jarak

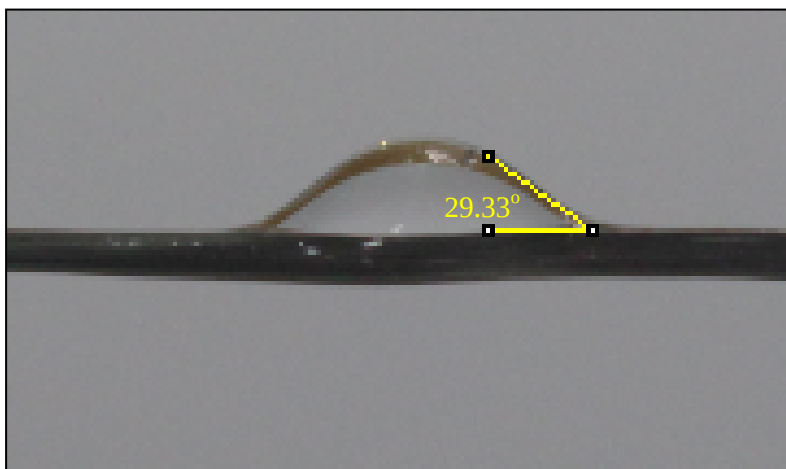


pengambilan gambar 10 cm dari serat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9



Gambar 4. 8 Droplet matrik epoksi pada serat karbon (a) SK (desizing)/Anilin dan (b) SK (*desizing*).

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 4.10 Menunjukkan contoh pengambilan sudut kontak antara serat-matrik. Tabel 4.5 merupakan nilai sudut kontak untuk setiap spesimen yang dihitung melalui *software Image J*.

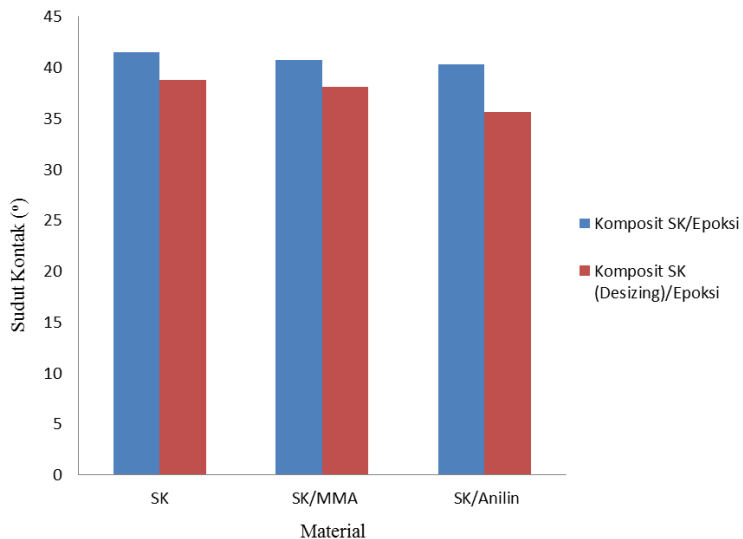


Gambar 4. 9 Sudut kontak pada SK (*non desizing*).

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. 4 Data hasil pengujian *wettability*.

Spesimen	Sudut Kontak ($^{\circ}$)	Keterangan
<i>Non-Desizing</i>		
SK	$41,48^{\circ} \pm 9,93^{\circ}$	Mampu basah sedang
SK /MMA	$40,75^{\circ} \pm 3,70^{\circ}$	Mampu basah sedang
SK /Anilin	$40,30^{\circ} \pm 9,3^{\circ}$	Mampu basah sedang
<i>Desizing</i>		
SK	$38,73^{\circ} \pm 12,66^{\circ}$	Mampu basah sedang
SK /MMA	$38,06^{\circ} \pm 5,99^{\circ}$	Mampu basah sedang
SK /Anilin	$35,58^{\circ} \pm 8,75^{\circ}$	Mampu basah sedang



Gambar 4. 10 Grafik nilai *wettability* SK/epoksi dan SK *desizing*/epoksi dengan variasi serat: Serat Karbon (SK), Serat Karbon (SK)/MMA, dan Serat Karbon (SK)/Anilin.

Hasil dari Tabel 4.5 dan Gambar 4.11 diketahui untuk mampu basah yang optimal saat matriks kontak dengan serat karbon *desizing* (penghilangan), dengan sudut kontak $38,73^{\circ} \pm 12,66^{\circ}$, SK (*desizing*)/MMA dengan sudut kontak $38,06^{\circ} \pm 5,99^{\circ}$, dan SK (*desizing*)/anilin dengan sudut kontak $35,58^{\circ} \pm 8,75^{\circ}$, respon *trendline* pengaruh *desizing* dan elektropolimerisasi dengan anilin atau MMA cenderung meningkat. untuk variasi *non desizing* (tanpa proses penghilangan) memiliki *trend* yang meningkat dan cenderung memiliki mampu basah yang sedang dengan sudut kontak SK $41,48^{\circ} \pm 9,93^{\circ}$, SK (*desizing*)/MMA dengan sudut kontak $40,75^{\circ} \pm 3,70^{\circ}$, dan SK (*desizing*)/anilin dengan sudut kontak $40,30^{\circ} \pm 9,30^{\circ}$. Pembasahan serat karbon dengan epoksi/MMA atau epoksi/anilin jauh meningkat karena



karakter hidrofilik dari MMA dan anilin. Wettmarshausen, dkk. (2015) mengatakan bahwa gugus fungsi COOH (*carboxylic Acids*) meningkatkan sifat hidrofilik. COOH terdapat pada MMA dan anilin berdasarkam hasil FTIR.

Berdasarkan hasil SEM, setelah serat karbon terelektropolimerisasi dengan anilin atau MMA, terbentuk aglomerasi. Menurut Wettmarshausen, dkk. (2015) Kekasaran permukaan yang diamati dari serat yang dilapisi tidak dianggap sebagai efek negatif, sebaliknya, dapat meningkatkan adhesi dengan lebih banyak *interlocking* mekanik, meningkatkan area kontak ke matriks polimer dan jumlah ikatan yang mungkin di sepanjang antarmuka.

Hasil yang didapat, nilai sudut kontak hampir sama namun ada juga berbeda, menurut 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 mampu basah selain interaksi *intermolecular*, topografi permukaan serat juga dapat terjadi secara spontan yang seiring dengan meningkatnya permukaan serat-*vapour* atau γ_v .

4.4 Analisis Uji Tarik

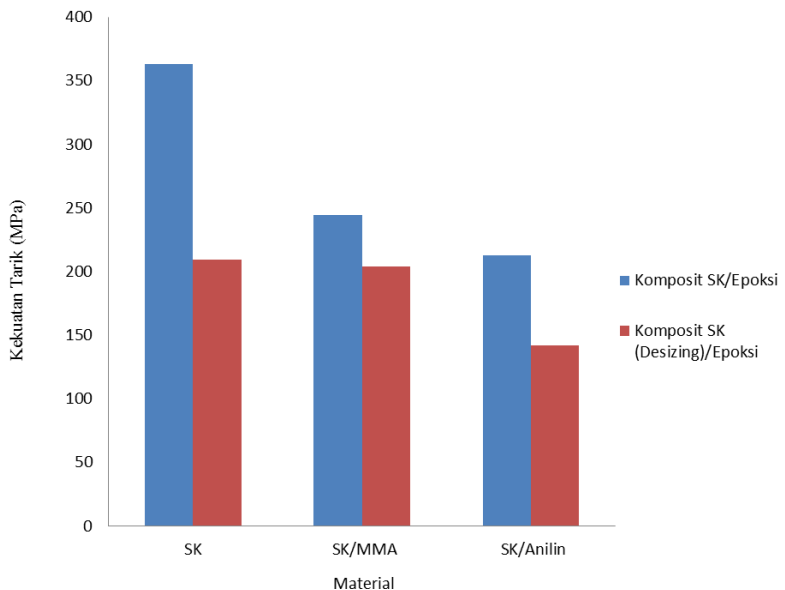
Pada pengujian ini didapatkan nilai beban maksimal dan kekuatan tarik maksimal. Untuk material komposit SK/epoksi didapatkan beban tarik maksimal 23871,38 N dan kekuatan tarik maksimal 362,95 Mpa. Untuk komposit SK (*desizing*)/epoksi didapatkan beban tarik maksimal 20306,93 N dan kekuatan tarik maksimal 209,16 Mpa. Untuk komposit SK/epoksi/MMA didapatkan beban tarik maksimal 21344,585 N dan kekuatan tarik maksimal 244,46 Mpa. Kemudian untuk komposit SK (*desizing*)/epoksi/MMA didapatkan beban maksimal kekuatan tarik sebesar 19543,675 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 203,845 Mpa. komposit SK/epoksi/anilin didapatkan beban tarik



maksimal 21558,84 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 212.65 Mpa. Dan untuk komposit SK (*desizing*)/epoksi/anilin didapatkan beban tarik maksimal 19013,605 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 141,74 Mpa. Pengaruh *treatment* perendaman dan elektropolimerisasi pada serat karbon terhadap kekuatan tarik maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4. 12.

Tabel 4. 5 Data hasil uji tarik material komposit Serat Karbon/Epoksi

Material	Max. Load (N)	UTS (MPa)	Elongation (%)	Modulus Elasticity (N/mm ²)
<i>Non Desizing</i>				
SK	23871,38 ± 3180,7	362,92 ± 57,61	13,05 ± 1,68	2781,03
SK/MMA	21344,58 ± 657,22	244,46 ± 48,19	19,47 ± 3,68	1255,57
SK/Anilin	21558,84 ± 809,33	212,625 ± 6,95	21,21 ± 2,80	1002,47
<i>Desizing</i>				
SK	20306,93 ± 495,3	209,16 ± 9,14	13,77 ± 1	1518,95
SK/MMA	19453,67 ± 658,98	203,84 ± 23,15	20,54 ± 1,16	992,43
SK/Anilin	19013,60 ± 1065,50	141,74 ± 15,74	29,65 ± 7,20	478,20

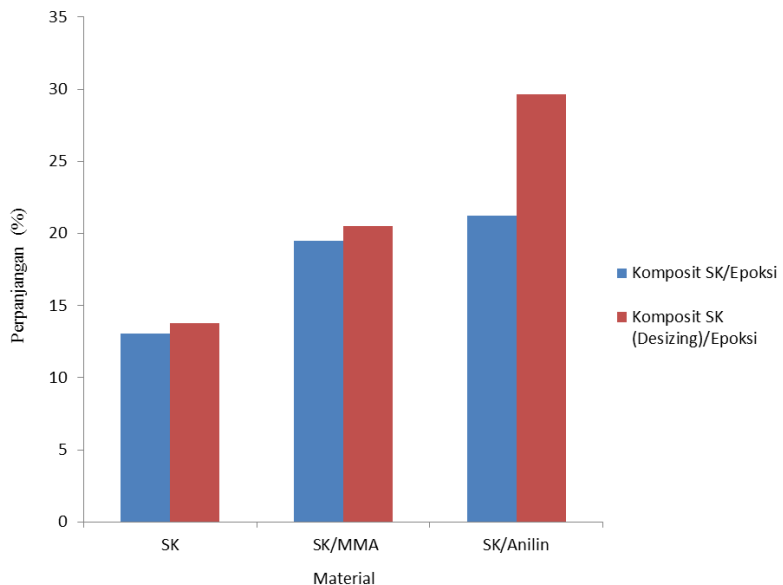


Gambar 4. 11 Grafik nilai kekuatan tarik material komposit SK (*desizing*)/epoksi dan komposit SK/epoksi dengan variasi serat: SK, SK/MMA, dan SK/Anilin.

Nilai kekuatan tarik komposit SK/epoksi memiliki tren yang menurun, nilai tarik optimum terjadi pada serat karbon *non desizing* sebesar 362,925 MPA dan nilai terendah terjadi pada SK (*desizing*)/anilin sebesar 141,74 MPa. Dari Gambar 4.13 di atas dapat diketahui bahwa kekuatan tarik lebih tinggi saat *non-desizing*, yaitu serat karbon tanpa dilakukan proses *refluxed*. Namun, untuk keseluruhan, nilai kekuatan tarik semakin tinggi pada saat serat karbon tidak dicampur dengan anilin atau MMA. Hal ini kemungkinan terjadi karena kerusakan mikroskopis dalam matriks menurunkan sifat mekanik komposit dan akhirnya menghasilkan pembentukan retakan dan delaminasi transversal (Patel, dkk. 2018). Komposit yang dibiarkan gel sepenuhnya



sebelum *post-curing* menunjukkan struktur mikro dan sifat mekanik yang lebih baik, sedangkan sampel yang proses *curing* secara signifikan lebih cepat menunjukkan wilayah yang lebih besar pada fase yang lembut (*crosslink density* rendah) (Patel, dkk. 2018). Hal ini sesuai dari hasil SEM yang menunjukkan kegagalan komposit delaminasi, salah satu penyebabnya karena *curing* yang belum sempurna.



Gambar 4. 12 Grafik nilai perpanjangan (*elongation*) komposit SK/epoksi dan komposit SK (*desizing*)/epoksi dengan variasi serat: Serat Karbon, Serat Karbon/MMA, dan Serat Karbon/Anilin.

Nilai elongasi pada Gambar 4.13, berkebalikan dengan nilai kekuatan tarik. Pada material komposit SK/Epoksi, nilai elongasi tertinggi dimiliki spesimen SK (*desizing*)/anilin sebesar 29,65% dan nilai terendah dimiliki spesimen SK (*desizing*)



sebesar 12,86 %. Pada serat karbon yang di-*desizing*, elongasi meningkat saat dilakukan proses elektropolimerisasi dengan anilin atau MMA, perbandingannya yaitu 12,86:20,54:29,65 (%). Menurut Sultania (2009), adanya *microgel* (bagian yang membentuk *crosslink* yang dikelilingi sistem resin yang tidak mengalami *curing*) meningkatkan fleksibilitas sehingga dapat meningkatkan nilai *strain-to-failure* dari sistem. Hal ini sesuai terjadi pada sistem komposit ini, dimana epoksi yang membentuk *crosslink*, dikelilingi oleh epoksi yang tidak mengalami *curing*, sehingga terjadi fenomena dimana sistem tersebut berikatan tetapi karena tidak mengalami *curing* sehingga nilai kekuatan tariknya menurun tetapi nilai elongasinya meningkat.

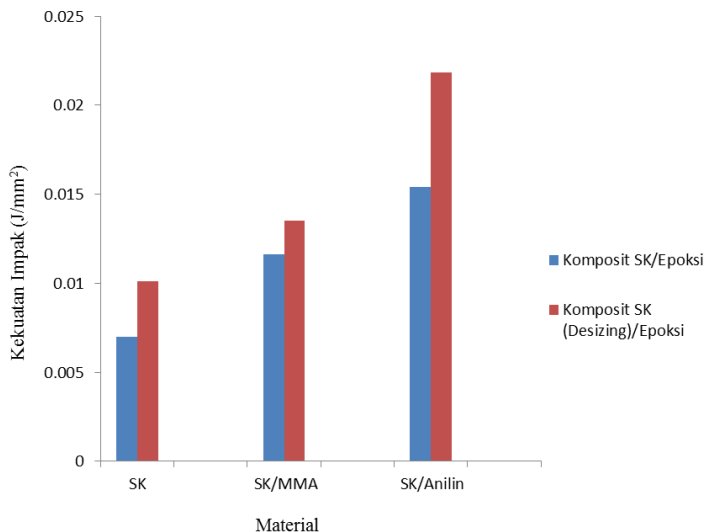
Nilai modulus elastisitas, menunjukkan tren yang sama seperti kekuatan tarik. Nilai E menurun saat dielektropolimerisasi dengan anilin atau MMA untuk serat karbon *non-desizing* dan *desizing*. Pada serat karbon *non-desizing*, spesimen SK memiliki nilai E tertinggi yaitu 3080,85 N/mm² dan nilai terendah pada spesimen SK/anilin sebesar 998,24 N/mm². Pada serat karbon *desizing*, spesimen SK memiliki nilai E tertinggi yaitu 1626,44 N/mm² dan nilai terendah pada spesimen SK/anilin 478,20 N/mm².



4.5 Analisis Uji Impak

Tabel 4. 6 Hasil uji impak pada material komposit SK/epoksi.

Material	Energi Impak (J)	Kekuatan Impak (J/mm^2)
<i>Non Desizing</i>		
SK	4,5	0.007
SK/MMA	7	0.011
SK/Anilin	10	0.015
<i>Desizing</i>		
SK	5,65	0.010
SK/MMA	8	0.013
SK/Anilin	13,4	0.022



Gambar 4. 13 Grafik nilai impak SK/Epoksi dan komposit SK (*desizing*)/Epoksi dengan variasi serat: Serat Karbon, Serat Karbon/MMA, dan Serat Karbon/Anilin..



Berdasarkan Tabel 4.7 Dan Gambar 4.14, nilai energi impact dan kekuatan impact mengalami peningkatan setelah dilakukan elektropolimerisasi dengan *Methyl Methacrylate* (MMA) dan anilin, dengan nilai terbesar dimiliki oleh komposit serat karbon (SK) *desizing*/epoksi/anilin. Selain itu, peningkatan energi impact juga terjadi saat serat karbon di-*desizing* yang mengindikasikan bahwa *desizing* dapat meningkatkan sifat adesi dari serat karbon.

Data di atas menunjukkan bahwa nilai kekuatan impact cenderung berkebalikan dengan nilai kekuatan tarik, sehingga jika dilihat dari kekuatan tarik pada komposit serat karbon (SK) *desizing*/epoksi/anilin memiliki nilai yang rendah, sebaliknya energi impactnya memiliki nilai tertinggi, yaitu 13,4 Joule dengan kekuatan impact sebesar 0.022 J/mm^2 .



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pembuat komposit serat karbon/epoksi dengan variasi pencampuran anilin atau *methyl methacrylate* (MMA) dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sifat mekanik pada komposit serat karbon/epoksi mengalami penurunan pada nilai kekuatan tarik, tetapi mengalami peningkatan pada nilai elongasi seiring dengan perendaman serat karbon dengan anilin atau *methyl methacrylate* (MMA).
 - Kekuatan tarik Komposit Serat Karbon/Epoksi memiliki nilai optimum pada serat karbon tanpa perlakuan, dengan nilai kekuatan 362.95 MPa.
 - Nilai elongasi komposit serat karbon/epoksi mengalami peningkatan dengan nilai optimum pada komposit serat karbon *desizing*/epoksi/anilin, yaitu sebesar 29,65%.
 - Nilai kekuatan impak komposit serat karbon/epoksi mengalami peningkatan dengan nilai optimum pada komposit serat karbon *desizing*/epoksi/anilin dengan nilai 0.022 J/mm².
 - Secara morfologi, pembentukan *interface* antara serat karbon dan matriks komposit serat karbon/epoksi mengalami peningkatan dilihat dari adanya endapan yang menempel pada serat karbon, yaitu endapan dari anilin dan *methyl methacrylate* (MMA).

Nilai kekuatan tarik untuk rompi anti peluru serat karbon/epoksi (362,92 MPa) dan serat karbon/epoksi/MMA (244,46 MPa) melebihi nilai kekuatan tarik tertinggi rompi anti peluru kevlar/epoksi/serbuk Al₂O₃ (237 MPa) dengan kecepatan 80m/s. dan jarak maksimal 12 m. Sehingga dapat diaplikasikan untuk rompi anti peluru pada standar NIJ tipe II dan IIA.



2. Sifat adhesi pada serat karbon dilihat dari kemampubasahan (*wettability*). Hasilnya, nilai kemampubasahan semakin baik ketika serat karbon dilakukan proses *desizing*. Nilai tertinggi terjadi pada serat karbon (*desizing*)/anilin, dengan sudut kontak $35,579^\circ \pm 8,753^\circ$ (mampu basah sedang).

5.2. Saran

Berikut merupakan saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya. Antara lain:

- Dalam manufaktur, usahakan agar setiap spesimen mempunyai ukuran dan sifat yang homogen.
- Menggunakan metode *vacuum bag* pada manufaktur komposit untuk mengurangi terbentuknya *bubble* pada matriks dan penyebaran matriks pada serat lebih merata.
- Perlu diperhatikan pemilihan polimer untuk meningkatkan sifat adesi pada serat karbon agar material yang dihasilkan memiliki hasil yang konsisten dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhesives.org. *Surface Energy and Wetting*. {HYPERLINK “<http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/surface-energy-and-wetting>”}. [Diakses tanggal 24 Februari 2018].
- Aykanat, Aydin dan Iroh, Jude O. 2010. *Carbon fiber-polyaniline composites: Kinetics of electrodeposition of polyaniline onto carbon fibers by cyclic voltammetry*. London: Taylor & Francis
- Babu, M. Ganesh, R. Velmurugan dan N.K. Gupta. 2007. *Heavy Mass Projectile Impact on Thin and Moderately Thick Unidirectional Fiber/Epoxy Laminates*. Latin American Journal of Solids and Structures. p. 247-265.
- Bauer, Andreas, Dennis Meinderink, Ignacio Giner, Helmut Steger, Johan Weitzl, Guido Grundmeier. 2017. *Electropolymerization of Acrylic Acid on Carbon Fibres for Improved Epoxy/Fiber Adhesion*. Amsterdam: Elsevier Science Ltd.
- Billmeyer, Fred W., Jr. 1984. *Textbook of Polymer Science*. New York: Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Brown, R. 2002. *Handbook of Polymer Testing*. Shrewsbury: Rapra Technology Ltd.
- Callister, William D., Jr. dan David G. Rethwisch (2011). *Materials Science and Engineering*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Cavalirro, Paul V. 2011. *Soft Body Armor: an Overview of Materials, Manufacturing, Testing and Ballistic Impact Dynamics*. Rhode Island: Naval Undersea Warfare Center Division.
- Chawla, Krishan K. 2011. *Composite Materials Science and Engineering*. New York: Springer.
- Chung, D. D. L. 2002. *Review Graphite*. *Journal of Materials Science*, 19(37), pp. 1-15.

- Dai, Zhishuang., Shi, Fenghui., Li, Min. dan Zhang, Zuoguang. 2011. *Effect of sizing on carbon fiber surface properties and fibers/epoxy interfacial adhesion*. New York: Elsevier Science Ltd.
- Duan, Guorong,Zhang, Chunxiang., Li, Aimei., Yang, Xujie., Lu, Lude. Dan Wang, Xin. 2008. *Preparation and Characterization of Mesoporous Zirconia Made by Using a Poly (methyl methacrylate) Template*. New York: Springer.
- Djafar, Zulkifli & Sutresman, Onny O. 2009. Pengaruh Perlakuan Serat Alam Rami (*Boehmeria Nivea*) terhadap *Wettability* dan Kemampuan Rekat Matrik Epoksi Resin. Makasar: Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
- Elena, A., Gozescu, I., Dabici, A., Sfirloaga, P. dan Szabadai, Z. (2012). *Organic Compounds FT-IR Spectroscopy*. London: IntechOpen.
- Fried, Joel R. 1995. *Polymer Science and Technology*. New Jersey: Prentice Hall PTR.
- Foley, Maureen E. dan Gillespie Jr., John W. 2004. *Modeling the Effect of Fiber Diameter and Fiber Bundle Count on Tow Impregnation during Liquid Molding Processes*. Amerika Serikat: *University of Delaware*.
- Grant, Heath. Bruce Kubu, Bruce Taylor, Jack Roberts, Megan Collins, Daniel J. Woods. 2012. *Body Armor Use, Care, and Performance in Real World Conditions: Findings from a National Survey*. Amerika Serikat: National Institute of Justice.
- Guild, Felicity J., Mohamed El-Habti dan Paul J. Hogg. 2007. *Ballistic Impact of Composite Laminates: Experiments and Simulations*. 16th International Conference on Composite Materials. p. 1-4.
- Hadiana, Deni. 2012. Polimerisasi Anilin oleh Horseradish Peroksidase dan Karakteristiknya. Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

- Hagiwara, T. Demura, K Iwata. 1987. *Synthesis and Properties of Electrically Conducting Polymers from Aromatic Amines*. Synthetic Metals. Synth. Met. 18 317-322.
- Hani, A. R. Azrin, A. Roslan¹, J. Mariatti dan M. Maziah. 2012. *Body Armor Technology: A Review of Materials, Construction Techniques and Enhancement of Ballistic Energy Absorption*. Advance Material Research Vols 488-489. p. 806-812.
- Harris, Abdul. 2008. Elektrode Kawat Emas Berlapis Polimer Konduktif Polipirol untuk Pengukuran Beberapa Surfaktan Anionik Secara Potensiometri. Bandung: Perpustakaan Digital ITB.
- Hart, Sarah V. 2001. *Selection and Application Guide to Personal Body Armor*. Amerika Serikat: National Institute of Justice.
- Hull, Derek. 1995. *An Introduction to Composite Materials*. New York: Cambridge University Press.
- Hung, Kai-Bing., Qun Fan., Chen, Zhen-Hua. 2008. *The Enhancement of Carbon Fibre Modified with Electropolymer Coating to The Mechanical Properties of Epoxy Resin Composites*. Amsterdam: Elsevier Science Ltd.
- Herrera-Franco, P.J. dan L.T. Drzal. 1992. *Comparison of Methods for The Measurement of Fibre/Matrix Adhesion in Composites*. New York: Elsevier Science Ltd.
- Jang-Kyo Kim dan Yiu-Wing Mai. 1998. *Interfaces in Fiber Reinforced Composites*. Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Jawaid, Muhammad, Salit Mohd Sapuan, Othman Y Allothman. 2017. *Green Biocomposites: Manufacturing and Properties*. New York:Springer.
- Koleva, Milena. 2005. *CAE DS – Injection Moulding Materials, Polymethacrylates; Poly (methyl methacrylate) (PMMA)*. Gabrovo: Technical University of Gabrovo
- Konaka Ryusei, Kuruma Kazuo, and Terabe Shigeru. 1968. *Mechanisms of Oxidation of Aniline and Related*

- Compounds in Basic Solution*. J. Am. Chem. Soc., 90 (7), pp 1801–1806
- Mallick, P.K. 2007. *Fiber Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC
- McCallum, J.R dan D.H. McKerron. 1982. *Electropolymerisation of Methyl Methacrylate on Carbon Fibre Surfaces*. Britania Raya: Pergamon Press Ltd.
- Melati, Rina. 2008. Sintesis dan Karakterisasi Polistirena dengan Benzoil Peroksida sebagai Inisiator. Bandung: Perpustakaan Digital ITB.
- Naik, R.A. 1994. *Analysis of Woven and Braided Fabric Reinforced Composites*. Washington: NASA CR194930, National Aeronautics and Space Administration.
- National Institute of Justice. 2008. *Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06*. Amerika Serikat: National Law Enforcement and Corrections Technology Center.
- Olewi, Jawad Kadhim dkk. 2015. *Experimental and Numerical Analysis of Bulletproof Armor made from Polymer Composite Materials*. Iraq : Eng&Tech. Journal.
- Patel, Ammar. 2018. *Effect of Curing Rate on the Microstructure and Macroscopic Properties of Epoxy Fiberglass Composites*. Swiss: MDPI
- Pouget, J.P., M.E. Jozefowicz, A.J. Epstein. 1991. *X-ray Structure of Polyaniline*. Ohio: American Chemical Society.
- Prasetya, Arief. 2017. Pengaruh Maleic Anhydride Terhadap Sifat Mekanik, Stabilitas Termal, dan Konduktivitas Listrik Komposit Epokis/Triethylamine/Maleic Anhydride/Grafit sebagai Kandidat Pelapisan (Cat) Komposit Konduktif pada Pesawat Terbang. Surabaya: Publikasi Online ITS (POMITS)
- Rahayu, Sri. 2008. Kompleks Besi (III) Fenantrolin yang Diperangkap dalam Zeolit sebagai Mediator untuk

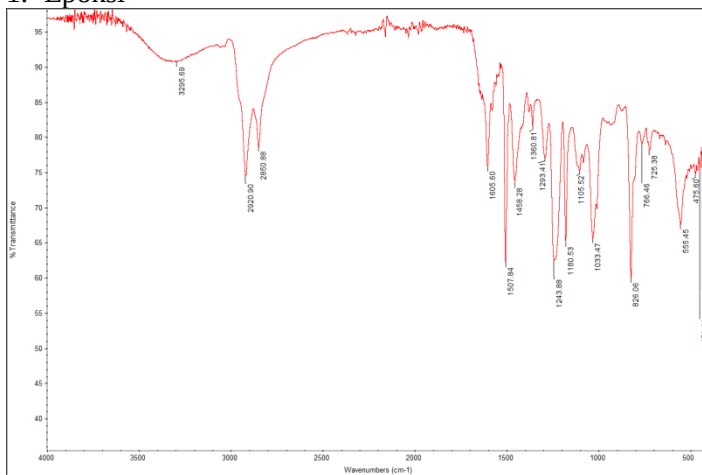
- Analisis Asam Askorbat secara Amperometri. Bandung: Perpustakaan digital ITB.
- Ratna, Debdatta. 2009. *Handbook of Thermoset Resins*. Shrewsbury: iSmithers – A Smithers Group Company.
- Regassa, Yohannes dkk. 2014. *Modeling and Simulation of Bullet Resistant Composite Body Armor*. Lewes, USA: International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology.
- Singha, Kunal., Maity, subhankar., Singha, Mrinal., Paul, Palash., Gon, Debi P. 2012. *Effects of Fiber Diameter Distribution of Nonwoven Fabrics on its Properties*. Amerika Serikat: *International Journal of Textile Science*.
- Skoog, Douglas A., Holler, F. James., Crouch, Stanley R. 2007. *Principals of Instrumental Analysis*. Belmont: Thomson Brook Cole.
- Sugiman, Aprilianti. 2012. Tegangan Permukaan dan Fenomena antarmuka/*Surface Tension*.
URL:<http://aprilianti.blogspot.co.id/2012/09/tegangan-permukaan-dan-fenomena-antarmuka.html> [Diakses tanggal 24 Februari 2018]
- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Surabaya: ITS Press.
- Sultania, Minaksha, S.B. Yadaw, J.S.P. Rai dan Deepak Srivastava. 2010. *Laminates based on vinyl ester resin and glass fabric: A study on the thermal, mechanical and morphological characteristics*. Materials Science and Engineering A 527. p. 4560–4570.
- Xanthos, Marino. 2010. *Functional Fillers for Plastics*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Xuemiao Pan, Ruben Mercade-Prieto, David York, Jon A. Preece, Zhibing Zhang. 2013. *Structure and Mechanical Properties of Consumer-Friendly PMMA Microcapsules*. Washington: ACS Publications.

- Xuming Yao, Xinyu Gao, Jianjun Jiang, Chumeng Xu, Chao Deng, Junbiao Wang. 2017. *Comparison of Carbon Nanotubes and Graphene Oxide Coated Carbon*. New York: Elsevier Science Ltd.
- Varvani-Faharani, A. 2009. *Composite Materials: Characterization, Fabrication and Application-Research Challenges and Directions*. Belanda: Springer Netherland.
- Vick, C.B. 1999. *Adhesive Bonding of Wood Materials, Wood Handbooks-Wood as Engineering Materials, Forest Product Laboratory*. Madison, ch9, pp 1-23.
- Wibawanto, Rakhmat H. dan Darminto. 2012. Elektropolimerisasi Film Anilin dengan Metode Galvanostik dan Pengukuran Laju Pertumbuhan. Surabaya: Jurnal Online ITS (POMITS).
- Williams, Allan. 2003. *The Knight and The Blast Furnace*. Boston: Brill.
- Weber, Manfred dan Markus Weber. 2010. *Phenolic Resins: A Century of Progress*. New York: Springer.
- Wettmarshausen, S., Friedrich, J. F., Meyer-Plath, A., Kalinka G., Hidde, G. dan Weidner, S. 2015. *Coating of carbon fibers with adhesion promoting thin poly(acrylic acid) and poly(hydroxyethylmethacrylate) layers using electrospray ionization*. London: Taylor & Francis.
- Weng, Baicheng., Xu, Fenghua., Salinas, Alfonso dan Lozano, Karen. 2014. *Mass production of carbon nanotube reinforced poly(methyl methacrylate) nonwoven nanofiber mats*. New York: Elsevier Ltd.
- Zinger, B., S. Shkolnik, H. Hocker. 1988. *Electrocoating of Carbon Fibres with Polyaniline and Poly(hydroxyalkylmethacrylates)*. Inggris: Butterworth & Co. (publisher) Ltd.
- Zubaidi, M., Moekarto dan S., Santoso. 2009. Pembuatan Rompi Anti Peluru Menggunakan Bahan Dasar Serat Poliester. Bandung: Balai Besar Tekstil.

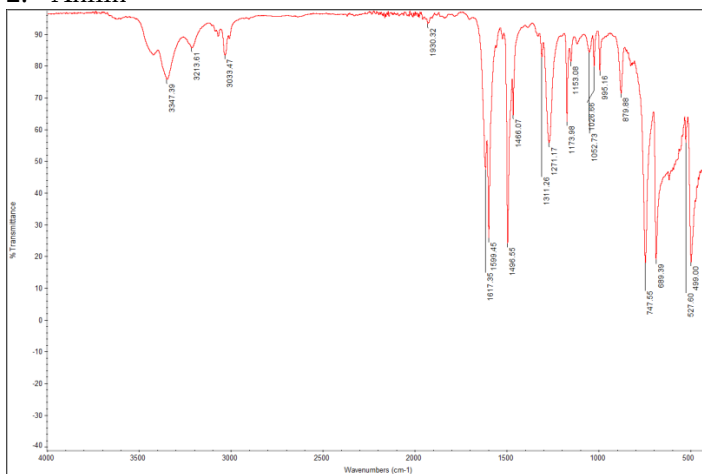
LAMPIRAN

Lampiran A Pengujian FTIR

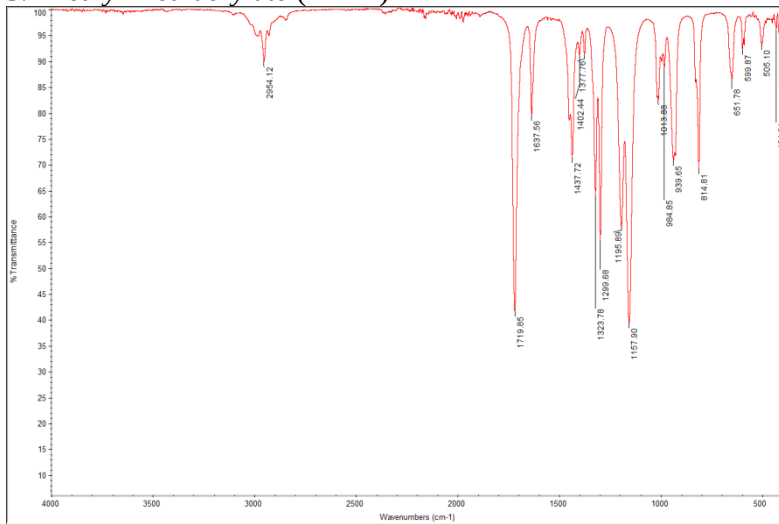
1. Epoksi



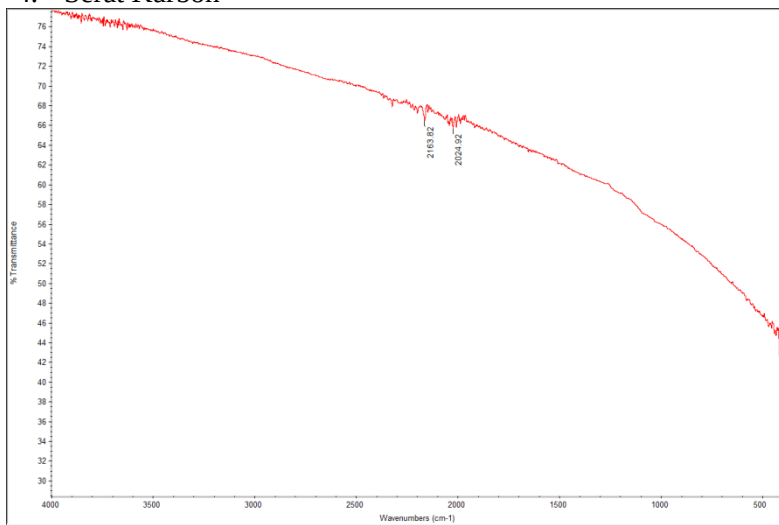
2. Anilin



3. Methyl Methacrylate (MMA)

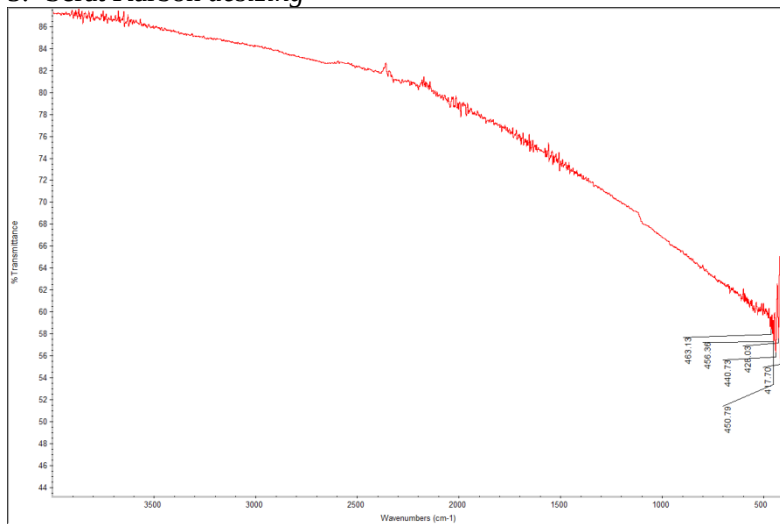


4. Serat Karbon

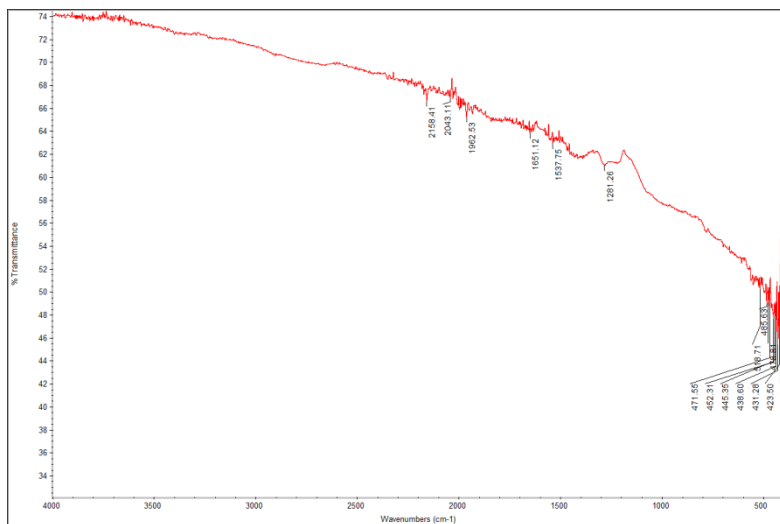


XXX

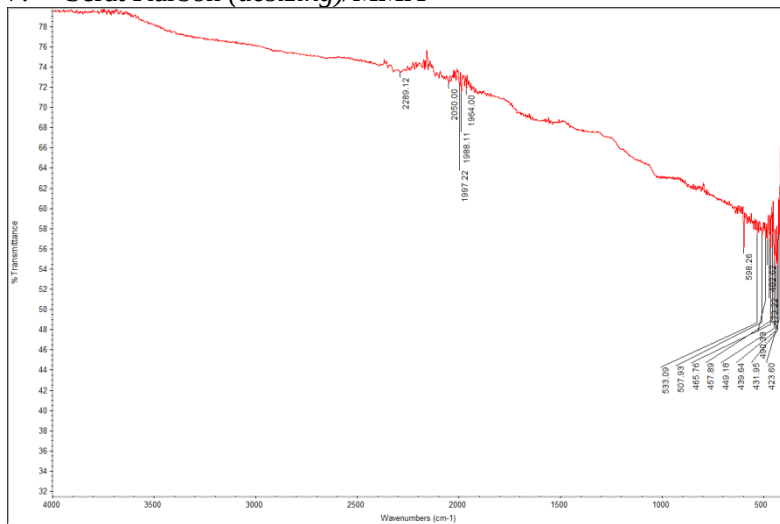
5. Serat Karbon *desizing*



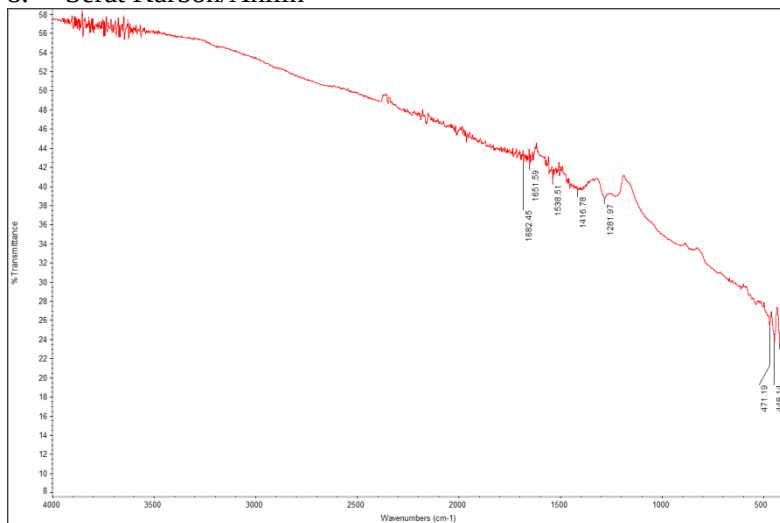
6. Serat Karbon (*Desizing*)/Anilin



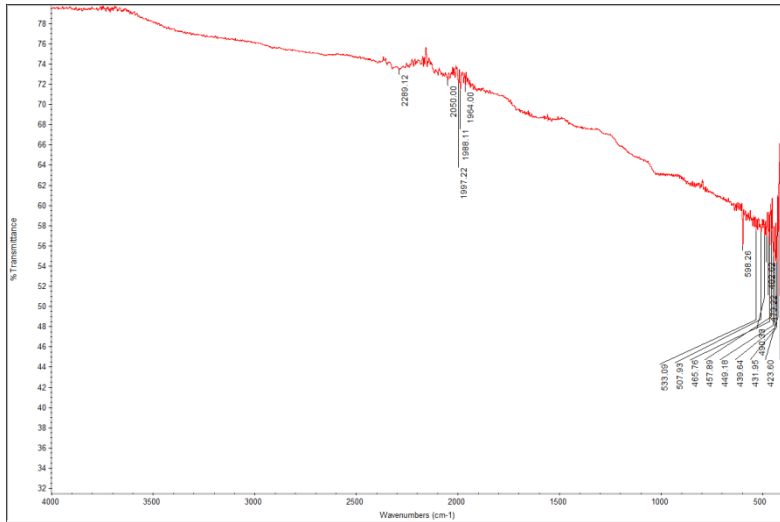
7. Serat Karbon (*desizing*)/MMA



8. Serat Karbon/Anilin



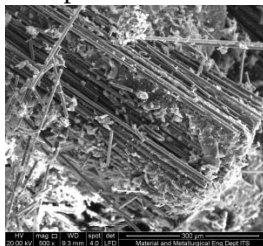
9. Serat Karbon/MMA



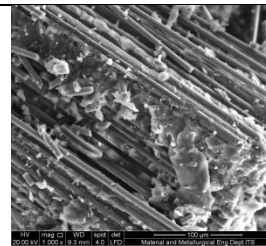
Lampiran B

Data Pengujian SEM/EDAX

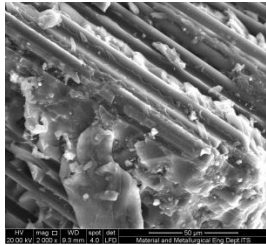
1. Komposit Serat Karbon/Epoksi



500x

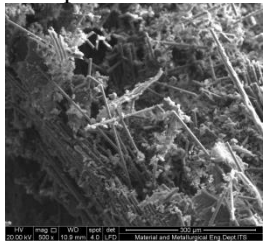


1000x

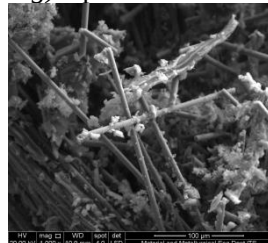


2000x

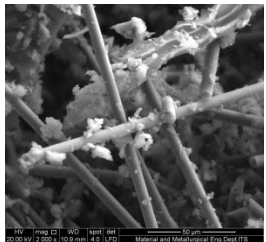
2. Komposit Serat Karbon (*desizing*)/Epoksi



500x

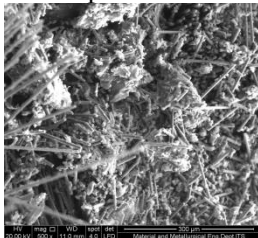


1000x

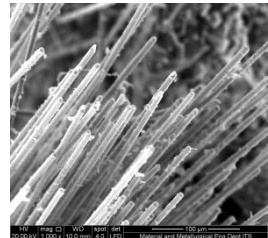


2000x

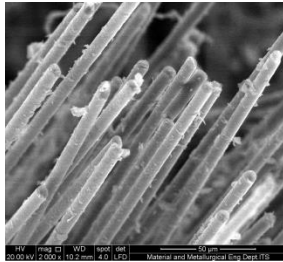
3. Komposit Serat Karbon/Epoksi/Anilin



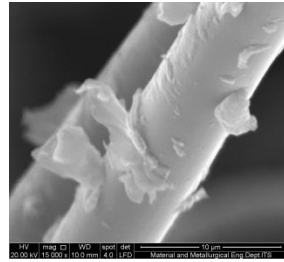
500x



1000x

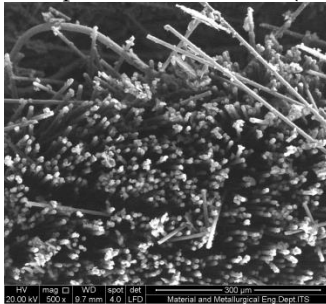


2000x

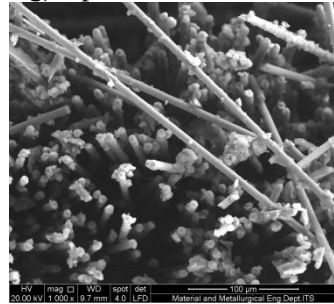


15000x

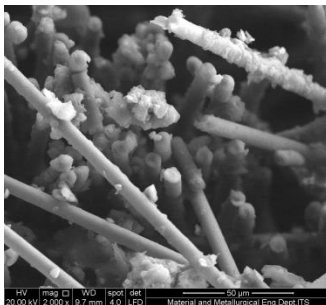
4. Komposit Serat Karbon (*desizing*)/Epoksi



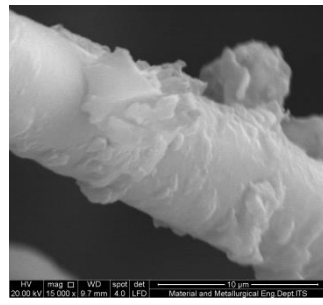
500x



1000x

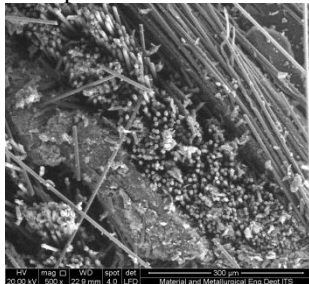


2000x

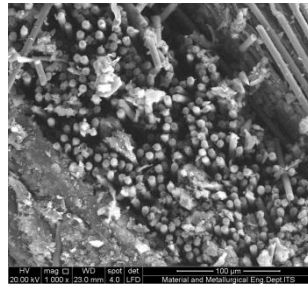


1500x

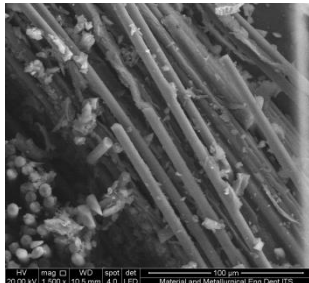
5. Komposit Serat Karbon/Epoksi/MMA



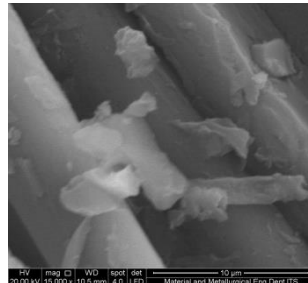
500x



1000x

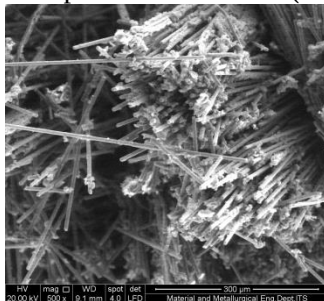


2000x

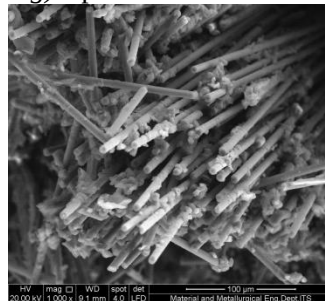


15000x

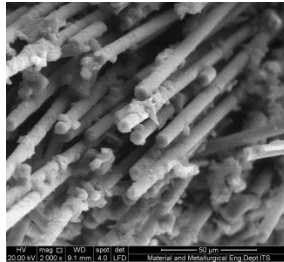
6. Komposit Serat Karbon (*desizing*)/Epoksi/MMA



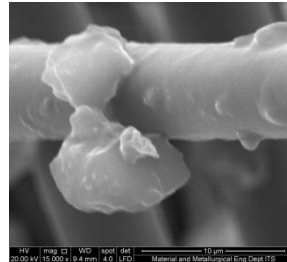
500x



1000x

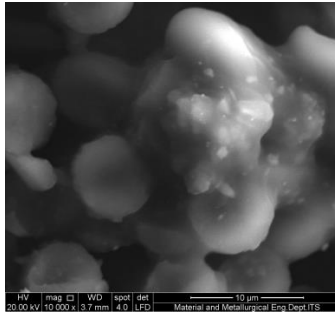


2000x

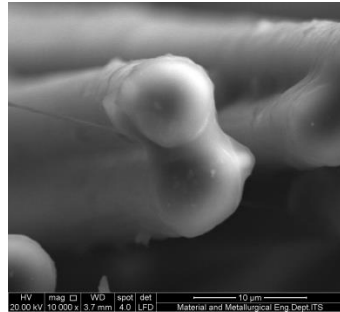


15000x

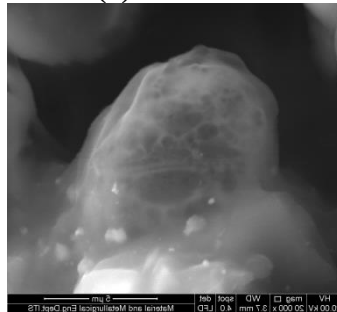
7. Serat Karbon



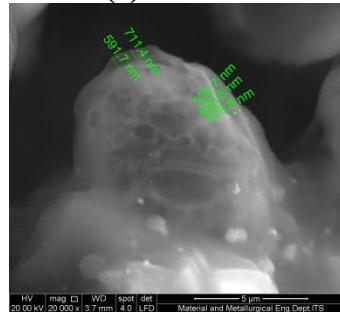
10000x (1)



10000x (2)

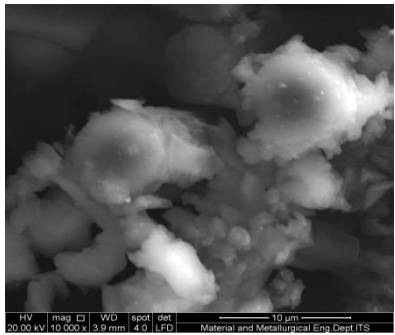


20000x (1)

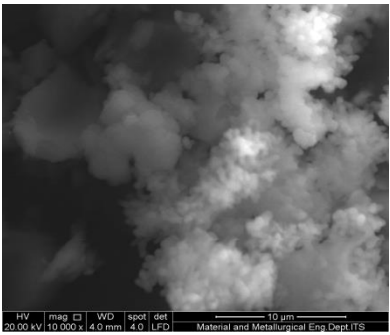


20000x (ukuran)

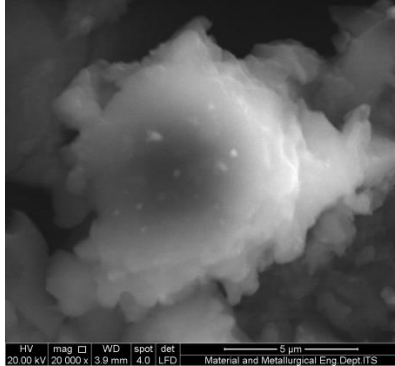
8. Serat Karbon/Anilin



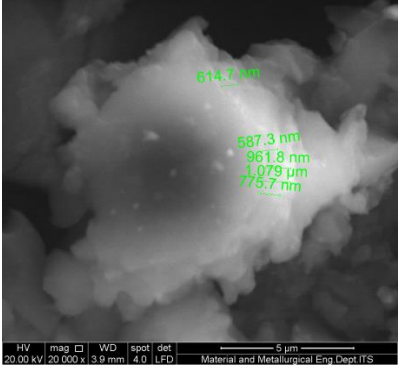
10000x (1)



10000x (2)

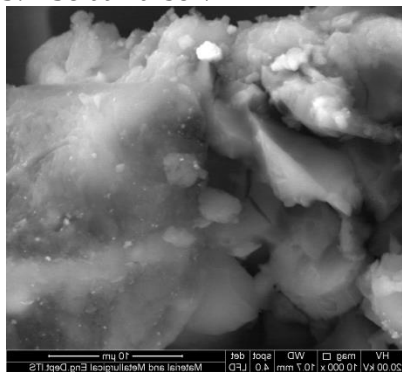


20000x (1)

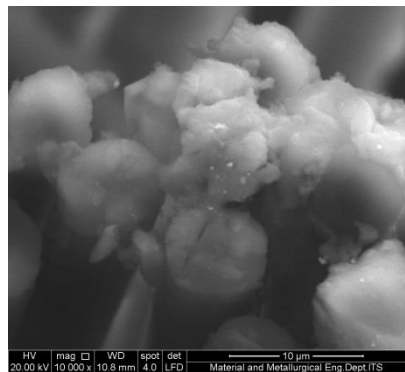


20000x (ukuran)

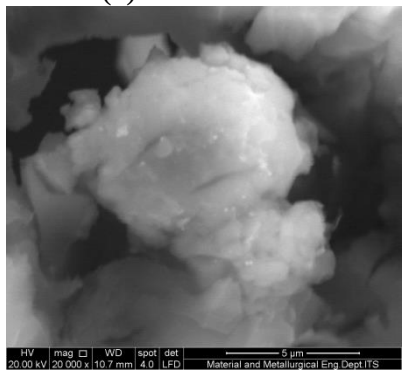
9. Serat Karbon/MMA



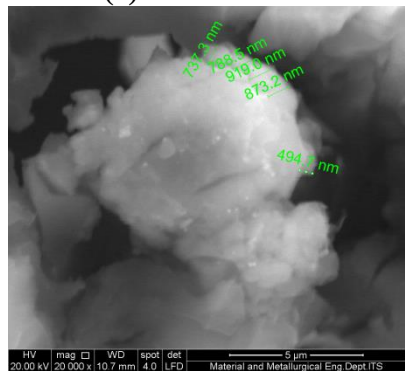
10000x (1)



10000x (2)

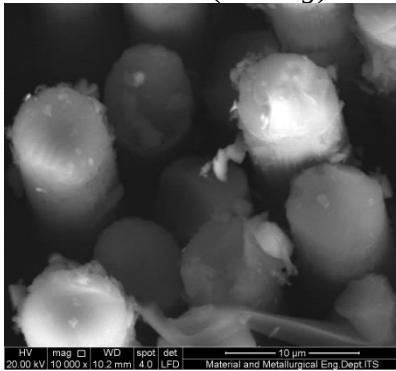


20000x (1)

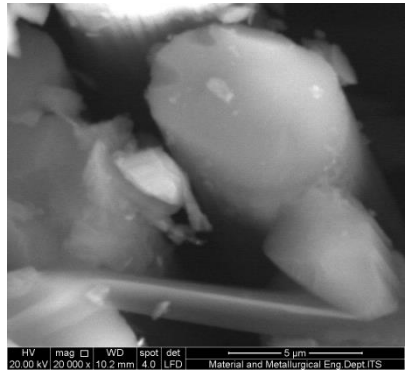


20000x (ukuran)

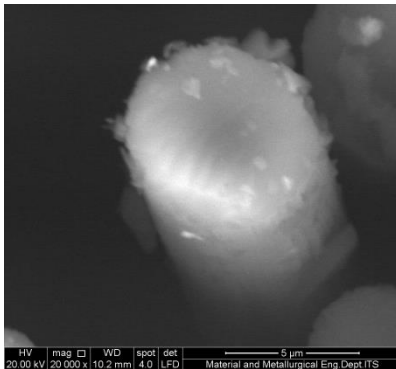
10. Serat Karbon (*desizing*)



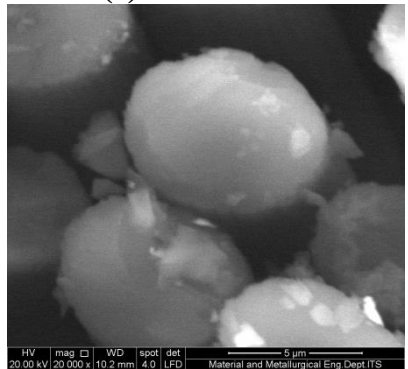
10000x



20000x (1)

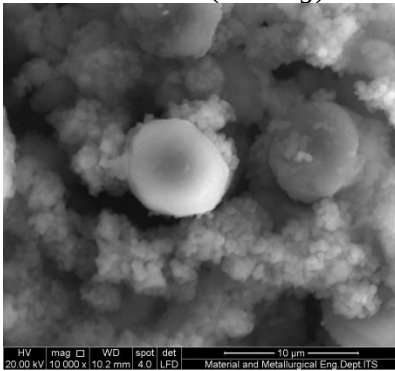


20000x (2)

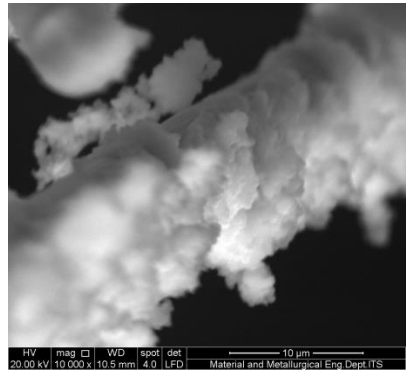


20000x (ukuran)

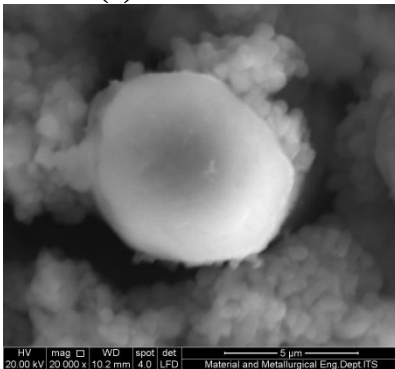
11. Serat Karbon (*desizing*)/Anilin



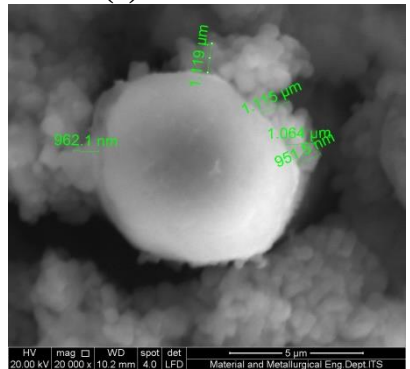
10000x (1)



10000x (2)

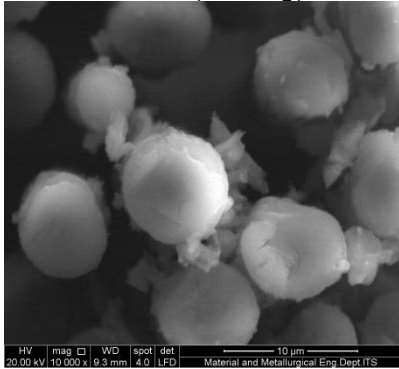


20000x (1)

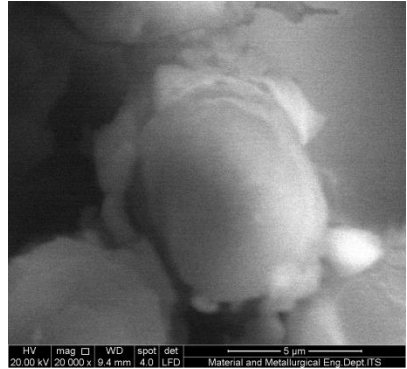


20000x (ukuran)

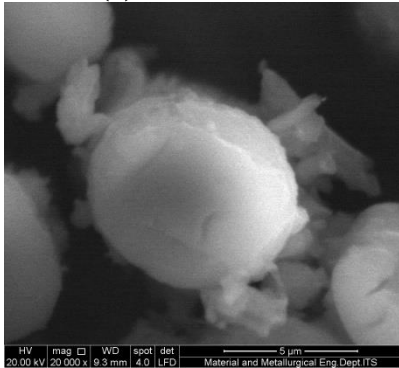
12.Serat Karbon (*desizing*)/MMA



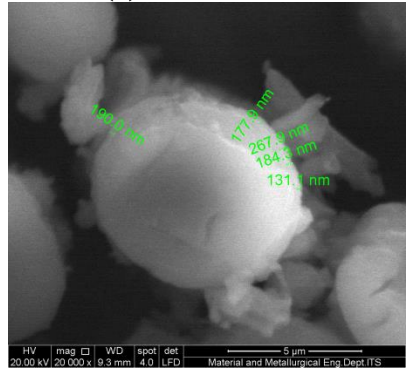
10000x (1)



20000x (1)



20000x (2)



20000x (ukuran)

Lampiran C

Data Pengujian *Wettability*

1. Serat Karbon

No	Label	Angle
1	-	34.804
2	-	56.856

3	-	43.73
4	-	40.965
5	-	31.079
6	Mean	41.487
7	SD	9.931

2. Serat Karbon/MMA

No	Label	Angle
1		40.621
2		35.187
3		45.539
4		40.716
5		41.695
6	Mean	40.751
7	SD	3.701

3. Serat Karbon/Anilin

No	Label	Angle
1		35.112
2		37.122
3		31.828
4		55.62
5		41.833
6	Mean	40.303
7	SD	9.298

4. Serat Karbon (*desizing*)

No	Label	Angle
1		35.543
2		34.992
3		56.064
4		22.06
5		45
6	Mean	38.732
7	SD	12.667

5. Serat Karbon (*desizing*)/MMA

No	Label	Angle
1		33.53
2		42.466
3		45.466
4		31.08
5		37.759
6	Mean	38.06
7	SD	5.992

6. Serat Karbon (*desizing*)/Anilin

No	Label	Angle
1		25.495
2		43.363
3		45.21
4		35.417
5		28.408
6	Mean	35.579
7	SD	8.753

Lampiran D

Data Pengujian Tarik

Contoh Perhitungan Material Serat Karbon/Epoksi (2)

I. Mencari Tegangan

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

σ = *Engineering Stress* (N/mm²)

F= Beban yang diberikan (N)

A= Luas penampang (mm²)

$$\sigma = 20690,68 \text{ N} / 49,20 \text{ mm}^2 = 420,54 \text{ MPa}$$

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)

$$\varepsilon = (6,47 \text{ mm} / 57 \text{ mm}) \times 100\% = 11,36\%$$

III. Modulus Elastisitas

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

E= Nilai Elastisitas

σ = *Engineering Stress* (N/mm²)

ε = Strain

$$E = 420,54 \text{ MPa} / 0,1136 = 3701,93$$

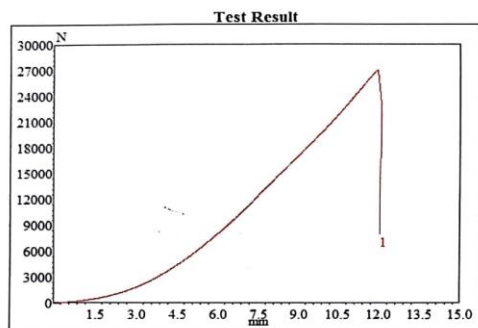
1. Komposit Serat Karbon/Epoksi



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

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

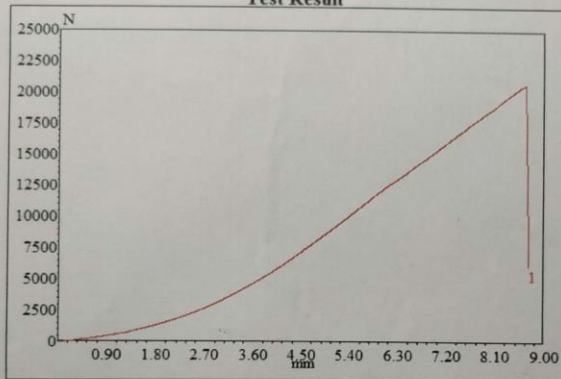
Test Date : 09-05-2018 ✓



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
CFND-1	19.00	5.37	102.03	27052.08	265.14	12.041
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

Test Date : 09-05-2018 ✓

Test Result



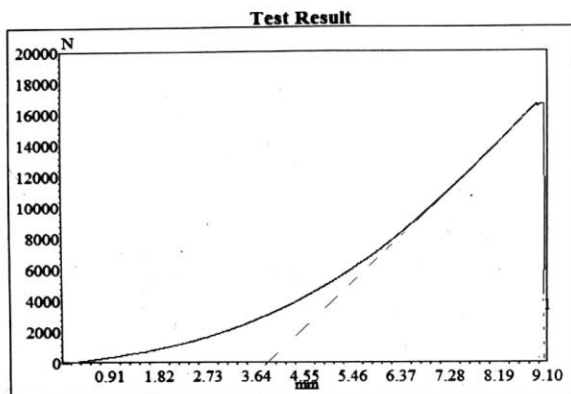
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
CFND-2	12.00	4.10	49.20	20690.68	420.54	8.708
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

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

Test Date : 09-05-2018



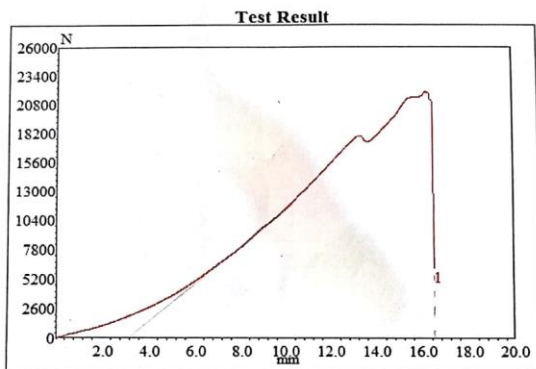
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
CFND-3	19.00	4.41	83.79	16614.98	198.29	9.009
---	16	---	70.56	---	235.47	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

2. Komposit Serat Karbon/Epoksi/MMA



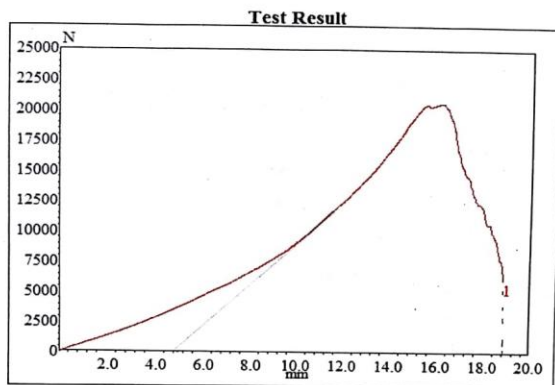
Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 09-05-2018 ✓



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
MMAND=1	14.00	5.37	75.18	22001.80	292.65	16.515
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

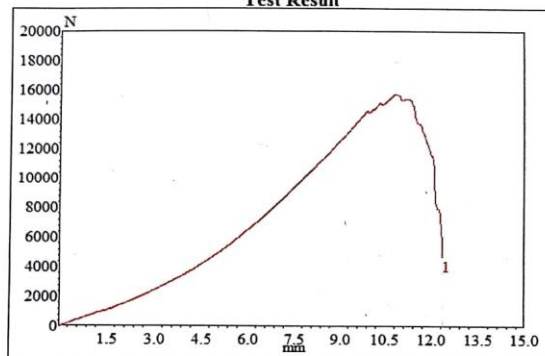
Test Date : 09-05-2018 ✓



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
MMAND-2	15.00	6.20	93.00	20687.37	222.44	18.833
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

Test Date : 09-05-2018

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
MMAND-3	15.00	6.49	97.35	15778.82	162.08	12.355
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

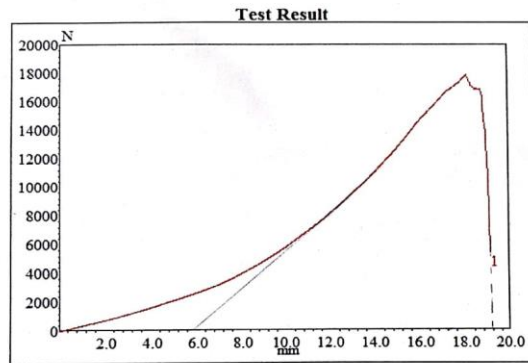
1. Komposit Serat Karbon/Epoksi/Anilin



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

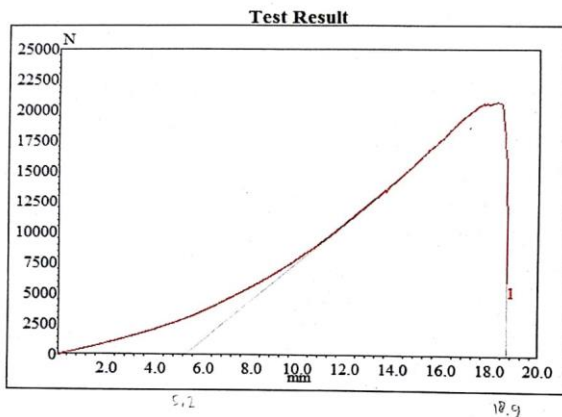
Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 09-05-2018 ✓



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
AND-1	15.00	7.00	105.00	17870.72	170.20	19.146
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

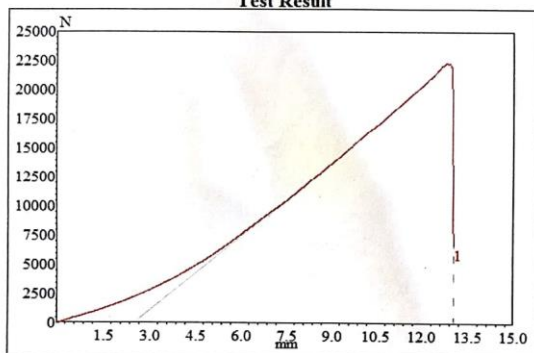
Test Date : 09-05-2018 ✓



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
AND-2	14.00	7.00	98.00	20749.51	211.73	18.695
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

Test Date : 09-05-2018 ✓

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
AND-3	14.00	7.50	105.00	22368.17	213.03	13.031
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

4. Komposit Serat Karbon (*desizing*)/Epoksi

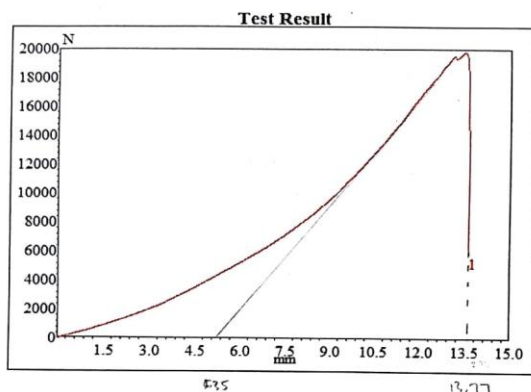


ITS

Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

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

Test Date : 09-05-2018 ✓



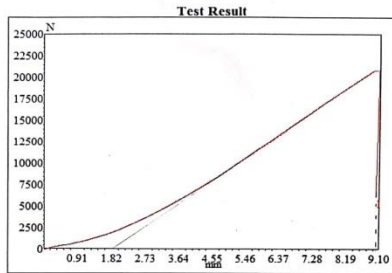
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
CFD-1	19.00	5.50	104.50	19811.63	189.58	13.620
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

$E = 84$

$L_0 = 27$

$C = 1.10$

Test Date : 09-05-2018 ✓



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
CFD-2	19.00	6.50	123.50	20802.23	168.44	8.984
---	16	---	164	---	266.2	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---



Data Pengujian Impak



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjip@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.I.1/PM:05.02/20

DATE
ORDER FROM
TEST STANDARD
MATERIAL SPECS.

: 4 Juni 2018
: Mahasiswa Departemen Teknik Material
: ASTM D6110
: Komposit Serat Karbon / Epoksi

PROJECT

: Tugas Akhir

[illegible]

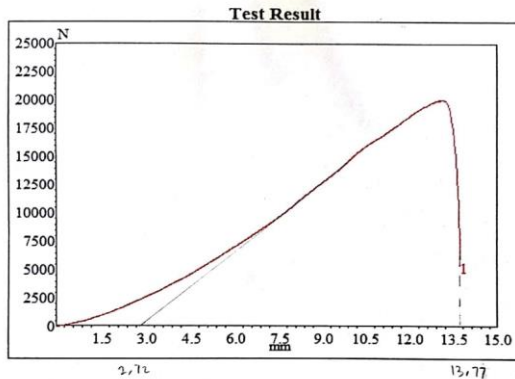
5. Komposit Serat Karbon (*desizing*)/Epoksi/MMA



ITS
Institut
Sepuluh Nopember

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

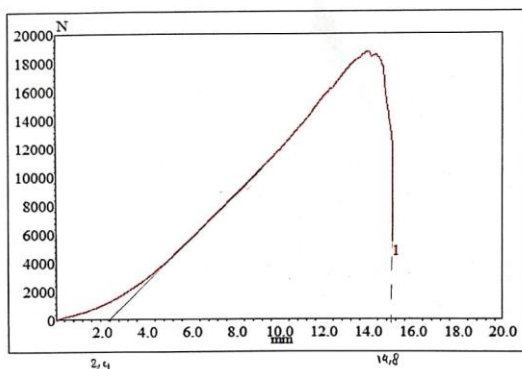
Test Date : 09-05-2018 ✓



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
MMAD-1	14.00	5.37	75.18	20112.65	267.53	13.720
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

Test Date : 23-05-2018

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point N	Yield str. MPa	Max. Load N	UTS MPa	Elong %
MMA-2	16.00	6.50	104.00	17647.2	169.7	18794.7	180.7	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

16.00

6.50

104.00

17647.2

169.7

18794.7

180.7

6. Komposit Serat Karbon (*desizing*)/Epoksi/Anilin

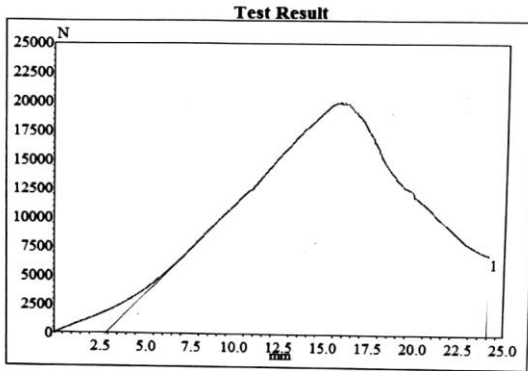


ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

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

Test Date : 09-05-2018

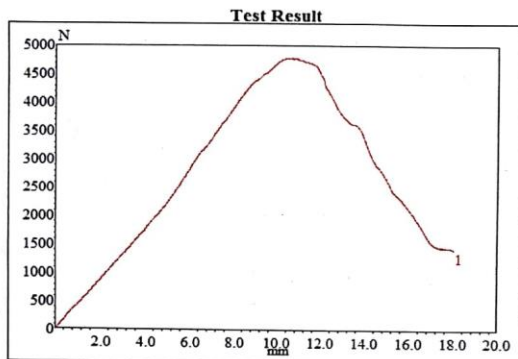


Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
AD-1	15.00	8.50	127.50	20079.11	157.48	24.158
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

$$\Delta L_0 = 21$$

$$\epsilon = \frac{21}{5} \cdot 100\% = 26.4\%$$

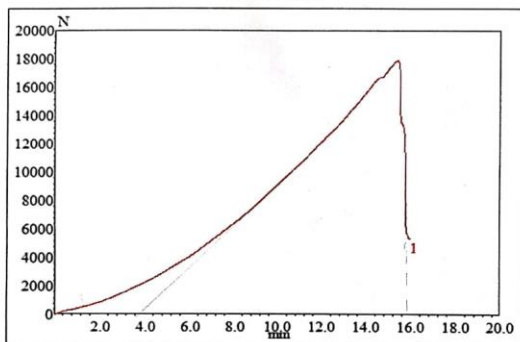
Test Date : 09-05-2018



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Break mm
AD-2	15.00	9.00	135.00	4787.70	35.46	18.043
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

Test Date : 23-05-2018

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point N	Yield str. MPa	Max. Load N	UTS MPa	Elong %
AD-3	15.00	9.50	142.50	14100.7	99.0	17948.1	126.0	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Data Pengujian Impak



LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjip@gmail.com

/IT2.4.1.1/PM:05.02/20

DATE : 4 Juni 2018
ORDER FROM : Mahasiswa Departemen Teknik Material
TEST STANDARD : ASTM D6110
MATERIAL SPECS. : Komposit Serat Karbon / Epoksi
PROJECT : Tugas Akhir

[illegible]

Lampiran F

Rancangan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Minggu								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Eksperimen Pencampuran Bahan	x								
2	Pembuatan Sampel Pengujian	x	x							
3	Pengujian SEM			x	x					
4	Pengujian FTIR			x	x					
5	Pengujian <i>wettability</i>				x	x				
6	Pengujian Kekuatan Tarik					x				
7	Pengujian Impak						x			
8	Analisa Data Pengujian dan Pembahasan					x	x	x	x	
8	Pembuatan Laporan								x	x
9	Selesai									x

BIOGRAFI PENULIS



Taufik Ramadhanu lahir di Jakarta pada tanggal 17 Februari 1996. Penulis merupakan anak ke tiga dari 4 bersaudara dari pasangan Bapak Gatut Subadio dan Ibu Nastiti. SDI Al-Azhar 01 Pusat, SMP Labschool Kebayoran dan SMA Labschool Kebayoran. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material – Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya angkatan 2014.

Di Departemen Teknik Material ini, penulis mengambil Bidang Studi Material Inovatif. Selama berkuliah di ITS, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, antara lain di Society of Petroleum Engineer (SPE) sebagai Staff Internal Event (2015-2016) dan Kepala Divisi Media and Publication (2016-2017) dan di Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) sebagai Kepala Biro Media Kreatif (2016-2017). Pengalaman kerja yang pernah ditempuh penulis yakni kerja praktik di GMF AeroAsia pada bulan Januari hingga Februari 2017.

Penulis mengambil Tugas Akhir pada semester delapan dengan judul ***“STUDI SIFAT ADHESI DAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI YANG DIPRODUKSI DENGAN ELEKTROPOLIMERISASI UNTUK APLIKASI ROMPI ANTI PELURU”***, dibimbing oleh Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc sebagai Dosen Pembimbing 1 Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Dosen Pembimbing 2.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)