



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - 184834

STUDI LAJU PEMANASAN PADA PERLAKUAN PANAS SERAT KARBON TERHADAP WETTABILITY DAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI

MOHAMMAD RIZKY SEPTIAWAN
NRP. 0251154000097

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

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



TUGAS AKHIR - 184834

**STUDI LAJU PEMANASAN PADA PERLAKUAN
PANAS SERAT KARBON TERHADAP
WETTABILITY DAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
SERAT KARBON/EPOKSI**

MOHAMMAD RIZKY SEPTIAWAN
NRP. 0251154000097

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

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

HEAT RATE EFFECT STUDY OF CARBON FIBER HEAT TREATMENT ON WETTABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON FIBER / EPOXY COMPOSITES

MOHAMMAD RIZKY SEPTIAWAN
NRP. 0251154000097

Advisor

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

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

(This page left intentionally blank)

**STUDI LAJU PEMANASAN PADA PERLAKUAN PANAS
SERAT KARBON TERHADAP WETTABILITY SIFAT
MEKANIK KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI**

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 :

MOHAMMAD RIZKY SEPTIAWAN
NRP. 02511540000097

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI LAJU PEMANASAN PADA PERLAKUAN PANAS SERAT KARBON TERHADAP WETTABILITY DAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI

Nama : Mohammad Rizky Septiawan
NRP : 025 1 15 40000 097
Jurusan : Departemen Teknik Material
Pembimbing : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
Haniffudin Nurdiansah, ST, MT

Abstrak

Komposit merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih material yang berbeda jenis dan dicampur secara fisik bertujuan untuk mendapatkan sifat yang baru dan lebih baik. Komposit serat karbon/epoksi banyak digunakan karena sifatnya yang kuat, kaku dan ringan sehingga menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi. Namun, kegagalan masih kerap terjadi pada komponen material berbahan komposit. Salah satu hal yang menyebabkan hal ini adalah masih lemahnya ikatan adhesi (kerekatan) antara serat dan matriks.. Perlakuan panas dilakukan untuk memperbaiki wettability pada serat karbon sehingga dapat berikatan lebih baik dengan resin epoksi. Pada Penelitian ini dilakukan studi laju pemanasan pada perlakuan panas serat karbon terhadap wettability dan sifat mekanik komposit serat karbon/epoksi. Variasi laju pemanasan yang digunakan pada penelitian ini adalah 20°C/menit, 12.5°C/menit , dan 5°C/menit. Manufaktur Komposit dilakukan dengan metode Hand Lay-Up. Kemudian dilakukan pengujian SEM, FTIR, Wettability ,Tarik, dan Impak. Sehingga dapat diperoleh perlakuan yang dapat memaksimalkan kinerja komposit serat karbon/epoksi terutama untuk aplikasi rompi anti peluru. Hasil yang optimal saat matriks Kekuatan tarik dan elongasi tertinggi dimiliki komposit SK/epoksi

sebesar $273.779 \pm 19.01\text{MPa}$ dan $15.807 \pm 3.05\%$ Sedangkan nilai kekuatan impak tertinggi dimiliki komposit serat karbon perlakuan panas dengan laju pemanasan $5^\circ\text{C}/\text{menit}$ bermatriks epoksi yaitu $0.031 \pm 0.0026\text{J}/\text{mm}^2$. Kesimpulannya, sifat mekanik pada komposit mengalami penurunan pada nilai kekuatan tarik dan elongasi, tetapi mengalami peningkatan pada kekuatan impak ketika diberikan perlakuan panas oksidatif. Nilai kekuatan tarik komposit serat karbon tanpa perlakuan dan perlakuan panas dengan laju pemanasan $5^\circ\text{C}/\text{menit}$ melebihi standar NIJ tipe II dan IIA rompi anti peluru kevlar/epoksi/serbuk Al_2O_3 .

Kata Kunci: Serat Karbon, Sifat Mekanik, Perlakuan Panas, Wettability.

HEAT RATE EFFECT STUDY OF CARBON FIBER HEAT TREATMENT ON WETTABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON FIBER / EPOXY COMPOSITES

Name : Mohammad Rizky Septiawan
SRN : 0251154000097
Major : Materials Engineering
Advisor : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
Co-Advisor : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T

Abstract

Composite is a material that consists of two or more different types of material and is mixed physically with the aim of getting new and better properties. Carbon fiber / epoxy composites are widely used because they are strong, rigid and lightweighted, making them the ideal choice for many applications. However, failures often occurs in composite material components. One of the things that causes this is the weak adhesion between fibers and matrix.. Heat treatment is carried out to improve the wettability of carbon fiber so that it can have graeter bonding with epoxy resin. This study is a heat rate effect study of carbon fiber heat treatment on wettability and mechanical properties of carbon fiber / epoxy composites. The variation of heating rate used in this study is 20°C/minute, 12.5°C/ minute, and 5°C/minute. Composite manufacturing is done by Hand Lay-Up. Then the testing of SEM, FTIR, Wettability, Tensile test and Impact test was carried. So that right treatment can be obtained to maximize the performance of carbon fiber/epoxy composites, especially for bulletproof vest applications. Testing result show that optimal wettability obtained when matrix contact carbon fiber with 5°C/minute heating rate treatment,

wich have $21.92 \pm 4.61^\circ$ contact angle. The highest tensile strength and elongation are owned by untreated carbon fiber/epoxy composites at $273,779 \pm 19.01 \text{MPa}$ and. $15.807 \pm 3.05\%$ elongation. While the highest impact strength is owned by carbon fiber with 5°C/minute heating rate treatment which is $0.031 \pm 0.0026 \text{J/mm}^2$. In conclusion, the mechanical properties of composites have decreased in tensile strength and elongation, but have increased in impact strength when given oxidative heat treatment. The tensile strength for an untreated carbon fiber composite and with 5°C/minute heating rate oxidative treatment exceeds NIJ type II and IIA standards of kevlar/epoxy bulletproof/ Al_2O_3 powder vest tensile.

Keywords: Carbon Fibers, Heat Treatment, Wettability, Mechanical Properties.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Serta tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Pengaruh Variasi Laju Pemanasan pada Perlakuan Panas Serat Karbon terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Karbon/Epoksi”**.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan
2. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi
3. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc., selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini
4. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan dalam pengerjaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini

Penulis menyadari jika laporan ini masih jauh dari sempurna. Demikian semoga laporan ini dapat memberikan informasi yang memadai bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2019

Penulis,

Mohammad Rizky Septiawan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
<i>TITLE PAGE</i>.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1 Latar Belakang.....	1
1 Perumusan Masalah	3
1 Batasan Masalah	3
1 Tujuan Penelitian	4
1 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Komposit	5
2.2 Klasifikasi Material Komposit	7
2.2.1 Material Komposit Serat	9
2.2.2 Material Komposit Laminat.....	10
2.2.3 Material Komposit Partikulat	10
2.2.4 Kombinasi Material Komposit	11
2.3 <i>Interface</i>	11
2.3.1 Teori Adhesi	12
2.3.2 Adsorpsi dan <i>Wettability</i>	13
2.3.3 Tipe Ikatan dalam <i>Interface</i>	16
2.4 Serat Karbon	18

2.4.1 Struktur Serat Karbon.....	19
2.4.2 Sifat Mekanik Serat Karbon.....	20
2.4.3 Manufaktur Serat Karbon	21
2.5 Epoksi.....	23
2.5.1 Sifat dan Aplikasi Resin Epoksi.....	24
2.5.2 Sintesis Epoksi	26
2.6 <i>Surface Treatment</i> Serat Karbon.....	27
2.6.1 <i>Oxidative Surface Treatment</i>	27
2.6.2 <i>Non-oxidative Surface Treatment</i>	29
2.7 Perlakuan panas Serat Karbon	30
2.8 Laju Pemanasan dalam Perlakuan Panas	32
2.9 Metode <i>Hand Lay Up</i>	33
2.10 Penelitian Sebelumnya	34
2.11 Rompi Anti Peluru	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	41
3.2 Bahan Penelitian	42
3.3 Peralatan Penelitian.....	44
3.4 Variabel Penelitian	45
3.5 Prosedur Penelitian.....	45
3.6 Pengujian	45
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>	54
4.2 Analisis <i>Scanning Electron Microscope</i>	56
4.3 Analisis Kemampubasahan (<i>Wettability</i>)	61
4.4 Analisis Uji Tarik.....	64
4.5 Analisis Uji Impak	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2. Saran.....	74

DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN.....	81

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk <i>Reinforcement</i> Komposit	6
Gambar 2.2 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Penguat...	9
Gambar 2.3 Ikatan <i>Interface</i>	13
Gambar 2.4 Tiga Kondisi Pembasahan	15
Gambar 2.5 Ikatan Mekanik	17
Gambar 2.6 Struktur Serat Karbon	19
Gambar 2.7 Skema Proses Manufaktur Serat Karbon.....	22
Gambar 2.8 Gugus Fungsi Epoksi	23
Gambar 2.9 Sintesis DGBEA	24
Gambar 2.10 Spesimen Penelitian <i>Oxidative Surface Treatment</i> Dan <i>Heat Treatment</i>	25
Gambar 2.11 Distribusi Ukuran Porus Setelah Perlakuan Panas	26
Gambar 2.12 Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Luas Permukaan, dan Resistivitas Carbon Web.....	31
Gambar 2.13 Skema <i>Hand Lay-Up / Wet Lay-Up</i>	31
Gambar 2.14 Pengaruh Laju Pemanasan.....	33
Gambar 2.15 Skema <i>Hand Lay-Up / Wet Lay-Up</i>	35
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2 Serat Karbon.....	43
Gambar 3.3 Epoksi Tipe Eposchon-A	43
Gambar 3.4 Mesin Uji Sem	46
Gambar 3.5 Mesin Uji Ftir	48
Gambar 3.6 Ilustrasi Sudut Kontak.....	49
Gambar 3.7 Dimensi Beam Sederhana, Tipe Charpy, Spesimen Uji Impak.....	49
Gambar 3.8 Mesin Uji Impact Charpy	50
Gambar 3.9 Dimensi Spesimen Uji Tarik	51
Gambar 4.1 Grafik Ftir.....	55
Gambar 4.2 Mikrografi Sem (1000x) Material Komposit Seratkarbon/Epoksi.....	52

Gambar 4.4	Droplet Matrik Epoksi Pada Serat Karbon....	41
Gambar 4.5	Grafik Nilai Wettability.....	63
Gambar 4.6	Grafik Nilai Kekuatan Tarik.....	66
Gambar 4.7	Grafik Nilai Perpanjangan (Elongitas).....	68
Gambar 4.8	Grafik Modulus Elastisitas.....	69
Gambar 4.9	Grafik Nilai Kekuatan Impak	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Sifat Mekanik	6
Tabel 2.2 Klasifikasi Material Komposit	7
Tabel 2.3 Komposisi Slemen Pada Permukaan Serat Karbon ...	19
Tabel 2.4 Sifat Mekanik Dan Fisik Prekursor Pan.....	20
Tabel 2.5 Sifat Mekanik Dari Resin Epoksi	25
Tabel 2.6 Perubahan Porositas Dan Luas Permukaan Setelah Perlakuan	27
Tabel 2.7 Berat Dan Ukuran Molekul Resin	30
Tabel 2.8 Iffs Serat Karbon T700gc Setelah Perlakuan Panas.	36
Tabel 3.1 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik	51
Tabel 3.2 Perlakuan Serat Karbon	52
Tabel 3.3 Pembuatan Komposit	53
Tabel 4.1 Karakteristik Gugus Fungsi Mma, Anilin, Epoksi, Dan Serat Karbon.....	55
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian <i>Wettability</i>	62
Tabel 4.3 Data Hasil Uji Tarik.....	65
Tabel 4.4 Hasil Uji Impak	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Maraknya penggunaan komposit untuk komponen komponen pengganti material lain meningkatkan permintaan produk komposit pada industri internasional. Dengan begitu produsen komposit berusaha untuk meningkatkan kualitas dari produk-produknya. Komposit sendiri merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih material yang berbeda jenis dan dicampur secara fisik bertujuan untuk mendapatkan sifat yang baru dan lebih baik yang merupakan kombinasi dari sifat material pembentuknya. Salah satu komposit yang banyak digunakan di industri yaitu komposit serat karbon/epoksi. Komposit serat karbon/epoksi adalah salah satu dari pilihan karena sifatnya yang kuat, kaku dan ringan merupakan pilihan ideal untuk aplikasi di mana kinerja yang membutuhkan performa produk yang baik. Komposit berpenguat serat karbon sendiri kerap digunakan untuk berbagai jenis aplikasi, seperti otomotif, interior bahkan komponen komponen industri.

Serat karbon memiliki struktur yang membuatnya memiliki kekuatan tinggi pada satu arah pembebanan. Sedangkan resin epoksi adalah resin terkuat kedua yang ada saat ini setelah poliamid. Namun, kegagalan masih kerap terjadi pada komponen material berbahan komposit, Kegagalan biasanya terjadi akibat menerima pembebanan di luar batas kemampuan menahan beban tersebut. Salah satu hal yang menyebabkan hal ini adalah kekuatan ikatan 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. 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 (Jawaid dkk, 2017).

Sifat antarmuka antara serat karbon dan epoksi ini sangat penting dalam komposit berpenguat serat karbon untuk mempertahankan fungsi kerjanya.. Kebanyakan matriks polimer hanya menampilkan afinitas kimia rendah pada serat dan juga resin epoksi memiliki interlaminar kekuatan geser yang rendah sehingga menyebabkan komposit CFRP dapat mengalami kegagalan seperti *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 biasanya dalam bentuk mengeraskan permukaan serat, menambahkan kelompok gugus fungsional sehingga dapat meningkatkan interaksi matriks-serat. Kelemahan dari perlakuan-perlakuan tersebut 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.

Salah satu rekayasa permukaan matriks-serat yang biasa dilakukan pada serat karbon adalah perlakuan panas. Karena dengan perlakuan panas akan mempengaruhi morfologi dari serat karbon, adanya perubahan morfologi tersebut akan mempengaruhi *wettability* permukaan serat karbon. Pengaruh heat treatment terhadap morfologi permukaan serat karbon telah diteliti sebelumnya oleh (Kang, dkk, 1997), melakukan perlakuan panas terhadap permukaan dengan variasi proses pemanasan proses seperti thermal desizing, dan *thermal oxidative surface treatment*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa *macropores* akan bertumbuh selama proses pemanasan temperature tinggi pada permukaan serat karbon dan *thermal oxidative surface treatment* yang dilakukan sebelumnya akan berperan dalam mendistribusikan *micropores* yang nantinya akan tumbuh menjadi

macropores. Perubahan morfologi ini menyebabkan resin mudah menginfiltrasi serat karbon dan menyebabkan *interlocking* pada antarmuka fiber/matriks. Selain itu didapat pula bahwa gugus fungsional pada serat karbon akan meningkat dengan dilakukannya *thermal oxidative surface treatment*. Metode yang digunakan dalam merekayasa permukaan serat karbon pada penelitian ini adalah proses perlakuan panas, karena hasilnya yang sesuai dapat meningkatkan adhesi berdasarkan dari percobaan yang sudah dilakukan oleh para peneliti beberapa tahun ke belakang. Salah satunya seperti yang dilakukan oleh (Zhang, dkk, 2012) yang berhasil menaikkan kekuatan karbon fiber dengan memvariasikan temperatur, dan waktu perlakuan dari perlakuan panas.

Pada beberapa material laju pemanasan merupakan aspek yang penting dalam proses perlakuan panasnya karena dengan laju pemanasan yang lebih lambat akan memberikan lebih banyak waktu untuk material bereaksi sehingga dapat mempengaruhi morfologi dari material tersebut. Dari penjelasan ini, akan dilakukan penelitian tugas akhir tentang variasi media laju pemanasan pada *thermal oxidative surface treatment* serat karbon dan pengaruhnya terhadap kemampubasahan serat karbon dan sifat mekanik pada komposit CFRP.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi laju pemanasan dari proses perlakuan panas serat karbon terhadap wettability dari komposit serat karbon/epoksi?
2. Bagaimana pengaruh variasi laju pemanasan dari proses perlakuan panas serat karbon terhadap sifat mekanik dari komposit serat karbon/epoksi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Daerah pemanasan dan reaksi yang berlangsung dianggap homogen

2. Pengaruh pengotor pada saat proses pencampuran diabaikan.
3. Perubahan temperatur atmosfer selama proses pembuatan komposit diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi laju pemanasan dari proses perlakuan panas serat karbon terhadap *wettability* dari komposit serat karbon/epoksi.
2. Menganalisis pengaruh variasi laju pemanasan dari proses perlakuan panas serat karbon terhadap sifat mekanik dari komposit serat karbon/epoksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi laju pemanasan dari proses perlakuan panas serat karbon terhadap *wettability* dan sifat mekanik dari komposit serat karbon/epoksi pada material komposit serat karbon/epoksi. Sehingga didapatkan perlakuan panas yang optimal sebagai *surface treatment* serat karbon dan untuk meningkatkan performa pada lapisan komposit yang sebagai kandidat komposit yang dapat diaplikasikan di berbagai bidang terutama di rompi anti peluru. Penelitian ini juga diharapkan berguna sebagai acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan ilmu komposit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

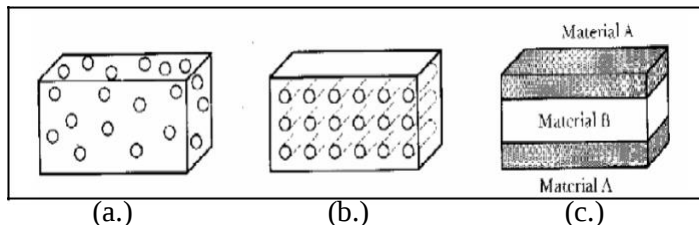
Komposit merupakan kombinasi material dengan cara tertentu, sehingga membuat kita dapat menggabungkan kelebihan dari material dan meminimalisir efek dari defisiensi nya (Bryan Harris, 1999). Menurut buku *Mechanics of Composite Materials*, komposit adalah struktur material yang terdiri dari kombinasi dua atau lebih unsur pokok yang digabungkan pada level makroskopik dan tidak larut antara satu dengan yang lain (Kaw, 2006) Mengingat komposit dianggap sebagai material dengan rentang penggunaan yang luas. Bahan komposit yang diproduksi memiliki keseimbangan sifat struktural itu lebih unggul dibandingkan bahan penyusunnya saja. Sifat struktural yang diperbaiki umumnya dihasilkan dari mekanisme pembagian beban.

Meskipun komposit dioptimalkan untuk sifat fungsional dari penyusunnya (Efisiensi dari strukturalnya yang tinggi) dapat juga diproduksi sifat-sifat dari kombinasi konstituen yang sama sekali berbeda dari pada definisi struktural ini, telah ditemukan komposit yang dikembangkan untuk aplikasi struktural juga memberikan kinerja baik di bidang fungsional lainnya. Akibatnya, definisi komposit struktural ini memberikan definisi baru komposit fungsional.

Material komposit disusun oleh matriks dan reinforcement. Matriks merupakan penyusun komposit yang berperan sebagai pengikat atau penyangga yang menjaga kedudukan antar fasa penguat . Karakteristik yang harus dimiliki matriks umumnya adalah keuletan, kekuatan, dan rigiditas rendah apabila dibandingkan penguat. Bahan matriks yang umum digunakan pada komposit adalah matriks logam, matriks polimer, dan matriks keramik. (Kaw, 2006). Sedangkan penyusun lain dari komposit adalah reinforcement (Penguat). Penguat sering juga disebut sebagai Filler. Filler merupakan bahan pengisi yang

mempunyai sifat kurang ductile tetapi lebih kuat. Filler yang digunakan dalam pembuatan komposit biasanya berupa serat atau serbuk. Serat yang sering digunakan dalam pembuatan komposit antara lain serat E-Glass, Boron, Carbon dan lain sebagainya. Bisa juga dari serat alam antara lain serat kenaf, rami, bambu dan lain sebagainya. (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. jenis penguatnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a) Particulate composite, penguatnya berbentuk partikel (Gambar 2.1 (a.))
- b) Fibre composite, penguatnya berbentuk serat (Gambar 2.1 (b.))
- c) Structural composite, cara penggabungan material komposit (Gambar 2.1 (c.))



Gambar 2.1 Bentuk Reinforcement Komposit (a.) Partikel
(b.)Serat (c.) (Kaw, 2006)

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 seperti besi dan baja, mulai ditemukan penggantinya, karena material komposit lebih unggul dibeberapa aspek pada sifat mekaniknya, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Keunggulan material komposit akan efektif jika specific modulus dan specific strength diperhitungkan secara baik, karena semakin

tinggi specific modulus dan specific strength dari material komposit, maka berat dari komponen dapat dikurangi (Hull, 1995).

Tabel 2. 1 Perbandingan Sifat Mekanik (Hull, 1995)

No	Material	Densitas (Mg.m^{-3})	Kekuatan tarik ₂ (MN.m)	Derajat elongasi hingga patah (%)
1.	Paduan Al-Zn-Mg	2.8	503	11
2.	baja paduan rendah (<i>Quenched + tempered</i>)	7.85	2050-600	13-28
3.	Nylon 6.6	1.14	70	60
4.	Laminat komposit Serat karbon dan resin epoksi	1.62	1400	0.8

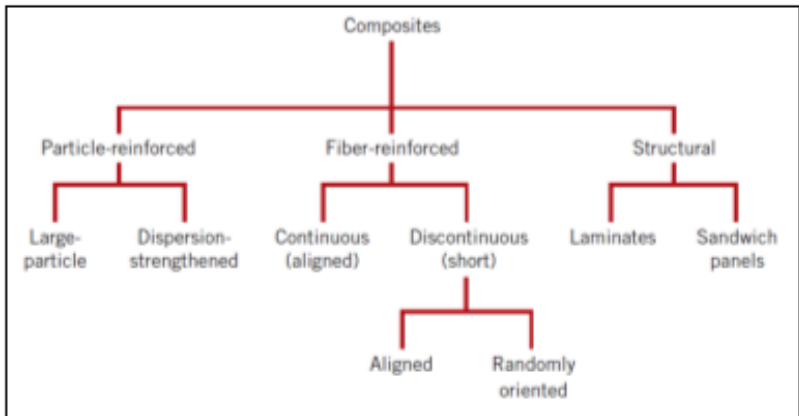
2.2 Klasifikasi Material Komposit

Material komposit telah diklasifikasikan menjadi beberapa bagian sesuai ide dan konsep yang ingin diterapkan, pada Tabel 2.2 dijelaskan bahwa komposit diklasifikasikan dalam empat grup beserta contohnya.

Tabel 2. 2 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

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)

2.2.1 Material Komposit Serat

Serat panjang pada berbagai bentuk pada umumnya lebih kaku dan kuat apabila dibandingkan dengan material yang lain. Seperti contoh, plat gelas umumnya patah pada saat menerima tegangan sekitar 20 MPa, sedangkan serat gelas memiliki kekuatan 2800 sampai 4800 MPa. Meninjau hal tersebut, geometri dan bentuk fisik serat menjadi pertimbangan yang penting untuk mengevaluasi kekuatan dan pertimbangan struktural.. Serat dikarakterisasi secara geometri tidak hanya dari rasio panjang terhadap diameter saja, tetapi juga oleh ukuran diameter kristal. Kekuatan dan kekakuan beberapa material serat disusun berdasar peningkatan rata-rata S/ρ dan E/ρ . Densitas pada masing-masing material ditulis kerana rasio kekuatan–densitas dan kekakuan–densitas umum digunakan sebagai indikator efektivitas serat, terutama pada aplikasi yang mempertimbangkan berat seperti pesawat ruang angkasa (Jones,1999)

2.2.2 Material Komposit Laminat

Material komposit laminat terdiri dari layer paling sedikit dua material berbeda yang terikat bersama. Laminasi digunakan untuk mengombinasi aspek terbaik dari masing-masing layer dan ikatan material digunakan untuk meningkatkan penggunaan material. Sifat-sifat yang bisa ditingkatkan dengan laminasi adalah kekuatan, kekakuan, ringan, ketahanan korosi, ketahanan gesekan, insulasi termal, insulasi akustik, dan estetika. Material komposit jenis ini seperti bimetal, clad metals, laminated glass, dan plastic-based laminates

2.2.3 Material Komposit Partikulat

Material komposit partikulat terdiri dari partikel-partikel yang tersebar dalam matriks. Partikel-partikel tersebut dapat berupa logam maupun non logam (Jones, 1999). Secara umum penguat partikel kurang efektif dalam meningkatkan ketahanan patah matriks, berbeda dengan komposit berpenguat serat yang baik dalam meningkatkan ketahanan patah matriks. Peran partikel dalam komposisi material komposit partikulat adalah membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat deformasi plastis matriks yang ada disela-sela partikel (Sulistijono, 2012). Beberapa jenis partikel penguat terdiri dari partikulat, dispersoidal, platelet, serat pendek (mat), dan whisker. Partikulat merupakan komposit dengan penguat partikel yang biasanya aspek rasio panjang terhadap diameternya kurang dari 5. Partikulat dapat berbentuk mono atau poli kristalin. Bentuknya bervariasi dan diameternya lebih besar dari 1 μm . Dispersoidal, hampir sama seperti partikulat, memiliki diameter kurang dari 1 μm . Platelet merupakan penguat berbentuk plat dengan rasio diameter terhadap ketebalannya lebih besar dari 2 Platelet dengan rasio kurang dari 5 termasuk jenis partikulat. Serat pendek (mat) merupakan penguat berbentuk silinder dengan rasio panjang terhadap diameter lebih besar dari 5 (umumnya lebih besar dari 100-1000). Komposit serat pendek lebih murah dan cepat dalam fabrikasi. Pada diameter serar tertentu pertambahan panjang akan

meningkatkan ikatan antar muka serat/matriks dan memudahkan transfer tegangan kerja yang diinginkan. Whisker adalah kristal tunggal yang memanjang dengan rasio panjang terhadap diameternya lebih besar dari 10 dan dengan diameter yang identik kurang dari 1 μm . (Sulistijono, 2012)

2.2.4 Kombinasi Material Komposit

Beberapa material komposit menunjukkan lebih dari satu karakteristik, berbagai jenis kelas, serat, laminat, atau partikulat. Contoh kombinasi material komposit adalah material komposit berpenguat lamina serat, merupakan kelas hibrida material komposit yang terdiri dari material komposit serat dan teknik laminasi. Layer-layer serat yang menguatkan material berikatan secara bersama-sama dengan arah serat pada masing-masing layer. Masing-masing layer memiliki arah orientasi yang berbeda untuk memberikan kekuatan dan kekakuan laminat pada segala arah (Jones, 1999).

Kekuatan dan kekakuan material komposit ini dapat diatur untuk memenuhi kebutuhan desain struktur yang akan dibuat. Seperti contoh pada bodi kapal, panel sayap dan badan pesawat, raket tenis, dan lain-lain. (Jones, 1999).

2.3 Interface

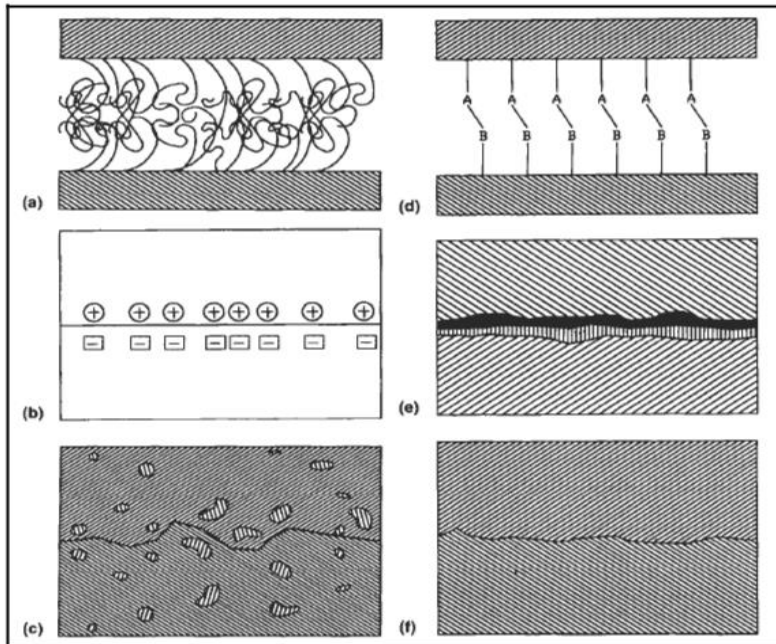
Komposit berpenguat serat banyak diaplikasikan pada alat-alat yang membutuhkan material yang mempunyai perpaduan dua sifat dasar yaitu kuat namun juga ringan. Komposit serat yang baik harus mampu menyerap matriks yang memudahkan terjadi antara dua fase (Schwartz, 1984). Selain itu komposit serat juga harus mempunyai kemampuan untuk menahan tegangan yang tinggi, karena serat dan matriks berinteraksi dan pada akhirnya terjadi pendistribusian tegangan. Kemampuan ini harus dimiliki oleh matriks dan serat. Hal yang mempengaruhi ikatan antara serat dan matriks adalah void, yaitu adanya celah pada serat atau bentuk serat yang kurang sempurna yang dapat menyebabkan matrik tidak akan mampu mengisi ruang kosong pada cetakan.

Bila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah void sehingga akan mengurangi kekuatan komposit tersebut (Schwartz, 1984).

Definisi dari interface sendiri dalam komposit serat adalah permukaan yang dibentuk oleh batas umum dari serat penguat dan matriks. Ini menghasilkan sifat fisik dan sifat mekanik yang unik dari serat atau matriks. Sebaliknya, Interfasa adalah permukaan geometris dari kontak serat-matriks, dimana bahan kimia, sifat fisik dan mekanik bervariasi baik secara kontinyu maupun secara bertahap antara serat dan matriks. Dengan kata lain, interfasa ada dari beberapa titik dalam serat melalui antarmuka yang sebenarnya ke dalam matriks, dimana adalah semua volume yang berubah selama proses penggabungan atau fabrikasi dari bahan serat dan matriks (Kim, 1998).

2.3.1 Teori Adhesi

Sifat ikatan tidak hanya bergantung pada susunan atomik, bentuk molekul dan susunan kimia dari serat dan matriks, tapi juga pada sifat morfologi serat, dan difusivitas unsur di masing-masing unsur. Oleh karena itu, system interface sangat spesifik untuk masing-masing matrik – serat. Adhesi pada umumnya dapat dikaitkan dengan mekanisme adsorpsi, wetting, daya tarik elektrostatis, ikatan kimia, ikatan reaksi, dan ikatan reaksi pertukaran. Skema ditunjukkan dalam Gambar 2.3

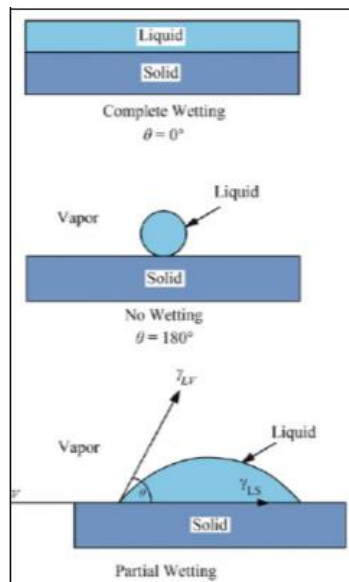


Gambar 2.3 Ikatan Interface Terbentuk (a) Oleh Keterikatan Molekul; (b) Dengan Daya Tarik Elektrostatis; (c) Oleh Interdifusi Unsur; (d) Oleh Reaksi Kimia Antara Kelompok A Pada Satu Permukaan Dan Kelompok B Pada Permukaan Lainnya; (e) Dengan Reaksi Kimia Berikut Pembentukan Senyawa Baru, Khususnya Di MMC; (f) Dengan Interlocking Mekanis (Kim, 1998).

2.3.2 Adsorpsi dan Wettability

Salah satu alasan mengapa interface penting karena interface melapisi area yang cukup besar, dapat mencapai 3,000 cm²/cm³ 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. 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.



Gambar 2.4 Tiga Kondisi Pembasahan (Chawla, 2012)

2.3.3 Tipe Ikatan dalam Interface

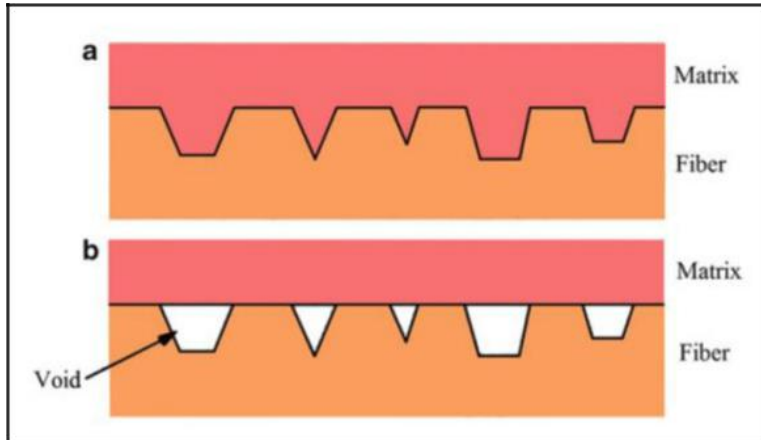
1. Ikatan Mekanis

Pada ikatan mekanik (mechanical bonding) (Gambar 2.5), 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, 2012). Simple mechanical keying or interlocking effects antara dua permukaan bisa mengarah ke tingkat ikatan yang cukup besar. Dalam komposit diperkuat serat, ada pergerakan dari matriks ke serat pusat akan menghasilkan mencengkeram serat oleh matriks. Misalnya, situasi di mana matriks di komposit secara radial menyusut lebih banyak daripada serat pada pendinginan dari suhu tinggi. Secara umum, ikatan mekanis adalah ikatan energi rendah dengan ikatan kimia, yaitu kekuatan ikatan mekanis lebih rendah daripada ikatan kimia, di sisi lain matriks, polimer cair atau logam cair, tidak mampu menembus kekasaran pada permukaan serat, maka matriks akan memadat dan meninggalkannya rongga interface, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 (Chawla, 2012).

Contoh kekasaran permukaan yang berkontribusi untuk kekuatan interface meliputi:

- a. Perawatan permukaan serat karbon, misalnya oksidasi asam nitrat dari serat karbon, yang meningkatkan luas permukaan spesifik dan menyebabkan pembasahan yang baik di PMCs, akibatnya kekuatan komposit geser interlaminar yang ditingkatkan (ILSS)

- b. Sebagian besar komposit matriks logam akan memiliki mekanis yang diinduksi kekasaran ikatan antara penguatan keramik dan matriks logam.
- c. Sebagian besar sistem CMC juga menunjukkan grip mekanis antara matriks dan serat



Gambar 2. 5 (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, 2012).

2. Ikatan Fisik dan Ikatan Kimia

Setiap ikatan yang melibatkan kekuatan lemah dan sekunder seperti ikatan van der Waals, Interaksi dipolar, dan ikatan hidrogen dapat diklasifikasikan sebagai ikatan fisik. Energi ikatan dalam ikatan fisik semacam itu sangat rendah, kira-kira 8-16 kJ / mol. Pergerakan atom atau molekuler, dengan proses diffusional, terjadi dalam larutan padat dan pembentukan senyawa dapat terjadi pada antarmuka, menghasilkan zona reaksi antar muka disertai penguatan/matriks yang memiliki ketebalan tertentu. Hal ini mencakup semua jenis ikatan kovalen, ionik dan logam. Ikatan kimia melibatkan kekuatan primer dengan **energi**

ikatan berada pada kisaran 40-400 kJ / mol (Chawla, 2012). Reaksi kimia terjadi di 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). Ada dua jenis ikatan kimia utama :

- a. *Dissolution bonding*. Dalam hal ini, interaksi antar komponen terjadi pada skala elektronik. Karena interaksi ini agak pendek, penting bahwa komponen tersebut masuk sebesar skala atom. Ini menyiratkan bahwa permukaan harus diperlakukan dengan tepat untuk menghilangkan pengotor. Setiap kontaminasi permukaan serat, atau gelembung udara atau gas yang terperangkap di interface, akan menghambat kontak yang dibutuhkan antar komponen.
- b. *Reaction bonding*. Dalam hal ini, transportasi molekul, atom atau ion terjadi dari satu atau kedua komponen, yaitu pada interface. Transportasi atom dikendalikan oleh proses diffusional. Ikatan semacam itu bisa ada pada berbagai macam interface, misalnya kaca / polimer, logam / logam, logam / keramik atau keramik / keramik (Chawla, 2012).

2.4 Serat Karbon

Serat karbon merupakan serat yang mengandung setidaknya 90 % berat karbon. Umumnya serat karbon yang digunakan adalah fiber graphite yang merupakan serat dengan kandungan karbon di atas 95 % . Serat karbon cocok untuk aplikasi yang harus memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, ringan dan ketahanan terhadap fatigue. Selain itu karbon juga dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan suhu tinggi , kelembaman dan redaman. Bentuk serat karbon terdiri atas searah, bersilangan, berkaitan, atau tidak tentu. Kualitas serat adalah distribusi serat yang merata, tidak adanya celah.

Tabel 2. 3 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

2.4.1 Struktur Serat Karbon



(a)



(b)

Gambar 2.6 (a) Serat Karbon. (b) Aplikasi Serat Karbon.

Karakteristik dari serat karbon pada umumnya sama dengan grafit yaitu merupakan anisotropik dan struktur dasarnya adalah heksagonal grafit kristalit (Gambar 2.6). 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.
(Mallick 2007).

2.4.2 Sifat Mekanik Serat Karbon

Keuntungan dari serat karbon, dapat dilihat pada Tabel 2.4, 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 2.4 Sifat Mekanik dan Fisik Prekursor PAN

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

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

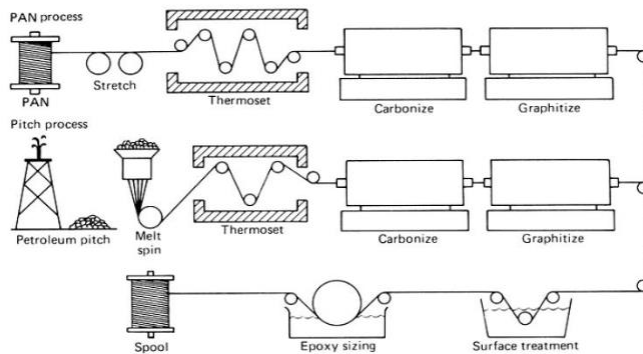
mekanis dari serat ini ditentukan oleh komposisi prekursor dan waktu temperatur proses pembuatan. Secara umum, semakin tinggi suhu proses maksimum, semakin besar derajat orientasi kristal pada sumbu serat, dan karenanya semakin tinggi modulus seratnya. Peningkatan modulus biasanya dicapai dengan pengurangan kekuatan dan keuletan. Kekuatan tarik dan modulus tarik juga dipengaruhi oleh jumlah kristalinitas dan adanya cacat (Jong-Kyo Kim, 1998).

2.4.3 Manufaktur Serat Karbon

Serat karbon dibuat dari serat pitch, serat polimer (mis., poliakrilonitril) atau gas karbon (misalnya asetilena). Yang terbuat dari pitch dan serat polimer sudah tersedia secara komersial, sedangkan yang terbuat dari Gas karbon belum tersedia secara komersial. Yang terbuat dari pitch dan serat polimer berbentuk pendek dan kontinyu, sedangkan yang dibuat dari gas karbon hanya dalam bentuk pendek. Serat terbuat dari pitch dan gas karbon memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dan listrik yang lebih rendah resistivitas

Serat PAN digunakan untuk dikategorikan menjadi modulus tinggi, menengah dan standar. Perbedaan antara ketiga kategori untuk serat yang terbuat dari prekursor tertentu adalah karena kombinasi peregangan mekanis, perlakuan panas dan proses pemintalan yang dilakukan saat serat karbon dimanufaktur. Serat Karbon diperoleh dengan proses manufaktur berbagai macam prekursor seperti PAN, pitch dan rayon. Meskipun rincian pemrosesan spesifik untuk setiap prekursor berbeda, semua mengikuti urutan dasar yang melibatkan tahap pemintalan, stabilisasi, karbonisasi dan penerapan akhir.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 serat karbon terputus-putus juga sekarang diproduksi di sebuah proses batch dari gas hidrokarbon menggunakan mekanisme pertumbuhan padat-uap-cair.



Gambar 2.7 Skema Proses Manufaktur Serat Karbon
(ASM, 2001)

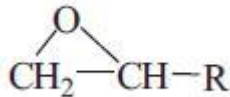
Mayoritas dari semua serat karbon yang digunakan saat ini terbuat dari prekursor PAN, yang merupakan serat akrilik. Pembuatan prekursor dilakukan dengan memutar polimer PAN menjadi filamen dengan varian proses pembuatan serat tekstil. Serat PAN berwarna putih, dengan kerapatan sekitar $1,17 \text{ g / cm}^3$ ($0,042 \text{ lb / in}^3$) dan struktur molekul terdiri dari molekul rantai panjang yang berorientasi. Proses stabilisasi melibatkan peregangan dan pemanasan serat PAN hingga temperatur 200 sampai 300°C (390 sampai 570°F) dengan kandungan oksigen dalam atmosfer untuk menghubungkan molekul-molekul yang ada, sehingga bisa bertahan pada pirolisa temperatur tinggi. Peregangan yang dilakukan saat memutar PAN selama proses stabilisasi membantu mengembangkan molekul PAN hingga strukturnya memiliki orientasi yang baik. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan modulus tarik dan kekuatan tarik prekursor untuk perlakuan panas berikutnya (ASM, 2001).

Karbonisasi serat modulus standar dan menengah biasanya melibatkan pemanasan serat ke temperatur 1000 sampai 1500°C (1800 sampai 2700°F) dalam atmosfer inert, biasanya mengandung karbon 95% . Tambahan langkah perlakuan

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

2.5 Epoksi

Resin Epoxy ditemukan tahun 1909 oleh Prieleschajew. Resin Epoxy di definisikan sebagai “ low-molecular-weight pre-polymers “ mengandung lebih dari satu grup epoxy dalam suatu fungsi (Gambar 2.8)



Gambar 2.8 Gugus Fungsi Epoksi (Jin, 2015)



Gambar 2.9 Resin Epoxy (Nett, 2014)

Gambar 2.9 menunjukkan Resin Epoxy merupakan resin jenis thermoset, yang di cured menggunakan bermacam – macam variasi “curing agents” dengan reaksi curing. Sifatnya bergantung dengan kombinasi spesifik tipe sebuah resin epoksi dan “curing agents” yang digunakan (Jin, 2015). Karena mempunyai sifat mekanik yang bagus , adhesif tinggi untuk banyak substrat , dan ketahanan panas dan kimia bagus dan Epoksi dapat di aplikasikan di berbagai bidang (Jin, 2015).

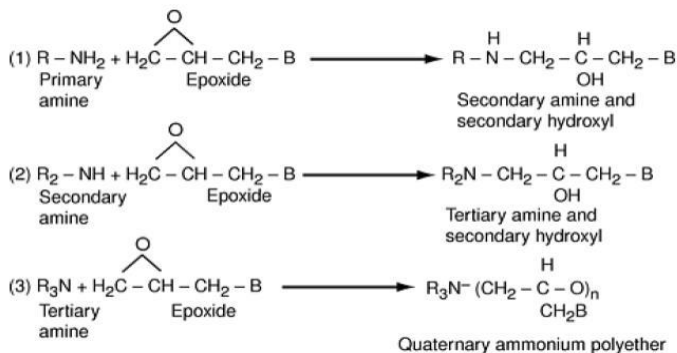
2.5.1 Sifat dan Aplikasi Resin Epoksi

Resin Epoksi banyak digunakan karena fleksibilitasnya terhadap reaksi kimia dan sifatnya (Tabel 2.5) 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)

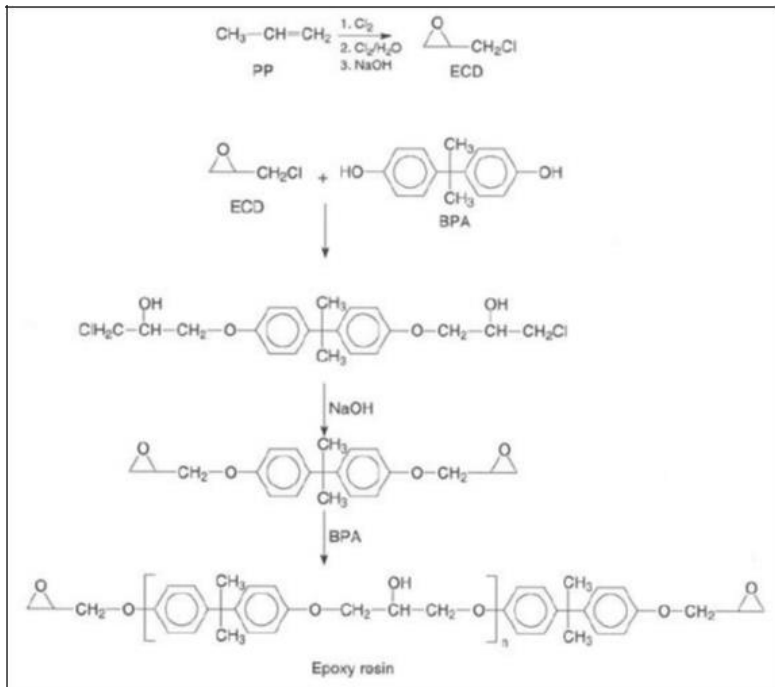
Tabel 2. 5 Sifat mekanik dari resin epoksi (Chawla, 2012)

Densitas (g/cm ³)	Kekuatan (MPa)	Modulus Young (GPa)	Temperatur saat digunakan (° C)
1.2-1.3	50-125	2.5-4	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).



Gambar 2.10 Reaksi Epoksi dengan Amina (ASM Vol 21,2001)



Gambar 2.11 Sintesis DGEBA (Ratna, 2009)

Resin Epoksi adalah senyawa yang mengandung lebih dari satu kelompok epoksida dalam satu molekulnya. Kelompok epoksida atau yang sering disebut sebagai kelompok glycidyl inilah yang menjadi alasan pemberian nama Epoksi. Epoksi berasal dari oksigen yang berikatan dengan rantai karbon yang disebut oxide, kata pertama epi yang berarti “the outside of” dan kata kedua berasal dari oksigen, yang kemudian dikenal dengan sebutan epoksi. Resin epoksi yang paling umum adalah diglycidyl ether dari bisphenol A (DGEBA), yaitu reaksi yang terjadi antara epiklorohidrin (ECD) dan bisphenol A (BPA) ditunjukkan pada Gambar 2.12 (Ratna, 2009). ECD dibuat dari polipropilena (PP) dengan mereaksikan klorin dengan natrium hidroksida. ECD

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

2.6 *Surface Treatment 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. Peningkatan luas permukaan memberikan jumlah titik kontak yang lebih besar untuk ikatan serat-matriks (Mallick, 2007). Menurut (Zhang 2012) perlakuan permukaan biasa dilakukan setelah serat karbon keluar dari carbonizing furnace. Secara general perlakuan permukaan serat karbon terdiri dari dua jenis, bersifat oksidatif dan nonoksidatif

2.6.1 *Oxidative Surface Treatment*

Ada berbagai metode perlakuan oksidatif, termasuk oksidasi kering dengan adanya gas, etsa plasma dan oksidasi basah. Perawatan oksidatif kering biasanya dilakukan dengan udara, oksigen dan karbon dioksida di temperatur rendah atau tinggi. (Herrick, 1966) memperlakukan serat karbon berbasis rayon di udara pada suhu 500 °C selama 16 jam untuk meningkatkan kekuatan geser interlaminar (ILSS). ILSS ditingkatkan sebesar 45% ketika suhu dinaikkan menjadi 600 °C, Perlakuan serat selama 60 detik dalam yang mengandung 0,1-1,8% O₂ pada 1000-1500 °C untuk meningkatkan karakteristik ikatannya. Tidak ada degradasi yang signifikan dari sifat mekanik

serat. (Dai, 2011) mempelajari pengaruh perlakuan panas pada sifat permukaan serat karbon dan adhesi antarmuka. Serat karbon T300B dipanaskan dalam ruang vakum pada temperatur 150 C, 180 C, dan 200 C selama beberapa jam menggunakan kontrol siklus pemrosesan. Percobaan ini menunjukkan bahwa kandungan atom karbon aktif (bersama dengan oksigen dan nitrogen dan hidroksil) pada serat karbon dan energi permukaan kutub menurun dengan meningkatnya perlakuan panas. Dibandingkan dengan serat yang tidak diberikan perlakuan, wettability menjadi menjadi lebih buruk dipelajari melalui uji sudut kontak antara serat karbon dan resin epoksi E51. Itu hasil tes mikro-tetes menunjukkan bahwa IFSS dari T300B / epoksi berkurang setelah proses perlakuan panas. Hal ini dikaitkan dengan penurunan jumlah kelompok fungsional reaktif di wilayah antarmuka. (Zhang . 2012).

Proses thermal yang terjadi pada serat karbon menciptakan micropores atau lubang permukaan pada permukaan serat karbon. Hal ini disebabkan karena serat karbon mengalami proses pyrolysis pada permukaannya dan menyebabkan volatile karbon terlepas ke lingkungan dan menciptakan morfologi berpori pada serat. Pembuatan pori pada serat ini diiringi oleh weightloss pada serat karbon (Mark, 2016).

Perlakuan plasma telah menjadi metode yang populer untuk meningkatkan serat-matriks adhesi dalam beberapa tahun terakhir. Plasma adalah gas yang terionisasi sebagian atau seluruhnya elektron, radikal, ion dan atom atau molekul netral. Prinsip perlakuan plasma adalah pembentukan spesies aktif dalam gas yang diinduksi oleh energi plasma. Gas khas yang digunakan untuk membuat plasma termasuk udara, oksigen, amonia, nitrogen dan argon. Telah digunakan oksidasi plasma atmosferik kontinu (APO) untuk menambah fungsi oksigen pada permukaan serat karbon untuk meningkatkan adhesi antarmuka antara serat karbon dan poliamida-12 (PA-12). Setelah Perlakuan APO, serat karbon menjadi lebih hidrofilik karena penambahan gugus yang mengandung oksigen polar pada permukaan serat, yang juga

menghasilkan peningkatan energi permukaan serat. Dan kekuatan tarik serat tetap tidak terpengaruh. IFSS antara serat karbon dan PA-12 meningkat dari 40 menjadi 83 MPa hingga 4 menit perawatan APO. Ini dapat dikaitkan dengan peningkatan oksigen permukaan konten dari 7 at.% hingga 16 at.%, yang menghasilkan lebih banyak ikatan hidrogen antara serat dan matriks PA-12. Sejumlah zat pengoksidasi fase cair (mis. Asam nitrat, kalium asam permanganat, kalium dikromat asam, hidrogen peroksida dan ammonium bikarbonat) juga telah digunakan untuk perlakuan permukaan serat karbon. Fase cair ini perlakuan tidak menyebabkan pitting berlebihan dan karenanya menurunkan kekuatan serat oksidasi. (Zhang . 2012).

Perlakuan anodik paling banyak digunakan untuk perawatan serat karbon komersial. Banyak diterapkan karena keunggulannya yaitu cepat, seragam dan cocok untuk produksi massal. Serat karbon bertindak sebagai anoda dalam bak elektrolit lalu potensi diterapkan pada serat untuk membebaskan oksigen di permukaan. Elektrolit yang bias digunakan antara lain asam nitrat, asam sulfat, natrium klorida, kalium nitrat, natrium hidroksida, amonium hidroksida dan sebagainya. (Zhang . 2012)

2.6.2 Non-oxidative Surface Treatment

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 (Mallick, 2007).

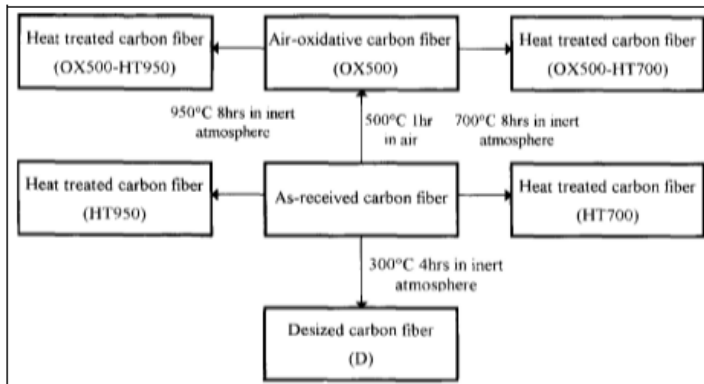
Diantaranya termasuk pengendapan karbon aktif, polimerisasi plasma dan okulasi polimer serat karbon. Banyak uap organik yang dapat dipolimerisasi digunakan untuk proses polimerisasi plasma, seperti poliamida, polimida, organosilan, propilena, dan monomer stirena. Polimerisasi plasma ditujukan untuk meningkatkan energi bebas pada permukaan serat karbon (Zhang, 2012)

2.7 Perlakuan panas Serat Karbon

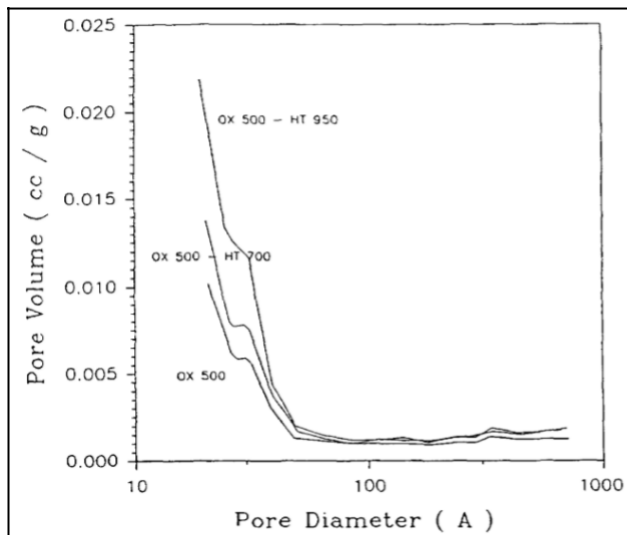
Perlakuan panas serat karbon adalah teknik perlakuan permukaan yang populer. Dimana perlakuan ini bisa mempengaruhi sifat fisiko-kimia dan morfologi serat karbon (Wang, 2006). Sebelumnya (Lee, 2001) mempelajari peran perlakuan panas dalam meningkatkan sifat komposit serat karbon.

Serat karbon yang diterima dalam campuran gas / (+) pada 550 C selama 15 menit. Kekuatan geser interlaminar (ILSS) dari komposit yang menggunakan serat karbon permukaan yang diberi perlakuan panas meningkat sebesar 69% dibandingkan dengan serat karbon yang tidak diberi perlakuan.

Perlakuan panas dari serat karbon mengakibatkan penurunan gugus fungsi dan mikropori dikonversi menjadi makropori dan luas permukaan meningkat.. Telah ditunjukkan bahwa berbagai molekul prapolimer hampir tidak dapat mengakses mikropori serat teroksidasi udara karena efek penghalang sterik meskipun serat memiliki luas permukaan yang meningkat dan sejumlah besar gugus fungsi. Spesimen penelitian dan porus dihasilkan dari setiap perlakuan ditunjukkan oleh Gambar 2.12 dan 2.13 (Kang, 1996)



Gambar 2.12 Spesimen Penelitian Oxidative Surface Treatment dan Heat Treatment (Kang, 1996)

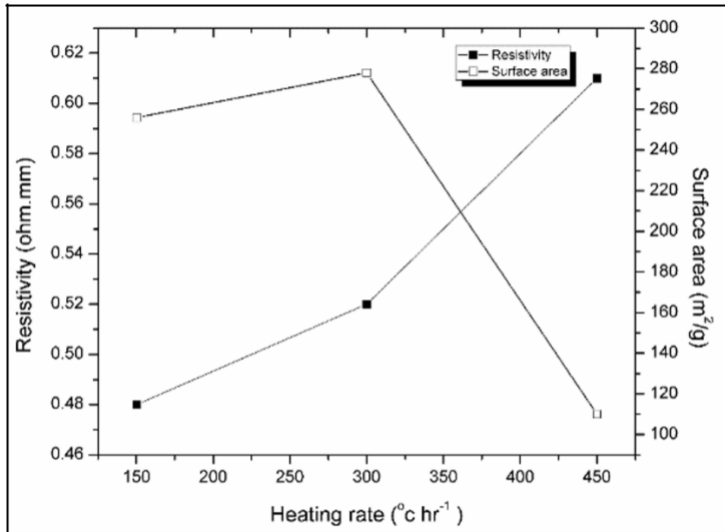


Gambar 2.13 Distribusi Porus Setelah Perlakuan Panas (Kang, 1996)

2.8 Laju Pemanasan dalam Perlakuan Panas

Laju pemanasan optimal adalah titik setimbang antara sensitivitas instrumen yang digunakan dan pemberian waktu yang cukup untuk menyelesaikan reaksi. Jadi dalam interval temperatur yang diberikan, laju pemanasan yang lebih cepat membuat sampel memiliki waktu yang lebih pendek, sedangkan laju pemanasan yang lebih lama memberi sampel waktu lebih banyak untuk bereaksi. Adalah umum untuk menggunakan laju pemanasan antara 5 C hingga 20 C/menit Untuk memilih laju pemanasan yang tepat, seseorang harus memilih laju tercepat yang masih memungkinkan cukup waktu untuk menyelesaikan reaksi. Cara paling akurat untuk memilih laju pemanasan yang sesuai adalah dengan menjalankan beberapa sampel pada laju pemanasan berbeda, mengintegrasikan hasilnya, dan memilih laju pemanasan yang memberikan nilai terbesar dari reaksi panas. Idealnya panas reaksi harus independen dari laju pemanasan, tetapi panas reaksi yang diukur dapat lebih rendah dari yang diharapkan karena beberapa alasan: a) Jika laju pemanasan terlalu cepat, mungkin tidak ada cukup waktu bagi reaksi untuk melanjutkan penyelesaian. ; b) jika laju pemanasan terlalu lambat, sinyal mungkin terlalu rendah untuk instrumen untuk mendeteksi panas (Fava, 1998).

Penelitian (Salman, 2016) yang melakukan perlakuan panas terhadap carbon web menunjukkan bahwa meskipun tidak ada perbedaan besar luas permukaan ketika laju pemanasan meningkat dari 150°C hingga 300°C, namun luas permukaan kemudian berkurang ketika laju pemanasan ditingkatkan menjadi 450°C karena tiba-tiba lepasnya materi volatil yang menyebabkan dampak buruk pada area permukaan.

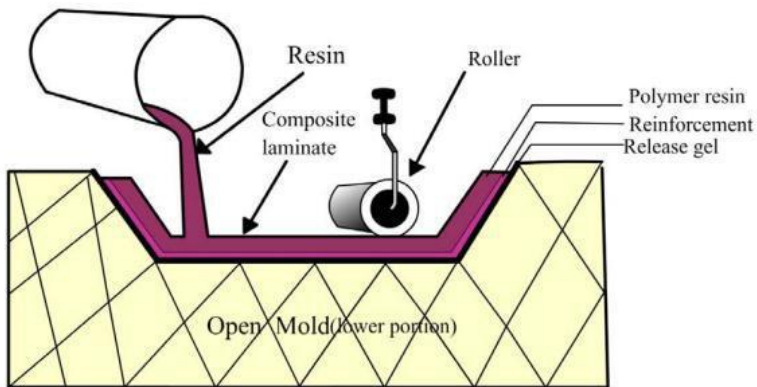


Gambar 2.14 Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Luas Permukaan dan Resistivitas Carbon Web (Salman, 2016)

2.9 Metode Hand Lay Up

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

tekanan rendah. Baja, kayu, GRP dan Bahan lainnya digunakan sebagai bahan cetakan untuk keperluan prototype. Skema proses wet lay-up ditunjukkan pada Gambar 2.15, di mana ketebalan bagian komposit dibangun dengan menerapkan serangkaian penguatannlapisan dan lapisan resin cair. Rol digunakan untuk memeras resin berlebih dan membuat distribusi resin yang seragam di seluruh permukaan sehingga serat homogen diperoleh (Mazmudar, 2002)



Gambar 2.15 Skema Hand Lay-Up / Wet Lay-Up (Mazmudar, 2002)

2.10 Penelitian Sebelumnya

Kang dkk pada tahun 1997 melakukan penelitian mengenai oxidative treatment dan perlakuan panas terhadap perubahan psycho-chemical dan morfologi permukaan serat karbon. Dihasilkan bahwa kelompok-kelompok fungsional dan luas permukaan di permukaan serat meningkat dengan oxidative treatment. Distribusi mikropori ditingkatkan oleh oksidasi udara permukaan. Perlakuan panas dari serat karbon juga meningkatnya kekuatan permukaan karena pembesaran area permukaan hal ini karena mikropori dikonversi menjadi makropori saat perlakuan berlangsung. Namun perlakuan panas juga mengakibatkan

penurunan kelompok fungsional dari serat karbon sendiri. Telah ditunjukkan bahwa berbagai molekul polimer hampir tidak dapat mengakses mikropori serat yang dibentuk setelah oxidative treatment karena efek penghalang sterik meskipun serat memiliki luas permukaan yang lumayan tinggi dan sejumlah besar gugus fungsi. Maka dari itu pada penelitian ini perlakuan panas setelah oxidative treatment disarankan untuk mendapatkan permukaan serat karbon yang maksimal.

Tabel 2. 6 Perubahan Porositas dan Luas permukaan setelah perlakuan (Kang, 1997)

Surface treatment	Surface area (m ² /g)	Pore volume (× 10 ⁻³ cm ³ /g)	Median pore diameter (Å)
D	1.1	1.9	54.5
OX500	19.2	4.2	31.0
HT700	1.3	4.1	93.2
OX500-HT700	20.9	5.4	38.3
HT950	3.1	1.2	365.6
OX500-HT950	28.8	7.0	32.8

Tabel 2. 7 Berat dan Ukuran Molekul Resin (Kang, 1997)

	Molecular weight	Molecular size
Phenolic resin	427	19.6
Epoxide resin	340	15.2
	624	26.5
	908	37.8
	148	7.54
Furan resin	148	7.54
Polyimides resin	382	15.8

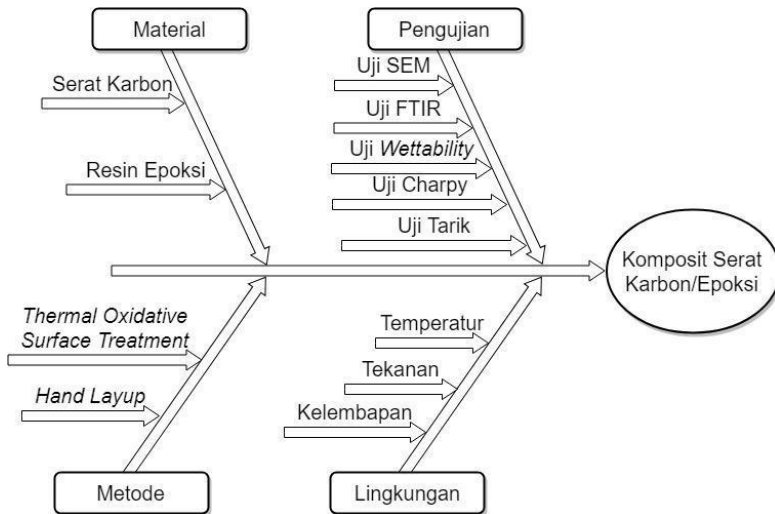
Sedangkan Wang dkk pada tahun 2006 melakukan penelitian yang juga membahas tentang karakterisasi serat karbon yang diberi perlakuan panas. Penelitiannya menunjukkan bahwa sifat fisik dan kimia serat karbon telah berubah. Perlakuan panas bisa meningkatkan stabilitas termal serat karbon dan mengurangi aktivitas permukaan karena penurunan jumlah atom oksigen dan nitrogen sedangkan atom karbon sebaliknya meningkat. Perlakuan panas juga dapat meningkatkan grafitisasi tingkat serat karbon, dengan memperbesar dimensi kristal dan mengurangi jarak antar serat.

Lalu pada tahun 2012 Zhang dkk dalam penelitiannya melakukan perlakuan panas dimana serat karbon diberikan perlakuan panas dengan variasi flow rate / Ar sebagai atmosfernya, waktu perlakuan, dan temperature. Didapatkan hasil seperti yang tertera pada tabel 2.8

Tabel 2. 8 IFFS Serat Karbon T700GC setelah perlakuan panas (Zhang, 2012)

Fiber	Treatment condition			IFSS (MPa)
	H ₂ (L/min)	Temperature (°C)	Time (min)	
T700GC	0	600	8	50.2
	0.1	600	8	61.9
	0.3	600	8	71.7
	0.5	600	8	96.5
	0.3	600	8	71.7
	0.3	650	8	58.1
	0.3	700	8	50.1
	0.3	750	8	56.6
	0.3	600	4	81.5
	0.3	600	8	71.7
	0.3	600	16	114.3
	0.3	600	32	77.7
	As-received			65.4

IFSS (interfacial shear strength) dari serat karbon / epoksi yang diolah komposit dievaluasi dengan uji fragmentasi serat tunggal. Hasil menunjukkan sifat antarmuka optimal diperoleh untuk serat T700GC adalah perlakuan dengan temperatur 600°C selama 16 menit dan menggunakan laju aliran 0,3L / menit. IFSS meningkat sebesar 75% dibandingkan dengan serat yang tidak diberi perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa laju aliran yang lebih tinggi dapat memberikan area rekat yang lebih efektif pada antarmuka serat/matriks melalui pembuatan pori relatif lebih besar dari sehingga membuat resin dapat menginfiltrasi permukaan dengan maksimal dan membuat interlocking serat/matriks. Fishbone diagram dan road map penelitian ditunjukkan dengan gambar 2.17 dan 2.18.



Gambar 2.17 Diagram Fish Bone penelitian



Gambar 2.18 Road Map Penelitian



Gambar 2. 19 Rompi Anti Peluru Yang Tipe Soft Armor yang Dibuat dengan Laminat Unidireksional. (Cavallaro, 2011)

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 2.19. Terdapat beragam material yang digunakan untuk body armor. Hani, dkk. (2012), merangkum beberapa material yang umumnya digunakan pada body armor, sebagaimana pada Tabel 2.9

Tabel 2. 9 Sifat mekanik dari beberapa serat balistik (Hani, dkk. 2012)

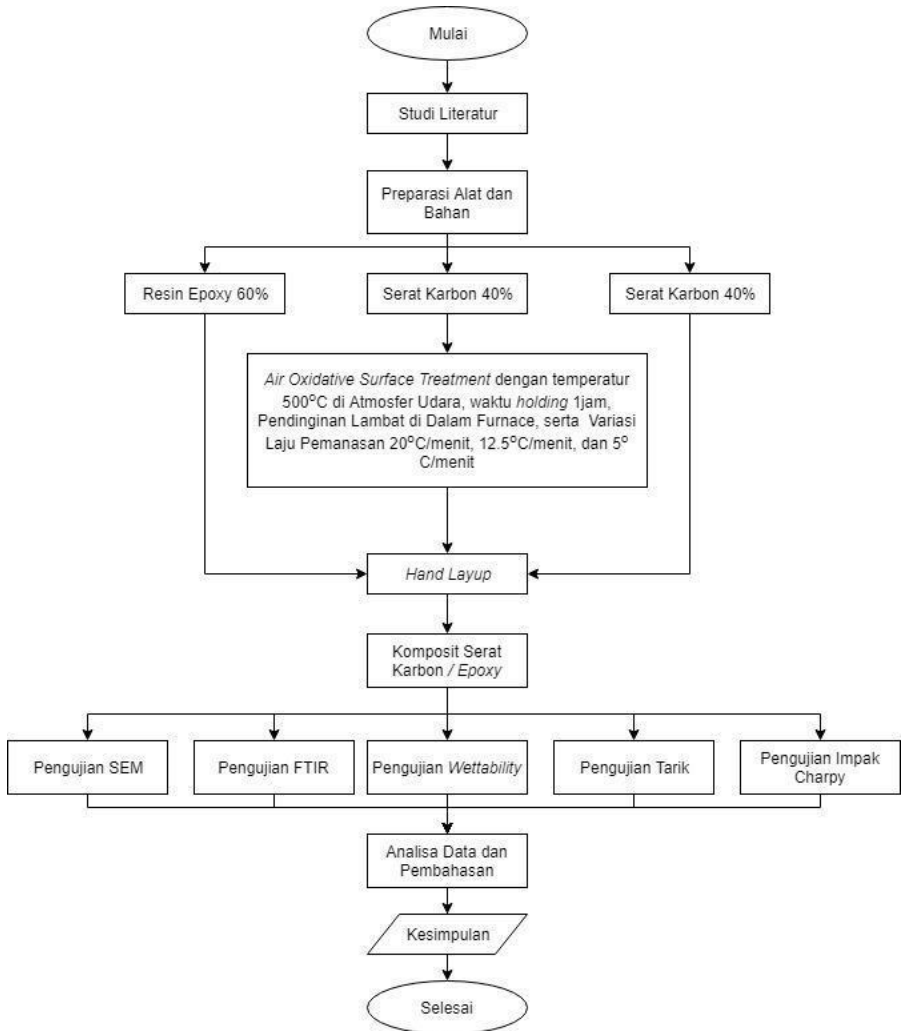
Material	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Density</i> (g/cm ³)	Tensile Modulus (GPa)	Elongation (%)
<i>Polypropylene</i>	500	0,829	2	6
<i>E-Glass</i>	2750	2,57	73	2,5
<i>S-Glass</i>	4710	2,48	-	2,8
<i>Carbon Fiber</i>	4000	1,75	131	2,8
<i>Aramid (Kevlar or Twaron)</i>	3200	1,44	131	4

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 2.9. Untuk E- 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.

(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 studi literatur kemudian menyiapkan alat dan bahan sebelum memulai penelitian. Bahan utama yang dibutuhkan adalah serat karbon dan resin epoksi, sedangkan peralatan yang utama adalah *Furnace*. Sebagian serat karbon lalu diberikan air oxidative surface treatment pada temperatur 500°C dengan waktu holding 1 jam. Perlakuan diberikan variasi laju pemanasan $20^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, $12.5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, dan $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Setelah itu serat karbon yang telah diberi perlakuan maupun yang tidak dicampurkan dengan resin epoksi dengan metode hand layup. Setelah komposit terbentuk 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 Justus Kimiaraya (NJK), merupakan salah satu bahan dasar pembentuk komposit yang berfungsi sebagai penguat.. Serat karbon yang digunakan memiliki pola *twill weave*.



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

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Gelas Ukur
Untuk mewadahi resin ketika akan dicampurkan
2. Timbangan Elektrik
Untuk mengukur berat resin dan karbon fiber ketika dicampurkan
3. Kuas
Kuas digunakan untuk meratakan matriks saat dituangkan ke serat karbon.
4. Crucible
Untuk menempatkan serat karbon saat perlakuan panas
5. *Tubular Vacuum Furnace*
Digunakan untuk memberikan perlakuan panas terhadap serat karbon. Furnace yang digunakan disini adalah *Tubular Vacuum Furnace* milik Laboratorium Fisika Material Departemen Teknik Material ITS
6. 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 Karakterisasi, Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Uji *Wettability*
Uji *wettability* digunakan untuk mengetahui sudut *contact angle* permukaan sampel dengan cara menteteskan air.
8. Mesin Uji Tarik
Digunakan untuk mengukur kekuatan tarik dari komposisi serat karbon/epoksi. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Laboratorium Inovasi Material, Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Mesin Uji Impak *Charpy*

3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah laju pemanasan saat perlakuan panas dengan variasi 20⁰C/menit, 12.5⁰C/menit, dan 5⁰C/menit

3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang dilakukan hingga didapatkan hasil berupa Komposit Serat Kaca/Serat Karbon/Epoxy sebagai kandidat komposit anti

1. Menyiapkan semua alat dan bahan
2. Memotong serat karbon sesuai kebutuhan.
3. Sebagian serat karbon lalu diberi perlakuan pada *tubular furnace* dengan temperatur 500⁰C dengan waktu holding 1 jam
4. Mengukur massa campuran matriks yaitu Epoksi/Serat 60%:40% (digunakan 12 layer serat karbon)
5. Menyiapkan cetakan yang kemudian diberikan Aluminium foil untuk menghindari perekatan komposit dengan cetakan.
6. Menuangkan matriks pada cetakan setebal kurang lebih 1 mm. Kemudian menyusun serat kaca dan serat karbon dengan .kemudian menuangkan kembali matriks yang kemudian diratakan dengan roll agar persebaran matriksnya merata dengan perbandinganya sesuai Metode ini merupakan metode *Hand Lay-up*.
7. Melakukan pengujian terhadap spesimen yang dibuat.

3.6 Pengujian

1. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Sentral Departemen Teknik Mesin FT-UB seperti yang ditunjukkan Gambar 3.4. Alat yang digunakan adalah SEM Phenom G2 Pro produksi belanda dengan perbesaran maksimal 45000x dan

resolusi 25mm. Spesimen untuk uji SEM memiliki maksimal luasan 1x1cm dan tinggi 2mm dibawah holder. Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi komposit yang belum dan sudah diberikan perlakuan. 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. 4 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 3.5. Alat ini memiliki presisi *wavelength* 0.01cm^{-1} dan kecepatan maksimal 40 spektra per detik. Spesimen yang digunakan pengujian FTIR mengikuti standar ASTM E1421. 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).

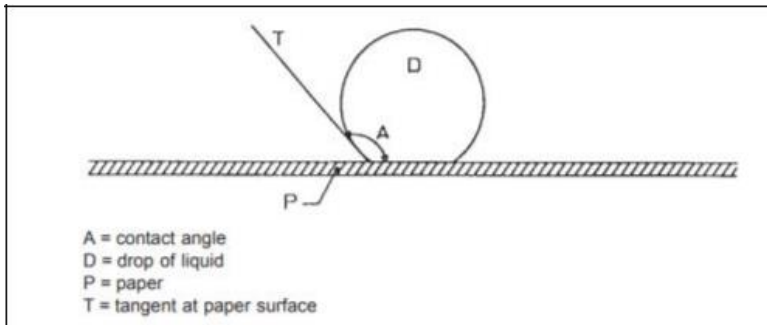


Gambar 3. 5 Mesin FTIR

3. Pengujian *Wettability*

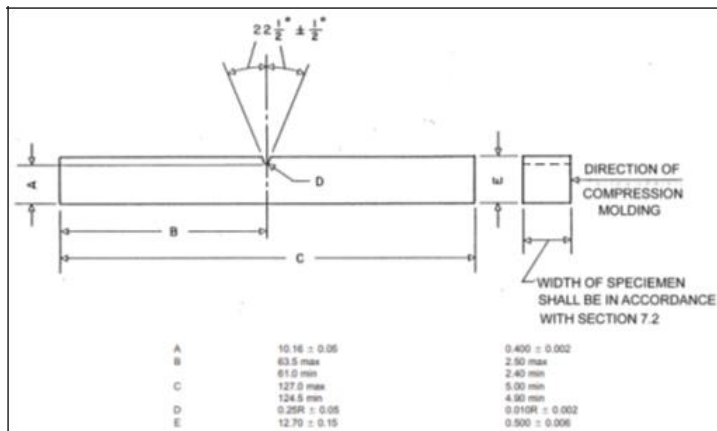
Pengujian *wettability* dilakukan berdasarkan ASTM D7334 – 08 seperti Gambar 3.6. Menteteskan air sebanyak 2-3 tetes ke permukaan sampel, kemudian foto *contact angle* permukaan sampel untuk pengambilan sudut *contact angle* lalu dimasukkan dalam software Corel Draw X7. Setelah gambar jadi, buat garis lurus pada bentuk cekungan air untuk mengetahui besar sudut 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 dari cekungan air.



Gambar 3. 6 Ilustrasi sudut kontak

4. Pengujian Impak *Charpy*



Gambar 3. 5 Dimensi Beam Sederhana, Tipe *Charpy*, Spesimen Uji Impak.



Gambar 3. 8 Mesin Uji Impak *Charpy*.

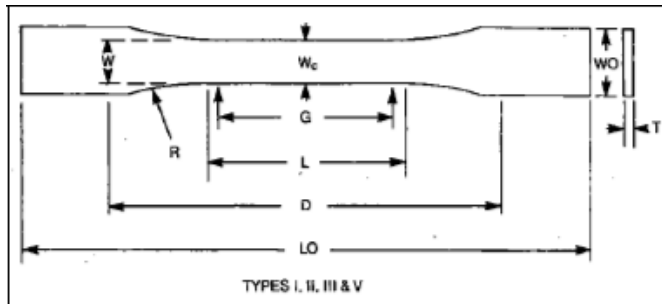
Pada pengujian impak, energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan joule dan dibaca langsung pada skala (dial) penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji. Harga impak (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode *charpy* seperti pada persamaan 3.1

$$HI = E/A \dots\dots\dots (Persamaan 3.1)$$

dimana, E = energi yang diserap (joule).
A = luas penampang di bawah takik (mm²)

5. Uji Tarik

Uji tarik dilakukan sesuai dengan standar American Society for Testing Materials (ASTM) D638 seperti Gambar 3.9, 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. 9 Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638 (ASTM, 2008)

Tabel 3. 1 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638 (ASTM, 2010)

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

Dimensi	Tipe I (mm)	Tipe II (mm)	Tipe III (mm)	Tipe V (mm)	Toleransi (mm)
D	115	135	115	25.4	± 5
R	76	76	76	12.7	± 1
T	≤ 7	≤ 7	7-14	≤ 4	-

Hasil yang diperoleh pada pengujian tarik adalah kurva antara ΔF dan Δl . Kemudian nilai tersebut, diubah menjadi kurva *engineering stress-strain*. Untuk memperoleh kurva *engineering stress-strain* dari kurva antara ΔF dan Δl , digunakan Persamaan 3.2 dan 3.3 sebagai berikut:

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

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 3.3)}$$

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 3.2 dan Tabel 3.3 di bawah

Tabel 3. 2 Perlakuan Serat Karbon.

Kode Sampel Serat Karbon	Laju pemanasan	Pengujian	
		<i>Wettability</i>	<i>FTIR</i>
CF 0 (Tanpa Perlakuan)	—	√	√
CF 20	20 ⁰ C/menit	√	√
CF 12.5	12.5 ⁰ C/menit,	√	√
CF 15	5 ⁰ C/menit	√	√

Tabel 3. 3 Pembuatan Komposit.

Kode Sampel Komposit	Material (% massa)		Pengujian		
	Serat Karbon	Epoksi	Uji Tarik	Uji Impak <i>Charpy</i>	SEM
CFRP 0 (Tanpa Perlakuan)	40	60	√	√	√
CFRP 20	40	60	√	√	√
CFRP 12.5	40	60	√	√	√
CFRP 5	40	60	√	√	√

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

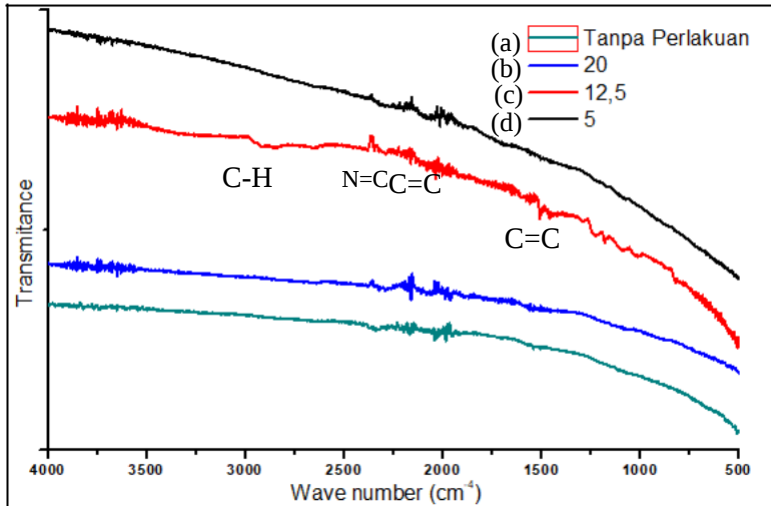
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan komposit dari Epoksi dan Serat Karbon. Serat karbon yang digunakan diberikan perlakuan terlebih dahulu yakni diproses oksidasi dengan variasi laju pemanasan 20, 12.5, dan 5°C/menit. Juga digunakan serat karbon tanpa perlakuan sebagai pembanding. Komposisi matriks epoksi dengan serat karbon yang digunakan adalah 60:40. Hasil dari perlakuan tersebut lalu dimanufaktur untuk menjadi komposit untuk kemudian dilakukan karakterisasi dan analisis seperti berikut.

4.1 Analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*

Dalam grafik FTIR terdapat *Wavenumbers* (cm^{-1}) dan *Transmittance* (%) mewakili panjangnya gelombang yang dihasilkan pada saat reaksi dan besarnya transmisi atau perpindahan energi efektif yang terjadi selama reaksi. Sehingga pada grafik FTIR dapat dilihat aktivitas transformasi ikatan pada serat karbon. Analisis FTIR ini bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk pada Serat Karbon. Analisis dilakukan dengan membandingkan spektrum gugus fungsi Serat Karbon sebelum dan sesudah diberikan variasi perlakuan oksidatif. Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan data seperti ada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 FTIR (a) SK tanpa perlakuan (b) SK oksidatif 20°C/menit (c) SK oksidatif 12,5°C/menit (d) SK oksidatif 5°C/menit

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

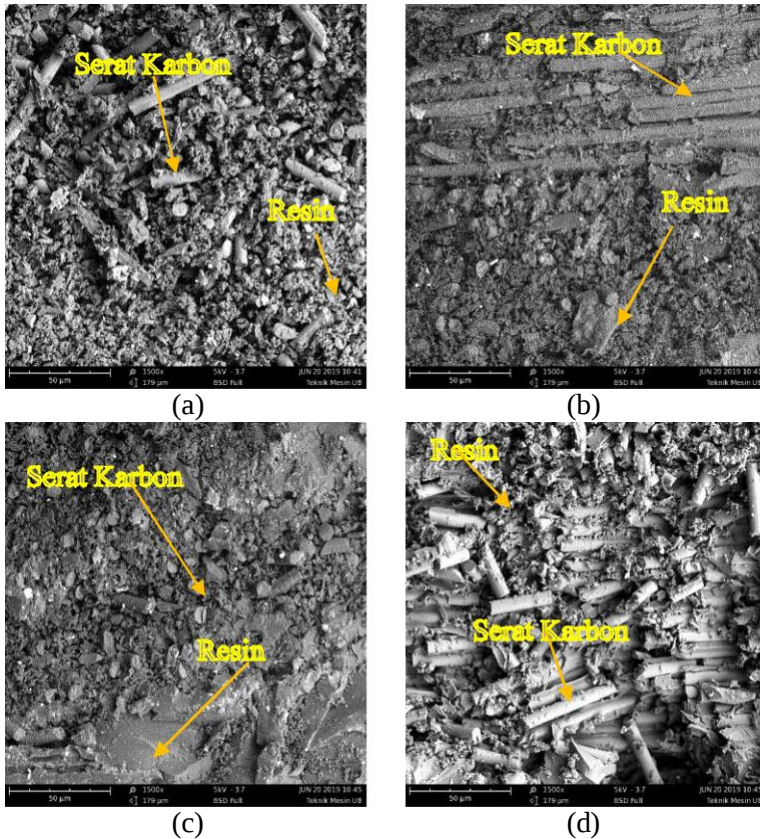
Peak	Gugus Fungsi	Jenis Ikatan
3610	O-H	<i>Hidroxyyl</i>
3587		
3034	C-H	<i>Alkyne</i>
2250	N=C	<i>Nitriles</i>
2163	C=C	<i>Alkyne</i>
2024		
1810	C=O	<i>Anhydrides</i>
1599	C=C	<i>Aromatic</i>

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat gugus fungsi serat karbon tanpa perlakuan didominasi oleh *alkenes* pada daerah serapan 2163 dan 2024 cm^{-1} dimana menurut (A. Skoog, 2006) gugus ini adalah gugus peregangan C=C dengan intensitas yang kuat. juga pada gambar terdapat gugus *alkyne* C-H pada daerah serapan 3034 cm^{-1} . Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pada serat karbon setelah menerima perlakuan panas oksidatif terjadi peningkatan pada gugus *hidroxyl* C=O kelompok *anhydrides* di daerah serapan 1810 cm^{-1} , *Nitriles* di daerah serapan 2250 cm^{-1} , dan C *aromatic* di daerah serapan 1599 cm^{-1} (Elena, 2012). Intensitas paling tinggi gugus-gugus tersebut terdapat pada laju pemanasan 12,5°C/menit. Pada laju pemanasan 12,5°C/menit, hal ini dikarenakan proses oksidasi didalam furnace dipengaruhi oleh stabilitas pembakaran yang berbeda pada variasi laju pemanasan (Paramonov, 2015).

Proses oksidasi pada serat karbon dapat meningkatkan intensitas gugus fungsional di serat karbon sendiri karena reaksi serat karbon terhadap udara dalam temperature yang tinggi dapat mengakomodir oksigen dan energi yang cukup untuk bisa bereaksi (Kang, 1997). Dimana menurut (Kai-Bing Hung, dkk. 2008) dengan munculnya kelompok aktif dapat meningkatkan adesi interfasi dalam komposit ketika serat karbon dimanufaktur menjadi komposit. Hal ini merupakan usaha untuk memperbaiki kemampubasahan serat terhadap resin yang akan digunakan.

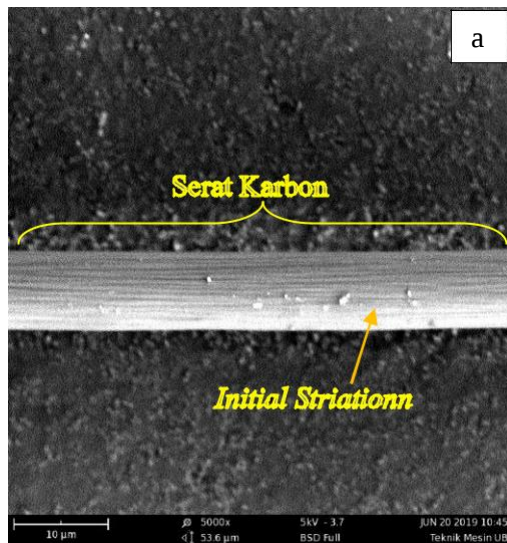
4.2 Analisis *Scanning Electron Microscope*

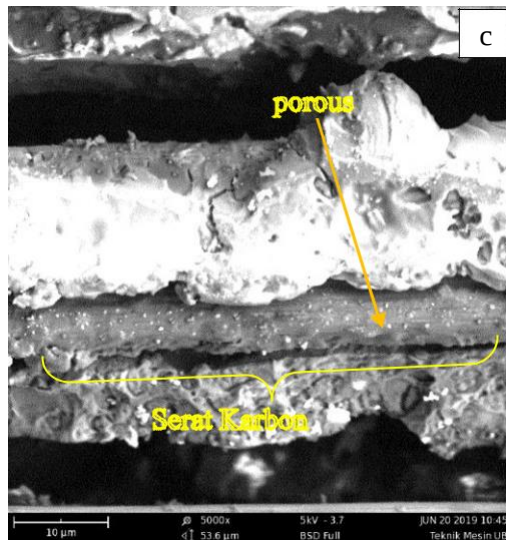
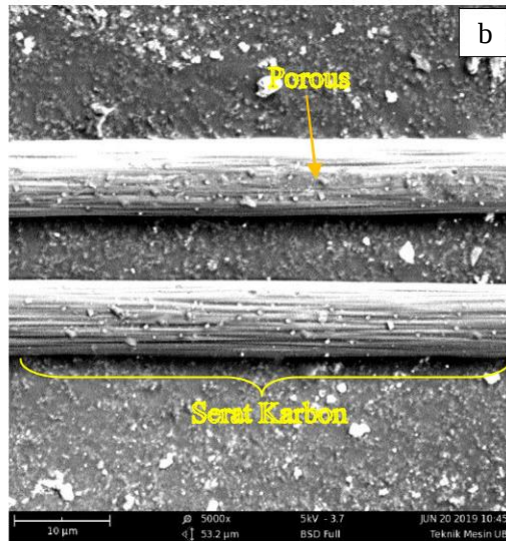
Analisis morfologi pada umumnya digunakan untuk mengetahui perilaku suatu material dan menentukan karakteristik material. SEM bertujuan untuk analisis morfologi dan mengetahui perilaku dari suatu material, pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ikatan antara matriks dengan seratnya pada serat karbon bermatriks epoksi, dan melihat permukaan serat karbon sebelum dan setelah perlakuan thermal oksidatif.

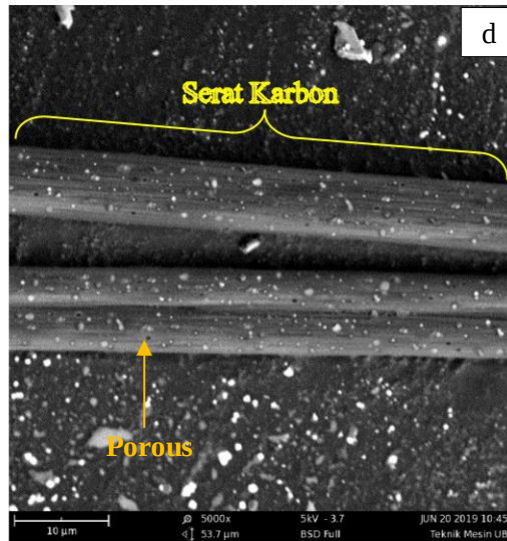


Gambar 4.2 Mikrografi SEM (1000x) Material Komposit Serat Karbon/Epoksi, (A) SK Tanpa Perlakuan (b) SK Oksidatif 20°C/Menit (c) SK Oksidatif 12,5°C/Menit (d) SK Oksidatif 5°C/Menit.

Gambar 4.2 adalah mikrografi dari SEM pada komposit serat karbon bermatriks epoksi dengan perbandingan 40:60. Pada gambar dapat diamati terdapat dua area dominan yakni daerah laminat serat karbon/epoksi dan daerah epoksi diantara dua laminat yang memiliki luasan lebih kecil. Daerah epoksi yang lebarnya berubah sepanjang daerah laminat menunjukkan manufaktur komposit ini tidak membagi serat dan epoksi secara *uniform*. Hal ini dapat memicu kegagalan dimana regangan epoksi dan serat karbon saat dikenai beban tidak merata pada komposit, sehingga dapat memicu pemusatan tegangan pada daerah tertentu. Hal ini didukung dengan spesimen uji tarik yang mengalami patahan tidak pada tengah spesimen.





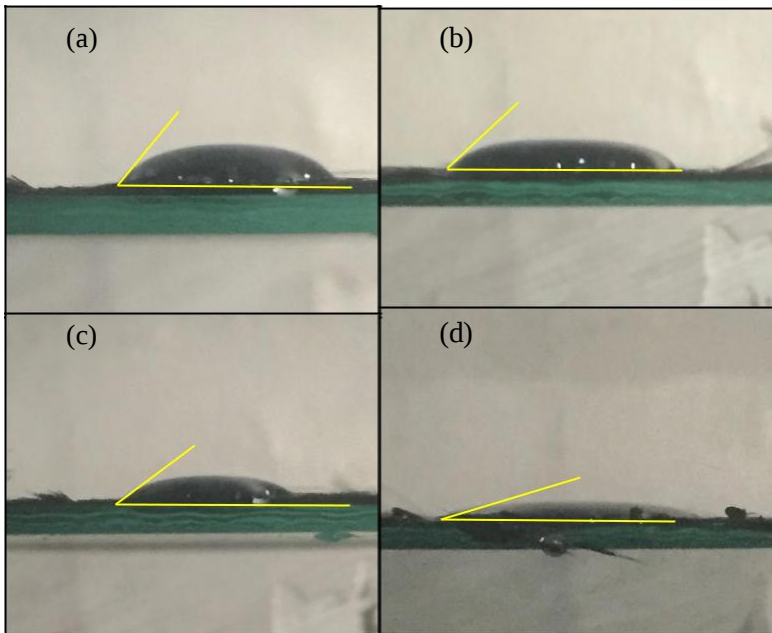


Gambar 4.3 Mikrografi SEM (5000x) (a) SK Tanpa Perlakuan (b) SK Oksidatif 20°C/Menit (c) SK Oksidatif 12,5°C/Menit (d) SK Oksidatif 5°C/Menit

Gambar 4.3 menunjukkan serat karbon tanpa perlakuan apapun, hasilnya terlihat serat karbon memiliki stirasi awal pada permukaannya. Dimana stirasi ini akan berpengaruh pada hubungan interfacial serat karbon/matriks dan perlakuan lanjut yang akan diberi (Zhang, 2012). Dapat diamati dari hasil mikrografi SEM pada serat karbon setelah mengalami perlakuan panas oksidatif terbentuk porous yang distribusinya semakin naik seiring dengan rendahnya laju pemanasan. Seperti penelitian Naeem (2016) yang mengamati laju pemanasan pada carbon web, Semakin rendah laju pemanasan pada proses oksidatif maka waktu untuk bereaksi akan lebih panjang sehingga inisiasi pembentukan porous di permukaan akan lebih baik.

4.3 Analisis Kemampubasahan (*Wettability*)

Pengujian *wettability* bertujuan untuk menentukan sifat kemampubasahan pada serat karbon. 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 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4

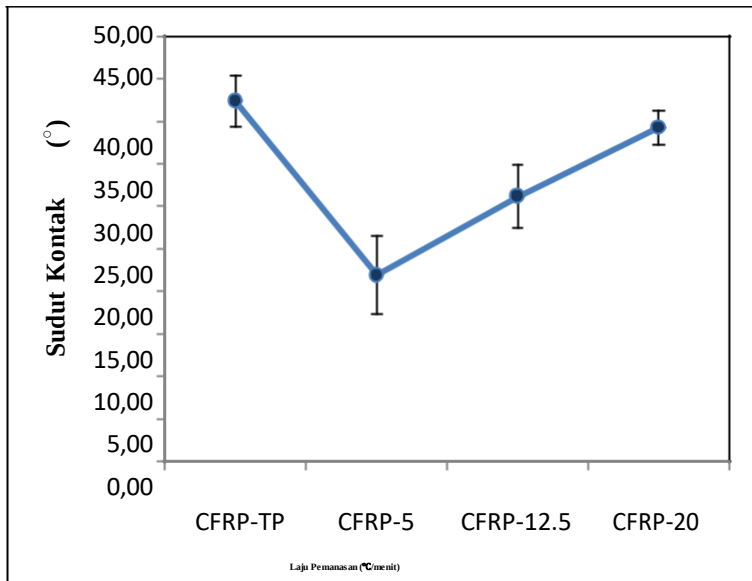


Gambar 4. 4 Droplet Matrik Epoksi Pada Serat Karbon (a) SK Tanpa Perlakuan (b) SK Oksidatif 20°C/Menit (c) SK Oksidatif 12,5°C/Menit (d) SK Oksidatif 5°C/Menit

Menurut (Vicks, 1999) 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. Tabel 4.2 merupakan nilai sudut kontak untuk setiap spesimen yang dihitung melalui *software Image J*.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian *wettability*.

Spesimen	Sudut Kontak ($^{\circ}$)	Keterangan
CF-TP	42.37 ± 3.01	Mampu basah sedang
CF-5	21.92 ± 4.61	Mampu basah sedang
CF-12.5	31.18 ± 3.67	Mampu basah sedang
CF-20	39.26 ± 1.96	Mampu basah sedang



Gambar 4.5 Grafik Nilai *Wettability* Serat Karbon Tanpa Perlakuan dan Dengan Perlakuan Variasi 20, 12.5, dan 5°C/Menit

Hasil dari Tabel 4.2 dan Gambar 4.5 didapat nilai sudut kontak saat matriks kontak dengan serat karbon untuk serat karbon tanpa perlakuan sebesar $42.37 \pm 3.01^\circ$, Untuk serat karbon perlakuan oksidatif dengan laju pemanasan $20^\circ\text{C}/\text{menit}$ sebesar $39.26 \pm 1.96^\circ$, untuk serat karbon perlakuan oksidatif dengan laju pemanasan $12,5^\circ\text{C}/\text{menit}$ sebesar $31.18 \pm 3.67^\circ$, dan sifat mampu basah yang paling tinggi didapatkan oleh serat karbon dengan perlakuan oksidatif dengan laju pemanasan $20^\circ\text{C}/\text{menit}$, dengan sudut kontak $21.92 \pm 4.61^\circ$. Respon Trendline yang terus menurun pada sudut kontak serat karbon, menunjukkan bahwa proses thermal oksidatif serat karbon dapat meningkatkan kemampuan basahan serat karbon. Dimana sifat kemampubasahan meningkat seiring menurunnya laju pemanasan pada perlakuan oksidatif thermal yang diberikan pada serat karbon.

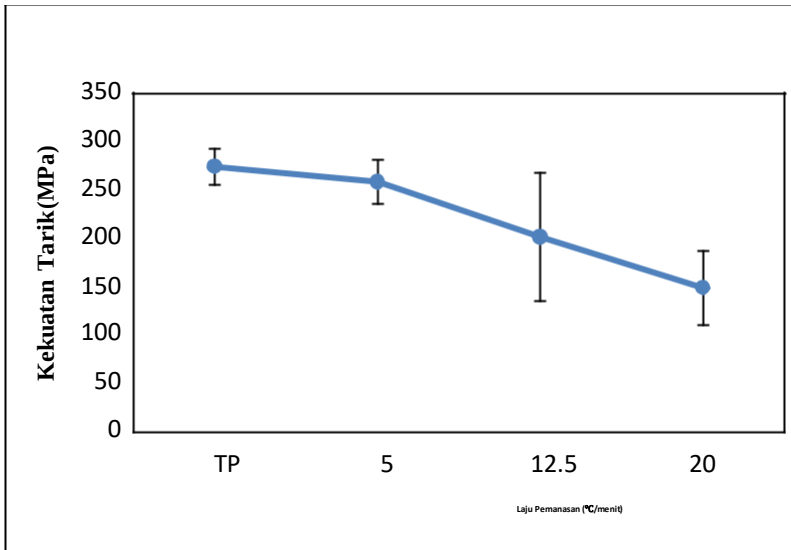
Berdasarkan hasil SEM, setelah serat karbon diberikan perlakuan thermal oksidatif, serat karbon memiliki pori-pori pada permukaannya. Menurut Wettmarshausen, dkk. (2015) kekasaran permukaan yang diamati dari serat tidak dianggap sebagai efek negative untuk kemampubasahannya, sebaliknya, dapat meningkatkan adhesi dengan lebih banyak *interlocking* mekanik, dan meningkatkan area kontak ke matriks. Sedangkan dari hasil FTIR perlakuan thermal oksidatif dapat meningkatkan gugus-gugus fungsi yang aktif yang dapat memperbaiki sifat kemampubasahan dari serat karbon ketika komposit CFRP dimanufaktur dengan resin. Memperbaiki sifat kemampubasahan serat karbon diharapkan bisa meningkatkan sifat yang dimiliki CFRP karena dinilai dapat meningkatkan distribusi tegangan resin ke penguat.

4.4 Analisis Uji Tarik

Pada pengujian ini didapatkan nilai beban maksimal dan kekuatan tarik maksimal. Untuk material komposit serat karbon tanpa perlakuan dengan matriks epoksi didapatkan kekuatan tarik maksimal 273.779 ± 19.01 Mpa. Untuk komposit serat karbon perlakuan oksidatif laju pemanasan $20^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan matriks epoksi didapatkan kekuatan tarik maksimal 148.723 ± 38.09 Mpa. Untuk komposit serat karbon perlakuan oksidatif laju pemanasan $12,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan matriks epoksi didapatkan kekuatan tarik maksimal 201.465 ± 65.82 Mpa. Dan untuk komposit serat karbon perlakuan oksidatif laju pemanasan $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan matriks epoksi didapatkan kekuatan tarik maksimal sebesar 258.015 ± 22.624 Mpa. Pengaruh perlakuan panas oksidatif pada serat karbon terhadap kekuatan tarik maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Tarik Material Komposit Serat
Karbon/Epoksi

Material	UTS (MPa)	<i>Elongation</i> (%)	<i>Modulus Elasticity</i> (N/mm ²)
CFRP-TP	273,779 ± 19,01	15.807 ± 3.05	1763.282 ± 267.1
CFRP-5	258,015 ± 22,62	15.374 ± 2.5	1705.418 ± 284.33
CFRP-12.5	201,465 ± 65,82	11.888 ± 0.85	1675.399 ± 455.23
CFRP-20	148,723 ± 38,09	9.760 ± 1.39	1520.893 ± 332.96

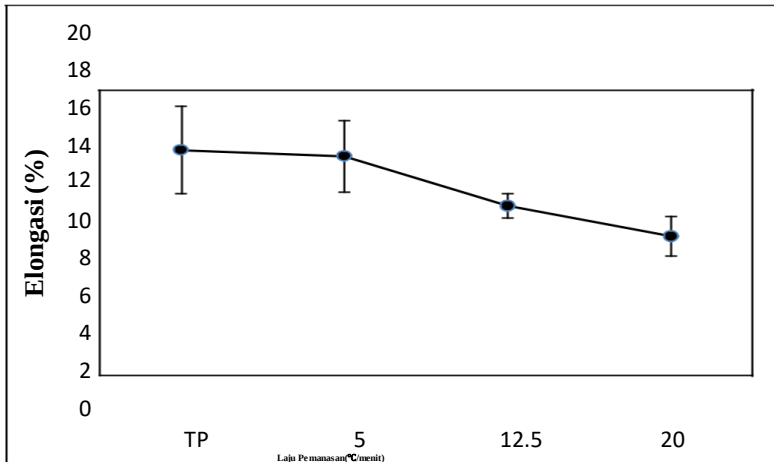


Gambar 4.6 Grafik Nilai Kekuatan Tarik Material Komposit Serat Karbon Tanpa Perlakuan Dan Dengan Perlakuan Variasi 20, 12.5, Dan 5°C/Menit

Gambar 4.6 Menunjukkan nilai kekuatan tarik komposit serat karbon dengan perlakuan panas oksidatif memiliki tren yang naik seiring kecilnya laju pemanasan nilai kekuatan tarik optimum terjadi pada serat karbon dengan perlakuan oksidatif dengan laju pemanasan 5°C/menit dengan nilai 258.015 MPa dan nilai terendah terjadi pada serat karbon dengan perlakuan oksidatif dengan laju pemanasan 20°C/menit dengan nilai sebesar 148.723 MPa. Namun, untuk keseluruhan, nilai kekuatan tarik paling tinggi pada saat serat karbon tidak diberikan perlakuan panas oksidatif. Hal ini kemungkinan terjadi karena perbedaan morfologi inisial pada jenis jenis serat karbon. Dimana seperti hasil SEM, serat karbon 3000 weave twill 240 yang diperoleh dari PT. Justus Kimia Raya memiliki strirasi-stirasi pada morfologi

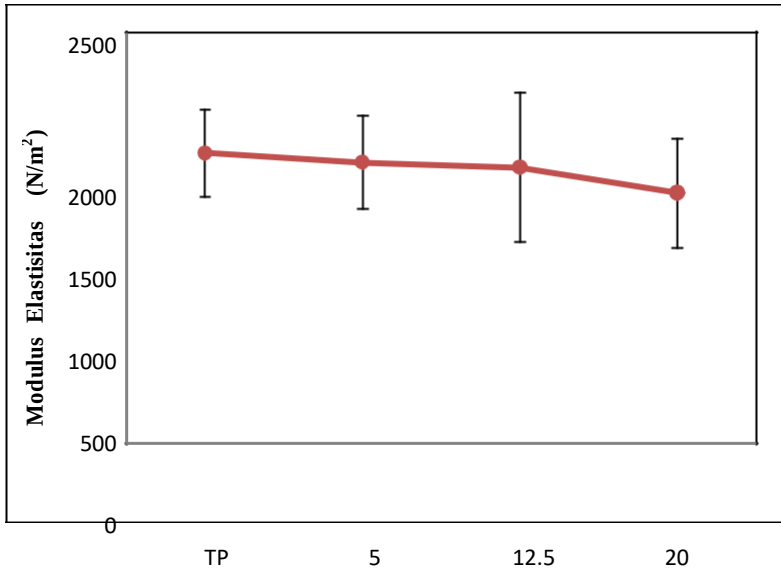
inisialnya. Menurut (Zhang, 2012) pori-pori yang terbentuk ketika serat karbon yang memiliki striasi inisial diberikan perlakuan panas cenderung menjadi kerugian untuk serat karbon tersebut, karena poros pada celah striasi akan cenderung menjadi *pitting* untuk serat karbon.

Fenomena *pitting* pada serat karbon merupakan pembentukan porous dengan geometri yang tidak diinginkan pada serat karbon, dimana bagian dalam *pitting* menjadi tempat udara residual dan menjadikan terbentuknya void di dasar *pitting*, Carbon fiber yang memiliki striasi lebih memiliki kecenderungan untuk membentuk *pitting* ketika diberi perlakuan panas (Zhuang, 1996). Hal ini didukung dengan penelitian (Zhang, 2012) juga menunjukkan bahwa pada perlakuan panas pada serat karbon HTS yang memiliki striasi inisial mengalami penurunan ketika diberikan perlakuan panas, sedangkan serat karbon T700G yang tidak memiliki striasi inisial mengalami kenaikan.



Gambar 4.7 Grafik Nilai Perpanjangan (*Elongation*) Komposit Serat Karbon Tanpa Perlakuan Dan Dengan Perlakuan Variasi 20, 12.5, Dan 5°C/Menit

Gambar 4.7 Menunjukkan elongasi komposit serat karbon dengan perlakuan panas oksidatif juga memiliki tren yang naik seiring kecilnya laju pemanasan. Didapatkan untuk komposit serat karbon perlakuan oksidatif laju pemanasan 20°C/menit dengan matriks epoksi didapatkan elongasi sebesar $9.760 \pm 1.39\%$. Untuk komposit serat karbon perlakuan oksidatif laju pemanasan 12,5°C/menit dengan matriks epoksi didapatkan elongasi sebesar $11.888 \pm 0.85\%$. Dan untuk komposit serat karbon perlakuan oksidatif laju pemanasan 5°C/menit dengan matriks epoksi didapatkan elongasi sebesar sebesar $15.374 \pm 2.5\%$. Namun, untuk keseluruhan seperti nilai kekuatan tarik, elongasi paling tinggi terjadi pada saat serat karbon tidak diberikan perlakuan panas oksidatif dengan nilai $15.807 \pm 3.05\%$.



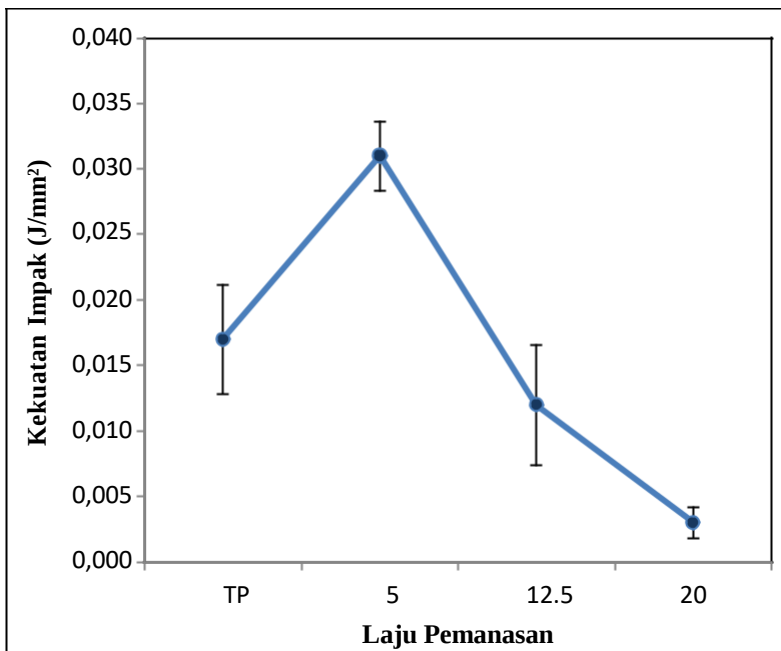
Gambar 4.8 Grafik Modulus Elastisitas Komposit Serat Karbon Tanpa Perlakuan Dan Dengan Perlakuan Variasi 20, 12.5, Dan 5°C/Menit

Dari perhitungan *stress* dan *strain* didapatkan nilai modulus elastisitas seperti yang ditunjukkan Gambar 4.8 menunjukkan tren yang sama seperti kekuatan tarik dan elongasi. Modulus elastisitas komposit serat karbon dengan perlakuan panas oksidatif memiliki tren yang naik seiring kecilnya laju pemanasan dengan nilai maksimum 1705.418 di laju pemanasan 5°C/menit, dan minimum 1520.893 di laju pemanasan 20°C/menit, namun nilai modulus elastisitas paling tinggi didapatkan pada serat karbon tanpa perlakuan bermatriks epoksi dengan nilai 1763.282.

4.5 Analisis Uji Impak

Tabel 4.4 Hasil Uji Impak Pada Material Komposit SK/Epoksi.

Material	Kekuatan Impak (J/mm^2)
CFRP-TP	0.017 ± 0.0042
CFRP-5	0.031 ± 0.0026
CFRP-12.5	0.012 ± 0.0046
CFRP-20	0.003 ± 0.0012



Gambar 4.9 Grafik Nilai Kekuatan Impak Komposit Serat Karbon Tanpa Perlakuan dan Dengan Perlakuan Variasi 20, 12.5, dan 5°C/Menit

Berdasarkan Tabel 4.4 daftar dan Gambar 4.9 perlakuan panas oksidatif serat karbon menurunkan nilai kekuatan impak serat karbon tanpa perlakuan bernilai 0.017 menurun pada laju pemanasan 20 °C/menit dan 12.5 °C/menit dengan kekuatan impak berturut turut 0.003 dan 0.012 J/mm². Sedangkan pada laju pemanasan 5°C/menit terjadi kenaikan yaitu dengan nilai 0.031 J/mm². Seperti pada kekuatan tarik hal ini kemungkinan disebabkan oleh bentuk geometri porus yang cenderung menjadi pitting untuk serat pada serat karbon yang memiliki stirasi inisial pada permukaannya

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian komposit serat karbon/epoksi dengan variasi laju pemanasan pada perlakuan panas oksidatif serat karbon pencampuran anilin atau *methyl methacrylate* (MMA) dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kemampubasahan (*wettability*) serat karbon semakin baik ketika serat karbon dilakukan perlakuan panas oksidatif, dan nilainya semakin naik ketika laju pemanasan rendah. Nilai tertinggi terjadi pada serat karbon diberikan perlakuan panas oksidatif laju pemanasan 5°C/menit dengan sudut kontak $21.92 \pm 4.61^\circ$ (mampu basah sedang).
2. Sifat mekanik pada komposit serat karbon/epoksi mengalami penurunan pada nilai kekuatan tarik, tetapi mengalami peningkatan pada nilai kekuatan dampak setelah perlakuan. Dimana:
 - a) Kekuatan tarik komposit serat karbon/Epoksi memiliki nilai optimum pada serat karbon tanpa perlakuan, dengan nilai kekuatan 273.779 MPa.
 - b) Nilai elongasi komposit serat karbon/epoksi memiliki nilai optimum pada komposit serat karbon tanpa perlakuan, yaitu sebesar 15,807%.
 - c) Nilai kekuatan dampak komposit serat karbon/epoksi mengalami peningkatan dengan nilai optimum pada komposit serat karbon dengan perlakuan panas oksidatif laju pemanasan 5°C/menit yaitu sebesar 0.031 J/mm².

Nilai kekuatan tarik untuk rompi anti peluru serat karbon tanpa perlakuan bermatriks epoksi (273.779 MPa) dan serat karbon perlakuan oksidatif laju pemanasan 5°C/menit bermatriks epoksi (258,015 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

5.2. Saran

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

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

DAFTAR PUSTAKA

- ASM International.ASM. 2001. **ASM Vol 21 Handbook of Composites**. USA:
- Billmeyer, Fred W., Jr. 1984. *Textbook of Polymer Science*.Butterworth-Heinemann.
- Callister, William D., Jr. dan David G. Rethwisch, 2011. *Materials Science and Engineering*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Chawla, K. K. 2012. **Composite Materials Science and Engineering Third Edition**. New York: Springer.
- Chung, D. D. 1994. **Carbon Fiber Composites**. USA: *Composites:Materials, Manufacturing, and Design*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC
- Dai Z, Zhang B, Shi F, Li M, Zhang Z, Gu Y. 2012 Effect of heat treatment on carbon fiber surface properties and fibers/epoxy interfacial adhesion. **Applied Surface Science**. 257-268.
- Elena, A., Gozescu, I., Dabici, A., Sfirloaga, P. dan Szabadai, Z. (2012). **Organic Compounds FT-IR Spectroscopy**. London: IntechOpen.
- Fan-Long Jin, X. L.-J. 2015. Synthesis and application of epoxy resins: A review. **Journal of Industrial and Engineering**
- Harris, Bryan. 1999. **Engineering Composite Materials**. London: The Institute of Materials.
- Herrick JW, Gruber PE, Mansur FT. **Surface treatments for fibrous carbon reinforcements**, New York: Springer
- Hull, Derek. 1995. *An Introduction to Composite Materials*.
- Hung, Kai-Bing., Qun Fan., Chen, Zhen-Hua. 2008. ITS Press.

- Jang-Kyo Kim, Y.-W. M. 1998. **Engineered Interfaces In Fiber Reinforced Composites**. Netherlands: Elsevier.
- Jones, Robert M. 1999. **Mechanics of Composite Materials 2nd Edition**. Philadelphia :
- Kaw, Autar K. 2006. **Mechanics of Composite Materials 2nd Edition**
New York : Taylor and Francis, Inc.
- Kim, J. K. 2014. Compatibilizing effects of maleic anhydride-grafted polypropylene carbon fiber-reinforced PP composites. **Journal of Thermoplastic Composite**, 1–13.
- Kutz, M. 1998. **Mechanical Engineer's Handbook, 2nd ed.** In C. **Zweben, Composite Materials and Mechanical Design**. New York: Wiley.
- Lee JS, Kang TJ. 1997. Changes in physico-chemical and morphological properties of carbon fiber by surface treatment. **Carbon Materials**. 209-216.
- Lee WH, Lee JG, 2001, Reucroft PJ. XPS study of carbon fiber surfaces treated by thermal oxidation in a gas mixture of O₂/(O₂+N₂). **Applied Surface Science**. 136-142.
- Mallick, P.K. 2007. **Fiber Reinforced materials, product, and process**. Florida, USA: CRC Press. Maulana Malik Ibrahim.
- Mc Kinnon, M. 2016. **Pyrolysis model for a carbon fiber/epoxy structural aerospace composite**. Amerika Serikat: Universty of Maryland
- Naeem Salman, 2016. Effect Of Temperature, Heating Rate And Holding Time On The Properties Of Carbon Web From Acrylic Waste. **Inovative Journal**, 12-24

- National Institute of Justice. 2008. **Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06**. Amerika Serikat: National Law Enforcement and Corrections Technology Center.
- Nayiroh, N. 2013. **Teknologi Material Komposit**. Malang: UIN
New York: Cambridge University Press. New York: Hoboken:
John Wiley & Sons, Inc.
- Onny. 2016. **Proses pembuatan serat carbon**. Semarang: Universitas
Diponegoro
- Paramonov, A. M, **Heating furnaces efficiency improvement**. Mira:
Omsk State Technical University
- Properties on Carbon Fiber/ Epoxy Matrix Interfacial Adhesion** .
London: Taylor & Francis.
- R.A. Fava, 1998. **Polymer and Fluids**. New York: Taylor & Francis
Group, LLC
- Ratna, D. 2009. **Handbook of Thermoset Resins**. Shawbury: iSmithers.
- Skoog, Douglas A., Holler, F. James., Crouch, Stanley R. 2007.
Princpal of Instrumental Analysis. Belmont: Thomson
Brook Cole.
- Sulistijono. 2012. **Mekanika Material Komposit**. Surabaya:
Composite Materials Handbook. New York: McGraw-Hill Inc. **The**

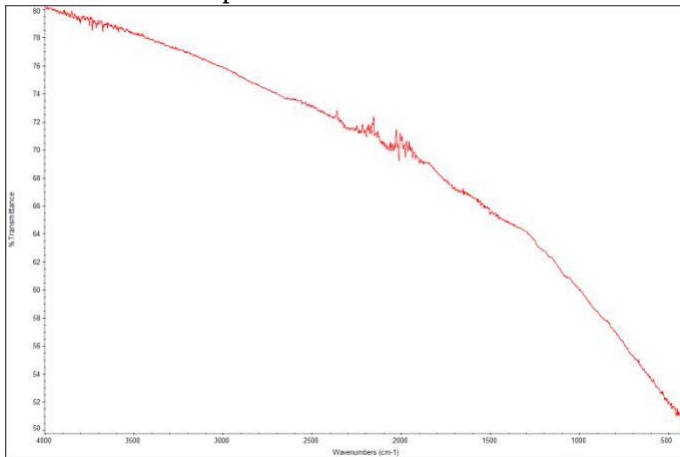
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

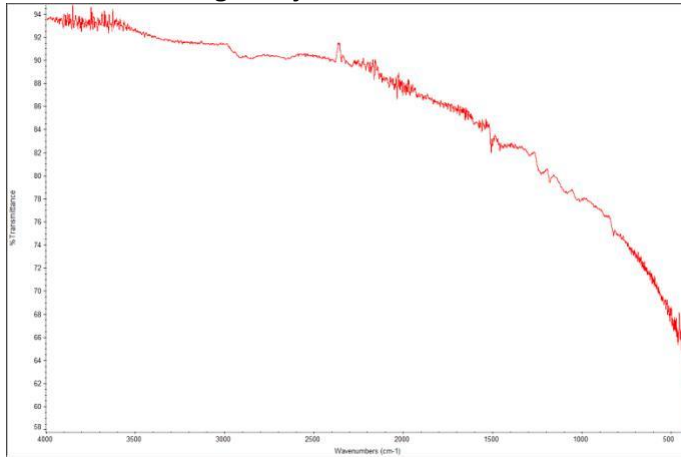
Lampiran A

Pengujian FTIR

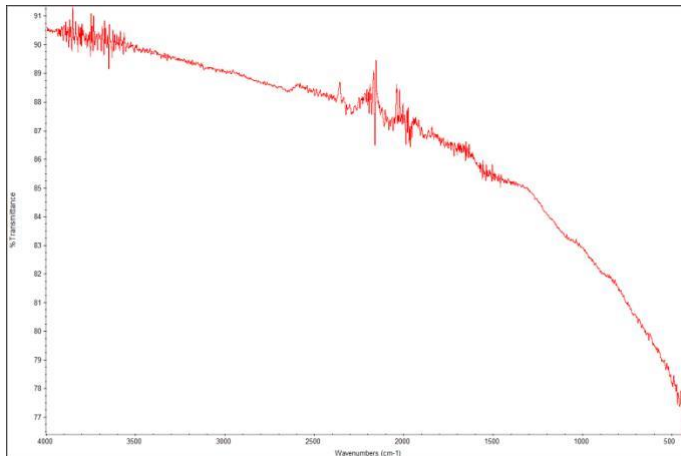
1. Serat Karbon Tanpa Perlakuan



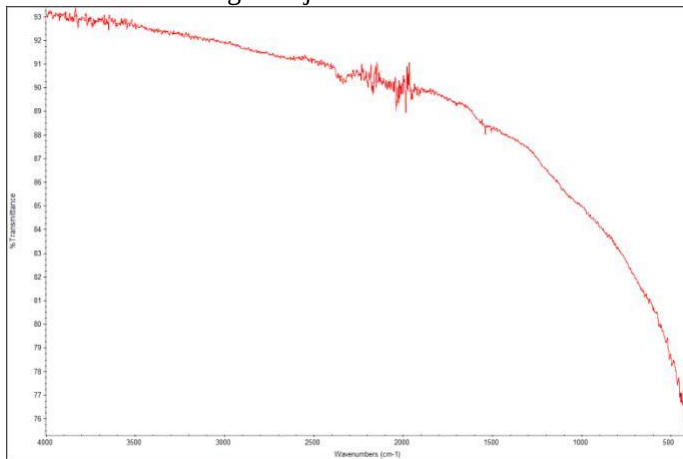
2. Serat Karbon dengan Laju Pemanasan 20°C/menit



3. Serat Karbon dengan Laju Pemanasan 12.5°C/menit



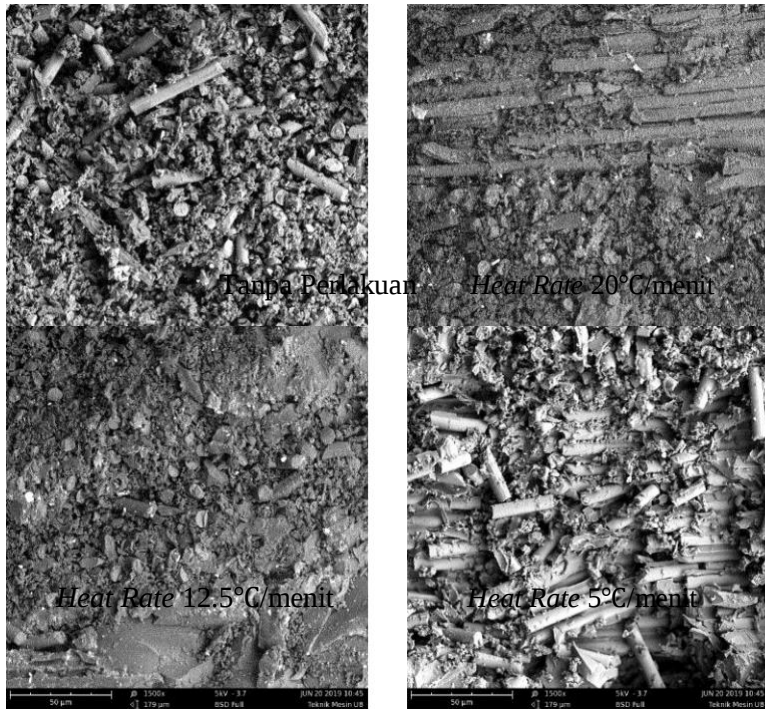
4. Serat Karbon dengan Laju Pemanasan 5°C/menit



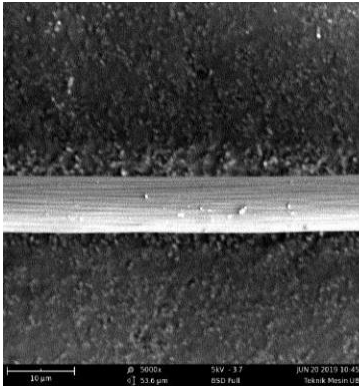
Lampiran B

Data Pengujian SEM

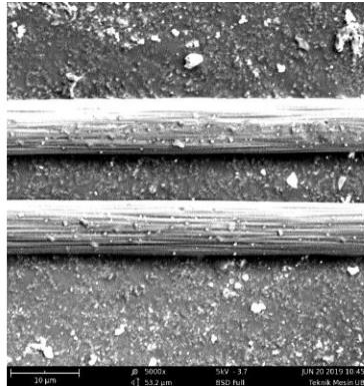
1. Komposit Serat Karbon/Epoksi perbesaran 1500x



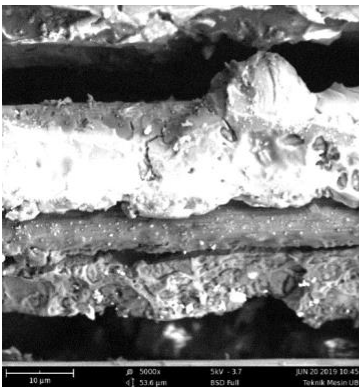
1. Serat Karbon/Epoksi perbesaran 5000x



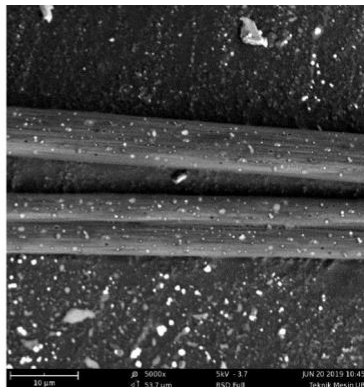
Tanpa Perlakuan



Heat Rate 20°C/menit



Heat Rate 12.5°C/menit



Heat Rate 5°C/menit

Lampiran C

Data Pengujian *Wettability*

1. Serat Karbon

No	Label	Angle
1		45.46
2		42.21
3		39.43
	Mean	42.37
	SD	3.018

2. Serat Karbon dengan Laju Pemanasan 20°C/menit

No	Label	Angle
1		39.61
2		37.14
3		41.03
	Mean	39.26
	SD	1.968

3. Serat Karbon dengan Laju Pemanasan 12.5°C/menit

No	Label	Angle
1		34.52
2		31.79
3		27.24
	Mean	31.18
	SD	3.677

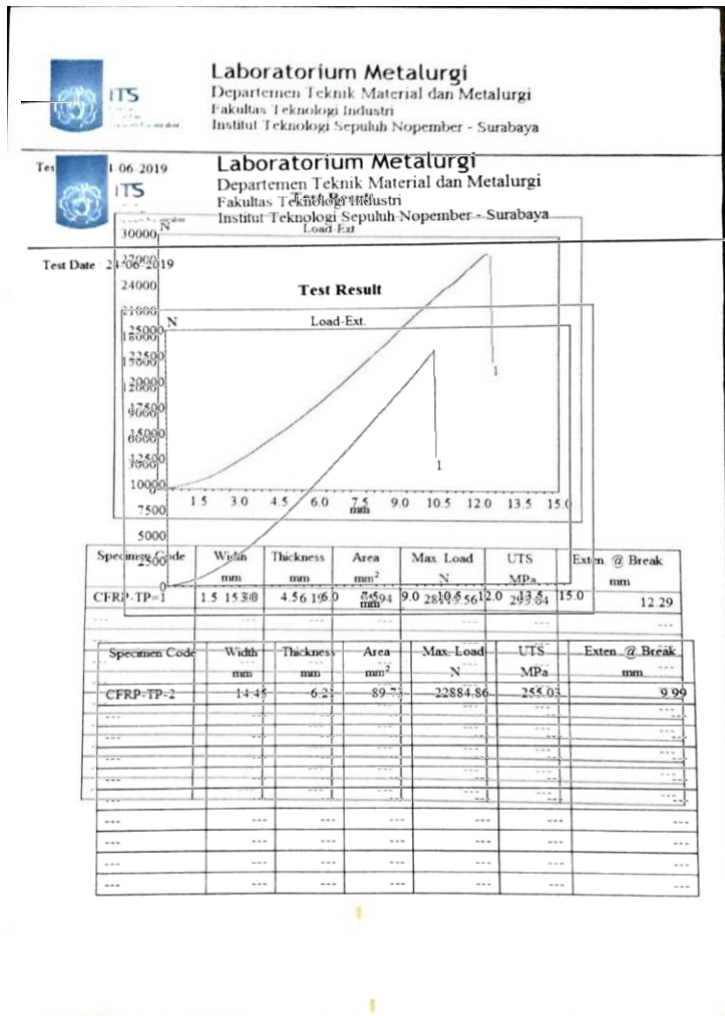
4. Serat Karbon dengan Laju Pemanasan 5°C/meni

No	Label	Angle
1		25.21
2		16.65
3		23.9
	Mean	21.92
	SD	4.611

Lampiran D

Data Pengujian Tarik

1. Komposit Serat Karbon/Epoksi



LAPORAN TUGAS AKHIR

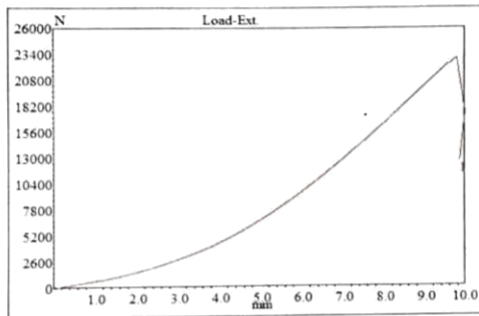
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FTI-ITS



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

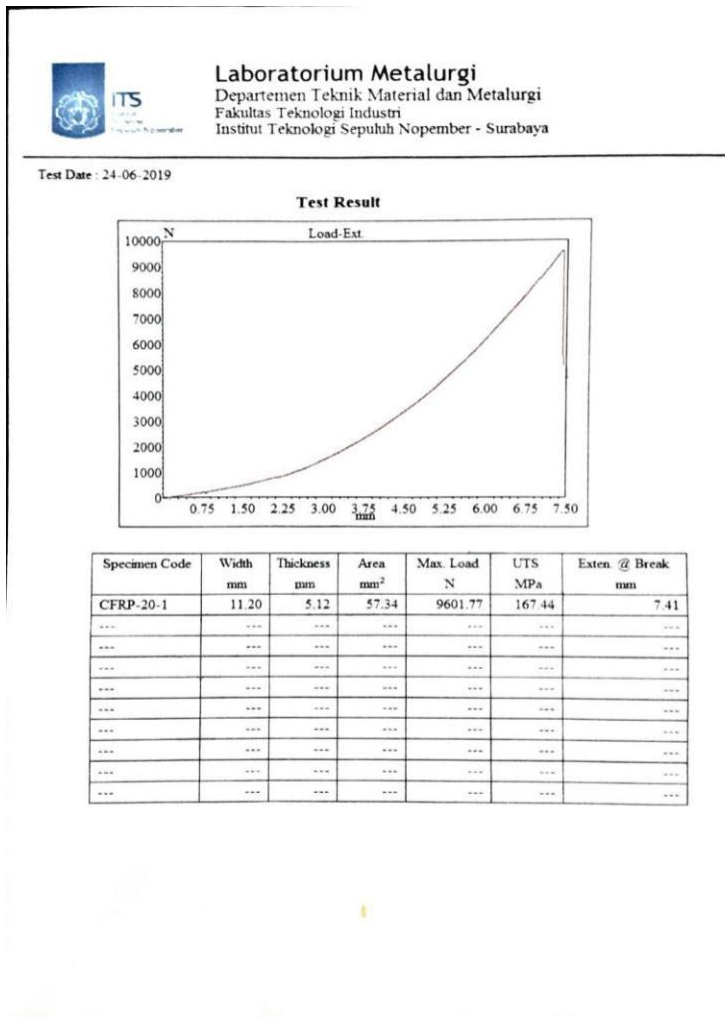
Test Date : 24-06-2019

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max Load N	UTS MPa	Exten @ Break mm
CERP-TP-3	14.78	5.69	84.10	22981.63	273.27	9.89
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

2. Komposit Serat Karbon/Epoksi



LAPORAN TUGAS AKHIR

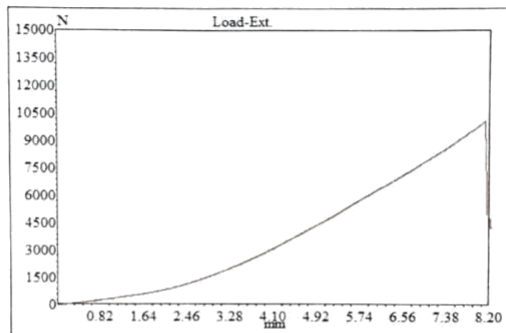
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FTI-ITS



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

Test Date : 24-06-2019

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
CFRP-20-2	10.94	5.32	58.20	10117.72	173.84	8.12
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

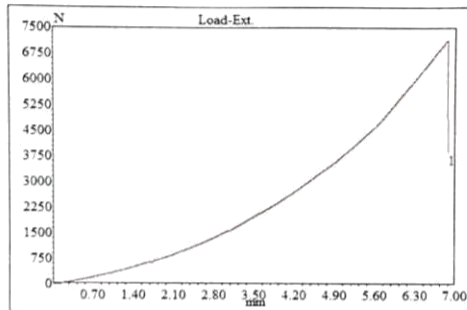
LAPORAN TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FTI-ITS



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

Test Date : 24-06-2019

Test Result

[illegible]

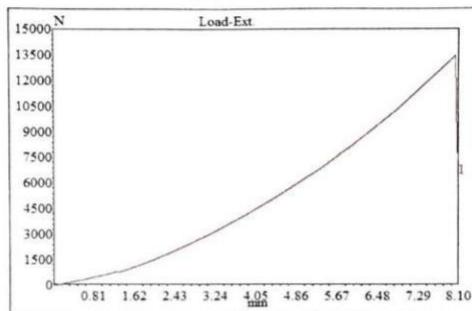
3. Komposit Serat Karbon/Epoksi



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

Test Date : 24-06-2019

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
CFRP-12.5-1	13.08	4.65	60.82	13476.09	221.57	8.02
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

LAPORAN TUGAS AKHIR

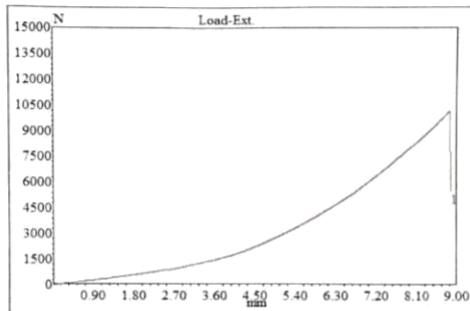
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FTI-ITS



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

Test Date : 24-06-2019

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
CFRP-12.5-2	13.83	5.77	79.80	10209.14	127.94	8.82
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

LAPORAN TUGAS AKHIR

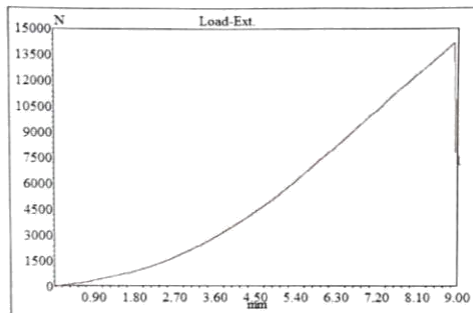
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FTI-ITS



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

Test Date : 24-06-2019

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten @ Break mm
CFRP-12.5-3	11.33	4.92	55.74	14208.67	254.89	8.91

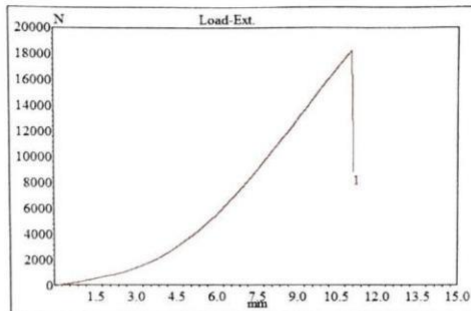
4. Komposit Serat Karbon/Epoksi



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

Test Date : 24-06-2019

Test Result

[illegible]

LAPORAN TUGAS AKHIR

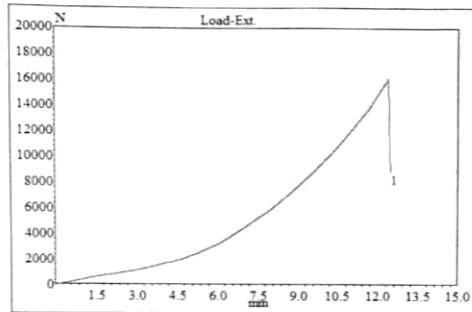
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FTI-ITS



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

Test Date : 24-06-2019

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten. @ Break mm
CFRP-5-2	13.47	4.81	64.79	16202.93	250.08	12.42
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

LAPORAN TUGAS AKHIR

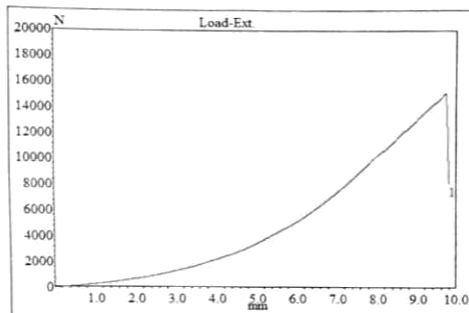
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FTI-ITS



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

Test Date : 24-06-2019

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Max. Load N	UTS MPa	Exten @ Break mm
CFRP-5-3	12.80	4.96	63.49	15264.15	240.43	9.72
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

LAPORAN TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FTI-ITS



Lampiran E

Data Pengujian Impak



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
 Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 0341 – 553286 Pes. 1214 Malang 65145

DATA HASIL PENGUJIAN

Jenis Pengujian : Impact
 Penguji : Muhammad Risky Septiawan
 NRP. : 0251154000097
 Fakultas : S1 Teknik Material
 Univ./Instansi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
 Tanggal Pengujian : 19 Juni 2019

Spesimen	Kekuatan impak (J/mm ²)
CFRP-5-1	0.034
CFRP-5-2	0.029
CFRP-5-3	0.030
CFRP-20-1	0.003
CFRP-20-2	0.005
CFRP-20-3	0.003
CFRP-12.5-1	0.016
CFRP-12.5-2	0.013
CFRP-12.5-3	0.007
CFRP-TP	0.021
CFRP-TP	0.013
CFRP-TP	0.019



BIODATA PENULIS



Mohammad Rizky Septiawan lahir di Lumajang pada tanggal 17 September 1996. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Imam Syahroni dan Ibu Mujianah. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Sawojajar 1 Malang, SMPN 5 Malang dan SMAN 4 Malang. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material-Fakultas Teknologi Industri-Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya angkatan 2015. Di Departemen Teknik Material ini, penulis mengambil Bidang Studi Material Inovatif. Selama berkuliah di ITS, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, antara lain di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) sebagai Staff Departemen Dalam Negeri (2016-2017) dan sebagai Wakil Ketua Himpunan Internal (2017-2018). Penulis aktif dalam kegiatan kepanduan ITS (2016-2019). Pengalaman kerja yang pernah ditempuh penulis yakni kerja praktik di PT Krakatau Steel Tbk pada bulan Juli hingga Agustus 2018.

Penulis mengambil Tugas Akhir pada semester delapan dengan judul ***“STUDI LAJU PEMANASAN PADA PERLAKUAN PANAS SERAT KARBON TERHADAP WETTABILITY DAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT SERAT KARBON/EPOKSI”***, dibimbing oleh Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc sebagai Dosen Pembimbing 1, dan Haniffudin Nurdiansah, ST, MT sebagai Dosen Pembimbing 2.