

**PENGARUH PENAMBAHAN *GRAPHENE OXIDE* DALAM
KOMPOSIT *CARBON FIBERS/EPOXY* DENGAN METODE
VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION (VARI) TERHADAP
SIFAT MEKANIK**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh Gelar
Sarjana S1 Dalam Ilmu Fisika



Oleh:

Dewi Sherly Banowati
2108026014

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dewi Sherly Banowati

NIM : 2108026014

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul

**Pengaruh Penambahan Graphene Oxide Komposit
Carbon Fibers/Epoxy Dengan Metode Vacuum
Assisted Resin Infusion (VARI) Terhadap Sifat
Mekanik**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 23 Juni 2025

Pembuat Pernyataan



Dewi Sherly Banowati
2108026014



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp. 024-7601295 Fax. 7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **"Pengaruh Penambahan Graphene Oxide Dalam Komposit Carbon Fibers/Epoxy Dengan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) Terhadap Sifat Mekanik"**

Penulis : Dewi Sherly Banowati
NIM : 2108026014

Telah diujikan dalam sidang *tugas akhir* oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Fisika.

Semarang, 08 Juli 2025

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Alwiyah Nurhayati, Ph.D
NIP. 198112112011012006

Penguji II,

Agus Sudarmanto, M.Si
NIP. 197708232009121001

Penguji III,

Istikomah, M.Sc
NIP. 199011262019032021

Penguji IV,

Sheilla Rully Anggita, M.Si
NIP. 199005052019032017

Pembimbing I,

Alwiyah Nurhayati, Ph.D
NIP. 198112112011012006

Pembimbing II,

Sheilla Rully Anggita, M.Si
NIP. 199005052019032017

Pembimbing III,



TT ELEKTRONIK



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR E, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

Dr. Saeful Rohman, MT.
NIP. 196501041992031006

NOTA DINAS

Semarang, 23 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamualailakum, Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh Penambahan Graphene Oxide
Komposit Carbon Fibers/Epoxy Dengan
Metode Vacuum Assisted Resin Infusion
(VARI) Terhadap Sifat Mekanik

Nama : Dewi Sherly Banowati

NIM : 2108026014

Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamualaikum, Wr.Wb.

Pembimbing I



Alwiyah Nurhayati, Ph.D

NIP. 198112112011012006

NOTA DINAS

Semarang, 23 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamualailakum, Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh Penambahan Graphene Oxide
Komposit Carbon Fibers/Epoxy Dengan
Metode Vacuum Assisted Resin Infusion
(VARI) Terhadap Sifat Mekanik
Nama : Dewi Sherly Banowati
NIM : 2108026014
Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamualaikum, Wr. Wb.

Pembimbing II



Sheilla Rully Anggita, M.Si.

NIP. 199005052019032017

NOTA DINAS

Semarang, 23 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamualailakum, Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh Penambahan Graphene Oxide
Komposit Carbon Fibers/Epoxy Dengan
Metode Vacuum Assisted Resin Infusion
(VARI) Terhadap Sifat Mekanik

Nama : Dewi Sherly Banowati

NIM : 2108026014

Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamualaikum, Wr.Wb.

Pembimbing III



TT ELEKTRONIK

Dr. Saeful Rohman, MT.
NIP. 196501041992031006

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *Graphene Oxide* (GO) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro komposit *Carbon Fibers/Epoxy* (CF/EP) yang difabrikasi menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Variasi penambahan GO dengan konsentrasi 0 %wt; 0.15 %wt; 0.35 %wt; dan 0.55 %wt. Proses sintesis GO dilakukan dengan metode *Hummer's* termodifikasi. Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR dan SEM. Uji mekanik dilakukan untuk mengukur kekuatan tarik dan kekuatan bending komposit. Spektrum FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi khas GO seperti -OH, C=O, C-O dan C-O-C. Sementara itu, hasil FTIR dari komposit GO/CF/EP menunjukkan keberadaan gugus fungsi C-H, C=C, C-O, dan C-O-C, yang mengindikasikan interaksi fungsional antara GO dan matriks epoksi. Pengamatan SEM memperlihatkan bahwa penambahan GO membentuk struktur berlapis di permukaan serat, meningkatkan kekasaran dan ikatan mekanis antarmuka. Hasil uji mekanik menunjukkan bahwa penambahan GO sebesar 0.35 %wt memberikan peningkatan terhadap kekuatan tarik komposit, namun pada konsentrasi yang sama justru menghasilkan kekuatan bending terendah. Hal ini terjadi akibat aglomerasi GO yang mengganggu distribusi tegangan saat uji lentur. Dengan demikian, penambahan GO dapat meningkatkan sifat mekanik komposit dengan konsentrasi optimal untuk kekuatan tarik berada pada 0.35 %wt.

Kata kunci: *Graphene Oxide*, *Carbon Fibers/Epoxy*, VARI, Komposit, Sifat Mekanik

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT., yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Penambahan *Graphene Oxide* Dalam Komposit *Carbon Fibers/Epoxy* Dengan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) Terhadap Sifat Mekanik”. Rangkaian shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah limpah kepada nabi Muhammad SAW., dengan mengharapkan syafaat di hari kiamat nanti dan tergolong sebagai umatnya.

Penyusunan skripsi ini digunakan untuk memenuhi tugas dan menjadi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang. Dalam penyusunan skripsi ini, tentu saja tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, motivasi, do’a beserta saran-saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Nizar, M.Ag selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Alwiyah Nurhayati, M.Si., Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika UIN Walisongo Semarang, serta pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta

sabar memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.

4. Drs. Saeful Rohman MT selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, serta memberikan arahan secara langsung selama proses pelaksanaan penelitian ini.
5. Sheilla Rully Anggita, M.Si selaku pembimbing III yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta sabar memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Sairin dan Ibu Sri Hayati yang telah mendidik dan membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang, ketulusan, keikhlasan dan senantiasa memberikan semangat, materi dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Inggi Aprilia, Fajar Maulana, dan Ilham Afgiansyah yang telah memberikan semangat dan do'a kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman-teman Fisika 2021, teman seperjuangan yang sudah memberikan semangat, dan motivasi, serta menemani penulis menyelesaikan skripsi.
9. Terima kasih kepada teman-teman penelitian di BRIN yang telah mawarnai dan membersamai proses

penelitian, terutama kepada kak Inci yang selalu membantu dan dengan sabar direpotkan oleh penulis.

10. Kepada diri sendiri yang telah berjuang, bertahan, dan tidak menyerah meski dihadapkan pada berbagai tantangan, tekanan, dan keraguan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi berlangsung. Terima kasih telah terus melangkah, meskipun tidak selalu mudah.

11. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangannya dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik maupun saran yang membangun demi penyusunan karya yang lebih baik. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Semarang, 23 Juni 2025

Dewi Sherly Banowati

NIM. 2108026014

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I. Nomor: 158/1987 dan Nomor: 0543b/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sandang [al-] disengaja secara konsisten supaya sesuai teks Arabnya.

ا	A	ط	t}
ب	B	ظ	z}
ت	T	ع	'
ث	s\	غ	g
ج	J	ف	f
ح	h}	ق	q
خ	Kh	ك	k
د	D	ل	l
ذ	z\	م	m
ر	R	ن	n
ز	Z	و	w
س	S	ه	'
ش	Sy	ي	Y
ص	s}		
ض	d}		

Bacaan Madd :

a > = a panjang

i > = i panjang

u > = u panjang

Bacaan Diftong :

au = او

ai = اي

iv = اف

DAFTAR ISI

HALAMAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS.....	iv
NOTA DINAS.....	v
NOTA DINAS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
TRANSLITERASI ARAB-LATIN	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	xviii
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	9
C. Tujuan Penelitian.....	9
D. Batasan Masalah	10
E. Manfaat Penelitian	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
A. KAJIAN TEORI	12
1. Material Komposit.....	12

2.	Resin Epoksi.....	14
3.	<i>Carbon Fibers</i> (CF).....	16
4.	<i>Graphene Oxide</i> (GO).....	19
5.	Metode <i>Vacuum Assisted Resin Infusion</i> (VARI).....	22
6.	<i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR).....	25
7.	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	27
8.	Pengujian Mekanik Komposit.....	30
B.	KAJIAN PUSTAKA	36
C.	KERANGKA BERPIKIR.....	39
BAB III METODE PENELITIAN		41
A.	Tempat dan Waktu Penelitian.....	41
B.	Variabel Penelitian.....	41
C.	Alat dan Bahan.....	43
D.	Produser Penelitian	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		52
A.	Hasil Sintesis Go dan Fabrikasi Komposit GO/CF/EP	52
B.	Spektrum FTIR Komposit GO/CF/EP	54
C.	Morfologi SEM Komposit GO/CF/EP	58
D.	Pengujian Mekanik.....	61
1.	Pengujian Tensile Test (Uji Tarik)	61
2.	Pengujian Mekanik <i>Three-Point Bend Flexural</i> (Uji Bending)	64
BAB V PENUTUPAN.....		69
A.	Kesimpulan	69
B.	Saran	70

DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN	90
RIWAYAT HIDUP	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Resin Epoksi	16
Gambar 2.2	Carbon Fibers (CF)	18
Gambar 2.3	Gugus Fungsi (a) Graphen, (b) Graphene Oxide	21
Gambar 2.4	Cara Kerja Metode VARI	24
Gambar 2.5	Cara Kerja FTIR	26
Gambar 2.6	Cara Kerja SEM	29
Gambar 2.7	Cara Kerja Uji Tarik	32
Gambar 2.8	Cara Kerja Uji Bending	35
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 3.2	Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D3039	49
Gambar 3.3	Alat Uji Tarik	50
Gambar 3.4	Ukuran Spesimen Uji Bending ASTM D790	51
Gambar 3.5	Alat Uji Bending	51
Gambar 4.1	Hasil Sintesis GO metode <i>Hummer's</i> (a) proses penambahan H_2O_2 , (b) Serbuk GO	52
Gambar 4.2	(a) Proses sebelum cutting, (b) komposit setelah fabrikasi, (c) spesimen uji tarik, (d) spesimen uji bending	53
Gambar 4.3	Pola Transmisi FTIR Graphite, GO, dan komposit GO/CF/EP	55
Gambar 4.4	Morfologi Permukaan Komposit (a) CF/EP, (b) GO(35)/CF/EP	58
Gambar 4.5	Histogram Komposit GO/CF/EP (a) Kekuatan Tarik, (b) modulus Young	61

Gambar 4.6	Histogram Komposit GO/CF/EP (a) Kekuatan Bending, (b) modulus Young	65
------------	---	----

DAFTAR TABEL

Gambar	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Komposisi Sampel	41
Tabel 4.1	Rata-rata Hasil Uji Tarik	61
Tabel 4.2	Rata-rata Hasil Uji Bending	64

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Perhitungan fraksi berat komposit	89
Lampiran 2	Perhitungan Ralat Pengukuran dan Perambatan	93
Lampiran 3	Foto Patahan Uji Tarik	102
Lampiran 4	Foto Patahan Uji Bending	103
Lampiran 5	Data Hasil Uji Tarik	104
Lampiran 6	Data Hasil Uji Bending	108
Lampiran 7	Hasil FTIR	112

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bahan *carbon fibers* (CF) telah menarik perhatian banyak peneliti sejak pertama kali dikembangkan pada tahun 1960-an. *Carbon fibers* (CF) dianggap sebagai salah satu bahan industri terpenting karena sifat mekanik unggul yang dimilikinya, seperti kekuatan dan modulus Young yang tinggi, kepadatan rendah, serta stabilitas termal dan kimia yang baik (M. Sharma et al., 2014). Karakteristik ini membuat *carbon fibers* sangat cocok untuk diaplikasikan dalam pengembangan bahan komposit berkinerja tinggi yang saat ini semakin banyak digunakan di berbagai sektor industri modern (H. Sharma et al., 2022).

Demikian pula dengan ayat Al-Qur'an yang menegaskan pentingnya ilmu pengetahuan dan teknologi dalam kehidupan, sebagaimana yang tercantum dalam Surah Al-Hadid ayat 25, yang berbunyi:

لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ
وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ
اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ

Artinya : “Sungguh, kami benar-benar telah mengutus rasul-rasul kami dengan bukti-bukti yang nyata dan kami menurunkan bersama mereka kitab dan neraca (keadilan) agar manusia dapat berlaku adil. Kmai menurunkan besi yang mempunyai

kekuatan hebat dan berbagai manfaat bagi manusia agar Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)-Nya dan rasul-rasulnya walaupun (Allah) tidak dilihatnya. sesungguhnya Allah maha kuat lagi maha perkasa.” (QS. Al-Hadid [57]:25).

Dalam Surah Al-Hadid:25, dalam tafsiran Ibnu Katsir, Allah menyampaikan bahwa mengutus para rasul dengan bukti nyata berupa mukjizat, serta membawa ajaran agama sebagai pedoman hidup yang berlandaskan keadilan. Allah juga menganugerahkan besi sebagai unsur penting yang memiliki kekuatan luar biasa dan banyak manfaat, baik dalam kehidupan sehari-hari, dunia industri, pertahanan, maupun teknologi. Ilmu pengetahuan modern menunjukkan bahwa besi kemungkinan berasal dari luar bumi dan memiliki peran penting dalam ilmu kimia, fisika, biologi, hingga kesehatan. Anugerah ini merupakan bagian dari ujian Allah terhadap manusia untuk melihat siapa yang bersungguh-sungguh dalam menolong agama-Nya (Katsir, Ibnu; Quran NU Online).

Meskipun ayat ini tidak secara langsung menyebutkan material rekayasa seperti carbon fiber dan graphite, kandungannya mencerminkan prinsip umum bahwa segala potensi alam yang diciptakan Allah dapat dimanfaatkan oleh manusia melalui ilmu dan teknologi. Material seperti carbon fiber dan graphite merupakan contoh produk rekayasa modern yang sangat bermanfaat, terutama dalam

pembuatan struktur ringan dan kuat pada bidang dirgantara, otomotif, hingga peralatan olahraga, yang menunjukkan betapa luasnya ruang pemanfaatan ciptaan Allah dalam mendukung kemajuan peradaban (Shihab, 2005).

Saat ini, tren dalam pengembangan bahan komposit terus berkembang, terutama pada komposit berbasis *carbon fibers* (CF). Komposit *carbon fibers* (CF) kini mulai merambah ke industri sipil seperti otomotif, bilah turbin angin, dan penguatan struktur bangunan. Penerapan komposit di sektor-sektor baru ini menuntut adanya peningkatan efisiensi pemrosesan serta pengurangan biaya agar penggunaan berskala besar dapat terealisasi (K. Zhang et al., 2014).

Salah satu tantangan utama dalam pemrosesan komposit berbasis serat karbon (CF) adalah lamanya waktu *curing* resin agar kuat secara mekanik. Proses ini bisa memakan waktu beberapa jam, yang jauh melebihi siklus manufaktur yang diharapkan. Singkatnya waktu pengawetan sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan menekan biaya serta memungkinkan penggunaan bahan komposit secara lebih luas di berbagai industri. Oleh karena itu, mempercepat waktu pengawetan penting agar

proses lebih efisien dan teknologi baru yang rendah biaya (F. Wang & Cai, 2019).

Komposit merupakan bahan yang terdiri dari dua atau lebih material dengan sifat fisik atau kimia yang berbeda. Ketika digabungkan, material-material ini menghasilkan bahan dengan sifat yang lebih unggul dibandingkan sifat masing-masing material aslinya (Kaw, 2006). Penggabungan bahan ini dirancang untuk mengoptimalkan karakteristik seperti, kekuatan, kekakuan, serta tahan terhadap korosi (Tiwary et al., 2022). Material komposit juga digunakan dalam industri mekanik, penerbangan dan otomotif (Setiawan et al., 2023).

Material komposit terdiri dari dua komponen utama, yaitu matriks (perekat) dan *reinforcement* (penguat). Kedua komponen ini bekerja sama untuk memberikan sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan material individu (Jones, 2016; Tiwary et al., 2022). Matriks merupakan bahan dasar yang mengikat dan mengelilingi bahan penguat dalam material komposit. Jenis matriks ada tiga, yaitu polimer (resin epoksi, resin venyl, dan resin poliester), logam (aluminium, magnesium, dan titanium), serta keramik (silikon karbida, aluminium oksida (Mortensen, 2007).

Peran matriks sangat penting dalam menjaga posisi dan orientasi serat, melindungi dari kerusakan, dan

mentransfer tegangan ke serat (Tjahjanti, 2018). Dalam pembuatan komposit, matriks polimer seperti resin epoksi sering digunakan. Resin epoksi dicirikan oleh ketahanan mekanik dan termal yang tinggi, serta lebih baik daripada polyester (Hsissou et al., 2021). Resin epoksi memiliki keunggulan, seperti kekakuan dan kekuatan tinggi (W. Zhang et al., 2019), konduktivitas termal yang baik (Datsyuk et al., 2020), ketahanan terhadap korosi (Hsissou et al., 2020), perilaku dielektrik yang sangat baik (Y. Zhang & Park, 2017), dan ketahanan terhadap bahan kimia (Rafique et al., 2016).

Berdasarkan sifat-sifat yang dimiliki oleh resin epoksi, sejumlah kecil penelitian menyelidiki peningkatan sifat mekanik resin epoksi sebagai matriks komposit. W. Zhang et al., (2019), menggunakan komposit polimer yang diperkuat oleh *carbon fibers* menggabungkan *carbon nanotubes* menunjukkan peningkatan kekuatan bending. Z. Zhang et al., (2021), menunjukkan bahwa komposit *carbon fibers/epoxy* memiliki kekuatan tarik hingga 1,15 GPa pada 48% volume serat. Oleh karena itu, untuk meningkatkan sifat mekanik resin epoksi, perlu di tambahkan *reinforcement/penguat*.

Reinforcement/penguat merupakan bahan yang ditambahkan ke matriks untuk meningkatkan sifat mekanik

seperti kekuatan, kekakuan dan ketangguhan. Beberapa bahan penguat yaitu *carbon fibers*, *glass fibers*, dan *aramid fibers* (Mortensen, 2007). Peran *reinforcement*/penguat, seperti *carbon fibers* umum digunakan dalam struktur komposit.

Carbon fibers (CF) merupakan bahan komposit yang banyak digunakan di berbagai industri, seperti kendaraan udara, laut, dan darat, turbin angin, tangki penyimpanan, serta peralatan olahraga (J. Zhang et al., 2020). Sebagai penguat, *carbon fibers* memiliki keunggulan, seperti kekuatan dan kekakuan tinggi (M et al., 2022), rasio kinerja terhadap berat (M. Sharma et al., 2014), stabilitas termal tinggi (Toldy et al., 2020), dan konduktivitas tinggi (Marosi et al., 2017). Namun, potensi komposit *carbon fibers* belum sepenuhnya dimanfaatkan karena memiliki energi permukaan yang rendah dan sifat mudah menyerap kelembaban, sehingga sulit mencapai adhesi antarmuka yang baik dan kekuatan mekanik komposit yang optimal (Yuan et al., 2018).

Graphene Oxide (GO) merupakan bahan yang memiliki sifat listrik, termal, optik, mekanik dan mobilitas elektron yang tinggi (Casallas Caicedo et al., 2020). GO ditambahkan dalam bahan komposit berbasis *carbon fibers* (CF) karena memiliki sifat mekanik komposit dan termal yang tinggi

(Gao et al., 2016; C. Li et al., 2018). Yuan et al., (2018), menunjukkan bahwa GO tersebar secara merata pada permukaan *carbon fibers*, sehingga meningkatkan sifat mekanik dan listrik.

Komposit *carbon fibers* dengan *graphene oxide* (GO) merupakan material yang menggunakan *carbon fibers* sebagai penguat, resin epoksi sebagai matriks, serta GO sebagai penambah (filler). Komposit ini memiliki sifat mekanik yang unggul, keuletan yang baik, modulus Young yang tinggi, biaya produksi yang relatif rendah, dan ramah lingkungan (Xu et al., 2023). Resin epoksi dimodifikasi dengan memasukkan %wt GO yang berbeda dari 0.1 hingga 0.6 %wt. dengan metode dicangkokkan. Peningkatan persentase GO mengarah pada adhesi antarmuka dan kinerja mekanik yang lebih baik. Namun, konsentrasi GO yang lebih tinggi dapat menyebabkan penggumpalan yang akhirnya dapat merusak sifat-sifat material yang diinginkan (Pathak et al., 2016).

Dalam industri modern, terdapat berbagai metode yang digunakan untuk fabrikasi komposit, seperti metode *Hand Lay-Up*, *Vacuum Bagging*, dan *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Namun, di antara metode tersebut, *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) yang dianggap paling unggul,

karena mampu menghasilkan komposit dengan kualitas dan kekuatan yang tinggi (Hsiao & Heider, 2012).

Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) digunakan untuk mencetak komposit dengan metode pencetakan tertutup. Proses ini mampu menghasilkan material komposit dengan distribusi resin yang lebih merata dan minim cacat (Malheiro & Nunes, 2021). Keunggulan utama metode VARI adalah proses infusi resin yang dilakukan di bawah tekanan vakum membuat resin menembus seluruh bagian serat dengan optimal, mengurangi resiko adanya area kosong atau resin yang tidak merata. Hal ini sangat penting dalam meningkatkan sifat mekanik komposit, seperti kekuatan tarik dan kekuatan bending (Dabet et al., 2018).

Pengujian mekanik mengukur perilaku material saat dikenai beban atau gaya. Sifat ini penting untuk menentukan karakteristik material dalam desain produk, kontrol kualitas, dan kinerja aplikasi (Saba et al., 2015). Pengujian mekanik melibatkan penentuan parameter seperti kekuatan dan kekakuan untuk mengevaluasi penggunaan material dalam desain struktur. Pengujian mekanik standar yang paling umum dari komposit meliputi *tensile* (uji tarik), *flexural* (uji bending), dan *impact* (uji tekan) (Senthilkumar et al., 2018).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik komposit *carbon fibers* melalui pemanfaatan material *graphene oxide*. Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan pengetahuan tentang sintesis *graphene oxide* dan diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi material komposit.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana spektrum FTIR mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam *Graphene Oxide* dan komposit GO/CF/EP?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *Graphene Oxide* pada morfologi komposit *Carbon Fibers/Epoxy*?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *Graphene Oxide* pada komposit *Carbon Fibers/Epoxy* terhadap sifat mekanik?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui spektrum FTIR yang menunjukkan gugus fungsi yang terdapat dalam *Graphene Oxide* dan komposit GO/CF/EP.
2. Untuk mengetahui morfologi sebaran *Graphene Oxide* pada komposit *Carbon Fibers/Epoxy*.
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *Graphene Oxide* pada komposit *Carbon Fibers/Epoxy* terhadap sifat mekanik.

D. Batasan Masalah

1. Bahan yang digunakan yaitu *carbon fibers*, resin epoxy, dan *graphene oxide* dari *graphite*.
2. Rasio perbandingan *Carbon Fibers* (60 %wt) dan *Epoxy* (40 %wt), dengan variasi GO 0 %wt; 0.15 %wt; 0.35 %wt; dan 0.55 %wt.
3. Metode yang digunakan dalam melakukan fabrikasi komposit GO/CF/EP adalah metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI).
4. Karakterisasi sampel menggunakan FTIR dan SEM, serta uji mekanik, seperti *Tensile Test* (uji tarik) dan *Three-point Bend Flexural* (uji bending).
5. Karakterisasi FTIR difokuskan hanya 3 sampel, yaitu GO, komposit CF/EP dan komposit GO(35)/CF/EP untuk melihat pengaruh GO pada gugus komposit.
6. Karakterisasi SEM hanya dilakukan pada komposit CF/EP dan komposit GO(35)/CF/EP untuk melihat pengaruh penambahan GO terhadap morfologi.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini, yaitu:

1. Sebagai salah satu teknik lain dalam komposit *Carbon Fibers/Epoxy* dengan penambahan *graphene oxide*.
2. Sebagai informasi bagi penelitian selanjutnya untuk mengembangkan komposit *Carbon Fibers/Epoxy* dengan

penambahan *Graphene Oxide* dengan metode *Vacuum Assited Resin Infusion* (VARI) untuk meningkatkan sifat mekanik komposit.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. KAJIAN TEORI

1. Material Komposit

Komposit merupakan material yang paling menarik dan terdiri dari dua atau lebih komponen yang berbeda, yaitu *matriks* dan *reinforcement* (Braga & Magalhaes, 2015). Beberapa sifat menjadi keunggulan material komposit adalah kekuatan dan kekakuan yang tinggi (Agarwal et al., 2024), tahan terhadap korosi (Tiwarly et al., 2022), ketahanan aus, serta isolasi termal baik (Jones, 2016). Hingga saat ini material komposit banyak diaplikasikan sebagai alat transportasi, elektronika, dan konstruksi (Tsai, 2003).

Komposit yang diperkuat dengan serat terbagi menjadi dua kategori, yaitu komposit dengan serat pendek (*short fiber composite*) dan komposit dengan serat panjang (*long fiber composite*). Serat panjang memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat pendek. Berdasarkan teori, serat panjang dapat meneruskan beban dan tegangan dari satu titik ke titik lainnya di sepanjang arah serat (M. Schwartz, 2000).

Secara umum, komposit tersusun dari dua komponen utama, yaitu matriks dan *reinforcement*/penguat.

a. Matriks

Matriks merupakan komponen utama dalam material komposit. Matriks biasanya terbuat dari bahan polimer, seperti epoksi atau poliester. Matriks mempunyai fungsi, seperti mentransfer tegangan ke serat, melindungi serat, tetap stabil proses manufaktur. Matriks juga berfungsi sebagai pelapis serat dan memiliki fraksi volume terbesar dalam komposit (Tjahjanti, 2018).

Matriks dalam struktur komposit berfungsi sebagai perekat. Komposit dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan matriksnya, yaitu:

- 1) *Polymer Matrix Composite* (PMC) adalah komposit dengan bahan matriks polimer. Contoh *thermoplastic resin* dan *thermoset resin* (Tsai, 2003).
- 2) *Metal Matrix Composite* (MMC) adalah komposit yang terbuat dari matriks logam. Contoh aluminium, magnesium, dan titanium (Tsai, 2003).
- 3) *Ceramic Matrix Composite* (CMC) adalah matriks berbahan keramik. Contoh alumina, silikon karbida, aluminium titanat (Tsai, 2003).

b. Reinforcement

Reinforcement adalah bahan pengisi yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dan sifat mekanik dari komposit. *Reinforcement* dapat berupa bahan anorganik seperti quartz, silikat, kaca, atau serat alam. Ukuran dan jenis *reinforcement* yang digunakan sangat mempengaruhi kekuatan fisik dan mekanik dari komposit (Tjahjanti, 2018).

Sifat fisik dan mekanik komposit sangat bergantung pada matriks, penguatan serat, dan interaksi antarmukanya. Diketahui bahwa antarmuka serat/matriks dapat transfer tegangan dari matriks ke serat, sehingga kinerja komposit sangat bergantung pada adhesi serat/matriks (Johnston et al., 2017; D. J. Kwon et al., 2017).

2. Resin Epoksi

Istilah “resin epoksi” diterapkan pada prepolimer dan resin yang diawetkan yang pertama mengandung gugus epoksi reaktif. Dalam resin yang diawetkan semua gugus reaktif mungkin telah bereaksi, sehingga meskipun tidak lagi mengandung gugus epoksi, resin yang diawetkan masih disebut resin epoksi (Ellis, 1993).

Epoksi adalah matriks termoset atau bahan resin, memiliki setidaknya satu atau lebih gugus epoksida

dalam molekul. Epoksi juga disebut sebagai gugus oxirane atau etoksilin dan dianggap sebagai unit representatif polimer epoksi. Resin epoksi biasanya membutuhkan jumlah bahan pengawet yang lebih tinggi dalam rasio resin terhadap *hardener* (1:1 atau 2:1), dibandingkan dengan resin poliester atau vinil ester (Saba et al., 2015).

Resin ini biasanya berbentuk keras, transparan, serta akan lembek dan meleleh ketika dipanaskan. Seperti pada Gambar 2.1, resin epoksi yang ditampilkan dalam bentuk kemasan siap pakai yang digunakan sebagai matriks dalam komposit. Secara kimiawi, resin juga terdiri dari campuran asam, alkohol, ester, dan resin lainnya. Setelah dipisahkan dan dimurnikan, resin biasanya berbentuk padat. Selain itu, resin larut dalam alkohol dan pelarut organik yang berbentuk pelarut, yang apabila diuapkan meninggalkan lapisan tipis seperti pernis (Saputri, 2020).

Resin epoksi mudah ditangani dan dapat mengeras dalam suhu 5–150°C. Matriks epoksi biasanya disiapkan dengan menambahkan *hardener* (Parida & Jena, 2019). Menurut Y. Zhang & Park, (2017), resin epoksi sebagai matriks menunjukkan hasil modulus Young yang lebih tinggi dan interaksi antarmuka lebih kuat.

Resin epoksi banyak digunakan sebagai matriks dalam pembuatan komposit. Hal ini dikarenakan resin epoksi memiliki keunggulan, seperti kekuatan dan kekakuan yang tinggi, konduktivitas termal yang baik (Datsyuk et al., 2020), ketahanan terhadap korosi (Hsissou et al., 2020), perilaku dielektrik yang sangat baik (W. Zhang et al., 2019), dan ketahanan terhadap bahan kimia (Rafique et al., 2016). Resin epoksi telah banyak digunakan dalam teknologi rekayasa kriogenik sebagai bahan impregnasi, perekat atau matriks untuk komposit yang diperkuat serat (Rafique et al., 2016).



Gambar 2.1 Resin Epoksi

3. Carbon Fibers (CF)

Pada tahun 1960-an, sebagian besar pembuatan komposit menggunakan bahan *carbon fiber* yang terbukti menjadi penguat. *Carbon fiber* memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi, baik untuk kegiatan industri maupun elektronik (Park, 2018). *Carbon fiber* mampu mempertahankan struktur dalam

kondisi suhu dan tekanan yang tinggi. Pada saat ini *carbon fiber* banyak digunakan untuk kedirgantaraan dan otomotif. Alasan memilih bahan karbon karena memiliki kekuatan dan kekakuan spesifik yang tinggi, kepadatan rendah, kemudahan integrasi, dan kebebasan dalam desain (Kaw, 2006; Pathak et al., 2016).

Sifat-sifat *carbon fibers* tergantung bahan baku, proses yang digunakan untuk pembuatannya, dan proses manufaktur spesifik yang digunakan. Dua bahan baku utama, yaitu Polyacrylonitrile (PAN) dan pitch (Ever J. Barbero, 2017). Sifat mekanik *carbon fibers* ditentukan oleh konfigurasi atom karbon rantai dan koneksinya yang mirip dengan struktur kristal *graphite*. Kekuatan *carbon fibers* dikendalikan dengan mengorientasikan struktur atom karbon dengan koneksi atom terkuatnya di sepanjang arah *carbon fibers* (Nie et al., 2020). Terdapat beberapa jenis *carbon fibers* yang biasa digunakan dalam fabrikasi komposit, seperti T300, T700, CF525, dan CF522. Namun, yang digunakan dalam penelitian ini adalah CF522, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Carbon fibers digunakan sebagai penguat dalam komposit, karena memiliki keunggulan, seperti kekuatan dan kekakuan tinggi (M et al., 2022), rasio kinerja

terhadap berat (M. Sharma et al., 2014), stabilitas termal tinggi (Toldy et al., 2020), dan konduktivitas tinggi (Marosi et al., 2017).

Qian et al., (2012), menunjukkan bahwa komposit CF pada permukaan menunjukkan peningkatan 50% tegangan geser antar-lapisan, karena kekasaran permukaan yang lebih tinggi memperkuat ikatan mekanis antara serat dan matriks. Sejalan dengan penelitian Hossein Rahmani et al., (2014) serat karbon yang mengandung 60 %wt lebih unggul dibandingkan dengan serat yang dibuat 40 %wt, karena sifat mekanik yang tinggi.



Gambar 2.2 Carbon Fibers (CF) tipe 522

Penelitian yang dilakukan oleh (Y. J. Kwon et al., 2017), komposit yang diperkuat serat karbon berlapis hibrida menunjukkan peningkatan lebih dari 10% dalam kekuatan balok pendek dibandingkan dengan komposit serat karbon yang tidak dilapisi dan menunjukkan

peningkatan konduktivitas listrik ketebalan yang signifikan (peningkatan lebih dari 1.400%).

4. *Graphene Oxide (GO)*

Graphene Oxide (GO) telah menjadi salah satu bahan yang paling banyak dipelajari dalam dekade terakhir. Pembentukan GO pertama kali disintesis oleh Brodie dalam catatan singkatnya yang muncul pada tahun 1855 di *Annales de Chimie* dalam Bahasa Prancis dan kini terus berlanjut sepanjang abad ke-20 dengan beberapa metode sintesis lainnya. Mulainya “era *Graphite*” pertama kali dipublikasikan pada tahun 2004 oleh Andre Geim dan Konstantin Novoselov. Mereka memperoleh *graphite* dengan metode pita scotch dan memenangkan Nobel prize pada tahun 2010. Sebagai hasil dari kinerjanya yang menonjol, *graphite* dapat digunakan di berbagai bidang, seperti penyimpanan energi, biosensing, optoelektronik, penginderaan elektrokimia, robotika, industri tekstil, dan sebagainya (Razaq et al., 2022; Thakur & Kandasubramanian, 2019).

Penemuan *graphite* menandai awal dari era baru dalam penelitian ilmu material. Seperti pada Gambar 2.3(a), struktur *graphite* terdiri dari lapisan-lapisan karbon yang tersusun rapi tanpa gugus fungsi oksigen, sedangkan Gambar 2.3(b) menunjukkan struktur

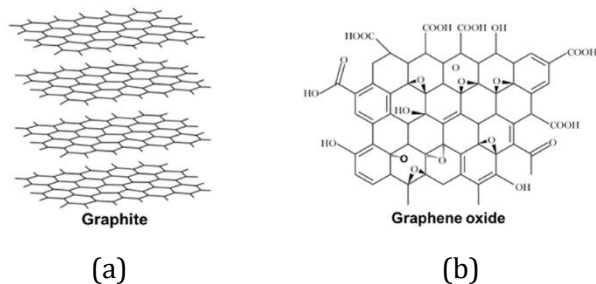
graphene oxide (GO) dengan berbagai gugus fungsi oksigen yang terikat dipermukaan dan tepi lapisan karbon. Pemahaman yang mendalam tentang mekanisme pembentukan GO menjadi esensial untuk mengembangkan metode produksi yang efisien, sehingga memungkinkan tercapainya produk dengan sifat-sifat yang diinginkan (Dimiev & Eigler, 2017). GO biasanya diproduksi dengan metode preparasi menggunakan Hummer, Brodie, Staudenmaier dan Marcano (Hidayati et al., 2021; Hummers & Offeman, 1958).

Graphene oxide (GO) adalah struktur karbon berlapis dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen (=O,-OH,-O-, -COOH) yang melekat pada kedua sisi lapisan serta tepi bidang (Jiřřckov et al., 2022). Kelebihan yang terdapat pada material *graphite*, yaitu konduktivitas yang tinggi (Narayanam' et al., 2019), stabilitas termal dan struktur berlapis sehingga mudah untuk membentuk ikatan GO (Kausar et al., 2023; Zandiatashbar et al., 2014).

Graphene Oxide merupakan material karbon dengan kinerja yang baik dan biaya rendah (Wu et al., 2015). GO memiliki tiga karakteristik yang berbeda, yaitu dispersibilitas dan kemampuan proses dalam air dan

beberapa pelarut organik, sifat serbaguna dengan menyatel rasio atom karbon hibridisasi sp^2/sp^3 dan jenis gugus fungsi, serta yang terakhir produk hasil tinggi dari *graphite* mudah dengan menggunakan metode kimia yang hemat biaya (Fauzi & Dwandaru, 2021).

Dengan sifat-sifat yang unik, GO dianggap sebagai bahan kandidat yang menjanjikan untuk komposit (C. Li et al., 2018). Penggunaan GO berfungsi untuk meningkatkan adhesi antarmuka antara matriks dan serat. Pathak et al., (2016), penambahan GO dalam matriks epoksi menunjukkan sifat mekanik yang sangat baik. Dengan kekuatan bending meningkat sebesar 66% hanya dengan 0.3 %wt GO. Penelitian yang dilakukan oleh X. Wang et al., (2018) juga menunjukkan bahwa GO meningkatkan kekuatan geser antar-muka dan kekuatan geser antar-lapisan pada komposit yang diperkuat serat karbon.



Gambar 2.3 Gugus Fungsi (a) *Graphite*, (b) *Graphene Oxide* (GO)

5. Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI)

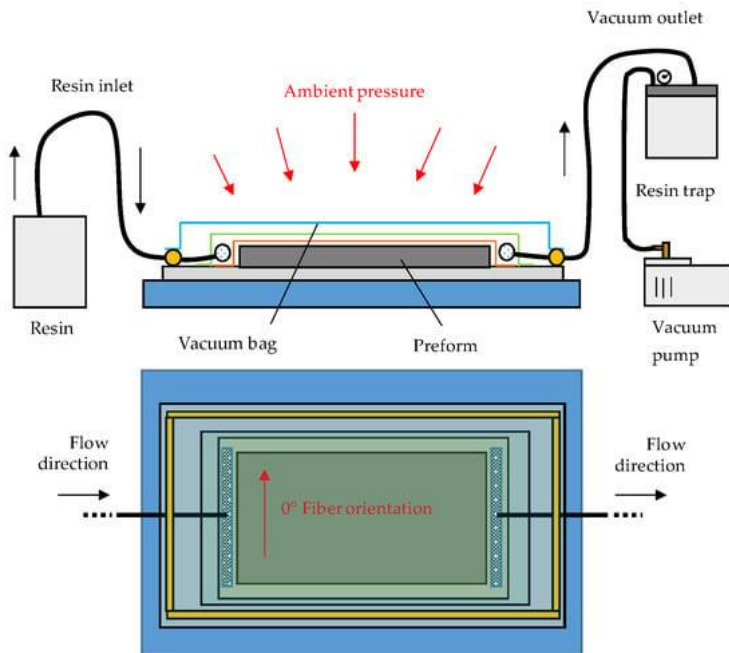
Proses manufaktur komposit dari tahun ke tahun selalu berkembang. Di antara banyaknya proses manufaktur industri, *resin infusion* makin banyak digunakan sebagai alternatif ekonomis terbaik untuk produksi dalam skala besar/tinggi (Dabet et al., 2018). Proses tersebut meminimalisir pengurangan biaya penyimpanan bahan baku dan fabrikasi, waktu siklus lebih pendek, serta dapat menghindari waktu trial dan error untuk mengoptimalkan parameter proses (M et al., 2022).

Proses VARI tidak menimbulkan limbah kimia dan mengurangi waktu pemrosesan tanpa menurunkan kinerja bahan yang dihasilkan. Produksi komposit ini dapat diperlihatkan melalui penilaian siklus hidup, yang diterima secara global untuk mengevaluasi dampak lingkungan berbagai bahan (Iryani & Wibowo, 2019).

Proses pencetakan dengan metode VARI dilakukan dengan disusun sampel ke dalam cetakan kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik vakum. Lalu, resin dicampur hardener dialirkan kedalam cetakan yang sudah kondisi vakum. Metode ini dapat menghilangkan gelembung udara (*void*) di dalam komposit sehingga diharapkan kekuatan tarik komposit menjadi lebih tinggi

(Dabet et al., 2018). Yao et al., (2017) melakukan penelitian dengan hasil dari penambahan GO secara efektif meningkatkan kekuatan ikatan antarmuka antara *Carbon Fibers* dan epoksi. Berbeda dengan komposit *carbo fibers/epoxy* tanpa GO, komposit *GO-carbon fibers/epoxy* menunjukkan peningkatan 64,6% dalam kekuatan geser interlaminar.

Metode VARI umumnya dimulai dengan menyiapkan lapisan serat kering dalam cetakan yang telah diatur sesuai desain komposit yang diinginkan. Setelah itu, lapisan serat tersebut ditutupi dengan film plastik yang rapat, meninggalkan ruang bagi resin untuk mengalir. Sebuah sistem vakum kemudian dipasang untuk menarik udara keluar dari dalam cetakan, menciptakan tekanan rendah. Resin cair kemudian disuntikkan ke dalam cetakan, di mana vakum membantu menyebarkan resin secara merata melalui serat. Proses ini memastikan bahwa setiap bagian serat terlapisi dengan resin tanpa adanya gelembung udara atau area kering. Setelah resin menyebar sepenuhnya, komposit dibiarkan mengeras, menghasilkan produk akhir yang kuat dan ringan (Malheiro & Nunes, 2021).



Gambar 2.4 Cara Kerja Metode VARI

Gambar 2.4 menunjukkan sistematis metode VARI yang digunakan dalam fabrikasi komposit. Pada proses ini, resin dialirkan dari wadah melalui jalur resin inlet menuju ke area *preform*, yaitu serat karbon yang telah disusun dengan orientasi serat 0° . *Preform* tersebut diletakkan di atas cetakan dan ditutupi oleh *vacuum bag*. Selama proses berlangsung, pompa vakum diaktifkan untuk menciptakan tekanan melalui *vacuum outlet*, sehingga udara sistem tersedot keluar dan resin dapat tertarik masuk secara merata ke dalam struktur *preform*.

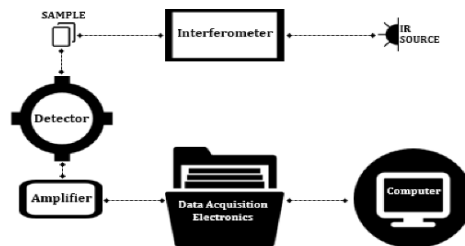
Resin yang berlebih akan di tampung di *resin trap* agar tidak masuk ke dalam pompa. Selain itu, tekanan luar atau *ambient pressure* turut membantu mendorong resin agar meresap sempurna ke seluruh bagian *preform*. Aliran resin (*flow direction*) yang ditunjukkan oleh tanda panah yang berari resin mengalir dari kiri ke kanan, menyebar secara merata ke seluruh permukaan serat. Aliran ini mengikuti arah tertentu sesuai arah orientasi serat.

6. Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Fourier transform infrared (FTIR) adalah teknik analisis penting bagi para peneliti. Jenis analisis ini dapat digunakan untuk mengkarakterisasi sampel dalam bentuk cairan, larutan, pasta, bubuk, film, serat, dan gas. FTIR dapat menganalisis bahan pada permukaan substrat. Teknik spektroskopi getaran ini relatif sederhana, dapat direproduksi, tidak merusak jaringan, dan hanya diperlukan sejumlah kecil bahan (mikrogram hingga nanogram) dengan persiapan sampel minimum (Dutta, 2017). Spektroskopi FTIR, yang beroperasi berdasarkan interaksi molekul dengan radiasi inframerah, membuka wawasan penting tentang komposisi kimia, ikatan, dan struktur material. Ketahanan, keserbagunaan, serta penerapan luasnya

menjadikan FTIR alat analisis yang sangat diperlukan di berbagai disiplin ilmu. FTIR juga unggul karena kecepatan, akurasi, dan sensitivitasnya dibandingkan teknik karakterisasi lainnya (Siddique, 2024).

Fourier Transform Infra-Red (FTIR) adalah teknik yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dengan menggunakan radiasi pancaran inframerah. Spektroskopi inframerah mengukur penyerapan radiasi IR yang dibuat oleh setiap ikatan dalam molekul dan sebagai hasilnya memberikan spektrum yang umumnya ditetapkan sebagai hubungan antara transmisi-gelombang (cm^{-1}) (Khan et al., 2018). Wilayah yang paling menarik di IR untuk analisis kimia adalah wilayah inframerah tengah yang terletak antara $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$. Wilayah inframerah jauh yang terletak antara $400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$ berguna saat menganalisis molekul yang mengandung atom berat seperti senyawa anorganik (Abidi, 2021).



Gambar 2.5 Cara Kerja FTIR

Pada Gambar 2.5 menunjukkan prinsip kerja dari FTIR yang digunakan. Proses dimulai dari sumber sinar inframerah (*IR source*) yang menghasilkan gelombang IR dan mengarahkannya ke dalam interferometer. Sinar IR kemudian diarahkan menuju sampel, di mana gugus fungsi dalam molekul akan menyerap Panjang gelombang tertentu sesuai karakteristik kimianya. Sinar yang keluar dari sampel diterima oleh detektor, kemudian diperkuat melalui amplifier, dan dikirim ke unit akuisisi data elektronik (*data acquisition electronics*). Selanjutnya, sinyal digital yang dihasilkan dianalisis oleh komputer dan hasil akhirnya berupa spektrum FTIR yang menunjukkan puncak-puncak serapan sebagai identifikasi gugus fungsi dalam sampel.

7. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

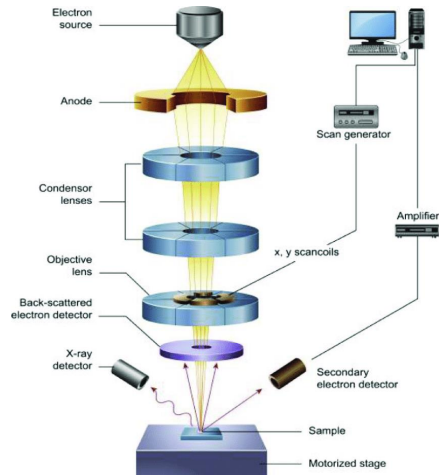
Sejak tahun 1935, *Scanning Electron Microscope* (SEM) telah dimanfaatkan oleh para peneliti untuk mempelajari struktur skala mikrometer. Metode ini dianggap efektif dalam menganalisis bahan organik dan anorganik dari skala mikrometer hingga nanometer (Brabazon & Raffer, 2014).

SEM merupakan alat canggih yang umum digunakan untuk mengamati fenomena pada permukaan material. Pengambilan sampel dalam SEM menggunakan elektron

berenergi tinggi. Elektron atau sinar-X yang dipancarkan memberikan informasi tentang topografi, morfologi, komposisi, orientasi butiran, informasi kristalografi, dan lain sebagainya (D.J. Stokes, 2013). SEM dapat menghasilkan gambar visual terperinci dari partikel dengan kualitas tinggi dan resolusi spasial hingga 1 nm. Perangkat SEM mampu memperbesar gambar dari 5 kali hingga 300.000 kali, menghasilkan gambar yang sangat akurat (Akhtar et al., 2018).

SEM memungkinkan analisis sampel dengan diameter hingga 200 mm dan tinggi 80 mm. *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) bekerja bersama dengan SEM untuk memberikan hasil kualitatif dan semi-kuantitatif. Kedua Teknik ini, secara bersamaan, memiliki kemampuan untuk menyediakan informasi mendalam tentang komposisi bahan spesimen yang dipindai, yang tidak dapat diperoleh melalui tes laboratorium konvensional (Abdullah & Mohammed, 2019).

Komponen yang terdapat dalam SEM yaitu *electron source, anode, condenser lenses, objective lens, x, y scan coils, backscattered electron detector, secondary electron detector, x-ray detector, amplifier, serta scan generator* (D.J. Stokes, 2013).



Gambar 2.6 Cara Kerja SEM

Gambar 2.6 menunjukkan cara kerja ala SEM yang terdiri dari beberapa komponen utama. Proses dimulai dari sumber elektron (*electron source*) yang menghasilkan berkas elektron. Berkas elektron kemudian dipercepat dengan anode dan diarahkan ke lensa kondensor (*condenser lenses*) untuk mengontrol intensitas dan fokus awal. Selanjutnya, berkas elektron difokuskan lebih tajam oleh lensa objektif (*objective lens*) hingga membentuk titik fokus yang sangat kecil di permukaan sampel. Untuk mengamati seluruh permukaan sampel, berkas elektron diarahkan secara menyeluruh melalui koil pemindai (*x, y scan coils*). Ketika berkas elektron mengenai sampel, akan terjadi berbagai interaksi yang menghasilkan elektron

sekunder dan elektron pantul (*backscattered*), serta sinyal sinar-x. Detektor elektron sekunder menangkap elektron yang keluar dari permukaan dan digunakan untuk menghasilkan citra topografi. Sementara itu, detektor elektron pantul (*backscattered electron detector*) menghasilkan kontras berdasarkan perbedaan nomor atom, dan detektor sinar-x digunakan untuk analisis komposisi unsur dengan teknik EDS/EDX. Seluruh sinyal dari detektor diperkuat oleh amplifier, kemudian dikirim ke komputer, di mana sinyal diolah menjadi gambar digital yang merepresentasikan permukaan dari sampel.

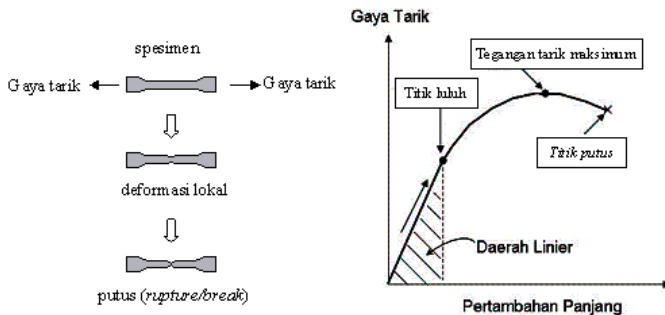
8. Pengujian Mekanik Komposit

a. Tensile Test (Uji Tarik)

Pengujian tarik adalah salah satu metode yang paling sering digunakan dalam dunia industri, karena relatif mudah dilakukan dan menghasilkan banyak data penting. Beberapa informasi yang dapat diperoleh dari pengujian ini meliputi kekuatan tarik, kekuatan, elongasi, elastisitas, dan pengurangan luas penampang (Budiman, 2016). Ini mengukur gaya yang diperlukan untuk memecahkan spesimen komposit atau plastik sejauh mana spesimen membentang atau memanjang ke titik putus itu. Uji tarik komposit umumnya berupa uji tegangan dasar

atau tegangan *flat-sandwich* sesuai dengan standar seperti ISO 527-4, ISO 527-5, ASTM D638, ASTM D3039, dan ASTM C297. Tes tersebut menghasilkan diagram tegangan-regangan (*stress-strain*) yang digunakan untuk menentukan modulus Young. Pengujian tarik dalam bidang komposit adalah pengujian yang paling umum. Uji tarik juga dilakukan pada bundel serat yang diresapi resin dan melalui spesimen ketebalan (Saba et al., 2018).

Dalam proses pengerjaannya, uji tarik biasanya dilakukan menggunakan standar pengujian seperti ASTM D3039 dengan ukuran 250 mm x 25 mm x 3 mm. Mula-mula, spesimen dijepit pada kedua ujung mesin uji tarik. Kemudian, mesin memberikan gaya tarik dengan kecepatan konstan hingga spesimen mulai meregang dan akhirnya putus. Tegangan dan regangan dihitung secara otomatis oleh mesin uji menggunakan sensor yang mencatat gaya yang diterapkan serta perubahan panjang spesimen. Setelah pengujian, grafik tegangan-regangan dihasilkan untuk menentukan kekuatan tarik maksimum material (Aji, n.d.; ASTM D3039, n.d.).



Gambar 2.7 Cara Kerja Uji Tarik

Pada Gambar 2.7 menunjukkan proses kerja uji tarik yang digunakan untuk mengetahui sifat mekanik material, seperti tegangan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas. Pengujian ini dilakukan dengan menarik spesimen berbentuk standar menggunakan mesin uji tarik secara bertahap hingga spesimen mengalami kegagalan atau patah. Spesimen uji yang berbentuk menyerupai “dog-bone” dipasang di antara dua penjepit (*grip*) pada mesin. Mesin kemudian menarik spesimen secara aksial dengan kecepatan konstan. Selama proses penarikan, mesin mencatat pertambahan Panjang (regangan) dan gaya tarik (tegangan) yang diterima spesimen. Hasil dari pengujian ini divisualisasikan dalam bentuk kurva tegangan-regangan seperti pada gambar sebelah kanan.

Perhitungan sifat mekanik material dalam uji tarik didasarkan pada tiga persamaan utama. Persamaan (2.1) untuk nilai tegangan (*stress*) dihitung dengan membagi gaya tarik maksimum terhadap luas penampang spesimen. Kemudian, nilai regangan (*strain*) diperoleh dari perbandingan antara pertambahan panjang terhadap panjang awal spesimen, sesuai dengan persamaan (2.2). Berdasarkan hubungan antara tegangan-regangan, maka modulus young dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.3).

- **Stress/ Tegangan (σ):**

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

dimana, F = gaya tarikan (N); dan A = luas penampang (mm)

- **Strain/Regangan (ϵ):**

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

dimana, ΔL = perubahan Panjang (mm); dan L = Panjang awal (mm).

- **Modulus Young (E)**

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.3)$$

dimana, σ adalah tegangan (N/mm); dan ϵ adalah regangan (%).

b. *Three-point Bend Flexural (Uji Bending)*

Three-point Bend Flexural (Uji Bending) mengukur gaya yang diperlukan untuk menekan balok di bawah kondisi pemuatan tiga titik, dan umumnya berlaku untuk bahan kaku dan semi-kaku, resin, dan bahan komposit serat laminasi (Barile & Casavola, 2018). Data sering digunakan untuk memilih bahan bagian yang akan mendukung beban tanpa bending. Pengujian bending dilakukan sesuai alat masing-masing, seperti ISO 14,125; ISO 178; ASTM D790, dan ASTM D6272. Alat yang digunakan bertujuan untuk memastikan kesesuaian sifat-sifat bahan dalam berbagai kondisi untuk memastikan bahwa bahan tersebut cocok untuk aplikasi yang dimaksud. Ukuran spesimen yang paling umum digunakan, yaitu ASTM D790 (125 mm x 12,7 mm x 3 mm), sampel persegi panjang (Saba et al., 2017).

Dalam proses pengerjaannya, uji bending biasanya dilakukan menggunakan standar pengujian seperti ASTM D790, dengan spesimen yang berbentuk balok atau pelat. Spesimen ditempatkan di atas dua penyangga, kemudian beban diberikan di tengah-tengah spesimen. Mesin uji akan secara bertahap meningkatkan beban hingga spesimen mengalami

deformasi dan akhirnya gagal. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung kekuatan bending dan modulus Young (*ASTM D790*, n.d.; *Uji Lentur*, n.d.).



Gambar 2.8 Cara Kerja Uji Bending ASTM D790

Gambar 2.8 menunjukkan alat uji bending dengan metode tiga titik penopang (*three-point bending*). Pada metode ini, spesimen diletakkan secara horizontal di atas dua tumpuan. gaya tekan kemudian diberikan dari atas oleh sebuah penekan tepat di titik tengah spesimen. Gaya ini akan menyebabkan spesimen melengkung ke bawah. Selama pengujian, mesin mencatat besar gaya dan defleksi (penurunan Tengah spesimen) yang terjadi.

Perhitungan sifat mekanik dari uji bending didasarkan pada tiga persamaan utama. Pertama, tegangan bending dapat dihitung menggunakan

persamaan (2.4), yaitu dengan membagi hasil kali gaya dan panjang terhadap dua kali lebar dan kuadrat tebal spesimen. Kedua, regangan bending diperoleh dari persamaan (2.5) yang melibatkan tinggi defleksi di tengah bentang. Ketiga, nilai modulus young dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.6).

- **Tegangan Flexural (σ_f):**

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (2.4)$$

dimana, F = gaya tarikan maksimum (N); L = jarak antara dua penyangga (mm); b = lebar spesimen (mm); dan d = tebal spesimen (mm).

- **Regangan Flexural (ε)**

$$\varepsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \quad (2.5)$$

dimana, D = defleksi di titik tengah spesimen (mm); d = tebal spesimen (mm); dan L = lebar spesimen (mm).

- **Modulus Young Flexural (E_f)**

$$E_f = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.6)$$

dimana, σ adalah tegangan (N/mm); dan ε adalah regangan (%).

B. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian X. Zhang et al., (2012) melakukann modifikasi komposit serat karbon dengan GO langsung ke permukaan

serat melalui proses pelapisan (*fibers sizing*). Hasil yang diperoleh meningkatkan kekuatan tarik sekitar 70.9% dan 36.3% dibandingkan dengan komposit serat karbon murni. Selain itu, peningkatan kekuatan lentur sebesar 12.7% diamati setelah penambahan GO 5 %wt ke antarmuka serat karbon dan matriks dibandingkan dengan komposit serat karbon tanpa GO. Kebaruan yang terletak pada penelitian ini, yaitu metode fabrikasi komposit, serta konsentrasi yang digunakan, di mana dalam penelitian ini fabrikasi menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*).

Pada penelitian Yan et al. (2021), mengembangkan metode *grafting* yang menghubungkan GO ke CF menggunakan senyawa pyrene (PSE dan AP) melalui interaksi π - π . Hasil dari komposit ini menunjukkan peningkatan kekuatan lentur sebesar 49,3%, transverse fiber bundle strength (TFB) sebesar 117,1%, dan kekuatan tarik meningkat sebesar 59,1% dibandingkan komposit *Carbon fibers/epoxy*. Kebaruan yang dilakukan pada penelitian ini adalah variasi GO dari 0 %wt hingga 0.55 %wt, serta fabrikasi menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI).

Penelitian yang dilakukan Wang et al. (2017), menghasilkan peningkatan dalam kekuatan tarik, dengan

metode grafting, dengan menggunakan *poly(oxypropylene)* diamines (D400) sebagai agen penghubung. Hasil menunjukkan bahwa nilai pergeseran antarmuka kekuatan tarik dari komposit *carbon fibers/epoxy* dengan GO-2 mencapai 82.2 MPa atau meningkat 75.6% dibandingkan dengan serat karbon tanpa GO. Selain itu, kekuatan tarik serat juga mengalami peningkatan dari 4.73 GPa menjadi 5,02 GP. Kebaruan dalam penelitian ini, ada ada metode fabrikasi komposit.

Penelitian yang dilakukan oleh Yao, Gao, et al., (2017), menunjukkan bahwa pelapisan serat karbon dengan GO menggunakan metode electrophoretic deposition (EPD) ampu meningkatkan kekuatan antarmuka komposit *carbon fibers/epoxy*. Hasil uji menunjukkan peningkatan kekuatan tarik geser antarmuka hingga 63,1 % dan peningkatan kekuatan lentur geser antarmuka sebesar 55% serta penurunan penyerapan air hingga 63,6%. Kebaruan penelitian ini terdapat dalam fabrikasi dan variasi GO.

Penelitian N. Li et al., (2019), melakukan modifikasi antarmuka serat karbon melalui metode pelapisan bertahap menggunakan GO. Variasi kandungan GO yang digunakan adalah 0.1 %wt – 1.0 %wt, dengan hasil optimal pada GO 0.5 %wt, yang mampu meningkatkan kekuatan lemur geser antarmuka hingga 91.5 MPa dan kekuatan

lentur hingga 1886 MPa dibandingkan dengan komposit tanpa GO. Kebaruan dari penelitian ini adalah matriks menggunakan resin epoksi dan variasi GO, serta fabrikasi komposit.

C. KERANGKA BERPIKIR

Dalam penelitian ini, bahan utama yang digunakan, yaitu resin epoksi, *carbon fibers*, dan *graphene oxide*. Resin epoksi dipilih sebagai matriks karena memiliki ketahanan mekanik dan termal yang tinggi, serta lebih baik dibandingkan dengan resin poliester. Biasanya, resin epoksi dalam komposit diperkuat dengan serat karbon, yang menghasilkan peningkatan pada sifat mekanik komposit. Namun, untuk memaksimalkan potensi komposit serat karbon, penambahan *graphene oxide* diperlukan guna meningkatkan adhesi pada antarmuka antara serat karbon dan matriks, sehingga menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang lebih baik.

Penelitian ini menetapkan komposisi resin epoksi sebesar 40 %wt dan *carbon fibers* sebesar 60 %wt, sementara komposisi *graphene oxide* (GO) divariasikan. Variasi komposisi untuk masing-masing sampel adalah sebagai berikut: CF/EP (0 %wt), GO(15)/CF/EP (0.15 %wt), GO(35)/CF/EP (0.35 %wt), dan GO(55)/CF/EP (0.55 %wt).

Komposit karbon dibuat menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Sebanyak 8 lapisan kain serat karbon disiapkan dan ditempatkan dalam cetakan berukuran masing-masing 35 cm x 35 cm. *Graphene oxide* (GO) kemudian ditambahkan ke dalam resin epoksi menggunakan teknik pencampuran mekanis untuk memastikan dispersi yang merata. Resin yang telah dicampur ini kemudian ditarik masuk ke dalam lapisan serat menggunakan mesin vakum, sehingga resin menyebar secara merata ke seluruh serat karbon. Setelah proses infusi selesai, komposit dibiarkan selama 24 jam untuk memadatkan resin. Setelah 24 jam, komposit dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan karakterisasi menggunakan (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM), serta sampel dipotong menjadi 10 spesimen untuk uji mekanik, termasuk *tensile test* dan *flexural test*.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung Karakterisasi Material Maju no. 224, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Serpong, Tangerang Selatan pada tanggal 28 Oktober 2024 sampai dengan 8 Maret 2025. Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Fisika FST UIN Walisongo Semarang pada tanggal 12 Maret 2025, dan pengujian SEM dan Uji Mekanik dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

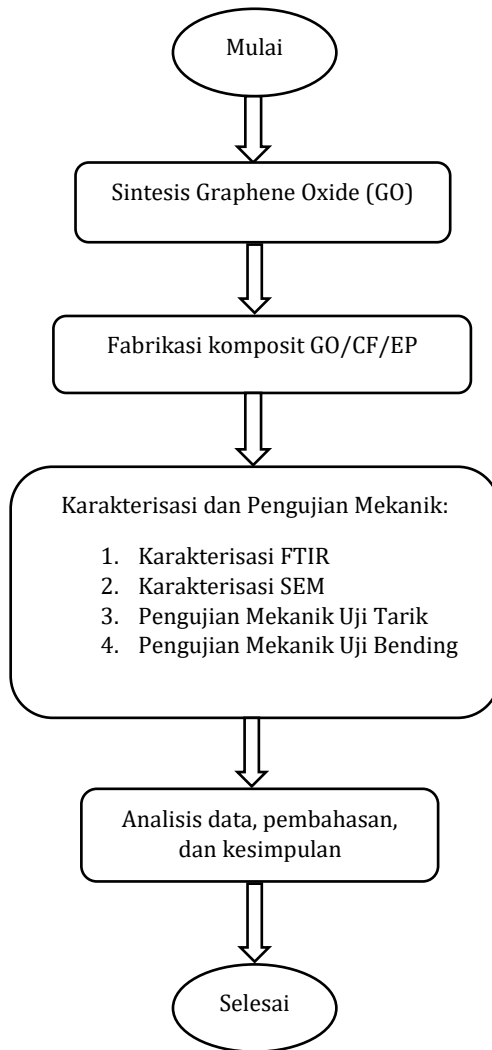
B. Variabel Penelitian

Komposisi perbandingan antara *carbon fibers*, *graphene oxide*, dan resin epoxy tercantum pada tabel 3.1 dengan perbandingan antara resin dan hardener 2:1.

Tabel 3.1 Komposisi sampel

Sampel	<i>Carbon Fibers</i> (%wt)	<i>Graphene Oxide</i> (%wt)	Resin Epoksi (%wt)
CF/EP	60	0	40
GO(15)/CF/EP	60	0.15	40
GO(35)/CF/EP	60	0.35	40
GO(55)/CF/EP	60	0.55	40

Secara umum diagram pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

C. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Neraca Analitik

Alat yang digunakan untuk mengukur massa bahan yang digunakan.

b. Mesin Vakum

Alat yang digunakan untuk melakukan vakum komposit.

c. Beaker *Glass*

Beaker *Glass* digunakan sebagai wadah untuk mencampurkan dan mengaduk material. Beaker *glass* yang digunakan berukuran 50 mL, 500 mL, 1000 mL, dan 2000 mL dengan merk Iwaki.

d. Cawan Petri

Cawan petri digunakan untuk tempat *Graphite Oxide* (GO) dalam proses kalsinasi.

e. Oven UN55 Memmert

Alat yang digunakan untuk mengeringkan bahan yang telah di sintesis dan fabrikasi.

f. Sarung Tangan

Alat yang digunakan untuk melindungi tangan dari bahan yang digunakan.

g. Mortar dan Alu

Mortar dan Alu digunakan untuk menghaluskan *Graphite Oxide* (GO) menjadi bentuk serbuk.

h. Ayakan 200 *Mesh*

Ayakan 200 *mesh* digunakan untuk menyaring serbuk GO.

i. Homogener

Alat yang digunakan untuk mencampurkan resin dan GO agar homogen.

j. FTIR

Alat untuk melihat gugus fungsi yang terdapat dalam sampel GO dan Komposit.

k. SEM

Alat untuk melihat morfologi bahan komposit.

l. ASTM D3039

Alat untuk menguji kekuatan tarik bahan komposit.

m. ASTM D790

Alat untuk menguji kekuatan bending bahan komposit.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. *Carbon Fiber* tipe 522 (C-522)

b. *Graphite*

c. *Epoxy resin Bisphenol A dan Epoxy hardener EPH 555*

d. Plastik Bening (PET)

e. *Gum Sealant Tape*

f. *Silicone Vacuum Hose*

g. *VB160 Vacuum Bagging Film*

h. *PP180 Peel Ply*

- i. *PVC mesh netting* 6mm x 6mm
- j. *Nylon*
- k. *PA vacuum bagging film*
- l. H_2SO_4
- m. H_2O_2
- n. HCl
- o. *DI Water*
- p. Epoxy Thinner Eposchon EPD Z-8

D. Produser Penelitian

1. Sintesis *Graphene Oxide* (GO)

Sintesis *graphene oxide* dilakukan dengan menggunakan metode *hummer's* termodifikasi yang merujuk pada penelitian Méndez-Lozano et al., (2022) langkah-langkah sintesis *graphene oxide* sebagai berikut:

- a. Graphite ditimbang massanya 10 gram kemudian dilarutkan dengan asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 230 mL, lalu diaduk selama 5 menit dengan suhu $<5^\circ\text{C}$ di *ice bath*.
- b. 30 gram KMnO_4 ditambahkan secara perlahan, lalu diaduk selama 2 jam.
- c. Larutan dipindahkan ke penangas minyak dengan suhu 45°C dan diaduk selama 2 jam.
- d. Setelah itu, 460 mL *DI Water* ditambahkan dengan kenaikan suhu sebesar 80°C selama 15 menit.

- e. Setelah itu, tambahkan 1400 mL DI *water* dan 10 mL H_2O_2 (30%) secara perlahan hingga larutan nampak berwarna coklat menuju kuning.
- f. Kemudian larutan dicuci dengan HCl 5% untuk menghilangkan ion logam dan dicuci dengan DI *water* hingga pH 5.
- g. Setelah pencucian hingga pH 5, endapan GO disaring kemudian di kalsinasi selama 24 jam pada suhu 100°C .
- h. Setelah proses kalsinasi, GO dihaluskan menggunakan mortar dan alu, lalu disaring dengan ayakan 200 mesh.

2. Fabrikasi Komposit GO/CF/EP

Fabrikasi komposit GO/CF/EP dilakukan menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) yang mengacu pada penelitian yang dikembangkan oleh Yan et al., (2021). Tahap awal sebelum proses fabrikasi komposit adalah pencampuran *graphene oxide* (GO) dengan resin epoksi, yang dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- a. Serbuk GO disiapkan dan ditimbang sesuai dengan variasi GO.
- b. Serbuk GO yang telah ditimbang dilarutkan dalam 30 mL *thinner epoxy*.

- c. Sonikasi selama 30 menit.
- d. Dispersi GO-*thinner* dicampurkan resin dan hardener dengan perbandingan 2:1.
- e. Stirrer hingga homogen menggunakan alat homogen.

Setelah proses pencampuran GO dengan resin epoksi, langkah berikutnya proses fabrikasi komposit dengan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) sebagai berikut:

- a. *Carbon fibers* ukuran 35 cm x 35 cm dengan 8 lapisan disusun di atas cetakan.
- b. Layer *carbon fibers* dengan *peel of plastics*, *peel of cloth*, *PVC mesh netting*, dan terakhir PA *vacuum bagging film*. Lalu, rekatkan dengan *Gum sealant Tape*.
- c. Setelah itu, *vacuum* campuran GO-resin pada komposit *carbon*.
- d. Diamkan selama 1 jam saat mesin menyala.
- e. Kemudian, diamkan selama 24 jam ketika mesin dimatikan.

E. Karakterisasi dan Pengujian Mekanik

Karakterisasi dan pengujian mekanik penelitian *graphite oxide* dan komposit GO/CF/EP diantaranya sebagai berikut:

1. Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infra-red*)

Pengujian FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terbentuk pada material GO dan Komposit GO/CF/EP. Pengujian pada sampel komposit GO/CF/EP dilakukan hanya 2 sampel sebagai perbandingan, yaitu sampel tanpa GO dan dengan GO 0.35 %wt. Pengujian FTIR ini memanfaatkan sinar inframerah untuk mendeteksi transisi vibrasi suatu molekul dalam rentang panjang gelombang 4000 cm^{-1} sampai dengan 400 cm^{-1} . Setiap gugus fungsi menghasilkan pola vibrasi khas yang muncul sebagai spektrum garis, sehingga memudahkan dalam mengenali jenis gugus fungsi yang ada dalam senyawa. Instrumen yang digunakan untuk analisis ini adalah FTIR tipe Bruker Alpha II ATR

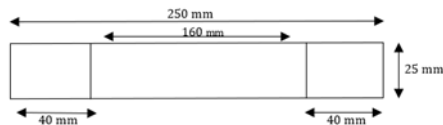
2. Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi permukaan bahan komposit. Pengujian pada sampel komposit GO/CF/EP dilakukan hanya 2 sampel untuk membandingkan sampel dengan GO dan tanpa GO, yaitu sampel tanpa GO dan dengan GO 0.35 %wt. Alat yang digunakan adalah tipe JSM-6510LA JEOL SEM yang beroperasi dengan memfokuskan berkas elektron berenergi tinggi ke permukaan sampel, menghasilkan

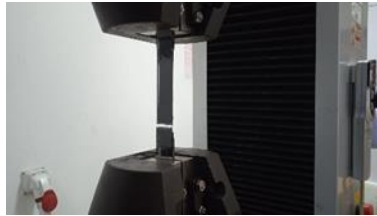
sinyal difraksi akibat interaksi antara elektron dan material. Sinyal ini memungkinkan visualisasi tekstur serta struktur permukaan sampel secara detail.

3. Pengujian Mekanik Uji Tarik

Pengujian tarik (*tensile test*) dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai *stress* (tegangan) dan *strain* (regangan) dari bahan uji. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik bahan komposit melalui pembebanan gaya hingga spesimen mengalami kegagalan mekanis berupa patah atau putus. Spesimen uji dipersiapkan sesuai standar ASTM D3039 dengan ukuran dengan ukuran 250 mm x 25 mm x 3 mm, seperti Gambar 3.2. Alat yang digunakan adalah Mesin Uji Universal (UTM) merek *Shimadzu* tipe 250 KN yang dilengkapi dengan perangkat lunak Trapezium X, seperti pada Gambar 3.3. Dalam uji tarik ini, ditentukan untuk semua sampel dengan laju kecepatan 5 mm/menit. Terdapat 4 sampel yang diuji, di mana masing-masing sampel dilakukan lima kali pengulangan uji.



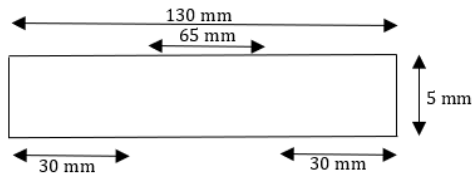
Gambar 3.2 Ukuran Spesimen Standar ASTM D3039



Gambar 3.3 Alat Uji Tarik ASTM D3039

4. Pengujian Mekanik Uji Bending

Pengujian bending (*Three-point Bend Flexural*) dalam penelitian ini mengacu pada standar ASTM D790: *flexural properties of plastics and electrical insulating materials*. Standar ini digunakan secara luas untuk mengukur sifat lentur dari berbagai jenis material polimer dan bahan isolasi listrik. Seperti pada Gambar 3.4, spesimen uji dipersiapkan sesuai standar ASTM D790 dengan ukuran 130 mm x 3 mm x 3 mm. Pengujian dilakukan menggunakan Mesin Uji Universal (UTM) merek *Shimadzu* tipe 250 KN, seperti Gambar 3.5. Dalam proses pengerjaannya, spesimen ditempatkan di atas dua penyangga. Kemudian, tekanan diberikan di bagian tengah spesimen hingga spesimen melengkung atau patah. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung modulus Young.



Gambar 3.4 Ukuran Spesimen Uji Bending D790

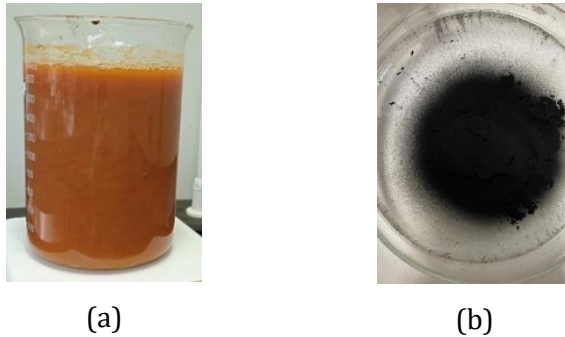


Gambar 3.5 Alat Uji Bending

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Sintesis Go dan Fabrikasi Komposit GO/CF/EP

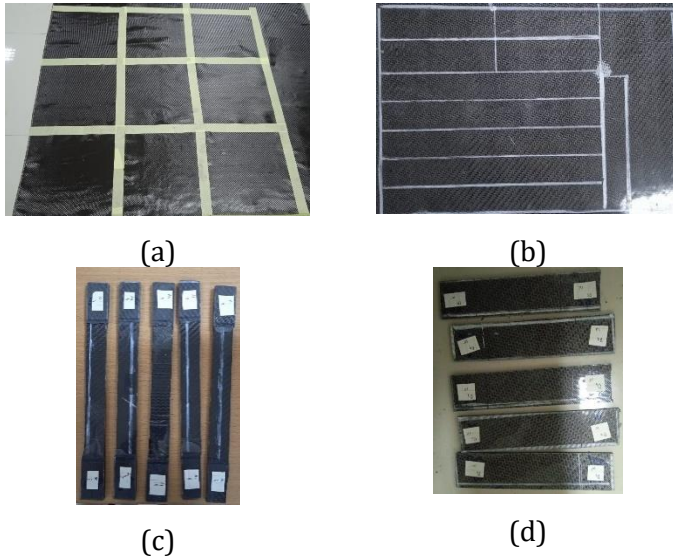
Hasil Graphene Oxide (GO) dengan metode hummers yang termodifikasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.1 Hasil GO dengan metode Hummer's Termodifikasi (a) proses GO dengan penambahan H_2O_2 , (b) serbuk GO

Gambar 4.1 hasil sintesis dan kalsinasi GO dari material *graphite*. Sintesis ini melibatkan reaksi asam sulfat (H_2SO_4) dan potassium permanganate VII ($KMnO_4$) sebagai agen pengoksidasian kuat. Kemudian, ada penambahan hidrogen peroksida (H_2O_2) terjadi perubahan warna dari coklat menjadi kuning cerah yang menunjukkan tingkat oksidasi yang cukup tinggi, sehingga menunjukkan keberhasilan pembentukan *graphene oxide* (GO) (Fauzi & Dwandaru, 2021), seperti Gambar 4.1(a). Setelah itu, proses pencucian dilakukan menggunakan larutan HCl dan air deionisasi (DI

water). Terakhir, sampel dikeringkan pada suhu 100°C selama 24 jam, dan perubahan warna menjadi hitam menandakan bahwa *graphene oxide* telah berhasil terbentuk pada Gambar 4.1(b).



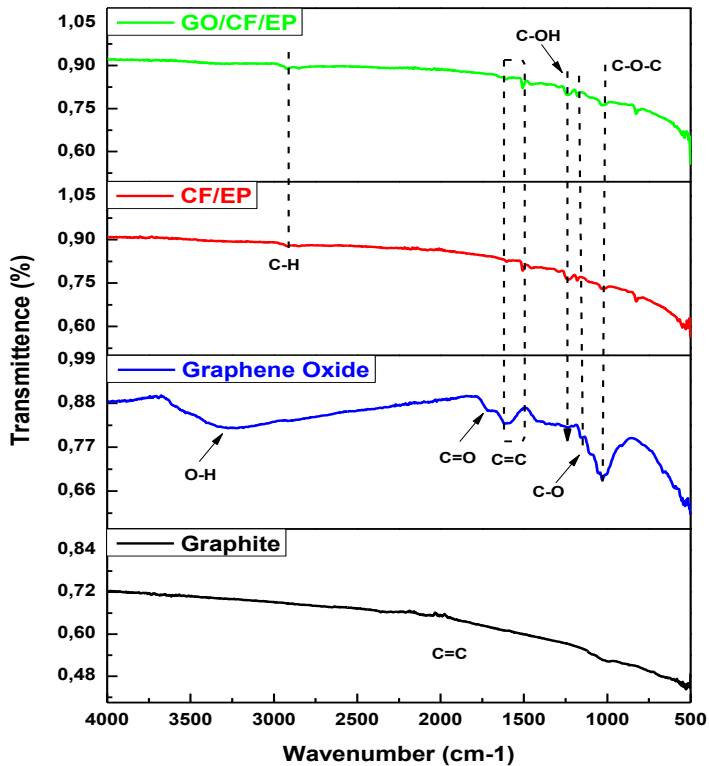
Gambar 4.2 (a) Proses sebelum cutting CF menjadi 8 lapisan, (b) Komposit Setelah Fabrikasi, (c) Spesimen Uji Tarik, (d) Spesimen Uji Bending

Proses fabrikasi komposit CF/EP-GO dilakukan dengan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Pada gambar 4.2(a), menunjukkan proses persiapan *carbon fibers* yang telah ditandai menggunakan selotip kertas sebagai panduan proses pemotongan dengan ukuran 35 cm × 35 cm dan terdiri dari 8 lapisan *carbon fibers*. Gambar 4.2(b) memperlihatkan hasil komposit setelah fabrikasi selesai

dilakukan. Selanjutnya, Gambar 4.2(c,d) menunjukkan spesimen dari masing-masing sampel yang telah dipotong sesuai dengan standar pengujian ASTM D3039 untuk uji tarik, dan ASTM D790 untuk uji bending. Selanjutnya, proses curing pada suhu 80°C selama 1 jam, namun hanya diterapkan pada spesimen uji tarik.

B. Spektrum FTIR Komposit GO/CF/EP

Karakterisasi spektrum FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) dilakukan untuk mengidentifikasi jenis ikatan gugus fungsi yang terdapat dalam suatu material. FTIR termasuk dalam metode spektroskopi yang bekerja berdasarkan getaran molekul. Spektroskopi FTIR memanfaatkan transformasi Fourier untuk mengukur spektrum serapan inframerah yang dipancarkan dari sumber cahaya ke material uji pada berbagai bilangan gelombang (Khan et al., 2018). Hasil dari pengujian FTIR disajikan dalam bentuk grafik, yang menunjukkan pola puncak sebagai representasi interaksi antar molekul dalam material uji yang menyerap energi dari gelombang inframerah (Abidi, 2021). Grafik ini menggambarkan hubungan antara persentase transmittance (%) terhadap panjang gelombang (cm^{-1}).



Gambar 4.3 Pola Transmisi FTIR Graphite, GO, dan komposit GO/CF/EP

Berdasarkan Gambar 4.3, pada grafik FTIR sampel *graphite* menunjukkan keberadaan pada vibrasi C=C *aromatic*, yang secara alami merupakan bentuk struktur dasar *graphite* yang tersusun dari jaringan heksagonal aromatik berbasis karbon sp^2 , jika dilihat terdapat

penurunan dimulai pada panjang gelombang 1640 cm^{-1} (Tazi et al., 2024).

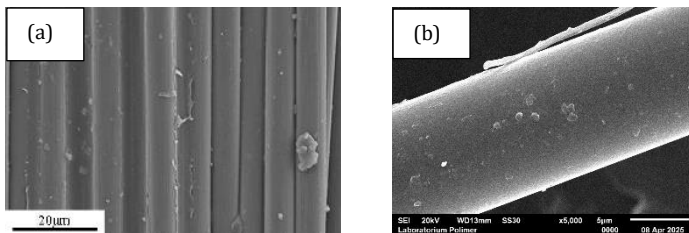
Pada spektrum dari sampel *graphene oxide* (GO) berukuran 200 mesh, perlu diketahui bahwa salah satu tanda GO telah terbentuk atau tereduksi dari *graphite* adalah adanya puncak transmisi gugus fungsi O-H (hidroksil) yang terletak pada panjang gelombang antara $3500\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa GO menjadi lebih hidrofilik dan reaktif dibandingkan dengan *graphite*. Kemudian pada panjang gelombang 1716 cm^{-1} terdapat puncak vibrasi C=O (karboksil keton), gugus ini muncul karena proses oksidasi dari senyawa KMnO_4 . Pada panjang gelombang 1618 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=C (*aromatic*). Kemudian, pada panjang gelombang 1146 cm^{-1} dan 1031 cm^{-1} menunjukkan puncak vibrasi C-O (*epoxy*) dan vibrasi C-O-C (eter/*alkoxy*) (Tazi et al., 2024). Spektrum FTIR pada penelitian ini, menandakan bahwa *graphite* berhasil teroksidasi menggunakan KMnO_4 menjadi GO dengan keberadaan gugus hidroksil dan epoksi yang menunjukkan bahwa material telah mengalami oksidasi. Hasil ini juga menunjukkan bahwa GO dapat dengan mudah terdispersi dalam air, menjadikannya kandidat potensial untuk berbagai aplikasi material komposit (Țucureanu et al., 2016).

Ditampilkan spektrum FTIR sampel komposit CF/EP dan GO(35)/CF/EP terlihat memiliki kesamaan pada spektrum FTIR. Puncak vibrasi yang muncul pada panjang gelombang 2921 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi C-H (alifatik) *stretching* yang secara berasal dari srukur rantai hidrokarbon dalam resin epoksi. Pada puncak 1612 cm^{-1} dan 1512 cm^{-1} terdapat getaran pada C=C merupakan bagian dari struktur domain hibrida sp^2 dari CF dan GO. Pada rentang 1233 cm^{-1} menunjukkan vibrasi C-OH (O-H *group*). Kemudian, panjang gelombang 1175 cm^{-1} dan 1022 cm^{-1} menunjukkan vibrasi C-O (*epoxy*) dan C-O-C (-O- *alkoxy group*) yang menghubungkan bahwa ikatan ini ada pada epoksi (Tucureanu et al., 2016). Meskipun intensitas grafik pada penambahan GO lebih rendah dibandingkan dengan grafik GO murni, masih terdeteksi puncak yag menindikasikan keberadaan gugus fungsi dari GO seperti C-O dan C-O-C. kehadiran puncak puncak ini, mengindikasikan keberhasilan penambahan GO dalam komposit.

Secara keseluruhan, hasil analisis FTIR ini memberikan keberhasilan sintesis *graphene oxide* dan menunjukkan bahwa penambahan GO ke dalam komposit merupakan langkah awal dalam pengembangan material komposit baru.

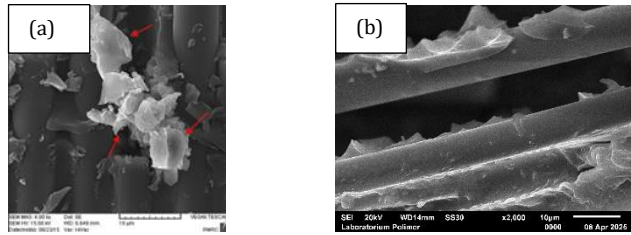
C. Morfologi SEM Komposit GO/CF/EP

Pada penelitian ini dilakukan juga karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Karakterisasi SEM bertujuan untuk mengamati morfologi permukaan dari komposit. Pengamatan morfologi ini penting untuk mengetahui bagaimana struktur permukaan material berubah akibat penambahan GO serta pengaruhnya terhadap ikatan antar matriks dan serat. Namun, pengujian SEM dalam penelitian ini hanya dilakukan pada dua sampel, yaitu komposit CF/EP dan komposit GO(35)/CF/EP. Pemilihan dua sampel ini didasarkan pada tujuan utama karakterisasi, yaitu untuk membandingkan morfologi permukaan antara komposit dengan dan tanpa penambahan GO, sehingga dapat diamati secara jelas perbedaan distribusi matriks dan potensi perbaikan adhesi antarmuka yang disebabkan oleh keberadaan GO.



Gambar 4.4 Morfologi SEM CF/EP (a) referensi dari Yao, Gao, et al., (2017) (b) CF/EP

Dari Gambar 4.4(b), citra SEM komposit CF/EP yang diperbesar dengan perbesaran 5000x menunjukkan adanya partikel-partikel yang tersebar secara sporadis pada permukaan serat. Partikel-partikel tersebut merupakan epoksi yang menempel pada permukaan CF. Hal ini menunjukkan bahwa proses impregnasi resin ke dalam serat berlangsung, namun masih terdapat indikasi bahwa adhesi antara resin dan serat belum sepenuhnya merata atau optimal. Hal ini dapat menyebabkan kurangnya efektivitas transfer tegangan dari matriks ke serat selama komposit menerima beban. Adhesi yang kurang baik antara serat dan resin menjadi salah satu faktor penyebab turunnya kekuatan mekanik komposit, karena distribusi tegangan tidak dapat tersalurkan secara efisien melalui struktur komposit. Seperti pada Gambar 4.4(b) penelitian Yao, Gao, et al., (2017) di mana permukaan SEM komposit karbon tanpa penambahan Graphene Oxide (GO) menunjukkan bahwa sebagian resin terlepas dari permukaan serat karbon. Hal ini menyebabkan tegangan akibat beban eksternal ditransfer secara langsung ke serat tanpa peran pendukung dari matriks, sehingga mempercepat terjadinya kerusakan pada struktur komposit.



Gambar 4.5 Morfologi SEM (a) referensi dari Ashori et al., (2015) (b) GO(35)/CF/EP

Gambar 4.5(b) menampilkan citra SEM dari permukaan komposit GO(35)/CF/EP dengan perbesaran 2000x. Terlihat adanya partikel Graphene Oxide (GO) yang membentuk struktur khas berupa lembaran-lembaran tipis yang tersebar di antara serat dan matriks. Distribusi lembaran GO ini menunjukkan bahwa partikel GO berhasil terintegrasi dalam sistem komposit dan berada di sekitar antarmuka antara serat karbon dan resin epoksi. Kehadiran GO pada antarmuka berpotensi meningkatkan kontak antara serat dan matriks. Hal ini disebabkan oleh adanya gugus fungsional oksigen (seperti $-OH$, $-COOH$, dan $-C=O$) pada permukaan GO yang mampu membentuk interaksi kimia maupun fisika dengan gugus fungsional dari resin epoksi. Interaksi ini memperkuat ikatan antarmuka dan meningkatkan efisiensi transfer tegangan dari matriks ke serat. Seperti pada Gambar 4.5(a) penelitian yang dilakukan oleh Ashori et al., (2015) menyatakan bahwa komposit penambahan GO pada matrik secara efektif meningkatkan

kekasaran permukaan serat. Hal ini menunjukkan bahwa penguatan dari GO dapat membangun ikatan antarmuka yang kuat dengan memberikan transfer stress di permukaan serat dan terikat secara fisik pada permukaan serat karena kesamaan struktur kimianya.

Hasil analisis SEM menyatakan bahwa penambahan GO dapat memperkuat ikatan antarmuka dan memperbaiki distribusi matriks, walaupun masih terdapat indikasi aglomerasi pada beberapa area yang perlu dikendalikan dalam proses fabrikasi.

D. Pengujian Mekanik

1. Pengujian Tensile Test (Uji Tarik)

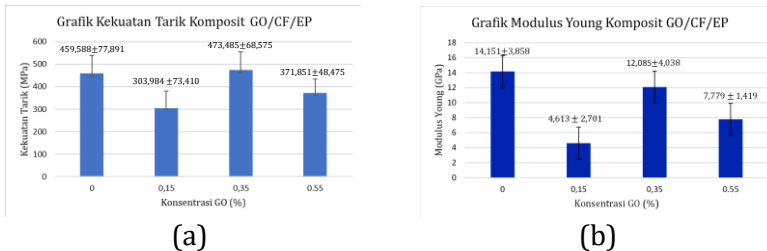
Berdasarkan hasil pengujian tarik yang telah dilakukan terhadap tiap sampel, diperoleh data rata-rata uji tarik berupa nilai kekuatan tarik (*stress*), regangan (*strain*) dan modulus Young sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rata- rata Hasil Uji Tarik

Sampel	Variasi GO (%wt)	Strain (%)	Stress (MPa)	Modulus Young (GPa)
CF/EP	0	0,033	459,511	14,15
GO(15)/CF/EP	0.15	0,076	303,984	4,612
GO(35)/CF/EP	0.35	0,045	473,4846	12,084
GO(55)/CF/EP	0.55	0,048	371,851	7,778

Dalam Tabel 4.1, hasil pengujian tarik dari komposit GO/CF/EP mengalami nilai yang fluktuatif. Data dari

tabel hasil uji tarik kemudian diolah dalam bentuk histogram. Melalui histogram, dapat terlihat dengan lebih jelas perbandingan nilai kekuatan tarik dan modulus Young dari masing-masing spesimen, yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.6 Histogram komposit GO/CF/EP (a) Kekuatan Tarik dan (b) modulus Young

Dari Gambar 4.5(a) menunjukkan nilai kekuatan tarik dengan penambahan variasi GO. Sampel kontrol menunjukkan kekuatan tarik yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Feng et al., (2021) mengenai pengujian mekanik berbasis *carbon fibers* dengan penambahan GO. Perbedaan nilai dari literatur ini menunjukkan kekuatan tarik yang relatif meningkat dari sampel kontrol, hal ini terjadi karena beberapa faktor, pada penelitian Feng et al., (2021) menggunakan 2 metode yaitu *hand lay-up* dan *compression molding*, sedangkan pada penelitian ini

menggunakan metode VARI, sehingga menghasilkan kekuatan tarik lebih rendah.

Dengan penambahan 0.15 %wt GO kekuatan tarik mengalami penurunan sebesar 18.55% dari sampel kontrol. Kemudian, pada penambahan 0.35 %wt GO, kekuatan tarik mengalami peningkatan sebesar 473 MPa, meningkat 3,05% dari sampel kontrol. Peningkatan ini menurun kembali pada sampel dengan penambahan GO 0.55 %wt, dimana material komposit lebih rendah 23.39% dibandingkan sampel kontrol. Pola ini menunjukkan bahwa GO berfungsi sebagai filler mencapai titik optimal 0.35 %wt. Hal ini juga terjadi pada penelitian Watson et al., (2017) mengenai penambahan GO pada karakteristik mekanik komposit berbasis serat karbon (CF). Hal ini menunjukkan kemampuan GO dalam meningkatkan sifat kuat komposit, tetapi peningkatan ini memiliki batas tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kekuatan tarik mengindikasikan aglomerasi mulai terjadi yang menurunkan efisiensi transfer beban, namun walaupun terjadi penurunan dari variasi GO sebelumnya, kekuatan tarik dengan GO 0.35 %wt masih lebih tinggi dibandingkan dengan variasi tanpa adanya penambahan

GO, hal ini mendukung data yang di dapat dari penelitian ini.

Gambar 4.5(b) nilai modulus Young pada sampel komposit GO(15)/CF/EP menunjukkan nilai terendah dari variasi lainnya sebesar 4,162 GPa, yang mencerminkan kemampuan sampel menahan deformasi elastis yang rendah. Komposit serat dengan penambahan GO tidak lebih tinggi di bandingkan sampel kontrol. Penurunan ini mengindikasikan bahwa material menjadi kurang kaku dibandingkan sampel kontrol. Diketahui bahwa nilai modulus Young dan kekuatan tarik pada komposit serat tidak selalu menunjukkan hubungan yang linier atau sebanding. Keduanya memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap serat dan kondisi pengujian (Mortazavian & Fatemi, 2015).

Dalam penelitian ini, material menjadi *ductile*, sehingga mampu menyerap energi lebih banyak melalui deformasi sebelum patah. Oleh karena itu, pada kandungan GO 0.35%, menjadikan variasi ini sebagai komposit dengan karakteristik mekanik yang paling unggul dalam penelitian ini.

2. Pengujian Mekanik *Three-Point Bend Flexural* (Uji Bending)

Berdasarkan hasil pengujian bending yang telah dilakukan terhadap tiap sampel diperoleh data rata-rata

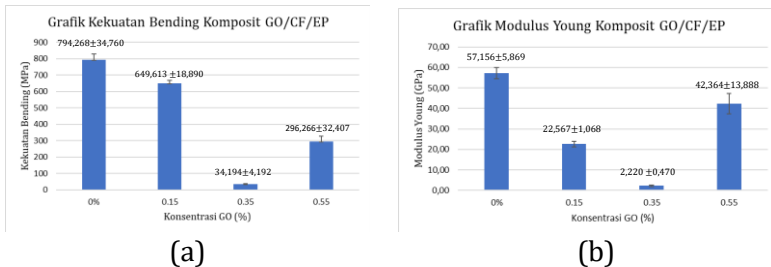
berupa nilai *stress* (kekuatan bending) dan modulus young sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rata- rata Hasil Uji Bending

Sampel	Variasi GO (%wt)	Strain (%)	Stress (MPa)	Modulus Young (GPa)
CF/EP	0	0,014	794,268	57,166
GO(15)/CF/EP	0.15	0,029	649,613	22,577
GO(35)/CF/EP	0.35	0,016	34,194	2,220
GO(55)/CF/EP	0.55	0,007	296,278	42,364

Uji bending pada sampel komposit GO/CF/EP disajikan dalam Tabel 4.2. Hasil rata-rata tiap sampel uji bending menunjukkan komposit GO/CF/EP menurun sangat banyak pada sampel GO(35)/CF/EP. Hasil kekuatan lentur dan modulus young dari komposit serat menurun sekitar 81,08% dan 93,03% hasil penurunan ini sangat besar, mungkin dikarenakan kurangnya energi pengikatan intermolekul dan efek penghambatan dalam proses pendistribusian komposit GO/CF/EP dengan dan tanpa GO (Ashori et al., 2015).

Data dari tabel hasil uji bending kemudian diolah dalam bentuk histogram. Melalui histogram, dapat terlihat dengan jelas perbandingan nilai kekuatan tarik dan modulus young dari masing-masing sampel yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



Gambar 4.6 Histogram Komposit GO/CF/EP (a) Kekuatan Bending, (b) Modulus Young

Gambar 4.6(a) menunjukkan kekuatan bending sampel komposit GO/CF/EP memiliki rendah daripada sampel kontrol. dari sifat mekanik dalam penelitian ini sangat mengalami penurunan kekuatan atau tidak adanya peningkatan signifikan setelah penambahan GO ke dalam matriks komposit. Kekuatan bending Komposit GO/CF/EP menurun pada sampel 0.15 %wt GO sebesar 652 MPa dari sampel kontrol. Kemudian, pada sampel GO 0.35 %wt yang nilai tegangan 34 MPa, menurun sebanyak 95,72%. Namun, pada konsentrasi GO 0.55 %wt, meskipun nilai tegangan meningkat sedikit dibandingkan GO 0.35 %wt nilai tetap lebih rendah dari komposit tanpa GO. Artinya, sifat induktifitas masih lebih rendah dari sampel kontrol. Hal ini sejalan dengan penelitian Ashori et al., (2015) mengenai penambahan GO pada komposit berbasis serat karbon (CF). Seiring dengan penambahan GO, kekuatan bending menurun,

yang disebabkan oleh aglomerasi atau distribusi GO yang tidak merata. Kondisi ini menyebabkan lemahnya ikatan antar muka antara serat dan matriks, meskipun telah dilakukan pelapisan GO. Ikatan antar muka yang tidak optimal menghambat transfer beban secara efisien dari matriks ke serat, sehingga kontribusinya terhadap peningkatan kekuatan bending menjadi terbatas.

Gambar 4.6(b) menunjukkan sampel komposit dengan tambahan GO 0.35 %wt dengan nilai modulus young terendah sebesar 2.22 GPa dibandingkan dari variasi lainnya, yang mencerminkan kemampuan sampel menahan deformasi elastis rendah. Kemudian, pada sampel komposit GO 0.55 %wt meningkat sebanyak 77,59%. Komposit serat dengan penambahan GO tidak lebih tinggi di bandingkan sampel kontrol. Penurunan ini mengindikasikan bahwa material menjadi kurang kaku dibandingkan sampel kontrol. Diketahui bahwa nilai modulus young dan kekuatan bending pada komposit serat tidak selalu menunjukkan hubungan yang linier atau sebanding. Modulus Young menggambarkan seberapa kaku material saat mulai mengalami lenturan, sedangkan kekuatan bending menunjukkan seberapa besar beban maksimum yang bisa ditahan material sebelum patah.

Peningkatan atau penurunan nilai kekuatan bending dan modulus young tidak selalu mencerminkan peningkatan performa mekanik komposit, karena sifat lentur dipengaruhi oleh distribusi serat, adhesi antarmuka, dan cacat mikro seperti porositas dan retakan (Hargitai et al., 2014). Pada komposit GO/CF/EP, penurunan modulus young menunjukkan rendahnya kemampuan menahan deformasi elastis, dengan sifat material yang cenderung rapuh akibat interaksi GO yang tidak efektif dalam menghambat pergerakan rantai polimer. Cacat seperti aglomerasi dan mikro-ruang turut melemahkan struktur dan kekuatan ikatan dalam komposit (Ma et al., 2022).

BAB V

PENUTUPAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil Kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis spektrum FTIR, proses oksidasi *graphite* menjadi *graphene oxide* (GO) dinyatakan berhasil, ditunjukkan oleh munculnya gugus fungsi O-H, C=O, C-O, dan C-O-C. Pada komposit GO/CF/EP, mengkonfirmasi keberadaan gugus fungsi dari GO dalam komposit berhasil terdispersi. Ditunjukkan adanya spektrum FTIR dengan gugus C-H, C=C, C-O, dan C-O-C, yang mengindikasikan struktur hibrida sp^2 serta integrasi GO dalam matriks.
2. Penambahan GO membentuk struktur berlapis dipermukaan serat, meningkatkan kekasaran dan ikatan mekanik dengan matriks. Peningkatkan fisik pada antarmuka melalui interaksi gugus fungsional GO dengan resin epoksi membantu meningkatkan kekuatan tarik dan efisiensi transfer tegangan dalam komposit.
3. Penambahan *graphene oxide* (GO) pada komposit GO/CF/EP menunjukkan efek mekanik yang bervariasi, di mana peningkatan kekuatan tarik terjadi optimal pada 0.35 %wt, namun pada kekuatan bending terjadi

penurunan. Hal ini disebabkan adanya aglomerasi GO dan lemahnya ikatan antar muka, yang menyebabkan transfer beban tidak optimal, membuktikan bahwa kekuatan tarik, kekuatan bending, dan modulus young tidak selalu sejalan karena dipengaruhi oleh beberapa faktor struktur internal komposit seperti distribusi GO, adhesi antarmuka, dan cacat mikro seperti porositas atau retakan.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Untuk penelitian mendatang bisa menggunakan komposit sandwich dengan *core honeycomb* atau *foam PVC*.
2. Untuk proses fabrikasi bisa membandingkan metode VARI dengan metode lain seperti *compression molding* atau *autoclave* untuk melihat sifat komposit dan juga waktu proses fabrikasi.
3. Melakukan uji suara untuk mengetahui pengaruh kemampuan redaman komposit serat setelah penambahan GO.
4. Melakukan uji suhu untuk mengetahui stabilitas termal material agar bisa digunakan secara optimal dalam lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., & Mohammed, A. (2019). Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics - HERVEX*, 77-85.
- Abidi, N. (2021). FTIR Microspectroscopy. In Nouredine Abidi (Ed.), *FTIR Microspectroscopy*. Texas Tech University. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-84426-4>
- Agarwal, N., Rangamani, A., Bhavsar, K., Virnodkar, S. S., Fernandes, A. A. A., Chadha, U., Srivastava, D., Patterson, A. E., & Rajasekharan, V. (2024). An overview of carbon-carbon composite materials and their applications. *Frontiers in Materials*, 11(July), 1-21. <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1374034>
- Aji, S. (n.d.). *Uji Tarik*. Retrieved April 10, 2024, from <https://santikoaji.blogspot.com/2016/05/diagram-uji-tarik-tugas-mata-kuliah.html>
- Akhtar, K., Khan, S. A., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2018). Scanning electron microscopy: Principle and applications in nanomaterials characterization. In *Handbook of Materials Characterization*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_4

- Ashori, A., Rahmani, H., & Bahrami, R. (2015). Preparation and characterization of functionalized graphene oxide/carbon fiber/epoxy nanocomposites. *Polymer Testing*, 48, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.09.010>
- ASTM D3039. (n.d.). Retrieved April 10, 2024, from https://step-lab.com/astm/astm-d3039/#ASTM_D3039_-_TEST_METHODS
- ASTM D790. (n.d.). Retrieved April 10, 2024, from <https://www.zwickroell.com/id/industri/plastik/bahan-cetakan-termoplastik-dan-termosetting/uji-lentur-3-titik-astm-d790/#c150563>
- Barile, C., & Casavola, C. (2018). Mechanical characterization of carbon fiber-reinforced plastic specimens for aerospace applications. In *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00019-9>
- Brabazon, D., & Raffer, A. (2014). Advanced characterization techniques for nanostructures. In *Emerging Nanotechnologies for Manufacturing* (Second Edi). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-28990-0.00003-8>
- Braga, R. A., & Magalhaes, P. A. A. (2015). Analysis of the

- mechanical and thermal properties of jute and glass fiber as reinforcement epoxy hybrid composites. *Materials Science and Engineering C*, 56, 269–273.
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.06.031>
- Budiman, H. (2016). Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja ST37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell. *J-Ensitem*, 3(01), 9–13. <https://doi.org/10.31949/j-ensitem.v3i01.309>
- Casallas Caicedo, F. M., Vera López, E., Agarwal, A., Drozd, V., Durygin, A., Franco Hernandez, A., & Wang, C. (2020). Synthesis of graphene oxide from graphite by ball milling. *Diamond and Related Materials*, 109(March), 108064.
<https://doi.org/10.1016/j.diamond.2020.108064>
- D.J. Stokes. (2013). Scanning ElectronMicroscopy (SEM). In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (Vol. 27, Issue 1).
<https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2001.tb00447.x>
- Dabet, A., Indra, I., & Hafli, T. (2018). Aplikasi teknik manufaktur vacuum assested resin infusion (vari) untuk peningkatan sifat mekanik komposit plastik berpenguat serat abaca (AFRP). *Jurnal Polimesin*, 16(1), 19.
<https://doi.org/10.30811/jpl.v16i1.551>
- Datsyuk, V., Trotsenko, S., Trakakis, G., Boden, A., Vyzas-Asimakopoulos, K., Parthenios, J., Galiotis, C., Reich, S., &

- Papagelis, K. (2020). Thermal properties enhancement of epoxy resins by incorporating polybenzimidazole nanofibers filled with graphene and carbon nanotubes as reinforcing material. *Polymer Testing*, 82(August 2019), 106317.
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106317>
- Dimiev, A. M., & Eigler, S. (2017). Graphene Oxide Fundamentals and Applications. In A. M. S. E. Dimiev (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (edition fi, Vol. 53, Issue 9). John Wiley & Sons, ltd, the Atrium, Southern gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ.
- Dutta, A. (2017). Fourier Transform Infrared Spectroscopy. In *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization* (Vol. 2). Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46140-5.00004-2>
- Ellis, B. (1993). *Chemistry and Technology of Epoxy Resins* (B. Ellis (Ed.); First edit). SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V.
- Ever J. Barbero. (2017). *Introduction To Composite Materia Design 3rd ed.* (THIRD). Taylor & Francis, CRC Press.
- Fauzi, F., & Dwandaru, W. S. B. (2021). Analisis Karakteristik Graphene Oxide dan Reduksinya melalui Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika*, 11(1), 9–18.
<https://doi.org/10.15294/jf.v11i1.28136>

- Feng, Y., Sun, J., Zhang, G., Shen, Y., & You, Y. (2021). Mechanical Properties of Graphene Oxide Doped Woven Carbon Fibers/Epoxy Composites in Tension. *Polymer Science - Series B*, 63(6), 942–950. <https://doi.org/10.1134/S1560090421060099>
- Gao, B., Zhang, R., He, M., Sun, L., Wang, C., Liu, L., Zhao, L., Cui, H., & Cao, A. (2016). Effect of a multiscale reinforcement by carbon fiber surface treatment with graphene oxide/carbon nanotubes on the mechanical properties of reinforced carbon/carbon composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 90, 433–440. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.08.012>
- Hargitai, H., Racz, I., & Anandjiwala, D. R. (2014). Development of Hemp Fibre Reinforced Polypropylene Composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21(2), 8.
- Hidayati, U. F., Arintonang, A. B., & Destiarti, L. (2021). TiO₂-rGO Composite for Photocatalytic Decolorization of Methylene Blue Under the Visible Light Illumination. *Berkala Sainstek*, 9(4), 167. <https://doi.org/10.19184/bst.v9i4.27602>
- Hossein Rahmani, S., Najafi, H. M., Saffarzadeh-Matin, S., & Ashori, A. (2014). Mechanical Properties of Carbon Fiber/Epoxy Composites: Effects of Number of Plies, Fiber Contents, and Angle-Ply Layers. *Wiley*, 54(11),

- 2676–2682. <https://doi.org/10.1002/pen>
- Hsiao, K.-T., & Heider, D. (2012). Vacuum assisted resin transfer molding (VARTM) in polymer matrix composites. In *Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites (PMCs)*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857096258.3.310>
- Hsissou, R., Benhiba, F., Dagdag, O., El Bouchti, M., Nouneh, K., Assouag, M., Briche, S., Zarrouk, A., & Elharfi, A. (2020). Development and potential performance of prepolymer in corrosion inhibition for carbon steel in 1.0 M HCl: Outlooks from experimental and computational investigations. *Journal of Colloid and Interface Science*, 574, 43–60. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.04.022>
- Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M., & Elharfi, A. (2021). Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, 262, 113640. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113640>
- Hummers, W. S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 80(6), 1339. <https://doi.org/10.1021/ja01539a017>
- Iryani, L., & Wibowo, S. S. (2019). *Proses Manufaktur Material Komposit Struktur Sayap Pesawat Udara Tanpa Awak Dengan Menggunakan Metode Hand Lay-Up Dan Vacuum*

Bagging. 1–4.

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=KpdQH5MAAAAJ&citation_for_view=KpdQH5MAAAAJ:Tyk-4Ss8FVUC

Jiřčková, A., Jankovský, O., Sofer, Z., & Sedmidubský, D. (2022). Synthesis and Applications of Graphene Oxide. *MDPI Material*, 15, 920.

Johnston, J. P., Koo, B., Subramanian, N., & Chattopadhyay, A. (2017). Modeling the molecular structure of the carbon fiber/polymer interphase for multiscale analysis of composites. *Composites Part B: Engineering*, 111, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.12.008>

Jones, R. M. (2016). *MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS* (R. M. Jones (Ed.); 2nd ed.). Taylor & Francis.

Kausar, A., Ahmad, I., Eisa, M. H., & Maaza, M. (2023). Graphene Nanocomposites in Space Sector—Fundamentals and Advancements. *C-Journal of Carbon Research*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/c9010029>

Kaw, A. K. (2006). Mechanics of composite materials 2nd ed. In *Taylor & Francis Group* (Vol. 29, Issue 35). <https://doi.org/10.1021/cen-v082n035.p034>

Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. M. (2018). Fourier transform infrared spectroscopy: Fundamentals and application in functional groups and

- nanomaterials characterization. *Handbook of Materials Characterization*, 317–344.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_9
- Kwon, D. J., Shin, P. S., Kim, J. H., Baek, Y. M., Park, H. S., DeVries, K. L., & Park, J. M. (2017). Interfacial properties and thermal aging of glass fiber/epoxy composites reinforced with SiC and SiO₂ nanoparticles. *Composites Part B: Engineering*, 130, 46–53.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.07.045>
- Kwon, Y. J., Kim, Y., Jeon, H., Cho, S., Lee, W., & Lee, J. U. (2017). Graphene/carbon nanotube hybrid as a multi-functional interfacial reinforcement for carbon fiber-reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 122, 23–30.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.04.005>
- Li, C., Shi, Y., Chen, X., He, D., Shen, L., & Bao, N. (2018). Controlled synthesis of graphite oxide: Formation process, oxidation kinetics, and optimized conditions. *Chemical Engineering Science*, 176, 319–328.
<https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.10.028>
- Li, N., Yang, X., Bao, F., Pan, Y., Wang, C., Chen, B., Zong, L., Liu, C., Wang, J., & Jian, X. (2019). Improved mechanical properties of copoly(phthalazinone ether sulphone)s composites reinforced by multiscale carbon fibre/graphene oxide reinforcements: A step closer to

- industrial production. *Polymers*, 11(2).
<https://doi.org/10.3390/polym11020237>
- M. Schwartz. (2000). *Composite Materials Handbook Volume 3* (M. Schwartz (Ed.); Vol. 3, Issue June, p. 693). ARL 2000.
- M, N. L., Nurtiasto, T. S., Pratomo, R. A., Nugroho, A., & Balqis, A. M. (2022). studi Sifat Mekanik Komposit Sandwich Divinycell Foam Dengan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) Untuk Float Pesawat Amfibi. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL RISET TEKNOLOGI TERAPAN: 2021. e-ISSN:2747-1217 STUDI*.
- Malheiro, J. M., & Nunes, J. P. (2021). Simulation of Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) Process for the Production of Composite Material Parts. In *Computational Methods in Applied Sciences* (Vol. 55). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57422-2_21
- Marosi, G., Szolnoki, B., Bocz, K., & Toldy, A. (2017). Fire-retardant recyclable and biobased polymer composites. In *Novel Fire Retardant Polymers and Composite Materials*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100136-3.00005-4>
- Méndez-Lozano, N., Pérez-Reynoso, F., & González-Gutiérrez, C. (2022). Eco-Friendly Approach for Graphene Oxide Synthesis by Modified Hummers Method. *Materials*,

- 15(20), 7228. <https://doi.org/10.3390/ma15207228>
- Mortazavian, S., & Fatemi, A. (2015). Effects of fiber orientation and anisotropy on tensile strength and elastic modulus of short fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 72, 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.11.041>
- Mortensen, A. (2007). *COMPOSITE MATERIALS SECOND EDITION* (2nd ed.). Elsevier's Science & Technology Rights.
- Narayanam', P. K., Botcha, V. D., Ghosh, M., & Major, S. S. (2019). Growth and Photocatalytic Behaviour of Transparent Reduced GO-ZnO Nanocomposite Sheets. *Materials Research Express*, 30(48), 0–12.
- Nie, H. J., Xu, Z., Tang, B. L., Dang, C. Y., Yang, Y. R., Zeng, X. L., Lin, B. C., & Shen, X. J. (2020). The effect of graphene oxide modified short carbon fiber on the interlaminar shear strength of carbon fiber fabric/epoxy composites. *Journal of Materials Science*, 56(1), 488–496. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05286-y>
- Online, Q. N. (n.d.). *Tafsir QS Al-Hadid Ayat 25*. <https://quran.nu.or.id/al-hadid/25>
- Parida, S. P., & Jena, P. C. (2019). Preparation of epoxy-glass composites with graphene and flyash filler. *Materials Today: Proceedings*, 26(xxxx), 2328–2332.

- <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.501>
- Park, S. J. (2018). History and structure of carbon fibers. *Springer Series in Materials Science*, 210, 1–30. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0538-2_1
- Pathak, A. K., Borah, M., Gupta, A., Yokozeki, T., & Dhakate, S. R. (2016). Improved mechanical properties of carbon fiber/graphene oxide-epoxy hybrid composites. *Composites Science and Technology*, 135, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2016.09.007>
- Qian, X., Wang, X., Ouyang, Q., Chen, Y., & Yan, Q. (2012). Surface structural evolution in electrochemical oxidation and sizing and its effect on carbon fiber/epoxy composites properties. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(15), 999–1008. <https://doi.org/10.1177/0731684412449895>
- Rafique, I., Kausar, A., & Muhammad, B. (2016). Epoxy Resin Composite Reinforced with Carbon Fiber and Inorganic Filler: Overview on Preparation and Properties. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 55(15), 1653–1672. <https://doi.org/10.1080/03602559.2016.1163597>
- Razaq, A., Bibi, F., Zheng, X., Papadakis, R., Jafri, S. H. M., & Li, H. (2022). Review on Graphene-, Graphene Oxide-, Reduced Graphene Oxide-Based Flexible Composites: From Fabrication to Applications. *Materials*, 15(3).

<https://doi.org/10.3390/ma15031012>

- Saba, N., Jawaidd, M., Alothman, O. Y., Paridah, M. T., & Hassan, A. (2015). Recent advances in epoxy resin, natural fiber-reinforced epoxy composites and their applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 35(6), 447–470. <https://doi.org/10.1177/0731684415618459>
- Saba, N., Jawaidd, M., & Sultan, M. T. H. (2018). An overview of mechanical and physical testing of composite materials. In *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00001-1>
- Saba, N., Mohammad, F., Pervaiz, M., Jawaidd, M., Alothman, O. Y., & Sain, M. (2017). Mechanical, morphological and structural properties of cellulose nanofibers reinforced epoxy composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 97, 190–200. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.029>
- Saputri, T. A. (2020). Perancangan Aksesoris Fesyen Berbahan Resin Dengan Inspirasi Motif Marble. *Ars: Jurnal Seni Rupa Dan Desain*, 23(3), 154–158. <https://doi.org/10.24821/ars.v23i3.4511>
- Senthilkumar, K., Saba, N., Rajini, N., Chandrasekar, M., Jawaidd, M., Siengchin, S., & Alotman, O. Y. (2018). Mechanical

- properties evaluation of sisal fibre reinforced polymer composites: A review. *Construction and Building Materials*, 174, 713–729.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.143>
- Setiawan, F., Febriyanto, C., Wira Samudra, E., Wichaksono, D., Zulfikar Ramdhan, M., & Satria Maulana, D. (2023). Manufaktur Dan Pemasangan Komponen Avionik Pada UAV Skywalker 1900 Dengan Material Komposit Berpenguat Fiber Carbon. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, 15(02), 131–140.
<https://doi.org/10.33504/manutech.v15i02.286>
- Sharma, H., Kumar, A., Rana, S., & Guadagno, L. (2022). An Overview on Carbon Fiber-Reinforced Epoxy Composites: Effect of Graphene Oxide Incorporation on Composites Performance. *Polymers*, 14(8).
<https://doi.org/10.3390/polym14081548>
- Sharma, M., Gao, S., Mäder, E., Sharma, H., Wei, L. Y., & Bijwe, J. (2014). Carbon fiber surfaces and composite interphases. *Composites Science and Technology*, 102, 35–50.
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.07.005>
- Shihab, M. Q. (2005). TAFSIR AL-MISHBAH Pesan, Kesan dan Keserasian al-Qur'an. In *Tafsir al-Mishbah* (Vol. 14).
- Siddique, I. (2024). Exploring Functional Groups and Molecular Structures: A Comprehensive Analysis using FTIR

- Spectroscopy. *SSRN Electronic Journal*, 9(2), 70–76.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4886526>
- Tazi, I., Majdoub, A., Majdoub, M., Mrabet, I. El, Tanji, K., Nawdali, M., Khalil, F., & Zaitan, H. (2024). Immobilization of silver-loaded graphene oxide (Ag-GO) on canvas fabric support for catalytic conversion of 4 nitrophenol. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(39), 51815–51833. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34586-y>
- Thakur, K., & Kandasubramanian, B. (2019). Graphene and Graphene Oxide-Based Composites for Removal of Organic Pollutants: A Review. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 64(3), 833–867.
<https://doi.org/10.1021/acs.jced.8b01057>
- Tiwary, A., Kumar, R., & Chohan, J. S. (2022). A review on characteristics of composite and advanced materials used for aerospace applications. *Materials Today: Proceedings*, 51(1), 865–870.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.276>
- Tjahjanti, P. H. (2018). *Buku Ajar teori dan Aplikasi Material Komposit dan Polimer* (S. B. Sartika (Ed.); 1st ed.). UMSIDA Press.
- Toldy, A., Pomázi, Á., & Szolnoki, B. (2020). The effect of manufacturing technologies on the flame retardancy of

- carbon fibre reinforced epoxy resin composites. *Polymer Degradation and Stability*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109094>
- Tsai, D. G. S. V. H. S. W. (2003). *COMPOSITE MATERIALS Science and Applications* (D. Gay (Ed.); 4th ed.). CRC Press LLC.
- Țucureanu, V., Matei, A., & Avram, A. M. (2016). FTIR Spectroscopy for Carbon Family Study. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(6), 502–520. <https://doi.org/10.1080/10408347.2016.1157013>
- Uji Lentur. (n.d.). Retrieved April 10, 2024, from <https://www.alatuji.com/article/detail/869/pengujian-sifat-lentur-bahan-pada-pelat-baja-869>
- Wang, F., & Cai, X. (2019). Improvement of mechanical properties and thermal conductivity of carbon fiber laminated composites through depositing graphene nanoplatelets on fibers. *Journal of Materials Science*, 54(5), 3847–3862. <https://doi.org/10.1007/s10853-018-3097-3>
- Wang, X., Li, C., Chi, Y., Piao, M., Chu, J., Zhang, H., Li, Z., & Wei, W. (2018). Effect of graphene nanowall size on the interfacial strength of carbon fiber reinforced composites. *Nanomaterials*, 8(6), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nano8060414>

- Watson, G., Starost, K., Bari, P., Faisal, N., Mishra, S., & Njuguna, J. (2017). Tensile and Flexural Properties of Hybrid Graphene Oxide / Epoxy Carbon Fibre Reinforced Composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 195(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/195/1/012009>
- Wu, Y., Lin, X., Shen, X., Sun, X., Liu, X., Wang, Z., & Kim, J. K. (2015). Exceptional dielectric properties of chlorine-doped graphene oxide/poly (vinylidene fluoride) nanocomposites. *Carbon*, 89, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.02.074>
- Xu, Y., Ma, Y., Yang, Y., Wang, G., Xu, W., Li, F., Guo, H., & Li, Y. (2023). Influence of Hybrid Ratios on Shape Memory Properties of Basalt/Carbon Fiber Hybrid Composites with Graphene Oxide Prepared by VIHPS. *Fibers and Polymers*, 24(8), 2807–2818. <https://doi.org/10.1007/s12221-023-00282-w>
- Yan, F., Liu, L., Li, K., Jin, L., Zhang, M., Liu, Y., Xiao, L., & Ao, Y. (2021). A novel π bridging method to graft graphene oxide onto carbon fiber for interfacial enhancement of epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 201(August 2020), 108489. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108489>
- Yao, X., Gao, X., Jiang, J., Xu, C., Deng, C., & Wang, J. (2017).

- Comparison of carbon nanotubes and graphene oxide coated carbon fiber for improving the interfacial properties of carbon fiber/epoxy composites. *Composites Part B*.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.012>
- Yao, X., Jiang, J., Xu, C., Zhou, L., Deng, C., & Wang, J. (2017). *Improved Interfacial Properties of Carbon Fiber / Epoxy Composites through Graphene Oxide-assisted Deposition of Carbon Nanotubes on Carbon Fiber Surface*. 18(7), 1323–1329. <https://doi.org/10.1007/s12221-017-1013-0>
- Yuan, X., Zhu, B., Cai, X., Qiao, K., Zhao, S., & Yu, J. (2018). Influence of different surface treatments on the interfacial adhesion of graphene oxide/carbon fiber/epoxy composites. *Applied Surface Science*, 458, 996–1005. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.06.161>
- Zandiatashbar, A., Lee, G. H., An, S. J., Lee, S., Mathew, N., Terrones, M., Hayashi, T., Picu, C. R., Hone, J., & Koratkar, N. (2014). Effect of defects on the intrinsic strength and stiffness of graphene. *Nature Communications*, 5, 1–9. <https://doi.org/10.1038/ncomms4186>
- Zhang, J., Chevali, V. S., Wang, H., & Wang, C. H. (2020). Current status of carbon fibre and carbon fibre composites recycling. *Composites Part B: Engineering*, 193(December 2019), 108053.

- <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108053>
- Zhang, K., Gu, Y., li, M., & Zhang, Z. (2014). Effect of rapid curing process on the properties of carbon fiber/epoxy composite fabricated using vacuum assisted resin infusion molding. *Materials and Design*, 54, 624–631. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.08.065>
- Zhang, R. L., Gao, B., Ma, Q. H., Zhang, J., Cui, H. Z., & Liu, L. (2016). Directly grafting graphene oxide onto carbon fiber and the effect on the mechanical properties of carbon fiber composites. *Materials and Design*, 93, 364–369. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.01.003>
- Zhang, W., Deng, X., Sui, G., & Yang, X. (2019). Improving interfacial and mechanical properties of carbon nanotube-sized carbon fiber/epoxy composites. *Carbon*, 145, 629–639. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.01.063>
- Zhang, X., Fan, X., Yan, C., Li, H., Zhu, Y., Li, X., & Yu, L. (2012). Interfacial microstructure and properties of carbon fiber composites modified with graphene oxide. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 4(3), 1543–1552. <https://doi.org/10.1021/am201757v>
- Zhang, Y., & Park, S. J. (2017). Enhanced interfacial interaction by grafting carboxylated-macromolecular chains on nanodiamond surfaces for epoxy-based thermosets.

Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics,
55(24), 1890–1898.

<https://doi.org/10.1002/polb.24522>

Zhang, Z., Liu, R., Li, W., Liu, Y., Luo, H., Zeng, L., Qiu, J., & Wang, S. (2021). Direct writing of continuous carbon fibers/epoxy thermoset composites with high-strength and low energy-consumption. *Additive Manufacturing*, 47, 102348.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102348>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Fraksi Berat Komposit

a. Volume Komposit

$$\begin{aligned}V_{komposit} &= p \times l \times t \\&= 35 \text{ cm} \times 35 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm} \\&= 367,5 \text{ cm}^3 \\&= 3675 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

b. Berat Carbon Fiber 8 lapisan ($Massa_{cf}$)

- Sampel A = 209 gr
- Sampel B = 226 gr
- Sampel C = 207 gr
- Sampel D = 215 gr

c. Menentukan Kebutuhan Resin Dan Hardener

Perbandingan antara resin dengan hardener adalah 2:1.

$$\begin{aligned}W_{resin} &= \frac{2}{3} \times Massa_{cf} \\W_{hardener} &= \frac{1}{3} \times Massa_{cf}\end{aligned}$$

➤ Sampel A

$$\begin{aligned}W_{resin} &= \frac{2}{3} \times 209 \text{ gr} \\&= 139 \text{ gr} \\W_{hardener} &= \frac{1}{3} \times 209 \text{ gr} \\&= 69,9 \text{ gr}\end{aligned}$$

➤ Sampel B

$$W_{resin} = \frac{2}{3} \times 226 \text{ gr}$$
$$= 150 \text{ gr}$$

$$W_{hardener} = \frac{1}{3} \times 226 \text{ gr}$$
$$= 75 \text{ gr}$$

➤ Sampel C

$$W_{resin} = \frac{2}{3} \times 207 \text{ gr}$$
$$= 138 \text{ gr}$$

$$W_{hardener} = \frac{1}{3} \times 207 \text{ gr}$$
$$= 69 \text{ gr}$$

➤ Sampel D

$$W_{resin} = \frac{2}{3} \times 215 \text{ gr}$$
$$= 143 \text{ gr}$$

$$W_{hardener} = \frac{1}{3} \times 215 \text{ gr}$$
$$= 71,6 \text{ gr}$$

d. Menghitung Kebutuhan *Graphene Oxide* (GO)

$$GO = massa \text{ cf} \times konsentrasi \text{ GO } \%$$

➤ Sampel A

$$GO = 209 \text{ gr} \times 0\%$$
$$= 0 \text{ gr}$$

➤ Sampel B

$$\begin{aligned}GO &= 226 \text{ gr} \times 0,15\% \\ &= 0,339 \text{ gr}\end{aligned}$$

➤ Sampel C

$$\begin{aligned}GO &= 207 \text{ gr} \times 0,35\% \\ &= 0,724 \text{ gr}\end{aligned}$$

➤ Sampel D

$$\begin{aligned}GO &= 215 \text{ gr} \times 0,55\% \\ &= 1,182 \text{ gr}\end{aligned}$$

e. Menghitung Fraksi Berat *Carbon Fiber* (CF)

$$W_{cf} = \frac{\text{massa cf sebelum fabrikasi}}{\text{massa cf setelah fabrikasi}} \times 100\%$$

➤ Sampel A

$$\begin{aligned}W_{cf} &= \frac{209 \text{ gr}}{326 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 64\%\end{aligned}$$

Maka, sisanya resin, yaitu 36%

➤ Sampel B

$$\begin{aligned}W_{cf} &= \frac{226 \text{ gr}}{309 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 73\%\end{aligned}$$

Maka, sisanya resin, yaitu 27%

➤ Sampel C

$$W_{cf} = \frac{207 \text{ gr}}{397 \text{ gr}} \times 100\% \\ = 61\%$$

Maka, sisanya resin, yaitu 39%

➤ Sampel D

$$W_{cf} = \frac{215 \text{ gr}}{341 \text{ gr}} \times 100\% \\ = 63\%$$

Maka, sisanya resin, yaitu 36%

Lampiran 2 Perhitungan Ralat Pengukuran dan Perambatan

1. Perhitungan Ralat Kekuatan Tarik

a) Ralat Pengukuran

$$\text{Nilai rerata } (\bar{x}) = \frac{\text{rata-rata Stress}}{n}$$

$$\text{Deviasi standarnya } (\Delta x) = \sqrt{\frac{\text{rata-rata } \delta x^2}{n-1}}$$

$$\text{Besaran terukur } (x) = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ MPa}$$

$$\text{Kesalahan relatif} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% = (\%)$$

$$\text{Ketelitian } 100\% - \text{kesalahan relatif} = (\%)$$

➤ Sampel GO 0 %wt

Parameter Unit	Stress (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
A1	555,269	95,758	9169,595
A2	488,380	28,869	833,419
A3	374,116	-85,395	7292,306
A4	384,202	-75,309	5671,445
A5	495,588	36,077	1301,550
Nilai rerata	459,511		
Jumlah Deviasi Kuadrat			24268,315
Deviasi Standar			77,891
Kesalahan relatif	16,951		
ketelitian	83,049		

➤ Sampel GO 0.15 %wt

Parameter Unit	Stress (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
B1	266,171	-37,813	1429,823
B2	400,359	96,375	9288,141
B3	200,364	-103,620	10737,104
B4	310,453	6,469	41,848
B5	342,573	38,589	1489,111
Nilai rerata	303,984		
Jumlah Deviasi Kuadrat			21556,204
Deviasi Standar			73,410
Kesalahan relatif	24,149		
ketelitian	75,851		

➤ Sampel GO 0.35 %wt

Parameter Unit	Stress (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
C1	385,478	-88,007	7745,162
C2	479,538	6,053	36,644
C3	515,281	41,796	1746,939
C4	583,619	110,134	12129,586
C5	403,507	-69,978	4896,865
Nilai rerata	473,485		
Jumlah Deviasi Kuadrat			18810,033
Deviasi Standar			68,575
Kesalahan relatif	14,483		
ketelitian	85,517		

➤ Sampel GO 0.55 %wt

Parameter Unit	Stress (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
D1	293,065	-78,786	6207,202
D2	427,548	55,697	3102,178
D3	322,544	-49,307	2431,161
D4	433,001	61,150	3739,347
D5	383,096	11,245	126,455
Nilai rerata	371,851		
Jumlah Deviasi Kuadrat			9399,140
Deviasi Standar			48,475
Kesalahan relatif	13,036		

b) Ralat Perambatan

$$\Delta E = E \times \sqrt{\left(\frac{\Delta \sigma}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2}$$

➤ Sampel GO 0 %wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
A1	0,045	555,269	12,299
A2	0,031	488,380	15,602
A3	0,032	374,116	11,526
A4	0,028	384,202	13,638
A5	0,028	495,588	17,687
Nilai rerata	0,033	459,511	14,151
Standar Deviasi	0,007	77,891	
Delta E			3,858
Kesalahan relatif	27,262		
Ketelitian	72,738		

➤ Sampel GO 0.15 %wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
B1	0,145	266,171	1,838
B2	0,071	400,359	5,676
B3	0,038	200,364	5,289
B4	0,068	310,453	4,591
B5	0,060	342,573	5,669
Nilai rerata	0,076	303,984	4,613
Standar Deviasi	0,040	75,806	
Delta E			2,701
Kesalahan relatif	58,563		
Ketelitian	41,437		

➤ Sampel GO 0.35 %wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
C1	0,050	385,478	7,697
C2	0,054	479,538	8,946
C3	0,054	515,281	9,542
C4	0,023	583,619	25,665
C5	0,047	403,507	8,573
Nilai rerata	0,045	473,485	12,085
Standar Deviasi	0,013	81,479	
Delta E			4,038
Kesalahan relatif	33,415		
Ketelitian	66,585		

➤ Sampel GO 0.55 %wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
D1	0,050	293,065	5,850
D2	0,048	427,548	8,924
D3	0,049	322,544	6,586
D4	0,051	433,001	8,485
D5	0,042	383,096	9,050
Nilai rerata	0,048	371,851	7,779
Standar Deviasi	0,003	62,463	
Delta E			1,419
Kesalahan relatif	18,239		
Ketelitian	81,761		

2. Kekuatan Bending

a) Ralat Pengukuran

$$\text{Nilai rerata } (\bar{x}) = \frac{\text{rata-rata Stress}}{n}$$

$$\text{Deviasi standarnya } (\Delta x) = \sqrt{\frac{\text{rata-rata } \delta x^2}{n-1}}$$

$$\text{Besaran terukur } (x) = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ MPa}$$

$$\text{Kesalahan relatif} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% = (\%)$$

$$\text{Ketelitian } 100\% - \text{kesalahan relatif} = (\%)$$

➤ Sampel GO 0 %wt

Parameter Unit	Stress (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
A1	756,842	-37,426	1.400,735
A2	799,846	5,578	31,110
A3	760,128	-34,140	1.165,567
A4	832,662	38,394	1.474,069
A5	822	27,596	761,517
Nilai rerata	794,268		
Jumlah Deviasi Kuadrat			4832,998
Deviasi Standar			34,760
Kesalahan relatif	4,376		
ketelitian	95,624		

➤ Sampel GO 0.15 %wt

Parameter Unit	Stress (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
B1	661,473	11,859	140,641
B2	652,023	2,410	5,806
B3	621,598	-28,015	784,863
B4	642,318	-7,295	53,224
B5	670,656	21,042	442,770
Nilai rerata	649,613		
Jumlah Deviasi Kuadrat			1427,304
Deviasi Standar			18,890
Kesalahan relatif	2,908		
ketelitian	97,092		

➤ Sampel GO 0.35 %wt

Parameter Unit	Stress (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
C1	29,300	-4,894	23,951
C2	39,351	5,157	26,593
C3	34,607	0,413	0,170
C4	36,966	2,771	7,680
C5	30,747	-3,447	11,881
Nilai rerata	34,194		
Jumlah Deviasi Kuadrat			70,275
Deviasi Standar			4,192
Kesalahan relatif	12,258		
ketelitian	87,742		

➤ Sampel GO 0.55 %wt

Parameter Unit	Stress (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
D1	318,675	22,409	502,145
D2	289,925	-6,341	40,213
D3	255,101	-41,165	1694,590
D4	337,530	41,264	1702,685
D5	280,101	-16,165	261,320
Nilai rerata	296,266		
Jumlah Deviasi Kuadrat			4200,954
Deviasi Standar			32,407
Kesalahan relatif	10,939		
ketelitian	89,061		

b) Ralat Perambatan

$$\Delta E = E \times \sqrt{\left(\frac{\Delta \sigma}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2}$$

➤ Sampel GO 0 %wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
A1	0,013	756,842	58,487
A2	0,014	799,846	56,900
A3	0,013	760,128	60,355
A4	0,014	832,662	58,295
A5	0,016	821,864	51,744
Nilai rerata	0,014	794,268	57,156
Standar Deviasi	0,001	34,760	
Delta E			5,869
Kesalahan relatif	10,268		
Ketelitian	89,732		

➤ Sampel GO 0.15 %wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
B1	0,028	661,473	23,488
B2	0,029	652,023	22,496
B3	0,030	621,598	20,829
B4	0,030	642,318	21,523
B5	0,027	670,656	24,500
Nilai rerata	0,029	649,613	22,567
Standar Deviasi	0,001	18,890	
Delta E			1,068
Kesalahan relatif	4,733		
Ketelitian	95,267		

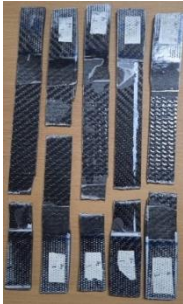
➤ Sampel G0 0.35 %wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
C1	0,013	29,300	2,292
C2	0,015	39,351	2,546
C3	0,014	34,607	2,450
C4	0,020	36,966	1,853
C5	0,016	30,747	1,960
Nilai rerata	0,016	34,194	2,220
Standar Deviasi	0,003	4,192	
Delta E			0,470
Kesalahan relatif	21,175		
Ketelitian	78,825		

➤ Sampel G00.55 %wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
D1	0,007	318,675	48,859
D2	0,011	289,925	25,454
D3	0,006	255,101	43,320
D4	0,007	337,530	48,420
D5	0,006	280,101	45,769
Nilai rerata	0,007	296,266	42,364
Standar Deviasi	0,002	32,407	
Delta E			13,888
Kesalahan relatif	32,782		
Ketelitian	67,218		

Lampiran 3 Foto Patahan Uji Tarik



(Sampel A)



(Sampel B)



(Sampel C)

Lampiran 4 Foto Patahan Uji Bending



(Sampel A)

Lampiran 5 Data Hasil Uji Tarik

Sampel GO 0 %wt

J1				J2				J3				J4				J5							
Time	Force	Strain	Stress	Time	Force	Strain	Stress	Time	Force	Strain	Stress	Time	Force	Strain	Stress	Time	Force	Strain	Stress				
sec	N	%	MPa	sec	N	%	MPa	sec	N	%	MPa	sec	N	%	MPa	sec	N	%	MPa				
0	0.21627077	0	0	0	1.9472801	0	0	0	1.0583393	0	0	0	1.6482687	0	0	0	0.2889391	0	0				
0.1	0.2962635	0.43826	16.6447	0.222916701	1.2074141	0.2083330	0.075133	0.333334	0.041	1.0193262	0.143326	5.9249733	1.6434409	0.2406249	2.977353	0.4776470	0.01	0.0261969	8.5	0.044123			
0.02	1.779245	15.68346	3120.89	0.474833032	3.107405	1.04417	16.6420	0.2626576	1.035156	4.78263	16.6260	0.02	1.645452	0.24529	2.977351	0.477647	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.03	2.4477764	15.68346	3120.89	0.474833032	3.107405	1.04417	16.6420	0.2626576	1.035156	4.78263	16.6260	0.02	1.645452	0.24529	2.977351	0.477647	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.07	5.643292	3.658791	10.60493	0.775666707	7.509446	0.333333	0.075133	0.333334	0.041	1.0193262	0.143326	5.9249733	1.6434409	0.2406249	2.977353	0.4776470	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.3	3.116336	2.681292	5.84725	2.329106705	4.276506	0.2083330	0.075133	0.333334	0.041	1.0193262	0.143326	5.9249733	1.6434409	0.2406249	2.977353	0.4776470	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.04	3.91787	2.518125	7.05928	0.42	0.545795	2.884167	8.02629	0.474833032	3.107405	1.04417	16.6420	0.2626576	1.035156	4.78263	1.645452	0.24529	2.977351	0.477647	0.01	0.0261969			
0.06	4.80224	3.052448	8.68537	0.4747977010	4.9361123	0.314801	0.075133	0.333334	0.041	1.0193262	0.143326	5.9249733	1.6434409	0.2406249	2.977353	0.4776470	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.07	5.643292	3.658791	10.60493	0.775666707	7.509446	0.333333	0.075133	0.333334	0.041	1.0193262	0.143326	5.9249733	1.6434409	0.2406249	2.977353	0.4776470	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.08	6.87214	4.17438	13.00186	0.6305477010	5.34525	0.474833032	3.107405	1.04417	16.6420	0.2626576	1.035156	4.78263	1.645452	0.24529	2.977351	0.477647	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.1	7.788086	5.396312	10.90543	0.8312581	6.273306	0.162291	0.075133	0.333334	0.041	1.0193262	0.143326	5.9249733	1.6434409	0.2406249	2.977353	0.4776470	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.11	8.228910	5.978416	10.90543	0.8312581	6.273306	0.162291	0.075133	0.333334	0.041	1.0193262	0.143326	5.9249733	1.6434409	0.2406249	2.977353	0.4776470	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.12	8.986301	6.528393	10.90543	0.8312581	6.273306	0.162291	0.075133	0.333334	0.041	1.0193262	0.143326	5.9249733	1.6434409	0.2406249	2.977353	0.4776470	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.13	9.152501	6.715103	10.90543	0.8312581	6.273306	0.162291	0.075133	0.333334	0.041	1.0193262	0.143326	5.9249733	1.6434409	0.2406249	2.977353	0.4776470	0.01	0.0261969	17.0649	0.044123			
0.14	1.006167	7.72133	18.11836	1.163142914	7.891665	7.728465	14.5644	1.164383012	1.125306	7.286156	20.0832	1.148102514	1.125306	7.286156	20.0832	1.148102514	1.125306	7.286156	20.0832	1.148102514			
0.15	1.026131	7.786438	18.6444	1.164383012	1.125306	7.286156	20.0832	1.148102514	1.125306	7.286156	20.0832	1.148102514	1.125306	7.286156	20.0832	1.148102514	1.125306	7.286156	20.0832	1.148102514			
0.16	1.066102	8.407291	19.11236	1.332549716	8.535386	8.538402	16.6624	1.332262016	1.2272766	8.339484	22.8012	1.3341391016	1.2272766	8.339484	22.8012	1.3341391016	1.2272766	8.339484	22.8012	1.3341391016			
0.17	1.1261026	8.8328125	20.40312	1.42610167	9.913222	8.847605	16.6624	1.42610167	1.3373208	8.867187	24.23038	1.441875017	1.3373208	8.867187	24.23038	1.441875017	1.3373208	8.867187	24.23038	1.441875017			
0.18	1.1812803	9.348368	20.83438	1.42610167	9.913222	8.847605	16.6624	1.42610167	1.3373208	8.867187	24.23038	1.441875017	1.3373208	8.867187	24.23038	1.441875017	1.3373208	8.867187	24.23038	1.441875017			
0.19	1.281232	9.880270	21.91541	1.5125197018	1.0474684	9.878302	18.8893	1.148102514	1.418102514	9.364532	1.545417022	1.418102514	9.364532	1.545417022	1.418102514	9.364532	1.545417022	1.418102514	9.364532	1.545417022			
0.2	1.3148159	1.0281314	22.0811	1.5125197018	1.0474684	9.878302	18.8893	1.148102514	1.418102514	9.364532	1.545417022	1.418102514	9.364532	1.545417022	1.418102514	9.364532	1.545417022	1.418102514	9.364532	1.545417022			
0.21	1.299779	1.010389	22.66622	1.748380102	1.1742102	1.091146	21.27136	1.748380102	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481		
0.22	133.8921	1.1461182	24.25129	1.8322592022	1.2371829	1.1432259	22.2514	1.467248102	1.5491481	1.104401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481		
0.23	1.306404	1.107366	24.1601	1.8322592022	1.2371829	1.1432259	22.2514	1.467248102	1.5491481	1.104401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481		
0.24	1.212401	1.249348	24.95348	1.998368	1.338193	1.347306	24.27177	1.998368012	1.5491481	1.104401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481	1.094401	21.94789	1.4672481		
0.25	1.487105	1.362781	26.84417	2.098125835	1.3961441	1.580313	25.26118	2.098125835	1.579392	1.399348	26.98846	1.579392	1.399348	26.98846	1.579392	1.399348	26.98846	1.579392	1.399348	26.98846	1.579392	1.399348	
0.26	1.540581	1.401234	27.95058	2.163246126	1.454724	1.622186	26.4051	2.163246126	1.617444	1.300781	28.15842	1.617444	1.300781	28.15842	1.617444	1.300781	28.15842	1.617444	1.300781	28.15842	1.617444	1.300781	
0.27	1.680761	1.464729	29.05348	2.246376012	1.609484	1.488599	27.77479	2.246376012	1.617444	1.300781	28.15842	1.617444	1.300781	28.15842	1.617444	1.300781	28.15842	1.617444	1.300781	28.15842	1.617444	1.300781	
0.28	1.646865	1.461729	29.89272	2.329195708	1.571791	1.647462	28.67717	2.329195708	1.741444	1.464348	30.24719	1.741444	1.464348	30.24719	1.741444	1.464348	30.24719	1.741444	1.464348	30.24719	1.741444	1.464348	
0.29	1.606351	1.567101	30.72735	2.4141408129	1.604572	1.591766	29.66016	2.4141408129	1.804299	1.437682	31.23229	1.804299	1.437682	31.23229	1.804299	1.437682	31.23229	1.804299	1.437682	31.23229	1.804299	1.437682	
0.3	1.754101	1.519345	31.79614	2.478410231	1.669379	1.614349	30.68467	2.478410231	1.904391	1.509766	32.44510	1.904391	1.509766	32.44510	1.904391	1.509766	32.44510	1.904391	1.509766	32.44510	1.904391	1.509766	
0.31	1.888485	1.641128	32.07036	2.510125831	1.722166	1.615101	31.52244	2.510125831	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	
0.32	1.887281	1.644102	33.082636	2.510125831	1.722166	1.615101	31.52244	2.510125831	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	
0.33	1.919167	1.701739	34.78758	2.510125831	1.722166	1.615101	31.52244	2.510125831	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	
0.34	1.980337	1.863331	36.65336	2.510125831	1.722166	1.615101	31.52244	2.510125831	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	
0.35	2.019405	1.822268	36.60342	2.510125831	1.722166	1.615101	31.52244	2.510125831	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	33.61147	1.984144	1.568151	
0.36	2.086102	1.874349	37.81427	2.599836016	1.907465	1.873236	38.08937	2.599836016	2.013183	1.822268	39.91546	2.013183	1.822268	39.91546	2.013183	1.822268	39.91546	2.013183	1.822268	39.91546	2.013183	1.822268	
0.37	2.115865	1.950181	38.3332	3.302125831	2.027465	1.934478	38.6842	3.302125831	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016
0.38	2.754117	1.971713	39.02377	3.302125831	2.027465	1.934478	38.6842	3.302125831	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016
0.39	2.222483	2.029781	40.01137	3.302125831	2.027465	1.934478	38.6842	3.302125831	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016
0.4	2.0718	2.080279	40.01137	3.302125831	2.027465	1.934478	38.6842	3.302125831	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016	2.048481	1.87168	40.84016
0.41	2.319																						

Sampel G0 0.15 %wt

B1					B2					B3					B4					B5				
Time	Force	Strain	Stress	Stroke	Time	Force	Strain	Stress	Stroke	Time	Force	Strain	Stress	Stroke	Time	Force	Strain	Stress	Stroke	Time	Force	Strain	Stress	Stroke
sec	N	%	MPa	mm	sec	N	%	MPa	mm	sec	N	%	MPa	mm	sec	N	%	MPa	mm	sec	N	%	MPa	mm
0	0.251.009	0	40780.24	0	0.1895.428	0	1.9487.085	0	34327.46	0	0.1947.085	0	34327.28	0	0.1192.093	0	21956.89	0	1.064.936	0	0.10292.32	0	0.1064.936	0
0.01	2.251.009	3.261.01	40780.24	5.218.01	0.01	1.891.454	3.368.01	4263.47	5.218.01	0.01	2.666.315	5.208.33	48032.81	833.334	0.01	1.192.093	3.261.01	21956.89	5.218.01	0.01	2.598.93	5.273.47	42079.04	84.375
0.02	2.251.009	1.824.017	40780.24	2.916.687.032	0.01	1.891.454	1.822.917	4263.47	2.916.687.032	0.01	3.134.048	1.431.156	46036.56	188.425.02	0.01	1.192.093	1.797.812	21956.89	28.125.02	0.01	3.103.41	1.088.177	56221.29	1.677.083
0.03	2.251.009	4.861.979	40780.24	6.979.187.032	0.01	1.891.454	4.296.875	4263.47	6.875.03	0.01	4.120.668	1.549.479	76648.78	2.479.167.032	0.01	1.192.093	4.296.875	21956.89	6.875.03	0.01	367.342	1.576.521	6668.72	5.203.833
0.04	2.250.274	7.682.29	40765.81	1.229.187.034	0.01	1.891.454	7.617.188	4263.47	121.875.034	0.01	466.901	2.063.802	8658.188	18.023.084	0.01	1.192.093	7.617.188	21956.89	121.875.034	0.01	4.305.42	1.296.524	7262.17	1.854.167
0.05	2.250.274	1.153.344	40765.81	184.175.035	0.01	1.891.454	1.153.344	4263.47	184.175.035	0.01	5.296.989	2.978.123	96997.79	4.125.035	0.01	1.192.093	1.153.344	21956.89	184.175.035	0.01	4.792.212	1.617.188	8661.6	41.875
0.06	2.250.274	1.573.521	40765.81	2.520.835.036	0.01	1.891.454	1.575.521	4263.47	2.520.835.036	0.01	60.757	3.092.488	1100.67	4.947.917.036	0.01	1.192.093	1.573.521	21956.89	2.520.835.036	0.01	5.467.783	1.138.021	9905.13	5.020.833
0.07	2.250.274	20.125	40765.81	325.007	0.01	1.891.454	20.125	4263.47	325.007	0.01	6.687.641	3.613.281	11215.29	578.125.007	0.01	1.192.093	20.125	21956.89	328.385.007	0.01	7.537.967	1.638.854	10896.2	1.854.167
0.08	2.250.274	25	40765.81	4.0108	0.01	1.891.454	25	4263.47	4.0108	0.01	7.271.307	4.127.604	13353.5	6.624.167.008	0.01	1.192.093	25.013	21956.89	4.022.477.008	0.01	6.115.173	1.173.177	11358.6	5.677.083
0.09	2.250.274	2.988.281	40765.81	478.125.009	0.01	1.891.454	2.988.281	4263.47	478.125.009	0.01	8.030.733	4.548.437	34548.3	74.125.009	0.01	1.192.093	3.001.304	21956.89	4.803.083.009	0.01	6.504.254	1.694.081	11784.6	7.510.417
0.1	2.250.274	5.604.167.01	40765.81	5.604.167.01	0.01	1.891.454	5.604.167.01	4263.47	5.604.167.01	0.01	8.666.515	5.175.781	57002.1	8.666.515	0.01	1.192.093	5.604.167	21956.89	5.604.167.01	0.01	7.204.214	1.208.333	13921.1	1.833.333
0.11	2.250.274	4.010.417	40765.81	6.616.687.011	0.01	1.891.454	1.997.936	4263.47	6.395.833.011	0.01	9.632.307	5.703.125	71252.4	9.125.011	0.01	1.192.093	4.010.417	21956.89	6.616.687.011	0.01	75.125	1.729.166	1379.267	1.166.666
0.12	2.250.274	452.474	40765.81	7.239.581.012	0.01	1.891.454	452.474	4263.47	721.875.012	0.01	1.022.418	6.223.598	18522.07	9.958.333.012	0.01	1.192.093	452.474	21956.89	7.239.581.012	0.01	8.209.547	1.62	148272.01	0.01
0.13	2.250.274	5.058.062	4255.109	80.625.013	0.01	2.249.082	5.058.062	4076.24	80.625.013	0.01	1.085.599	6.753.302	15666.0	6.525.013	0.01	3.218.613	5.058.062	25808.89	80.625.013	0.01	7.956.464	1.770.833	14337.7	1.083.333
0.14	2.250.98	5.523.386	46583.01	8.885.446.014	0.01	5.133.947	5.540.364	93929.29	8.885.446.014	0.01	1.147.107	7.272.125	70792.45	1.163.542.014	0.01	282.326	5.523.386	5318.29	8.885.446.014	0.01	9.003.301	1.286.177	16398.9	1.167.708
0.15	2.659.957	6.067.708	48187.01	9.708.333.015	0.01	5.662.441	6.061.188	102583.5	9.697.917.015	0.01	1.196.067	7.786.458	21667.88	1.245.833.015	0.01	3.222.625	6.067.708	58803.89	9.708.333.015	0.01	9.520.849	1.825.521	17479.1	1.252.083
0.16	2.712.011	1.688.541	49312.06	1.054.167.016	0.01	6.322.066	1.582.031	114362.0	1.053.125.016	0.01	1.283.089	8.307.291	22444.37	1.329.357.016	0.01	3.598.147	1.688.541	65347.59	1.054.167.016	0.01	100.255	1.832.865	1816.214	1.316.438
0.17	2.778.371	7.039.375	50532.81	11.375.017	0.01	7.200.341	1.022.864	138493.1	11.384.458.017	0.01	1.334.340	8.613.614	24172.91	1.411.458.017	0.01	1.263.857	7.039.375	77603.21	11.375.017	0.01	104.786	1.880.289	1986.719	1.420.833
0.18	2.869.368	7.604.708	51981.1	1.220.833.018	0.01	7.888.192	7.630.208	141669	1.220.833.018	0.01	1.383.225	9.342.488	25058.42	1.464.790.018	0.01	4.720.688	7.630.208	85319.1	1.220.833.018	0.01	1.094.739	1.401.461	20382.49	1.504.167
0.19	2.928.675	8.151.041	53001.01	1.304.167.019	0.01	8.320.361	8.151.041	153163.1	1.304.167.019	0.01	1.469.403	9.856.771	26263.13	1.577.083.019	0.01	5.304.813	8.151.041	96103.68	1.305.208.019	0.01	1.133.283	1.915.364	20530.49	1.586.438
0.2	1.923.882	8.678.386	54002.01	1.385.402.02	0.01	888.594	1.684.896	10313.3	1.389.103.02	0.01	1.506.805	103.776	7279.01	1.1660.417.02	0.01	1.654.494	8.684.896	103163.1	1.389.103.02	0.01	1.163.481	1.042.960	21077.09	1.664.875
0.21	1.075.957	920.573	55724.88	1.472.917.021	0.01	9.648.005	9.218.751	174782.7	1.475.021	0.01	1.550.913	1.000.495	28096.25	1.744.790.021	0.01	6.059.806	921.224	100973.1	1.474.958.021	0.01	1.183.311	1.094.401	21437.52	1.713.042
0.22	1.146.817	973.671	57031.71	1.557.292.022	0.01	1.024.038	9.739.083	185037.1	1.558.333.022	0.01	1.600.186	114.188	28988.48	1.830.208.022	0.01	6.488.599	973.671	117553.5	1.557.292.022	0.01	1.25.13	1.145.833	21641.81	1.833.333
0.23	320.473	1.055.391	5890.29	1.640.603.023	0.01	1.089.176	1.026.402	19714.93	1.641.667.023	0.01	1.646.402	1.136.613	3001.89	1.954.833.023	0.01	692.608	1.025.391	12947.21	1.640.603.023	0.01	1.302.957	1.197.166	23904.29	1.913.625
0.24	326.554	1.077.474	59183.1	1.719.984.024	0.01	1.133.946	1.078.125	20064.82	1.725.024	0.01	1.742.442	1.249.349	31365.88	1.998.958.024	0.01	7.363.161	1.077.474	131919.1	1.722.917.024	0.01	1.343.886	1.25	24345.76	0.01
0.25	133.1	1.129.557	61481.1	1.807.292.025	0.01	1.622.366	1.129.557	21618.08	1.807.292.025	0.01	1.78.655	1.303.422	32630.04	2.082.292.025	0.01	8.595.812	1.129.557	183.625.025	1.807.292.025	0.01	1.364.341	1.302.083	24337.74	2.083.333
0.26	1.400.346	118.099	61599.68	1.889.383.026	0.01	1.271.566	118.099	28353.62	1.889.383.026	0.01	1.831.439	1.533.516	32124.47	2.105.425.026	0.01	821.152	1.189.339	14879.78	1.889.383.026	0.01	1.420.975	1.354.167	2574.3	2.166.667
0.27	1.447.467	1.231.073	62635.37	1.973.917.027	0.01	1.344.283	1.233.073	2432.95	1.972.917.027	0.01	1.892.646	1.404.948	34287.07	2.247.917.027	0.01	8.738.041	1.232.422	160000.1	1.973.917.027	0.01	1.482.566	1.625	26868.08	225
0.28	1.539.711	1.284.509	6425.26	2.055.268.028	0.01	1.464.644	1.284.509	2497.54	2.055.268.028	0.01	1.930.396	1.453.838	34970.34	2.303.208.028	0.01	9.163.221	1.283.854	150829.2	2.054.167.028	0.01	1.511.421	1.638.984	2741.77	2.334.75
0.29	1.593.365	1.335.588	65997.29	2.135.462.029	0.01	1.463.095	1.335.588	26505.34	2.137.29	0.01	1.978.824	1.508.463	34949.17	2.413.342.029	0.01	9.586.743	1.335.588	172765.1	2.137.29.29	0.01	1.558.055	1.511.719	26223.81	2.415.875
0.3	1.649.394	1.388.021	66112.1	2.220.833.03	0.01	1.561.565	1.388.021	27431.97	2.220.833.03	0.01	2.031.5	1.599.896	34941.1	2.495.833.03	0.01	9.810.325	1.388.021	177742.1	2.222.833.03	0.01	1.599.789	1.643.54	28986.16	2.501.125
0.31	1.670.127	1.440.104	66250.6	2.304.167.031	0.01	1.514.642	1.440.104	28062.02	2.304.167.031	0.01	2.077.838	1.613.138	37941.63	2.583.125.031	0.01	1.382.326	1.440.755	18742.1	2.305.208.031	0.01	1.620.499	1.616.366	29920.81	2.586.438
0.32	1.764.219	1.452.187	68236.61	2.337.01.032	0.01	1.654.885	1.452.187	29525.22	2.388.542.032	0.01	2.119.939	1.643.411	38404.69	2.665.408.032	0.01	1.078.844	1.454.141	19944.26	2.388.542.032	0.01	1.666.149	1.167.138	30183.86	2.667.708
0.33	1.826.618	1.564.024	69322.29	2.471.875.033	0.01	1.688.004	1.564.024	30579.78	2.472.917.033	0.01	2.174.795	1.715.495	39398.1	2.744.790.033	0.01	1.128.117	1.564.024	20436.9	2.475.033	0.01	1.726.511	1.120.833	31270.85	2.751.042
0.34	1.886.223	1.597.666	70402.39	2.553.625.034	0.01	1.733.088	1.598.307	32260.67	2.552.292.034	0.01	2.222.061	1.767.578	40524.73	2.828.125.034	0.01	1.174.212	1.598.958	20436.9	2.553.625.034	0.01	1.754.14	1.770.833	31844.2	2.833.333
0.35	1.919.601	1.650.391	71097.26	2.640.625.035	0.01	1.820.326	1.650.391	32979.62	2.640.625.035	0.01	2.273.733	1.830.322	41930.56	2.9125.35	0.01	1.219.908	1.651.042	22099.79	2.641.667.0					

Sampel G0 0.35 %wt

C1	C2					C3	C4					C5	C6												
	Time sec	Force N	Stroke mm	Strain %	Stress MPa		Time sec	Force N	Stroke mm	Strain %	Stress MPa		Time sec	Force N	Stroke mm	Strain %	Stress MPa								
0.01	0.536.542	4.171.00	2.460.00	0.6067.79	0.2.344.440	0.0	0.42471.8	0.1.132.488	0.0	0.20516.09	0.0	0.185.704	0.0	0.14829.17	0.0	0.4329.93	0.0	0.8004.37							
0.02	0.536.542	4.171.00	2.460.00	0.6067.79	0.01	7.470.449	84.375	4.963.235	1353.24	0.01	1.112.488	4.178.01	2.435.01	2.713.998	8.125	4.534.889	409.66	0.01	0.4329.93	5.216.01	3.068.01	8.004.37			
0.03	0.536.542	2.291.667	1.348.009	0.6067.79	0.032	9.139.379	1.677.083	9.865.196	1650.68	0.03	1.112.488	2.395.881	1.409.314	3.034.09	0.02	1.023.943	4.178.01	1.986.468	547.81	56.8	0.02	0.4329.93	1.916.667	7.715.686	8.004.37
0.04	0.536.542	1.066.136	534.9321	0.6067.79	0.03	1.158.986	1.520.831	1.482.843	24613.11	0.03	1.112.488	6.145.831	1.615.196	20546.10	0.03	3.403.068	2.438.311	1.863.741	6256.06	0.03	0.4329.93	1.979.167	1.405.392	8.004.37	
0.05	0.536.542	1.066.136	534.9321	0.6067.79	0.04	1.158.986	1.520.831	1.482.843	24613.11	0.04	1.112.488	6.145.831	1.615.196	20546.10	0.04	3.403.068	2.438.311	1.863.741	6256.06	0.04	0.4329.93	1.979.167	1.405.392	8.004.37	
0.06	0.536.542	1.066.136	534.9321	0.6067.79	0.05	1.158.986	1.520.831	1.482.843	24613.11	0.05	1.112.488	6.145.831	1.615.196	20546.10	0.05	3.403.068	2.438.311	1.863.741	6256.06	0.05	0.4329.93	1.979.167	1.405.392	8.004.37	
0.07	0.536.542	2.313.331	1.373.549	0.6067.79	0.06	2.308.687	503.125	2.959.599	41824.04	0.06	1.124.541	2.447.917	1.489.951	20372.12	0.06	525.713	1.947.917	2.748.843	952.78	0.06	0.4329.93	1.920.831	1.482.843	8.004.37	
0.08	0.536.542	309.375	1.810.831	0.6067.79	0.07	2.809.366	1.854.367	1.443.627	5098.13	0.07	1.124.541	1.357.917	1.881.127	20372.12	0.07	5.990.916	5.791.666	3.217.093	10284.7	0.07	0.4329.93	3.251.331	1.915.764	8.004.37	
0.09	0.536.542	3.893.813	2.012.467	0.6067.79	0.08	2.853.076	66.875	3.933.824	5166.16	0.08	1.124.541	1.979.167	2.340.686	20372.12	0.08	6.000.201	6.625.417	3.866.349	10669.9	0.08	0.4329.93	4.020.831	3.365.196	8.004.37	
0.10	0.536.542	5.729.367	2.761.881	0.6067.79	0.09	3.087.521	1.530.417	4.417.893	5993.35	0.09	1.124.541	4.791.687	2.818.628	20372.12	0.09	6.465.117	7.479.167	4.155.092	17122.7	0.09	0.4329.93	4.967.813	2.818.628	8.004.37	
0.11	0.536.542	4.626.127	3.727.059	0.6067.79	0.1	3.403.068	834.375	4.908.088	6254.09	0.1	1.124.541	5.614.381	3.808.628	20372.12	0.1	6.906.391	8.125	4.618.056	12512.12	0.1	0.4329.93	5.727.916	2.718.628	8.004.37	
0.12	0.536.542	6.395.813	5.392.502	0.6067.79	0.11	3.707.492	1.166.666	5.392.157	6716.21	0.11	1.124.541	6.627.083	3.780.537	20372.12	0.11	7.283.688	8.145.831	5.061.019	13150.0	0.11	0.4329.93	6.395.813	7.762.502	8.004.37	
0.13	0.536.542	1.224.541	4.252.451	0.6067.79	0.12	3.770.887	1.001.042	5.888.481	6831.48	0.12	1.124.541	7.25	4.264.706	20372.12	0.12	7.588.638	996.875	5.893.184	13749.0	0.12	0.4329.93	1.224.541	4.252.451	8.004.37	
0.14	0.536.542	8.602.61	4.74.2467	0.6067.79	0.13	4.096.426	1.084.375	6.378.676	7812.0	0.13	1.306.091	8.072.916	4.748.75	70762.52	0.13	8.094.311	1.079.167	599.537	14656.1	0.13	0.4329.93	8.602.61	4.74.2467	8.004.37	
0.15	0.536.542	8.805.416	5.226.716	0.6067.79	0.14	4.589.558	1.157.786	6.868.873	8534.17	0.14	4.589.558	6.895.831	3.322.843	7804.29	0.14	8.730.075	11.620	6.408.294	12513.0	0.14	0.4329.93	8.805.416	5.226.716	8.004.37	
0.16	0.536.542	1.331.886	9.106.313	0.6067.79	0.15	4.824.002	1.252.083	7.365.196	8789.34	0.15	4.673.004	97.875	5.716.912	8465.0	0.15	9.047.981	1.244.791	691.551	16912.0	0.15	0.4329.93	1.331.886	9.106.313	8.004.37	
0.17	0.536.542	1.054.167	6.070.08	0.6068.41	0.16	5.050.448	1.054.167	6.070.08	9185.51	0.16	5.050.448	1.054.167	6.070.08	9185.51	0.16	9.446.349	3.128.125	1.739.472	17111.4	0.16	0.4329.93	1.054.167	6.070.08	8.004.37	
0.18	0.536.542	1.316.409	6.869.067	0.6068.41	0.17	5.352.887	1.420.831	8.937.843	9986.51	0.17	5.352.887	1.316.409	6.869.067	9786.41	0.17	9.675.821	1.411.458	7.841.453	17336.6	0.17	0.4329.93	1.316.409	6.869.067	8.004.37	
0.19	0.536.542	1.409.864	1.215.792	0.6068.41	0.18	5.555.143	1.504.167	8.848.039	10063.6	0.18	5.555.143	1.504.167	8.848.039	10063.6	0.18	1.016.438	1.495.831	8.310.183	18614.0	0.18	0.4329.93	1.409.864	1.215.792	8.004.37	
0.20	0.536.542	1.512.028	1.303.123	0.6068.41	0.19	5.984.306	1.305.288	7.677.066	10474.1	0.19	5.984.306	1.305.288	7.677.066	10474.1	0.19	1.052.221	1.568.039	8.775.933	19049.0	0.19	0.4329.93	1.512.028	1.303.123	8.004.37	
0.21	0.536.542	1.579.339	1.879.1	0.6068.41	0.2	6.218.751	1.568.875	8.814.176	11265.8	0.2	6.218.751	1.568.875	8.814.176	11265.8	0.2	1.102.289	1.664.381	9.301.680	19969.0	0.2	0.4329.93	1.579.339	1.879.1	8.004.37	
0.22	0.536.542	1.647.871	8.610.08	0.6068.41	0.21	6.342.931	1.752.083	1.030.637	11309.5	0.21	6.342.931	1.752.083	1.030.637	11309.5	0.21	1.147.391	1.748.958	9.714.984	20745.45	0.21	0.4329.93	1.647.871	8.610.08	8.004.37	
0.23	0.536.542	1.655.621	9.14.442	0.6068.41	0.22	6.689.688	1.568.875	8.814.176	11309.5	0.22	6.689.688	1.568.875	8.814.176	11309.5	0.22	1.172.627	1.832.292	10.794	21243.15	0.22	0.4329.93	1.655.621	9.14.442	8.004.37	
0.24	0.536.542	1.655.621	9.14.442	0.6068.41	0.23	7.153.125	1.817.786	1.128.064	12205.8	0.23	7.153.125	1.817.786	1.128.064	12205.8	0.23	1.192.001	1.913.621	1.044.238	21395.0	0.23	0.4329.93	1.655.621	9.14.442	8.004.37	
0.25	0.536.542	1.722.917	10.348	0.6068.41	0.24	7.502.238	1.725	1.014.706	13993.0	0.24	7.502.238	1.725	1.014.706	13993.0	0.24	1.221.11	1.998.958	1.115.532	21461.1	0.24	0.4329.93	1.722.917	10.348	8.004.37	
0.26	0.536.542	1.805.208	1.064.887	0.6068.41	0.25	7.830.556	1.722.917	10.348	13993.0	0.25	7.830.556	1.722.917	10.348	13993.0	0.25	1.244.791	1.808.311	1.063.768	21490.4	0.25	0.4329.93	1.805.208	1.064.887	8.004.37	
0.27	0.536.542	1.879.339	1.130.871	0.6068.41	0.26	8.157.448	1.889.381	1.113.152	15440.2	0.26	8.157.448	1.889.381	1.113.152	15440.2	0.26	1.282.295	2.161.442	1.251.627	22259.0	0.26	0.4329.93	1.879.339	1.130.871	8.004.37	
0.28	0.536.542	1.955.123	1.207.712	0.6068.41	0.27	7.847.945	2.252.083	1.324.755	14212.0	0.27	7.847.945	2.252.083	1.324.755	14212.0	0.27	1.341.886	2.246.875	1.248.264	22435.76	0.27	0.4329.93	1.955.123	1.207.712	8.004.37	
0.29	0.536.542	2.031.409	1.274.641	0.6068.41	0.28	8.829.435	2.035.288	1.429.632	15854.0	0.28	8.829.435	2.035.288	1.429.632	15854.0	0.28	1.373.912	2.329.167	1.399.181	24514.46	0.28	0.4329.93	2.031.409	1.274.641	8.004.37	
0.30	0.536.542	2.106.409	1.349.013	0.6068.41	0.29	9.050.879	2.125	1.257.533	16420.0	0.29	9.050.879	2.125	1.257.533	16420.0	0.29	1.402.107	2.411.458	1.491.093	25182.7	0.29	0.4329.93	2.106.409	1.349.013	8.004.37	
0.31	0.536.542	2.181.901	1.424.813	0.6068.41	0.3	9.425.481	2.220.831	1.573.073	17070.5	0.3	9.425.481	2.220.831	1.573.073	17070.5	0.3	1.424.154	2.479.125	1.485.995	25799.0	0.3	0.4329.93	2.181.901	1.424.813	8.004.37	
0.32	0.536.542	2.257.059	1.500.392	0.6068.41	0.31	9.846.299	2.304.367	1.305.382	17501.0	0.31	9.846.299	2.304.367	1.305.382	17501.0	0.31	1.448.283	2.596.122	1.392.992	26132.0	0.31	0.4329.93	2.257.059	1.500.392	8.004.37	
0.33	0.536.542	2.332.125	1.575.059	0.6068.41	0.32	10.267.813	2.388.542	1.405.625	17573.5	0.32	10.267.813	2.388.542	1.405.625	17573.5	0.32	1.502.007	2.612.91	1.479.167	27210.0	0.32	0.4329.93	2.332.125	1.575.059	8.004.37	
0.34	0.536.542	2.407.917	1.649.607	0.6068.41	0.33	9.681.751	2.471.875	1.464.044	17557.0	0.33	9.681.751	2.471.875	1.464.044	17557.0	0.33	1.513.958	2.746.875	1.524.002	27426.78	0.33	0.4329.93	2.407.917	1.649.607	8.004.37	
0.35	0.536.542	2.481.458	1.724.641	0.6068.41	0.34	9.993.712	2.555.621	1.503.676	18055.0	0.34	9.993.712	2.555.621	1.503.676	18055.0	0.34	1.545.79	2.821.125	1.571.917	27966.67	0.34	0.4329.93	2.481.458	1.724.641	8.004.37	
0.36	0.536.542	2.556.813	1.799.381	0.6068.41	0.35	1.020.129	2.640.621	1.553.339	18154.95	0.35	1.020.129	2.640.621	1.553.339	18154.95	0.35	1.572.786	2.914.881	1.631.213	28602.7	0.35	0.4329.93	2.556.813	1.799.381	8.004.37	
0.37	0.536.542	2.631.901	1.874.641	0.6068.41	0.36	1.052.221	2.723.958	1.602.338	19063.97	0.36	1.052.221	2.723.958	1.602.338	19063.97	0.36	1.608.311	2.997.917	1.665.509	28888.8	0.36	0.4329.93	2.631.901	1.874.641	8.004.37	
0.38	0.536.542	2.707.059	1.949.607	0.6068.41	0.37	1.089.371	2.803.621	1.650.785	19788.6																

Sampel KO 0.55 %wt

Time	Q2					Q3					Q4					B5														
	Force	Stroke	Strain	Stress	Time	Force	Stroke	Strain	Stress	Time	Force	Stroke	Strain	Stress	Time	Force	Stroke	Strain	Stress	Time										
sec	N	mm	%	MPa	sec	N	mm	%	MPa	sec	N	mm	%	MPa	sec	N	mm	%	MPa	sec										
0	1.585.048		0	275.25	0	7.549.902		0	13877.75		0	2.110.004		0	28224.71		0	2.828.619		0	11010.51		0	2.543.132		0	4.607.123			
0.01	3.396.107	8.133.334	5.204.333	41599.07	0.01	1.504.673	8.229.167	514.323	20034.19	0.01	2.763.778	8.229.167	514.323	20034.19	0.01	2.241.135	8.229.167	514.323	16855.0	0.01	2.777.078	1.645.831	1.058.646	10318.41	0.02	1.515.999	34.125	0.02	2.774.877	928.82
0.02	1.087.121	1.666.667	1.041.667	13002.0	0.02	1.621.246	1.645.831	1.028.466	29378.0	0.02	3.534.621	16.458.123	1.035.156	43831.0	0.02	4.854.881	1.645.831	1.058.646	10318.41	0.02	4.854.881	1.645.831	1.058.646	10318.41	0.02	1.515.999	34.125	0.02	2.774.877	928.82
0.03	3.750.091	25	15.625	60132.99	0.03	2.189.477	2.479.167	1.549.479	39664.44	0.03	436.306	2.479.167	1.549.479	39664.44	0.03	3.520.648	2.479.167	1.549.479	39664.44	0.03	3.520.648	2.479.167	1.549.479	39664.44	0.03	1.515.999	34.125	0.03	2.774.877	928.82
0.04	462.512	334.375	2.089.844	8030.99	0.04	2.916.044	33.125	2.075.121	5287.93	0.04	5.079.136	1.322.081	2.061.802	78989.7	0.04	5.079.136	1.322.081	2.061.802	78989.7	0.04	5.079.136	1.322.081	2.061.802	78989.7	0.04	1.515.999	34.125	0.04	2.774.877	928.82
0.05	5.384.286	4.177.085	2.610.677	19477.0	0.05	3.258.387	1.145.831	2.951.146	90026.75	0.05	5.496.281	4.178.477	2.584.838	10302.2	0.05	5.496.281	4.178.477	2.584.838	10302.2	0.05	5.496.281	4.178.477	2.584.838	10302.2	0.05	1.515.999	34.125	0.05	2.774.877	928.82
0.06	6.028.016	5	3.125	104653.1	0.06	3.524.621	1.989.584	311.849	63851.83	0.06	6.330.013	496.875	3.105.469	114674.1	0.06	6.330.013	496.875	3.105.469	114674.1	0.06	6.330.013	496.875	3.105.469	114674.1	0.06	1.515.999	34.125	0.06	2.774.877	928.82
0.07	6.739.298	5.833.333	3.633.333	117001.7	0.07	3.608.068	1.622.917	3.149.323	65364.55	0.07	6.906.191	5.802.081	3.624.917	12112.2	0.07	7.774.784	5.822.917	3.149.323	65364.55	0.07	7.774.784	5.822.917	3.149.323	65364.55	0.07	1.515.999	34.125	0.07	2.774.877	928.82
0.08	7.737.015	665.625	4.101.167	128106.0	0.08	3.477.313	1.666.667	1.166.666	61926.21	0.08	7.82.207	6.635.417	4.147.135	3355.0	0.08	3.182.888	6.666.667	1.166.666	61926.21	0.08	3.182.888	6.666.667	1.166.666	61926.21	0.08	1.515.999	34.125	0.08	2.774.877	928.82
0.09	8.316.835	7.653.333	4.601.898	144385.0	0.09	3.488.588	7.510.417	4.694.011	63209.95	0.09	7.935.365	7.479.167	4.674.479	14375.6	0.09	3.774.961	75	46.875	66386.97	0.09	3.774.961	75	46.875	66386.97	0.09	1.515.999	34.125	0.09	2.774.877	928.82
0.1	8.890.433	8.322.917	5.159.012	155993.0	0.1	3.739.066	8.345	5.214.843	68999.0	0.1	1.515.999	8.322.917	5.159.012	155993.0	0.1	3.488.588	8.322.917	5.159.012	155993.0	0.1	3.488.588	8.322.917	5.159.012	155993.0	0.1	1.515.999	34.125	0.1	2.774.877	928.82
0.11	9.512.901	9.156.249	5.722.658	160154.0	0.11	4.168.151	91.875	5.742.188	75513.6	0.11	1.96.307	9.166.666	5.729.156	1564.982	0.11	8.833.923	9.156.249	5.722.658	160154.0	0.11	8.833.923	9.156.249	5.722.658	160154.0	0.11	1.515.999	34.125	0.11	2.774.877	928.82
0.12	1.012.484	9.985.881	6.723.484	177759.1	0.12	4.684.925	1.001.042	625.615	84873.8	0.12	1.936.008	9.985.881	6.723.484	177759.1	0.12	5.020.469	9.979.167	6.723.484	177759.1	0.12	5.020.469	9.979.167	6.723.484	177759.1	0.12	1.515.999	34.125	0.12	2.774.877	928.82
0.13	1.071.692	1.083.333	6.011.683	18025.7	0.13	5.463.127	1.320.208	8.131.802	108915.0	0.13	1.009.395	1.082.917	6.754.323	91222.25	0.13	1.009.395	1.082.917	6.754.323	91222.25	0.13	1.009.395	1.082.917	6.754.323	91222.25	0.13	1.515.999	34.125	0.13	2.774.877	928.82
0.14	114.282	1.317.708	7.288.177	284430.0	0.14	5.396.207	1.055.625	7.285.156	97757.3	0.14	1.087.982	1.164.581	2.738.455	37078.94	0.14	626.314	1.164.581	2.738.455	37078.94	0.14	626.314	1.164.581	2.738.455	37078.94	0.14	1.515.999	34.125	0.14	2.774.877	928.82
0.15	1.182.953	1.252.081	7.825.521	20537.38	0.15	5.463.127	1.247.917	7.799.479	99341.07	0.15	1.150.767	1.247.917	7.799.479	99341.07	0.15	7.677.615	1.247.917	7.799.479	99341.07	0.15	7.677.615	1.247.917	7.799.479	99341.07	0.15	1.515.999	34.125	0.15	2.774.877	928.82
0.16	1.231.021	1.335.417	8.346.393	21406.0	0.16	6.087.367	14.125	8.828.125	11561.0	0.17	1.217.524	1.330.208	8.131.802	108915.0	0.16	1.217.524	1.330.208	8.131.802	108915.0	0.16	1.217.524	1.330.208	8.131.802	108915.0	0.16	1.515.999	34.125	0.16	2.774.877	928.82
0.17	1.289.467	141.875	8.807.187	22386.0	0.17	6.087.367	14.125	8.828.125	11561.0	0.17	1.289.467	1.413.542	8.828.125	11561.0	0.17	1.289.467	1.413.542	8.828.125	11561.0	0.17	1.289.467	1.413.542	8.828.125	11561.0	0.17	1.515.999	34.125	0.17	2.774.877	928.82
0.18	1.332.363	1.081.081	9.980.021	21313.1	0.18	6.798.903	1.496.875	8.954.369	123168.5	0.18	1.326.005	1.496.875	8.954.369	123168.5	0.18	8.445.991	1.497.917	8.954.369	123168.5	0.18	8.445.991	1.497.917	8.954.369	123168.5	0.18	1.515.999	34.125	0.18	2.774.877	928.82
0.19	1.373.688	1.585.417	9.980.885	2348.7	0.19	7.164.478	1.585.417	9.980.885	2348.7	0.19	1.371.304	1.581.125	9.980.885	2348.7	0.19	8.869.171	1.582.208	9.980.885	2348.7	0.19	8.869.171	1.582.208	9.980.885	2348.7	0.19	1.515.999	34.125	0.19	2.774.877	928.82
0.2	1.413.821	1.607.708	1.041.131	2645.0	0.2	7.506.112	1.664.581	1.040.363	135892.1	0.2	1.434.088	1.660.625	1.041.036	107979.8	0.2	9.266.153	1.660.625	1.041.036	107979.8	0.2	9.266.153	1.660.625	1.041.036	107979.8	0.2	1.515.999	34.125	0.2	2.774.877	928.82
0.21	164.548	175	109.375	2544.236	0.21	7.772.446	1.968.156	1.091.099	140055.0	0.21	1.484.553	175	109.375	26894.08	0.21	9.540.717	1.751.042	1.094.401	117893.1	0.21	9.540.717	1.751.042	1.094.401	117893.1	0.21	1.515.999	34.125	0.21	2.774.877	928.82
0.22	151.574	1.812.292	1.145.182	2633.229	0.22	8.808.861	1.833.333	1.145.182	115963.1	0.22	1.517.402	1.834.375	1.145.182	14881.49	0.22	981.874	1.834.375	1.145.182	14881.49	0.22	981.874	1.834.375	1.145.182	14881.49	0.22	1.515.999	34.125	0.22	2.774.877	928.82
0.23	157.986	1.915.625	1.197.286	2713.269	0.23	8.808.861	1.915.625	1.197.286	155922.0	0.23	1.599.789	1.917.708	1.198.546	18981.48	0.23	1.071.291	1.914.667	1.197.286	18981.48	0.23	1.071.291	1.914.667	1.197.286	18981.48	0.23	1.515.999	34.125	0.23	2.774.877	928.82
0.24	1.619.657	1.997.917	1.248.698	28119.5	0.24	9.131.412	0.2	125	165424.0	0.24	1.635.154	2.001.042	1.250.611	26922.36	0.24	1.039.105	1.998.598	1.249.349	18831.4	0.24	1.039.105	1.998.598	1.249.349	18831.4	0.24	1.515.999	34.125	0.24	2.774.877	928.82
0.25	1.668.531	208.125	1.300.781	28967.0	0.25	9.638.492	2.092.182	1.301.432	174602.0	0.25	1.666.943	2.084.375	1.302.714	32816.24	0.25	1.666.943	2.084.375	1.302.714	32816.24	0.25	1.666.943	2.084.375	1.302.714	32816.24	0.25	1.515.999	34.125	0.25	2.774.877	928.82
0.26	1.732.111	1.260.625	1.513.516	30071.0	0.26	1.038.492	1.164.581	1.513.516	35241.92	0.26	1.717.428	2.160.542	1.513.516	31112.46	0.26	1.071.291	2.164.581	1.513.516	35241.92	0.26	1.071.291	2.164.581	1.513.516	35241.92	0.26	1.515.999	34.125	0.26	2.774.877	928.82
0.27	1.761.156	225	140.625	30081.88	0.27	1.040.363	1.247.917	1.404.948	18874.8	0.27	1.758.317	2.248.958	1.405.599	131851.97	0.27	1.088.181	2.246.875	1.405.599	131851.97	0.27	1.088.181	2.246.875	1.405.599	131851.97	0.27	1.515.999	34.125	0.27	2.774.877	928.82
0.28	1.790.921	1.334.375	1.458.984	31092.08	0.28	1.040.363	235.125	1.457.031	37975.04	0.28	1.804.431	2.132.292	1.457.031	32889.97	0.28	1.804.431	2.132.292	1.457.031	32889.97	0.28	1.804.431	2.132.292	1.457.031	32889.97	0.28	1.515.999	34.125	0.28	2.774.877	928.82
0.29	1.847.347	2.417.708	1.511.006	3207.0	0.29	1.153.449	2.413.542	1.508.463	28987.61	0.29	1.854.471	2.414.581	1.509.115	33662.99	0.29	1.136.859	2.412.107	1.509.115	33662.99	0.29	1.136.859	2.412.107	1.509.115	33662.99	0.29	1.515.999	34.125	0.29	2.774.877	928.82
0.3					0.3					0.3					0.3					0.3					0.3					

Lampiran 6 Data Hasil Uji Bending

Sampel GO 0 %wt

A2			A3			A4			A5			A6		
Time	Force	Stroke	Time	Force	Stroke	Time	Force	Stroke	Time	Force	Stroke	Time	Force	Stroke
0.0	-0.54602	0.0	0.0	-0.495022	0.0	0.1	-0.42346	0.0	0.0	-0.707668	0.0	0.0	-0.444704	0.0
0.01	0.54602	0.000605	0.787	0.47	0.264	0.000605	0.787	0.47	0.264	0.000605	0.787	0.47	0.264	0.000605
0.02	0.54602	0.00121	0.787	0.47	0.264	0.00121	0.787	0.47	0.264	0.00121	0.787	0.47	0.264	0.00121
0.03	0.54602	0.00183	0.389	0.468	0.002203	0.389	0.468	0.002203	0.389	0.468	0.002203	0.389	0.468	0.002203
0.04	0.54602	0.00245	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.05	0.54602	0.00307	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.06	0.54602	0.00369	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.07	0.54602	0.00431	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.08	0.54602	0.00493	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.09	0.54602	0.00555	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.1	0.54602	0.00617	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.11	0.54602	0.00679	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.12	0.54602	0.00741	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.13	0.54602	0.00803	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.14	0.54602	0.00865	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.15	0.54602	0.00927	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.16	0.54602	0.00989	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.17	0.54602	0.01051	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.18	0.54602	0.01113	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.19	0.54602	0.01175	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.2	0.54602	0.01237	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.21	0.54602	0.01299	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.22	0.54602	0.01361	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.23	0.54602	0.01423	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.24	0.54602	0.01485	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.25	0.54602	0.01547	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.26	0.54602	0.01609	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.27	0.54602	0.01671	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.28	0.54602	0.01733	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.29	0.54602	0.01795	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.3	0.54602	0.01857	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.31	0.54602	0.01919	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.32	0.54602	0.01981	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.33	0.54602	0.02043	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.34	0.54602	0.02105	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.35	0.54602	0.02167	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.36	0.54602	0.02229	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.37	0.54602	0.02291	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.38	0.54602	0.02353	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.39	0.54602	0.02415	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.4	0.54602	0.02477	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.41	0.54602	0.02539	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.42	0.54602	0.02601	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.43	0.54602	0.02663	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.44	0.54602	0.02725	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.45	0.54602	0.02787	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.46	0.54602	0.02849	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.47	0.54602	0.02911	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.48	0.54602	0.02973	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.49	0.54602	0.03035	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.5	0.54602	0.03097	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.51	0.54602	0.03159	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.52	0.54602	0.03221	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.53	0.54602	0.03283	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.54	0.54602	0.03345	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.55	0.54602	0.03407	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.56	0.54602	0.03469	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.57	0.54602	0.03531	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.58	0.54602	0.03593	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.59	0.54602	0.03655	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.6	0.54602	0.03717	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.61	0.54602	0.03779	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.62	0.54602	0.03841	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.63	0.54602	0.03903	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.64	0.54602	0.03965	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.65	0.54602	0.04027	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.66	0.54602	0.04089	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.67	0.54602	0.04151	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.68	0.54602	0.04213	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.69	0.54602	0.04275	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.7	0.54602	0.04337	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.71	0.54602	0.04399	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.72	0.54602	0.04461	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.73	0.54602	0.04523	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47	0.000605	0.787	0.47
0.74	0.54602	0.04585	0.000605	0										

Sampel GO 0.15 %wt

No	IS				IS				IS				IS				IS			
	Time	Force	Stroke	Strain	Time	Force	Stroke	Strain	Time	Force	Stroke	Strain	Time	Force	Stroke	Strain	Time	Force	Stroke	Strain
01	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
02	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
03	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
04	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
05	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
06	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
07	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
08	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
09	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
10	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
11	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
12	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
13	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
14	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
15	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
16	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
17	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
18	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
19	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
20	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
21	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
22	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
23	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
24	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
25	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
26	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
27	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
28	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
29	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
30	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
31	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
32	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
33	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
34	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
35	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
36	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
37	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
38	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
39	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
40	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
41	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
42	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
43	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
44	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
45	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
46	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
47	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
48	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000
49	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00000	0.14146	0.29015	0.00000	0.00								

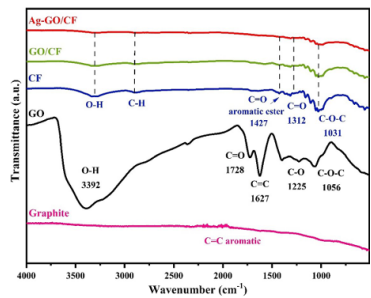
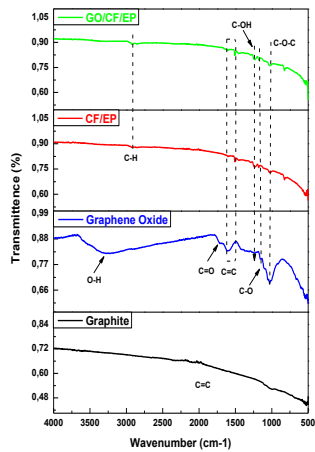
Sampel GO 0.35 %wt

Time	C2				C3				C4				C5						
	Force	Stroke	Stress	Time	Force	Stroke	Stress	Time	Force	Stroke	Stress	Time	Force	Stroke	Stress	Time			
0.754862	0.0	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.754862	0.0	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.002	7.44627	2.36	331	588348	0.002	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.005	7.43257	6.73	1683	149589	0.005	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.008	7.42507	10.78	1843	16917	0.008	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.011	7.41757	14.83	1973	18508	0.011	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.014	7.41007	18.88	2073	19758	0.014	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.017	7.40257	22.93	2153	20658	0.017	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.020	7.39507	26.98	2213	21358	0.020	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.023	7.38757	31.03	2253	21858	0.023	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.026	7.38007	35.08	2283	22158	0.026	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.029	7.37257	39.13	2303	22358	0.029	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.032	7.36507	43.18	2313	22458	0.032	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.035	7.35757	47.23	2313	22458	0.035	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.038	7.35007	51.28	2303	22358	0.038	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.041	7.34257	55.33	2283	22158	0.041	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.044	7.33507	59.38	2253	21858	0.044	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.047	7.32757	63.43	2213	21358	0.047	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.050	7.32007	67.48	2153	20658	0.050	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.053	7.31257	71.53	2103	19958	0.053	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.056	7.30507	75.58	2043	19258	0.056	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.059	7.29757	79.63	1973	18508	0.059	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.062	7.29007	83.68	1893	17608	0.062	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.065	7.28257	87.73	1813	16708	0.065	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.068	7.27507	91.78	1733	15808	0.068	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.071	7.26757	95.83	1653	14908	0.071	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.074	7.26007	99.88	1573	14008	0.074	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.077	7.25257	103.93	1493	13108	0.077	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.080	7.24507	107.98	1413	12208	0.080	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.083	7.23757	112.03	1333	11308	0.083	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.086	7.23007	116.08	1253	10408	0.086	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.089	7.22257	120.13	1173	9508	0.089	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.092	7.21507	124.18	1093	8608	0.092	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.095	7.20757	128.23	1013	7708	0.095	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.098	7.20007	132.28	933	6808	0.098	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.101	7.19257	136.33	853	5908	0.101	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.104	7.18507	140.38	773	5008	0.104	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.107	7.17757	144.43	693	4108	0.107	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.110	7.17007	148.48	613	3208	0.110	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.113	7.16257	152.53	533	2308	0.113	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.116	7.15507	156.58	453	1408	0.116	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.119	7.14757	160.63	373	508	0.119	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750
0.122	7.14007	164.68	293	0	0.122	0.0	0.0	0.530204	0.0	0.0	0.0	0.600279	0.127566	0.0	0.76875.5	0.0	0.81800.88	0.0	0.434750

Sampel GO 0.55 %w

[illegible]

Lampiran 7 Hasi FTIR



(Tazi et al., 2024)

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama : Dewi Sherly Banowati
Tempat & Tgl. Lahir : Kuningan, 6 Februari 2003
Alamat Rumah : Perum Griya Indah, No.28,
001/005, Dukuhmaja, Luragung,
Kuningan, Jawa Barat
HP : 085863966849
E-mail : Dewi.banowati10@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal :

- | | |
|---------------------|-----------|
| a. PAUD Melati IV | 2006-2007 |
| b. RA Al-Muhajirin | 2007-2009 |
| c. SD N 3 Purwasari | 2009-2015 |
| d. MTs N 1 Kuningan | 2015-2018 |
| e. SMA N 1 Luragung | 2018-2021 |

2. Pendidikan Non Formal :

- | | |
|-----------------------------|-----------|
| a. MDA dan MPA Al-Muhajirin | 2009-2015 |
|-----------------------------|-----------|

Semarang, 25 Juni 2025

Dewi Sherly Banowati
NIM : 2108026014