

**STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT GRAPHENE
OXIDE/EPOXY MENGGUNAKAN METODE
MOLDING**

Skripsi

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



Diajukan oleh :

Tara Elsa Shofiyana

NIM : 2108026011

Program Studi Fisika

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

2025

STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT GRAPHENE OXIDE/EPOXY MENGGUNAKAN METODE MOLDING

Skripsi

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



Diajukan oleh :

Tara Elsa Shofiyana

NIM : 2108026011

Program Studi Fisika

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Tara Elsa Shofiyana

NIM : 2108026011

Jurusan : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

"STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT GRAPHENE OXIDE/EPOXY MENGGUNAKAN METODE MOLDING"

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

Semarang, 26 Juni 2025

Pembuat Pernyataan

A red rectangular official stamp from Universitas Semarang is visible. The stamp contains the text "UNIVERSITAS SEMARANG" and "FISIKA". A handwritten signature in black ink is written over the stamp. Below the stamp, the text "NIM: 2108026011" is printed.

Tara Elsa Shofiyana

NIM: 2108026011



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 : "Studi Sifat Mekanik Komposit Graphene
Oxide/Epoxy Menggunakan Metode Molding"

Penulis : Tara Elsa Shofiyana
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, 10 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. 199011262019032023

Penguji IV,

Sheila Rully Anggita, M.Si
NIP. 199005052019032017

Pembimbing I,

Alwiyah Nurhayati, Ph.D
NIP. 198112112011012006

Pembimbing II,

Sheila Rully Anggita, M.Si
NIP. 199005052019032017

Pembimbing III,



TT ELEKTRONIK



Dokumen ini diandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSSN, sistem untuk verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat dibaca dengan melakukan scan QR Code

Dr. Saeful Rohman, MT.
NIP. 196501041992031006

NOTA DINAS

Semarang, 27 Juni 2025

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

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

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

Judul : STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
GO/EPOXY MENGGUAKAN
METODE MOLDING
Nama : Tara Elsa Shofiyana
NIM : 2108026011
Jurusan : Fisika

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

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Pembimbing I,



Drs. Saeful Rohman MT
NIP. 196501041992031006

NOTA DINAS

Semarang, 27 Juni 2025

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

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

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

Judul : STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
GO/EPOXY MENGGUAKAN METODE
MOLDING
Nama : Tara Elsa Shofiyana
NIM : 2108026011
Jurusan : Fisika

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

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Pembimbing II,



Alwiyah Nurhayati, Ph.D.
NIP. 1981121120110112006

NOTA DINAS

Semarang, 27 Juni 2025

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

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

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

Judul : STUDI SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
GO/EPOXY MENGGUAKAN METODE
MOLDING

Nama : Tara Elsa Shofiyana

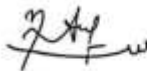
NIM : 2108026011

Jurusan : Fisika

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

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Pembimbing III,



Sheila Rully Anggita, M.Si.
NIP. 198901212014012001

ABSTRAK

Graphene Oxide merupakan material revolusioner yang pertama kali ditemukan pada tahun 2004, dikenal karena sifat mekaniknya yang luar biasa. GO dikembangkan sebagai alternatif dengan gugus fungsional aktif seperti hidroksil, karbonil, dan epoksida. Pada penelitian ini, Graphene Oxide disintesis menggunakan metode hummer kemudian GO difabrikasi dengan *epoxy* untuk mendapatkan komposit GO/EP. Hasil komposit dari GO/EP dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM, Uji Tarik, dan Uji Bending. Hasil karakterisasi FTIR pada GO/EP 1% wt memperlihatkan gugus fungsi C-O-C, C=O, C=C dan C-O di panjang gelombang $1100\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ dan 1600 cm^{-1} . Hasil struktur morfologi resin epoksi murni dengan merepresentasikan homogenitas sampel yang dilihat dari segi patahan tampak relatif halus dan padat tanpa adanya celah atau pori yang mencolok. Konsentrasi GO rendah terlihat permukaan yang lebih kasar dan berpori yang menandakan interaksi antarfasa kuat, sedangkan pada konsentrasi tinggi terjadi pembentukan klaster yang tidak homogen. Hasil uji tarik penambahan GO sebesar 1%wt dan 2%wt justru menurun dibanding epoxy murni, yang disebabkan oleh aglomerasi partikel dan mengurangi ikatan antarmuka antara GO dan matriks epoxy. Namun, pada konsentrasi 3% wt GO kekuatan tarik meningkat dari 10,15 MPa menjadi 16,17 MPa, dan modulus Young meningkat menjadi 8,93 GPa. Hasil uji lentur 1%wt GO memberikan hasil adanya peningkatan modulus lentur hingga 12,41 GPa, meskipun kekuatan lentur sedikit menurun dibandingkan epoxy murni. Pada penambahan GO 2% wt dan 3%wt terjadi penurunan disebabkan oleh aglomerasi yang membentuk cacat mikro dalam matriks. Konsentrasi GO yang optimal untuk peningkatan sifat mekanik komposit epoxy adalah sebesar 1% wt untuk lentur dan 3% wt untuk tarik, dengan catatan bahwa efektivitas GO sangat bergantung pada penyebaran homogen dan kekuatan interaksi dengan matriks.

Keyword: Graphene, GO, Epoxy, GO/EP

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta inayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Sifat Mekanik Komposit Graphene Oxide/Epoxy Menggunakan Metode Molding”. Shalawat teriring salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, dengan mengharapkan syafaat di hari kiamat nanti dan tergolong sebagai umatnya.

Skripsi ini disusun guna memenuhi tugas dan menjadi syarat untuk memperoleh gelar sarjana Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang. Dalam penyusunan skripsi ini, tidak lepas dari bantuan, bimbingan, motivasi, do’a dan saran-saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Nizar, M.Ag selaku Rektor UIN Walisongo sekarang
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
3. Ibu Alwiyah Nurhayati, M.Si., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Walisongo Semarang
4. Ibu Istiqomah, M.Sc. selaku Wali dosen yang selalu mengarahkan dan membimbing saya dalam proses belajar.
5. Ibu Alwiyah Nurhayati, M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga,

dan pikiran serta sabar memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.

6. Ibu Sheilla Rully Anggita, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran serta sabar memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Drs. Saeful Rohman, MT selaku pembimbing dan peneliti di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian di Laboratorium Kimia, Pusat Riset Material Maju BRIN, serta telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran serta dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini.
8. Segenap Peneliti di Pusat Riset Nanoteknologi BRIN yang telah memberikan bantuan serta ilmu pengetahuan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian di BRIN.
9. Segenap Dosen dan staff FST terkhusus bapak/ibu Dosen program studi Fisika UIN Walisongo, yang telah memberikan banyak ilmu selama masa perkuliahan.
10. Kedua orang tua penulis yang telah mendidik dan membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang, ketulusan, keikhlasan dan senantiasa memberikan semangat, materi dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

11. Teman-teman Dewi Sherly, Hesti, Azizah, Sauqy, Adel, Risma, Mila, Zeze, lala, aida semua teman Fisika 2021 dan teman SMP saya yang telah memberikan bantuan, arahan, bimbingan, ilmu pengetahuan, dan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangannya dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima 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, 27 Juni 2025

Penulis,



Tara Elsa Shofiyana

NIM. 2108026011

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	xii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
NOTA PEMBIMBING	ixvii
NOTA PEMBIMBING	v
NOTA PEMBIMBING	vi
ABSTRAK.....	xiii
KATA PENGANTAR	xviii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG.....	1
B. RUMUSAN MASALAH.....	6
C. TUJUAN PENELITIAN	6
D. BATASAN MASALAH	7
E. MANFAAT PENELITIAN.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. KAJIAN TEORI	8
1. Graphene Oxide.....	8
2. Komposit	12

3. Resin Epoxy	17
4. Metode Compression Molding.....	20
5. <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	22
6. Scanning Electron Microscopy (SEM)	24
7. Pengujian Mekanik Komposit.....	27
B. KAJIAN PUSTAKA	32
C. KERANGKA BERPIKIR.....	35
BAB III METODE PENELITIAN	36
A. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN.....	36
B. VARIABEL PENELITIAN	36
C. ALAT DAN BAHAN	37
C. PROSEDUR PENELITIAN.....	39
1. Sintesis GO.....	40
2. Preparasi Komposit GO	41
3. Karakterisasi dan Pengujian Mekanik	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
A. Hasil Sintesis	46
1. Sintesis Graphene Oxide	46
2. Hasil Fabrikasi Komposit EP-GO	49

B. Karakterisasi dan Pengujian Mekanik	50
1. Karakterisasi FTIR (Fourier Transform Infra-Red).....	50
2. Karakterisasi SEM (Scanning Electron Microscope).....	59
3. Pengujian Mekanik Tensile Test (Uji Tarik)	61
BAB IV	82
KESIMPULAN DAN SARAN	82
1. Kesimpulan	82
2. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Graphene and Graphene Oxide</i>	13
Gambar 2.2	<i>Resin Epoxy</i>	24
Gambar 2.3	<i>Metode Compression Molding</i>	27
Gambar 2.4	Sistematis FTIR.....	28
Gambar 2.5	Komponen SEM	31
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i>	44
Gambar 4.1 a.	Graphite dan b. Sintesis GO metode Hummer	13
Gambar 4.2 (a)	Spesimen Epoxy, (b) Epoxy, (c) Specimen komposit, (d) Komposit GO/Epoxy.....	24
Gambar 4.3	Hasil FTIR Graphite, GO, dan komposit GO/Epoxy 1%.....	27
Gambar 4.4 (a)	Morfologi permukaan SEM Epoxy dan (b) Grafik distribusi ukuran partikel Epoxy	28
Gambar 4.5 (a)	Morfologi permukaan SEM GO/Epoxy 1% dan (b) Grafik distribusi ukuran partikel GO/Epoxy 1%	31
Gambar 4.6 (a)	Ukuran Sampel Uji Tarik (b) Mesin Uji Tarik Shimadzu tipe 250 KN	44
Gambar 4.7	Hasil grafik modulus <i>young</i> dari uji tarik komposit GO/Epoxy 3%	13
Gambar 4.8 (a)	Ukuran Sampel Uji Bending (b) Mesin Uji bending Shimadzu tipe 250 KN	24

Gambar 4.9 Hasil grafik uji bending (a) GO/Epoxy 1%; (b) GO/Epoxy 2%; (c) GO/Epoxy 2%; (d) GO/Epoxy 0%	27
--	----

Gambar 4.10 Hasil grafik modulus young dari uji bending (a) GO/Epoxy 1%; (b) GO/Epoxy 2%; (c) GO/Epoxy 2%; (d) GO/Epoxy 0%	28
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Komposisi Sampel	41
Tabel 4.1	Hasil ukuran rata-rata distribusi partikel	13
Tabel 4.2	Hasil Rata-Rata Uji Kekuatan Tarik	24
Tabel 4.3	Hasil Rata-Rata Uji Lentur	27

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Grafena pertama kali ditemukan pada tahun 2004 dan dikenal sebagai material inovatif yang terdiri dari lembaran atom karbon setebal satu atom. Bahan ini memiliki sifat listrik, termal, dan mekanis yang luar biasa, sehingga menarik perhatian besar dalam dunia penelitian (R. Shah et al., 2015). Grafena merupakan salah satu material terkuat di dunia, dengan kekuatan tarik hingga 130 GPa dan modulus Young sebesar 1 TPa. Salah satu potensi terbesar dari Graphena adalah pengembangannya menjadi nanokomposit berbasis polimer, yang dapat memaksimalkan sifat unik dari material tersebut (Lee et al., 2008).

Namun, meskipun grafena memiliki sifat unggul, produksi dalam skala besar mampu menahan berbagai tantangan. Sebagai solusinya, grafena oksida (GO) dapat disintesis dari grafit dengan menggunakan metode hummer. Metode Hummers memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode Brodie dan Staudenmaier

dalam sintesis graphene oxide. Metode ini lebih praktis dan tingkat oksidasi yang dihasilkan juga serupa dengan metode lainnya, namun dengan proses yang lebih cepat (Dreyer et al., 2010).

Graphene Oxide memiliki gugus fungsional seperti hidroksil, karbonil, dan epoksida sehingga meningkatkan kompatibilitas dan homogenitas dengan berbagai jenis polimer (Mahkam et al., 2015). Salah satu aplikasi potensial GO adalah sebagai bahan pengisi (filler) dalam material komposit, yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih bahan dengan sifat berbeda. Dalam komposit, masing-masing bahan tetap mempertahankan karakteristiknya pada skala makroskopik (Sunardi et al., 2015).

Secara umum, material komposit terdiri dari dua komponen utama, yaitu matriks (bahan pengikat) dan filler (bahan pengisi). Matriks berfungsi untuk mendistribusikan beban dengan sifat mekanis yang cenderung ulet, sedangkan filler berperan untuk menahan beban mekanik yang diterima oleh komposit, dengan karakteristik yang lebih kaku dan tangguh (Thompson et al.,

1994). Matriks komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu matriks polimer (seperti resin epoksi, resin vinil, dan resin poliester), matriks logam (seperti aluminium, magnesium, dan titanium), serta matriks keramik (seperti silikon karbida dan aluminium oksida) (Ummah, 2019).

Matriks polimer, terutama resin epoksi, sering digunakan dalam pembuatan komposit karena sifatnya yang unggul seperti ketahanan kimia, penyusutan rendah, daya rekat tinggi, serta harga yang terjangkau. Selain itu, resin epoksi memiliki kemampuan membentuk struktur mikro yang sangat terikat silang saat terjadinya proses curing, yang menghasilkan modulus tinggi, kekuatan mekanik yang baik, serta kinerja optimal pada suhu tinggi. Oleh karena itu, resin epoksi sering digunakan dalam aplikasi dengan kinerja tinggi, termasuk dalam pembuatan sayap pesawat nirawak dan teknologi terbaru (Gugun Gundara et al., 2022).

Metode yang digunakan dalam pembuatan komposit Graphene Oxide/Epoxy disini yaitu

menggunakan metode molding. Metode ini memiliki keunggulan karena proses penerapannya yang relatif sederhana serta mampu menghasilkan produk dengan struktur yang kokoh. Hal ini disebabkan oleh tekanan dan suhu yang digunakan, yang efektif dalam menghilangkan kelebihan resin dan meminimalkan terbentuknya rongga udara (Nugroho & Wantogia, 2019). Namun, di balik keunggulannya, metode ini juga memiliki kelemahan, yaitu kebutuhan akan cetakan yang memerlukan bahan dan proses pemesinan yang cukup mahal. Untuk mengatasi hal tersebut, terdapat alternatif menggunakan cetakan dengan sistem *two plate mold*, karena desain cetakan ini lebih sederhana dan mudah untuk diaplikasikan (Mario & Pongky, 2023).

Dalam konteks komposit material, grafena oksida telah menarik perhatian sebagai salah satu nanofiller yang potensial. Hal ini disebabkan oleh sifat yang tahan api, biaya produksi yang rendah, serta kekuatan tarik dan modulus Young yang tinggi (Costa et al., n.d.). Penelitian menunjukkan

bahwa penambahan grafena oksida dalam jumlah kecil dapat secara signifikan meningkatkan kekuatan impak, modulus Young, dan kekerasan mikro pada komposit epoksi. Dengan sifat mekanik yang sangat baik, bobot yang ringan, serta kemudahan produksi, komposit epoksi/GO memiliki potensi besar untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang (Septiyanto et al., 2025).

Beberapa aplikasi utama komposit epoksi/GO mencakup sensor gas, perangkat elektronik, sistem penyimpanan energi, infrastruktur sipil, serta material struktural untuk industri dirgantara. Selain itu, material ini juga banyak digunakan sebagai pelindung interferensi elektromagnetik (EMI) (Kausar et al., 2016). Kombinasi sifat yang ringan, kuat, dan tahan lama menjadikan komposit epoksi/GO sebagai material yang ideal untuk berbagai kebutuhan teknologi modern dan industri (Costa et al.,).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh variasi konsentrasi Graphene Oxide (0%, 1%, 2%, dan 3%) terhadap kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit

epoxy. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengkaji hubungan antara perubahan sifat mekanik dengan struktur mikro permukaan yang diamati melalui uji SEM serta identifikasi gugus fungsi menggunakan FTIR, guna memahami peran Graphene Oxide dalam memodifikasi karakteristik komposit epoxy.

B. RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi Graphene Oxide terhadap kekuatan tarik komposit epoxy?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi Graphene Oxide terhadap kekuatan lentur komposit epoxy?

C. TUJUAN PENELITIAN

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi Graphene Oxide terhadap kekuatan tarik komposit epoxy?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi Graphene Oxide terhadap kekuatan lentur komposit epoxy?

D. BATASAN MASALAH

1. Bahan yang digunakan yaitu komposit *epoxy / graphene oxide (GO)* dengan variasi 0%, 1%, 2% dan 3% yang disintesis dari grafit.
2. Metode yang digunakan dalam melakukan fabrikasi komposit *epoxy / graphene oxide* adalah metode molding.
3. Karakterisasi sampel menggunakan FTIR, SEM dan uji mekanik, seperti uji *tensile test*, dan *flexural test*,.

E. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dilakukannya penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini dapat menambah pengetahuan tentang bagaimana penambahan Graphene Oxide memengaruhi kekuatan bahan komposit epoxy, sehingga bisa menjadi acuan untuk penelitian atau pengembangan material sejenis di masa depan.

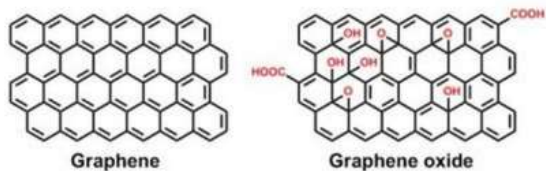
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. KAJIAN TEORI

1. Graphene Oxide

Graphene oxide (GO) adalah bahan karbon berlapis yang mengandung gugus oksigen seperti ($=O$, $-OH$, $-O-$, $-COOH$) pada kedua sisi lapisan dan tepi bidangnya yang terdapat pada gambar 2.1. Kelebihan material graphene termasuk ketebalan bahan yang sangat tipis, mobilitas elektron yang tinggi, dan modulus Young yang tinggi. GO dikenal sebagai material karbon dengan kinerja yang baik dan



biaya rendah (Zandiatashbar et al., 2014).

Gambar 2.1 *Graphene and Graphene Oxide*
(Falah & Mackenzie, 2020)

GO memiliki tiga karakteristik utama, yaitu kemampuan untuk terdispersi di udara dan beberapa pelarut organik, sifat serbaguna yang dapat disesuaikan dengan rasio hibridisasi atom karbon sp^2/sp^3 dan jenis gugus fungsi, serta kemudahan menghasilkan produk dari grafit dengan metode kimia yang hemat biaya. Karena sifat-sifatnya yang unik, GO dianggap sebagai bahan yang potensial untuk komposit (Y. Wu et al., 2015).

Graphene Oxide dapat diperoleh dengan cara yang ekonomis dan berlimpah melalui oksidasi grafit dalam jumlah besar (Thebora et al., 2020). Material ini dianggap sebagai platform yang serbaguna dan potensial untuk sintesis graphena serta material berbasis karbon 2D lainnya (Purwaningsih & Pramata, 2022). Salah satu keunggulan utama dari graphite oxide adalah kelarutannya yang sangat baik dalam air, berbeda dengan grafit, sehingga memungkinkan pembentukan lapisan graphena tunggal pada berbagai substrat. Hal ini menjadikannya ideal untuk aplikasi pada

perangkat seperti film konduktif transparan, layar fleksibel, dan transistor besar untuk elektronik skala luas (Kausar et al., 2016).

Gugus fungsi yang paling penting pada *graphene oxide* (GO) ditunjukkan oleh adanya vibrasi ikatan C=C yang mengindikasikan domain sp^2 (Andrijanto et al., 2016), ikatan C-O alkoxy (Salgado-delgado et al., 2023), serta vibrasi asimetris C-H dan pembengkokan C-OH yang menunjukkan adanya gugus hidroksil. Hal ini mengonfirmasi bahwa gugus epoksi, hidroksil, dan karboksil merupakan gugus fungsi utama dalam struktur GO (Edwards et al., 2022). Penggunaan GO dapat meningkatkan daya rekat antara matriks dan penguat. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan GO dalam matriks epoksi meningkatkan sifat mekanik secara signifikan, dengan kekuatan lentur meningkat 66% hanya dengan penambahan 0,3%wt GO (Pathak et al., 2016).

Penelitian terdahulu banyak yang melakukan untuk mengembangkan interkalasi

grafit oksida sebagai nanokomposit. Selain itu, graphite oxide juga digunakan dalam aplikasi lain, seperti sensor dan katalis. Bahan ini bahkan dimanfaatkan sebagai adsorben karena strukturnya berlapis dan adanya berbagai cluster fungsionalnya. Dari grafit alami, grafit oksida dengan tingkat oksidasi tinggi dan kristalinitas tinggi telah berhasil disintesis (Sujatmiko, 2020).

Graphene oxide secara signifikan dapat melindungi permukaan polimer di bawahnya dari erosi atom oksigen karena membentuk penghalang energi tinggi terhadap atom oksigen yang berdifusi dari lapisan atas grafena ke permukaan polimer reaktif di bawahnya. Hal ini menunjukkan bahwa graphena memiliki kemampuan fungsional sebagai material yang efektif untuk menghambat korosi. Dengan demikian, lapisan pelapis resin epoksi berbasis nanosheet graphena dapat berfungsi sebagai agen anti korosi yang baik (V. Shah et al., 2022).

Graphene oxide dapat meningkatkan sifat mekanik, ketahanan panas, konduktivitas

termal, konduktivitas listrik, sifat dielektrik, ketahanan terhadap api, dan ketahanan korosi pada resin epoksi. GO juga meningkatkan berbagai sifat lainnya dari bahan tersebut. GO memiliki potensi aplikasi yang luas, seperti dalam bahan pengemas, perangkat elektronik, lapisan anti-korosi, aplikasi di industri (Long et al., 2019).

2. Komposit

Komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih bahan, sehingga menghasilkan material dengan sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari bahan penyusunnya (Setiawan & Ardianto, 2018). Diharapkan, penggabungan bahan-bahan dengan sifat yang berbeda ini akan menghasilkan material yang memiliki kualitas lebih tinggi dibandingkan material sebelumnya (R. Jones & Chiu, 1999) . Matriks dan penguat membentuk elemen utama dari komposit. Phoenix et al., (1988) menjelaskan bahwa komposit adalah sistem material yang terdiri dari dua atau lebih komponen berbeda yang

tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Komposit memiliki keunggulan seperti ringan, kuat, tahan korosi, dan bahan bakunya tersedia melimpah (Hestiawan & Fauzi, 2014) di sisi lain, komposit rentan terhadap kerusakan akibat benturan (Jefferson Andrew et al., 2015) Karena sifat komposit yang tidak seragam dan distribusi tegangan yang tidak merata saat terkena beban sementara, proses kerusakan pada komposit menjadi sangat rumit (Andrew et al., 2019).

Komposit terdiri dari dua elemen utama, yaitu matriks sebagai pengikat dan serat sebagai pengisi. Serat berperan sebagai elemen utama dalam komposit, sementara matriks yang berupa polimer mudah dibentuk berfungsi sebagai pengikat. Oleh karena itu, pemilihan jenis serat yang akan digunakan sangat penting untuk menentukan kekuatan dan sifat mekanik lain dari komposit (Permana, 2021).

Sifat fisik dan mekanik komposit sangat bergantung pada jenis matriks polimer,

penguat serat, serta interaksi antar muka di antara keduanya (A. R. Jones et al., 2014). Antarmuka serat dan matriks memiliki peran penting dalam mentransfer tegangan dari matriks yang lebih lemah ke serat yang lebih kuat (Johnston et al., 2017). Oleh karena itu, performa komposit sangat dipengaruhi oleh kekuatan adhesi antara serat dan matriks tersebut (Papageorgiou et al., 2017).

a. Matriks

Matriks dalam komposit berfungsi untuk mendistribusikan beban dan biasanya memiliki sifat mekanis yang ulet. Sebaliknya, bahan penguat dalam komposit bertugas menahan beban mekanik yang diterima oleh material, dengan sifat yang cenderung kaku dan tangguh. Kinerja komposit serat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis serat, bentuk, dan panjang serat (Gugun Gundara et al., 2022). Matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, atau keramik. Fungsi utama matriks adalah mengikat serat menjadi satu

kesatuan dalam struktur komposit (Gibson, 2016).

Matriks yang digunakan dalam komposit harus memiliki kompatibilitas dengan serat, memperkuat sifat mekaniknya, dan mudah diolah. Sifat material komposit sangat dipengaruhi oleh matriks yang mengikat serat, karena formulasi resin yang dipilih akan menentukan siklus polimerisasi (curing) (Khaeru et al., 2017). Saat ini, material komposit matriks polimer yang diperkuat serat ringan banyak digunakan dalam aplikasi kedirgantaraan berperforma tinggi karena kekuatan spesifiknya yang tinggi, kekakuan, ketahanan terhadap korosi, kemampuan perbaikan, dan ketahanan terhadap kelelahan (Andrew et al., 2019). Matriks dalam komposit memiliki peran penting dalam menjaga integritas dan performa material. Selain melindungi dan menstabilkan serat, matriks juga bertanggung jawab untuk mentransfer beban antar serat sehingga distribusi beban

menjadi merata dan mengurangi risiko kerusakan (Nash et al., 2015).

b. Filler / Reinforcement

Filler / Reinforcement adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya dalam bentuk serat atau serbuk. Menurut Gibson, matriks dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, atau keramik (Falaah et al., 2022). *Filler / reinforcement* merupakan bahan yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau partikel (Nurhidayat et al., 2022).

Filler dalam matriks memiliki peran penting dalam meningkatkan kekuatan material, terutama dalam hal modulus Young, yang merupakan kemampuan material untuk menahan perubahan bentuk saat diberikan gaya. Oleh karena itu, filler sangat berkontribusi pada peningkatan sifat mekanik polimer (Nurhidayat et al., 2022) . Reinforcement ini dimasukkan ke dalam matriks untuk meningkatkan sifat material

secara keseluruhan (Dur, 2017). Filler / Reinforcement umumnya memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi, serta bersifat ortotropik, yang berarti memiliki sifat yang berbeda di berbagai arah. Reinforcement merupakan elemen utama dalam komposit yang menentukan sifat mekaniknya (Asim et al., 2018). Penggunaan reinforcement serat dalam matriks dapat membawa kemajuan signifikan dalam perilaku mekanis material, dengan keuntungan tambahan seperti ringan, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, ketahanan cuaca yang sangat baik, dan stabilitas dimensi yang meningkat (S et al., 2017). Reinforcement berkontribusi pada peningkatan sifat mekanis, tribologis, termal, dan penyerapan air dari komposit yang dihasilkan (S et al., 2017).

3. Resin Epoxy

Epoxy adalah material matriks atau resin termoset yang memiliki setidaknya satu atau lebih gugus epoksida dalam molekulnya (Saba et al., 2016). Resin epoxy telah menjadi material matriks

dominan yang digunakan dalam pengembangan material komposit canggih karena sifat-sifatnya yang sangat baik, seperti kekuatan tinggi, adhesi tinggi pada substrat, isolasi listrik yang baik, toksisitas rendah, penyusutan rendah, biaya rendah, dan kemampuan tinggi untuk berbagai proses dan aplikasi. Resin epoxy dapat digunakan pada suhu hingga 175°C dan kompatibel dengan semua penguat umum (Bello et al., 2015).



Gambar 2.2 Resin Epoxy

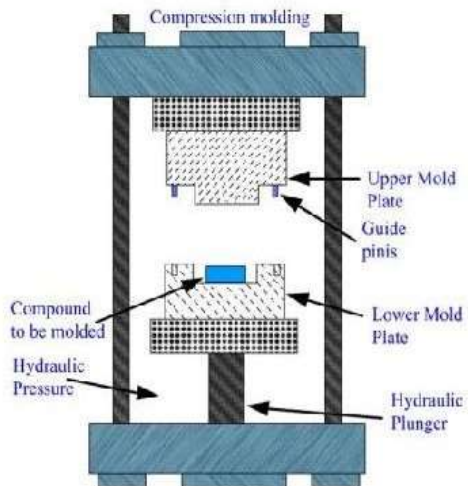
Resin epoxy pada gambar 2.2 menawarkan ketahanan kimia dan korosi yang tinggi, sifat termal dan mekanik yang sangat baik, adhesi yang kuat ke berbagai substrat,

penyusutan minimal saat pengawetan, karakteristik isolasi listrik yang luar biasa, dan kemampuan untuk diproses dalam berbagai kondisi (Aksara et al., 2024). Di antara resin termoseting, epoxy adalah yang paling signifikan untuk banyak aplikasi teknik karena kekakuan dan kekuatan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi dan organisme mikroba, sifat dielektrik yang sangat baik, ketahanan kimia, penyusutan minimal selama pengawetan, serta karakteristik termal yang menguntungkan (Rafique et al., 2016).

Resin epoxy telah banyak digunakan dalam teknologi rekayasa kriogenik sebagai bahan impregnasi, perekat, atau matriks untuk komposit yang diperkuat serat. Mereka telah menunjukkan kemajuan cepat dalam teknologi kabel superkonduktor, pesawat ruang angkasa, dan proyek rekayasa kriogenik skala besar seperti International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) (Rafique et al., 2016)

4. Metode Compression Molding

Compression moulding adalah salah satu teknik pembuatan komposit yang memiliki beragam variasi. Metode ini menggunakan cetakan tertutup dan bekerja berdasarkan prinsip pemberian tekanan tinggi pada bahan yang dimasukkan ke dalam cetakan. Proses ini melibatkan dua cetakan yang biasanya terbuat dari bahan logam, digunakan sebagai media fabrikasi untuk menghasilkan komposit.



Gambar2.3 Alat Compression moulding (Fauzi, 2022).

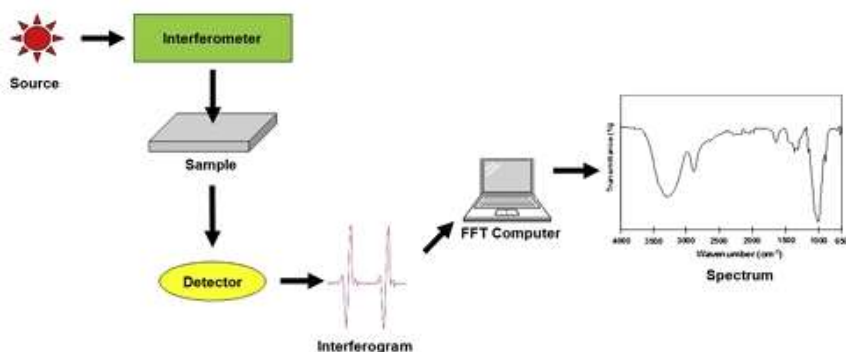
Secara umum, mesin compression moulding yang terdapat pada gambar 2.3 terdiri dari beberapa komponen penting, seperti Upper Mold Plate (pelat cetakan atas) dan Lower Mold Plate (pelat cetakan bawah) yang berfungsi membentuk bahan cetakan sesuai desain. Guide Pins membantu menjaga keselarasan antara pelat atas dan bawah selama proses penekanan. Compound to be molded (bahan yang akan dicetak) diletakkan di antara kedua pelat cetakan. Selanjutnya, pendorong hidrolik akan mendorong pelat atas dengan tekanan yang dihasilkan oleh tekanan hidrolik, sehingga bahan tercetak dengan baik dan merata. Seluruh sistem ini bekerja untuk membentuk produk akhir dengan presisi tinggi (Kutz, 2023).

Selain digunakan untuk memproduksi komposit, teknik compression moulding juga dapat dimanfaatkan untuk mencetak material plastik (compound plastic). Prinsip kerjanya pada material plastik serupa dengan proses yang diterapkan pada produk komposit. Bahan yang akan dicetak di

dalam cetakan sebelum proses kompresi dimulai (Basyarahil, 2017).

5. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

FTIR merupakan salah satu alat yang paling efektif untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam membran serta menganalisis kemungkinan ikatan molekul antar senyawa kimia dalam membrane (Mohamed et al., 2017).



Gambar 2.4 Sistematis FTIR (Mohamed et al., 2017)

Proses FTIR pada gambar 2.4 dimulai dari sumber cahaya inframerah yang menghasilkan sinyal IR dan diarahkan ke interferometer, yaitu alat yang membagi dan menggabungkan sinyal cahaya untuk

menghasilkan pola interferensi. Sinyal ini kemudian diputar ke sampel, dimana sebagian sinyal akan diserap oleh molekul dalam sampel sesuai dengan frekuensi getaran ikatannya. Cahaya yang tersisa kemudian ditangkap oleh detektor, menghasilkan data mentah berupa interferogram, yaitu sinyal terhadap waktu atau jarak. Interferogram data ini kemudian diproses menggunakan komputer dengan metode FFT (Fast Fourier Transform) untuk mereduksi menjadi spektrum yang menampilkan intensitas serapan terhadap bilangan gelombang (bilangan gelombang). Dari spektrum ini, dapat diketahui jenis gugus fungsi atau senyawa yang ada dalam sampel berdasarkan posisi dan bentuk puncak serapan (Mohamed et al., 2017).

Kelebihan FTIR mencakup efisiensi waktu, aplikasi luas pada berbagai material (Zaera, 2014), dan kemampuannya untuk mendeteksi perubahan kimia pada permukaan material, termasuk dalam proses modifikasi membrane (Mudunkotuwa et al., 2014)

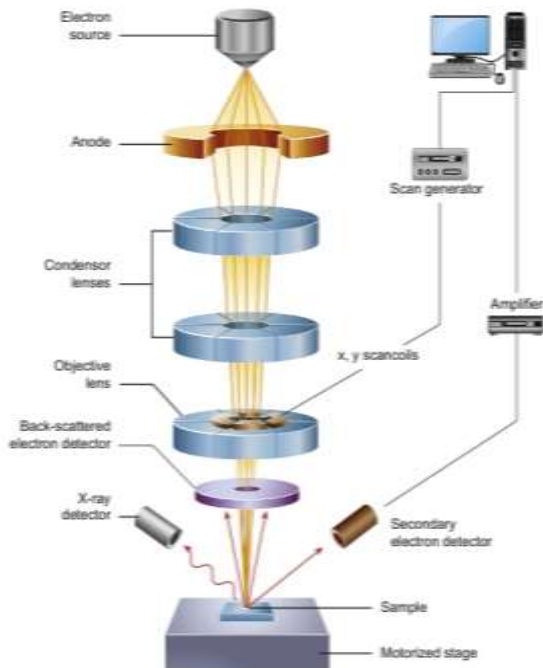
FTIR menawarkan tiga keunggulan utama ,dimana semua panjang gelombang dikumpulkan bersamaan, sehingga rasio sinyal ke noise lebih tinggi atau waktu pemindaian lebih singkat untuk resolusi tertentu, tidak ada celah yang membatasi jumlah cahaya, throughput hanya tergantung pada diameter berkas cahaya, akurasi pengukuran panjang gelombang lebih tinggi dengan menggunakan pola interferensi laser HeNe, yang memungkinkan pengukuran jarak dalam interferometer dengan presisi tinggi (Zaera, 2014).

6. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

SEM merupakan teknik utama yang dipilih untuk menganalisis permukaan spesimen, karena kemampuannya yang unggul dalam menghasilkan detail permukaan yang akurat (Inkson, 2016). SEM adalah alat yang digunakan untuk melakukan analisis kuantitatif dan kualitatif elemen berdasarkan spektral radiasi sinar-X karakteristik yang dipancarkan oleh atom sampel ketika diradiasi dengan berkas

elektron yang difokuskan dari SEM. SEM dapat menyediakan berbagai teknik pencitraan dengan resolusi yang berkisar antara 1 pm hingga 1 nm, tergantung pada jenis mikroskop dan sinyal yang digunakan untuk membentuk gambar (K D Vernon-Parry, 2000). SEM telah banyak digunakan untuk analisis kuantitatif topografi permukaan. Aplikasinya yang umum meliputi pengukuran ukuran fitur mikrostruktur dan distribusi/kepadatan, kuantifikasi morfologi 3D objek, pengukuran partikel (ukuran, jumlah, dan bentuk), pemeriksaan porositas (ukuran, distribusi, dan tortuositas), analisis retakan (ukuran, bentuk, panjang, dan interkoneksi), serta kuantifikasi area kegagalan seperti permukaan patahan dan keausan tribologis (Inkson, 2016). Dalam pengukuran SEM setiap sampel dianalisis menggunakan analisis area. Sinar elektron yang dihasilkan dari area gun dialihkan untuk mengenai sampel. Aliran sinar elektron ini kemudian difokuskan menggunakan optik elektron columb sebelum akhirnya mengenai sampel. Setelah sinar elektron

mengenai sampel, terjadi berbagai interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi-interaksi pada gambar 2.5 kemudian terdeteksi dan diubah menjadi gambar oleh analisis SEM dan menjadi grafik oleh analisis EDX (Yurugi et al., 2001).



Gambar 2.5 Komponen SEM (Salman Ali, 2020)

SEM memiliki berbagai keunggulan utama, di antaranya resolusi tinggi yang memungkinkan analisis mendetail pada skala

mikro hingga nano, serta kemampuan menghasilkan gambar 3D melalui tomografi. Selain itu, SEM dapat mengkarakterisasi struktur dan komposisi kimia material dengan akurat. Fleksibilitasnya memungkinkan penggunaannya dalam berbagai kondisi eksperimen, seperti lingkungan cair atau gas, serta memungkinkan penerapan medan listrik atau mekanik pada sampel. Teknik ini juga bersifat nondestruktif, ideal untuk menganalisis material tanpa merusak sampel (Inkson, 2016).

7. Pengujian Mekanik Komposit

a) Tensile Test

Uji tarik adalah salah satu pengujian mekanik stress-strain yang bertujuan untuk menentukan kekuatan material terhadap gaya tarik. Dalam pengujian ini, material diuji dengan cara ditarik hingga putus. Uji tarik merupakan metode pengujian bahan yang paling mendasar, sederhana, dan murah, serta telah distandarisasi secara global. Dengan menarik material, kita dapat memahami bagaimana bahan tersebut

bereaksi terhadap gaya tarik dan sejauh mana material tersebut mengalami perpanjangan. Uji tarik memberikan informasi tentang respons material terhadap gaya tarik dan sejauh mana material dapat bertahan hingga titik putus (Muhammad & Putra, 2018).

Uji tarik komposit umumnya dilakukan dengan metode tegangan dasar atau flat-sandwich sesuai standar seperti ISO 527-4, ISO 527-5, ASTM D638, ASTM D3039, dan ASTM C297. Hasilnya berupa diagram tegangan-regangan untuk menentukan modulus tarik 2.3. Pengujian ini paling sering diterapkan pada laminasi komposit polos dan bundel serat yang diresapi resin dengan spesimen tebal dan bagian inti sandwich (Saba et al., 2018).

Uji tarik dilakukan sesuai standar ASTM D3039, di mana spesimen dijepit dan ditarik dengan kecepatan konstan hingga putus. Mesin secara otomatis mengukur tegangan yang ditunjukkan persamaan 2.1

dan persamaan regangan 2.2, lalu menghasilkan grafik tegangan-regangan untuk menentukan kekuatan tarik maksimum material (Nauval et al., 2023). Sifat tarik dapat diprediksi menggunakan kurva tegangan-regangan yang dihasilkan dari uji tarik sebagai berikut:

- **Stress/ Tegangan (σ):**

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

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

- **Strain/Regangan(ε):**

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

Dimana, ΔL = perubahan panjang (mm); dan L = panjang awal (mm).

- **Modulus Elastisitas (E)**

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

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

b) *Flexural Test* (Uji Lentur)

Material komposit memiliki sifat tekan yang lebih baik dibandingkan dengan sifat tariknya. Dalam uji tekan lentur pada spesimen, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah mengalami tarikan. Akibatnya, kegagalan yang terjadi selama uji lentur biasanya berupa patahan pada bagian bawah spesimen karena tidak mampu menahan tegangan tarik (Nurhidayat et al., 2022).

Pengujian lentur dilakukan sesuai dengan standar seperti ISO 14125, ISO 178, ASTM D790, dan ASTM D6272. Alat uji ini dirancang untuk memastikan bahwa sifat material sesuai dalam berbagai kondisi, guna menentukan kecocokan material untuk aplikasi tertentu. Ukuran spesimen yang paling umum digunakan adalah standar ASTM D790, yaitu sampel berbentuk persegi panjang berukuran 160 mm x 20 mm x 8 mm (Saba et al., 2018).

Pengujian kekuatan lentur/bending bertujuan untuk mengukur ketahanan komposit terhadap beban yang diterapkan pada titik lentur. Selain itu, pengujian ini juga digunakan untuk menentukan keelastisitasan material. Pada pengujian ini, sampel uji diberi beban dengan arah tegak lurus terhadap arah penguatan serat (Rafique et al., 2016).

Rumus-rumus yang digunakan dalam uji lentur untuk menghitung sifat mekanik suatu material adalah tegangan pada persamaan 2.4 regangan 2.5 dan modulus elastisitas 2.6 :

- **Tegangan Flexural (ϵ_f):**

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

dimana, σ_f adalah tegangan flexural (N);
F= gaya tarikan maksimum (N); L= jarak antara dua penyangga (mm); b= lebar spesimen (mm); dan h= tebal spesimen (mm).

- **Regangan Flexural (ε)**

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

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

- **Modulus Elastisitas Flexural (E_f)**

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

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

B. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan Loeffen et al., (2021) menunjukkan bahwa dengan penambahan 0,3% wt GO ditemukan sebagai jumlah optimal karena meningkatkan kekuatan tarik, modulus tarik, kekuatan lentur, dan modulus lentur masing-masing sebesar 23%, 35%, 17%, dan 31% dibandingkan dengan bio-epoksi murni. Selain itu, penambahan 0,6% wt GO menghasilkan komposit dengan stabilitas

termal tertinggi dan peningkatan suhu transisi gelas (T_g) sebesar $3,5^\circ\text{C}$ dibandingkan bio-epoksi tanpa GO (0% wt GO).

Penelitian yang dilakukan Abdullah & Ansari, (2015) mengkaji pengaruh penambahan graphene oxide (GO) 1,5–6% pada resin epoksi. Komposit disiapkan dengan metode pengecoran pada suhu ruang. Hasil uji mekanik menunjukkan peningkatan modulus Young, kekuatan tarik, dan kekerasan, namun menurunkan kekuatan benturan akibat meningkatnya kerapuhan. Analisis SEM dan XRD menunjukkan GO mampu menghambat penyebaran retakan. Komposit GO/epoksi memiliki potensi aplikasi pada komponen otomotif, pesawat, dan perangkat elektronik.

Penelitian yang dilakukan oleh Liu et al., (2012) menunjukkan bahwa penambahan graphene oxide (GO) sebanyak 1% dapat meningkatkan kekuatan lentur sebesar 14,67% dan modulus lentur sebesar 10,11% dibandingkan dengan epoksi tanpa tambahan

GO. Selain itu, kekuatan impak juga meningkat sekitar 45%, yang berarti material menjadi lebih tahan terhadap benturan. Namun, jika GO ditambahkan terlalu banyak (misalnya 1,5%), kekuatan material justru menurun karena terjadi aglomirasi GO dalam matriks sehingga GO menggumpal dan menyulitkan pencampuran yang merata. Hasil ini menunjukkan bahwa GO bisa memperkuat sifat mekanik epoksi, asal ditambahkan dalam jumlah yang tepat.

Penelitian yang dilakukan oleh H. Wu et al., (2021) menunjukkan bahwa penambahan 1% wt graphene oxide (GO) yang telah dimodifikasi dengan epoxy berbasis cardanol (GODN) mampu meningkatkan kekuatan adhesi komposit epoxy. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa komposit GODN1%/EP memiliki kekuatan adhesi tertinggi yaitu sebesar 10,8 MPa, dibandingkan dengan epoxy murni (7,25 MPa) dan GO1%/EP (8,52 MPa). Hal ini terjadi karena interaksi antarmuka antara GO dan resin epoxy menjadi lebih kuat setelah dimodifikasi dengan bahan bio-epoxy sehingga membantu menahan gaya tarik dan

mencegah terjadinya pengelupasan lapisan.

C. KERANGKA BERPIKIR

Dalam penelitian ini, bahan utama yang digunakan terdiri dari *resin epoxy dan graphene oxide (GO)*. Resin epoxy dipilih karena memiliki sifat mekanik dan termal yang unggul, terutama bila dibandingkan dengan resin poliester. Penggunaan resin epoxy dalam komposit sering kali menghasilkan peningkatan signifikan pada sifat mekanik material. Namun, untuk memaksimalkan potensi resin epoxy diperlukan penambahan *graphene oxide*. Penambahan *GO* berfungsi untuk meningkatkan ikatan antarmuka antara matriks epoxy, sehingga dapat menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang lebih optimal.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian eksperimen ini dilakukan di Gedung Karakterisasi Material Maju no. 224, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Serpong, Tanggung Selatan pada bulan September 2024 s/d selesai.

B. VARIABEL PENELITIAN

Komposisi perbandingan antara *graphene oxide*, dan *resin epoxy* tercantum pada tabel 3.1 dengan perbandingan antara resin dan hardener.

Tabel 3.1 Komposisi Sampel

Kode Sampel	Graphene Oxide	Resin Epoxy	Hardener
1	0%	70%	30%

2	1%	70%	30%
3	2%	70%	30%
4	3%	70%	30%

C. ALAT DAN BAHAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Neraca Analitik

Alat yang digunakan untuk mengukur massa bahan yang akan digunakan.

b. Cetakan Molding

Alat yang digunakan untuk melakukan proses pencetakan komposit.

c. Gelas Kimia

Wadah yang digunakan untuk mengukur volume larutan yang digunakan.

d. Oven UN55 Memmert

Alat yang digunakan untuk mengeringkan bahan yang telah di fabrikasi.

e. Ultrasonic homogenizer

Alat yang digunakan untuk mencampur,
menghomogenkan larutan GO

f. Sarung Tangan

Alat yang digunakan untuk melindungi tangan
dari bahan yang digunakan.

g. Mesin Uji Tarik *Shimadzu* tipe 250 KN

Alat yang digunakan untuk menguji kekuatan
tarik komposit

h. Mesin Uji Lentur *Shimadzu* tipe 250 KN

Alat yang digunakan untuk menguji kekuatan
tarik komposit

i. FTIR (Fourier Transform Infra-Red)

Alat yang digunakan untuk menguji gugus
fungsi pada sampel

j. SEM (Scanning Electron Microscope)

Alat yang digunakan untuk mengamati
morfologi permukaan sampel

Bahan yang digunakan dalam
penelitian ini adalah:

a. *Graphite*

b. *Epoxy resin Bisphenol A dan*

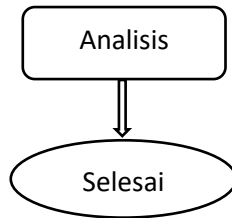
c. *Epoxy Hardener EPH 555*

d. *PVC mesh netting 6mm x 6mm*

- e. H_2SO_4
- f. H_2SO_2
- g. HCL
- h. *Aquadest* menetralkan sintesis GO
- i. Silicon Rubber rtv 52 cetakan untuk komposit

C. PROSEDUR PENELITIAN





Gambar 3.1 *Alur penelitian*

1. Sintesis GO

Sintesis GO dibuat dengan oksidasi bubuk grafit mengikuti (Méndez-Lozano et al., 2022) metode Hummer. Metode Hummers adalah salah satu metode paling umum yang digunakan untuk mensintesis Graphene Oxide (GO) dari grafit. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Hummers dan Offeman (Dreyer et al., 2010). Proses ini melibatkan oksidasi grafit menggunakan agen pengoksidasi kuat, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. 10 gr grafit ditambahkan kedalam 230 ml asam H_2SO_4 sambil distirer dalam penangas es.

- b. 30 gram KMnO_4 secara perlahan selama 2 jam dengan menjaga suhu suspensi lebih rendah dari 10°C .
- c. Larutan dipindahkan ke penangas minyak 40°C dan diaduk secara kuat selama 2 jam.
- d. Kemudian ditambahkan 460 ml di water , lalu larutan diaduk kembali selama 15 menit pada suhu 98°C .
- e. Tambahkan 1400 mL DI water dan diikuti dengan penambahan perlahan 10 mL H_2O_2 , sehingga nampak perubahan warna larutan dari coklat gelap sampai kuning.
- f. Setelah proses kalsinasi, GO dihaluskan menggunakan mortar dan alu, lalu disaring dengan ayakan 200 mesh.

2. Preparasi Komposit GO

Fabrikasi komposit GO/EP dilakukan menggunakan metode *molding* yang mengacu pada prosedur (Tang et al., 2014) dan sedikit dimodifikasi dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Serbuk GO ditimbang sesuai variasi GO A (0%), B (1%), C (2%), D (3%).

- b. Serbuk GO yang telah ditimbang dilarutkan dalam 30 mL acetone, dan didispersi menggunakan ultrasonic homogenizer selama 60 menit untuk memastikan dispersi seragam.
- c. Resin epoxy ditambahkan ke larutan GO/acetone, kemudian diaduk mekanis selama 15 menit.
- d. Hardener ditambahkan ke campuran epoxy/GO dan diaduk mekanis selama 10 menit.
- e. Campuran dituangkan perlahan ke dalam cetakan silikon dengan ukuran spesimen yang sudah ditentukan. Cetakan silikon dibiarkan mengeras selama 24 jam pada suhu kamar untuk meningkatkan kualitas material.

3. Karakterisasi dan Pengujian Mekanik

Pengujian *graphene oxide/epoxy* meliputi karakterisasi menggunakan FTIR, SEM, dan pengujian mekanik, seperti tensile test, flexural (uji lentur), dan uji tekan.

1. Uji Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform*

Infra-red)

Pengujian FTIR digunakan untuk mengetahui kandungan gugus yang terbentuk di permukaan komposit GO-epoxy. Pengujian ini memanfaatkan sinar inframerah untuk mendeteksi transisi vibrasi suatu molekul dalam rentang panjang gelombang 4000 cm^{-1} - 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.

2. Uji Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengujian SEM berfungsi untuk mengetahui morfologi permukaan bahan komposit. 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. Untuk mengetahui ukuran partikel komposit serta membuat histogram ukuran partikel sampel menggunakan software ImageJ.

3. Uji *Tensile Test* (Uji Tarik)

Spesimen uji dipersiapkan sesuai standart ASTM D3039, Spesimen uji dipersiapkan sesuai standar ASTM D3039, dengan ukuran 250 mm x 25 mm x 3 mm. Mula-mula spesimen ditempatkan di mesin uji tensile dengan penjepit di kedua ujungnya. Kemudian, mesin memberikan gaya tarik dengan kecepatan konstan hingga spesimen mulai renggang dan akhirnya putus. Setelah pengujian, mesin merekam grafik tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*).

4. Flexural Test (Uji Bending)

Pengujian lentur dilakukan berdasarkan standar ASTM D790 untuk

menentukan sifat mekanik komposit yang digunakan dalam penelitian ini. Spesimen uji dipersiapkan sesuai standar ASTM D790, dengan ukuran 130 mm x 3 mm x 3 mm. 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 kekuatan bending dan modulus elastisitas.

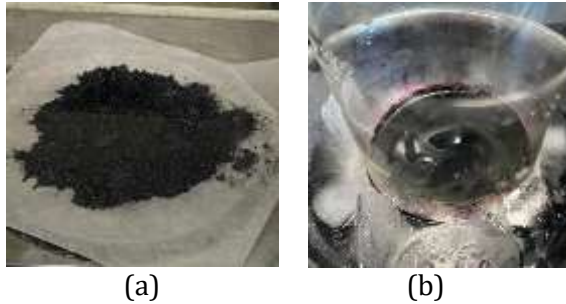
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Sintesis

1. Sintesis Graphene Oxide

Proses sintesis graphene oxide (GO) pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode Hummers yang telah dimodifikasi oleh (Méndez-Lozano et al., 2022), menggunakan serbuk grafit pada gambar 4.1 (a) sebagai prekursor utama. Proses ini dilakukan dengan mencampurkan grafit ke dalam asam sulfat pekat (H_2SO_4) pada gambar 4.1 (b),



Gambar 4.1 a. Graphite dan b. Graphite + H_2SO_4

kemudian ditambahkan kalium permanganat (KMnO_4) pada gambar 4.2 (c) sebagai agen pengoksidasi. Karena KMnO_4 sangat sensitif terhadap suhu tinggi, maka penambahannya dilakukan secara perlahan pada suhu rendah, yaitu kurang dari 5°C . Setelah semua bahan tercampur, suhu campuran terbentuk hingga 45°C untuk mempercepat proses oksidasi.



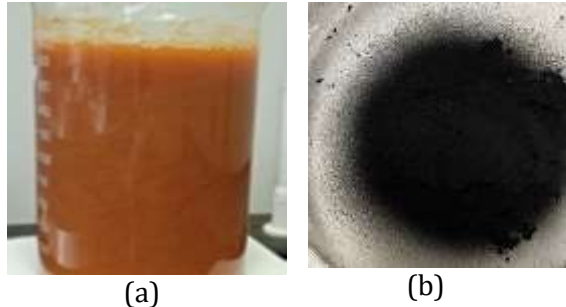
(a)



(b)

Gambar 4.2 a. Graphite + H_2SO_4 dipindah kepenangas minyak b. Graphite + H_2SO_4 + KMnO_4

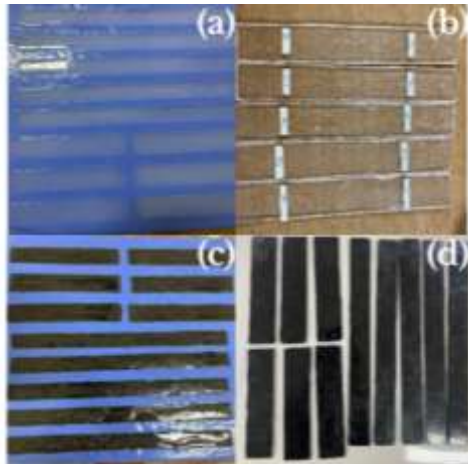
Pada tahap akhir, ditambahkan hidrogen peroksida (H_2O_2) pada gambar 4.3 (a), yang menyebabkan perubahan warna larutan dari coklat menjadi kuning cerah. Perubahan warna larutan dari coklat menjadi kuning cerah, yang menunjukkan tingkat oksidasi yang tinggi dan menunjukkan keberhasilan dalam pembentukan senyawa graphene oxide (GO). Hasil sintesis GO dapat dilihat pada gambar 4.3 (b).



Gambar 4.3 a. Graphite + H_2SO_4 + KMnO_4 + H_2O_2 dan
b. Serbuk Graphene Oxide

2. Hasil Fabrikasi Komposit EP-GO

Fabrikasi komposit EP-GO dilakukan dengan perbandingan fraksi volume 40% epoxy dan 60% graphene oxide. Pembuatan cetakan molding menggunakan silicon rubber rtv 52 yang sudah ditentukan ukuran cetakan sesuai standar pengujian pada gambar 4.6 (a) yang akan dilakukan. Kemudian bahan komposit yang sudah siap dituangkan kedalam cetakan silikon yang sudah jadi. Setelah proses fabrikasi selesai ditunjukkan pada gambar 4.6 (b) (d) dilakukan pengujian mekanik yaitu uji tarik dan uji bending pada masing-masing spesimen. Spesimen uji tarik dengan ukuran 250 mm x 25 mm x 3 mm dan uji bending dengan ukuran 130 mm x 3 mm x 3 mm.



Gambar 4.5 (a) Spesimen Epoxy, (b) Epoxy, (c) Specimen komposit, (d) Komposit GO/Epoxy

B. Karakterisasi dan Pengujian Mekanik

1. Karakterisasi FTIR (Fourier Transform Infra-Red)

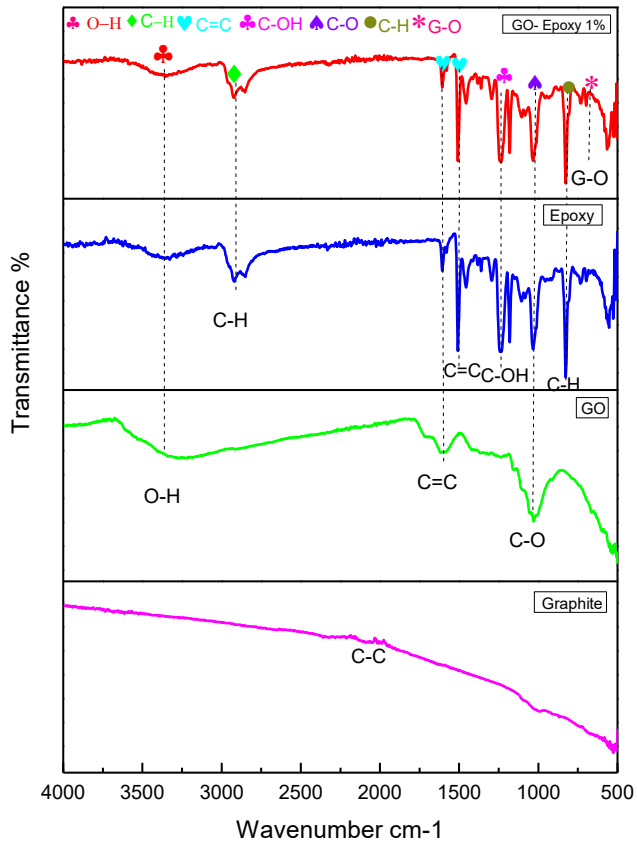
Karakterisasi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) bertujuan untuk mengenali jenis ikatan dan gugus fungsi yang terdapat dalam suatu material. Data hasil uji FTIR ditampilkan dalam bentuk grafik, di mana pola puncak menggambarkan interaksi antar molekul dalam sampel yang menyerap energi dari gelombang inframerah (Sedyadi & Huda, 2016).

Pada spektrum bahan FTIR Grafit (grafit murni) dilihat pada gambar 4.7 adanya puncak lemah pada gugus fungsi serapan C=C aromatik dipanjang gelombang 2250 cm^{-1} - 2500 cm^{-1} (Polvillo et al., 2009) yang secara alami mencerminkan struktur dasar grafit yang terdiri atas jaringan heksagonal aromatik berbasis karbon sp^2 (Shank et al., 2010). Hal ini mengindikasikan bahwa grafit memiliki struktur bulk yang secara kimia inert dan tidak mengandung gugus fungsi aktif lainnya (Hong et al., 2023).

Setelah proses oksidasi, Grafit yang tereduksi berubah menjadi Graphene Oxide (GO) yang menunjukkan pada gambar 4.7 perubahan signifikan dalam spektrum FTIR terlihat pita serapan lebarnya sekitar 3400 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya getaran peregangan dari gugus hidroksil ($-\text{OH}$) (Hong et al., 2023). Hal tersebut merepresentasikan bahwa GO bersifat hidrofilik dan mudah reaktif dibandingkan dengan *graphite* (Maity et al., 2008). Puncak pada panjang gelombang ~ 1600

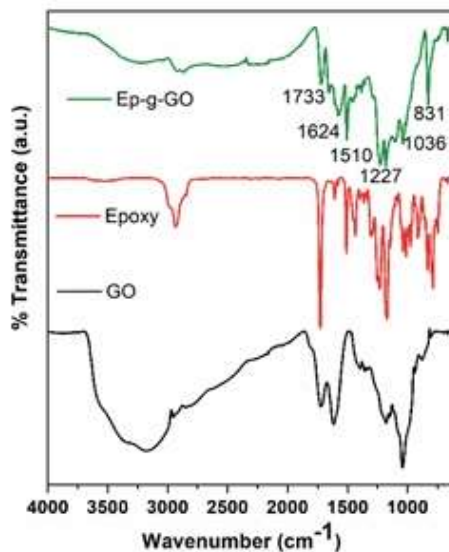
cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus C=C aromatik yang disebabkan oleh unsur dari graphite murni. Sementara itu, puncak pada $\sim 1146 \text{ cm}^{-1}$ masing-masing menunjukkan adanya vibrasi dari gugus C-O (epoksi) dari sampel GO (Andrijanto et al., 2016). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa graphene oxide (GO) memiliki kemampuan untuk larut atau tersebar di air, hal ini disebabkan oleh adanya gugus hidroksil (OH) pada permukaannya. Keberadaan gugus ini membuat GO menjadi lebih mudah bercampur dengan bahan lain. Oleh karena itu, sifat ini membuat GO berpotensi digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pembuatan komposit material, karena penyebaran yang merata sangat penting

untuk meningkatkan kinerja dan kekuatan dari material yang dihasilkan.



Gambar 4.7 Hasil FTIR Graphite, GO, Epoxy dan komposit GO/Epoxy 1%.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Dreyer et al., 2010;Katti et al., 2021) pada gambar 4.8 terdapat puncak-puncak penting yang menunjukkan keberadaan GO yaitu pada panjang gelombang sekitar 3200 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus hidroksil ($-\text{OH}$), sekitar $1720\text{--}1730\text{ cm}^{-1}$ untuk gugus karbonil ($\text{C}=\text{O}$), dan sekitar 1050 cm^{-1} yang menunjukkan gugus epoksi ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$).



Gambar 4.8 Hasil FTIR (Katti et al., 2021)

Pada spektrum FTIR berupa sampel Epoxy dan GO/Epoxy 1% memperlihatkan pola serupa. Pada pita serapan ~ 3400 muncul gugus fungsi hidroksil (O-H) *stretching* yang mengindikasikan bahwa komposit GO/Epoxy mudah teradsorpsi (Sugiman et al., 2015). Adapun gugus-gugus fungsi epoxy terdapat puncak penyerapan yang lebar di sekitar 3397 cm^{-1} , yang mengindikasikan adanya regangan gugus O-H dari hidroksil, yang biasanya muncul dalam rentang $3650\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ (Huang et al., 2012). Puncak pada 3050 cm^{-1} berkaitan dengan getaran regangan ikatan C-H dari struktur epoksi (Rajabi et al., 2015), sedangkan puncak di $1607\text{--}1508\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan cincin aromatik benzena dalam struktur epoksi (Pourhashem et al., 2017). Selain itu, puncak pada 1248 cm^{-1} merupakan ciri dari regangan simetris cincin epoksi (Rajabi et al., 2015) dan puncak di 935 cm^{-1} berasal dari regangan ikatan C-O milik gugus epoksi (Lu et al., 2013). Sementara itu, puncak yang cukup

tinggi di 827 cm^{-1} dikaitkan dengan pembengkokan luar bidang dari ikatan C-H aromatik (fenil) (Li et al., 1996).

Setelah penambahan graphene oxide (GO) ke dalam matriks epoxy, spektrum FTIR menunjukkan perubahan yang menandakan terjadinya interaksi antara gugus fungsional GO dan epoxy. Pita serapan O-H pada epoxy mengalami pelebaran dan pergeseran ke arah bilangan gelombang yang lebih rendah, mengindikasikan pembentukan ikatan hidrogen antara gugus hidroksil epoxy dan gugus polar pada GO seperti -OH dan -COOH (Sulistiyani, 2018). Beberapa puncak vibrasi lainnya juga mengalami pergeseran kecil, yang semakin terlihat seiring meningkatnya konsentrasi GO. Selain itu, hilangnya salah satu puncak khas gugus karboksilat GO setelah pencampuran dengan epoxy menguatkan dugaan terjadinya interaksi kimia antar keduanya. Secara keseluruhan, perubahan ini menunjukkan adanya peningkatan adhesi dan kompatibilitas

antara GO dan matriks epoxy akibat interaksi antarmolekul (Loeffen et al., 2021).

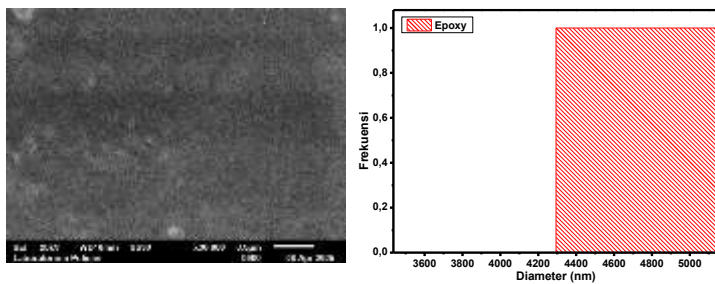
Pada spektrum FTIR 2924 cm^{-1} menghasilkan gugus fungsi C-H *stretching* (*methylene group*) (Ferreira et al., 2018). Pada rentang spektrum $\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ terdapat vibrasi ikatan C=C yang merupakan bagian dari struktur domain hibrida sp^2 yang dimiliki oleh GO (Andrijanto et al., 2016). Kemudian pada spektrum FTIR 1049 cm^{-1} mengalami vibrasi ikatan C-O *alkoxy* (Salgado-delgado et al., 2023). Pada spektrum rentang $900\text{-}1250\text{ cm}^{-1}$ terlihat vibrasi ikatan gugus aromatik *asymmetric C-H stretching* dan C-OH *bending* pada hidroksil *group* (Edwards et al., 2022). Pada panjang gelombang rentang $\sim 750\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi G-O masih aktif dan terlibat dalam proses ikatan atau dispersi dengan epoksi. Interaksi ini berkontribusi dalam peningkatan kompatibilitas antar fase dan berpotensi memperbaiki sifat mekanik maupun dispersi GO dalam matriks epoksi (Gogoi et al., 2015).

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh (GALPAYA et al., 2013) menunjukkan pembentukan komposit GO/Epoxy pada spektrum panjang gelombang $1050\text{-}3700\text{ cm}^{-1}$ dengan keberadaan gugus karboksil dan epoksi. Kemudian pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Ferreira et al., 2018) memperlihatkan penggabungan antara komposit GO/Epoxy dengan metode *hummer* pada spektrum panjang gelombang $1049\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$. Interaksi ikatan-ikatan ini berkontribusi dalam meningkatkan kohesi dan kompatibilitas antar polimer atau antara matriks epoxy dan penguat GO, sehingga meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas (Galpaya et al., 2014). Secara keseluruhan, spektrum FTIR pada gambar 4.7 yang diperoleh dengan metode *hummer* untuk mendapatkan komposit GO/Epoxy telah sesuai dengan hasil spektrum dari literatur referensi pada gambar 4.7.

2. Karakterisasi SEM (Scanning Electron Microscope)

Dalam penelitian ini juga dilakukan karakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mengamati morfologi permukaan dari komposit GO-Epoxy setelah dilakukan uji tarik. Pengamatan morfologi ini bertujuan untuk memahami perubahan struktur permukaan material akibat penambahan Graphene Oxide (GO) serta memicu kualitas ikatan antara matriks epoxy dan penguat material (Oktavian et al., 2021). Namun, pengujian SEM dalam penelitian ini hanya dilakukan pada dua sampel, yaitu pure epoxy dan komposit Graphene Oxide/Epoxy 1%. Pemilihan dua sampel ini didasarkan pada tujuan utama karakterisasi, yaitu untuk membandingkan morfologi permukaan antara komposit tanpa GO dan dengan penambahan GO, sehingga dapat diamati secara jelas perbedaan distribusi matriks dan potensi perbaikan adhesi antarmuka yang disebabkan oleh keberadaan GO.

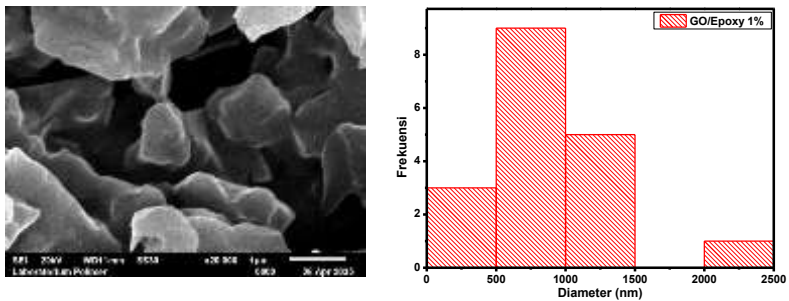
Hasil pengamatan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) ditunjukkan pada Gambar 4.9 (a) oleh resin epoksi murni, permukaan patahan tampak relatif menyatu dan padat tanpa adanya rongga atau pori yang mencolok, mengindikasikan struktur yang homogen namun dengan luas permukaan aktif yang terbatas (Tretyakov et al., 2023).



(a) (b)
Gambar 4.9 (a) Morfologi permukaan SEM Epoxy dan (b) Grafik distribusi ukuran partikel Epoxy.

Fraktur getas yang menjadi ciri khas dari resin epoksi murni tampak jelas, ditandai dengan permukaan patahan yang halus serta pola retakan seperti alur sungai bisa dilihat digambar 4.11 (Eqra et al., 2021, Robertus, 2017).

Sebaliknya, pada komposit *GO-Epoxy* pada gambar 4.10 (a) permukaan patahan terlihat lebih tidak teratur baik dari segi ukuran maupun bentuk, serta menunjukkan adanya bidang kekosongan, yang mengindikasikan peningkatan keuletan material (Abdullah & Ansari, 2015).



Gambar 4.10 (a) Morfologi permukaan SEM *GO/Epoxy* 1% dan (b) Grafik distribusi ukuran partikel *GO/Epoxy* 1%.

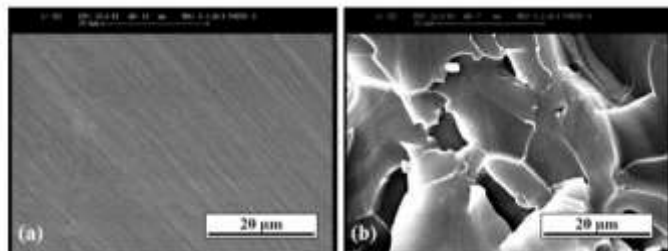
Permukaan menjadi lebih menyebar dengan struktur berlapis dan adanya partikel berbentuk tidak beraturan serta pori-pori yang menandakan penyebaran lembaran *GO* dalam matriks epoksi seperti penelitian yang dilakukan (Eqra et al., 2021) pada gambar 4.11 (b) Permukaan patah yang awalnya tampak menyatu dan tidak ada rongga pada epoxy murni

berubah menjadi tidak beraturan dan membentuk beberapa gumpalan setelah ditambahkan GO. Perubahan ini terjadi karena lembaran GO berfungsi sebagai bahan penguat dalam epoxy, sehingga membantu memperkuat material dan menghambat retakan agar tidak mudah menyebar. Morfologi ini menunjukkan peningkatan interaksi antar fase, yang kemungkinan besar berkontribusi terhadap perbaikan sifat mekanik dan termal dari komposit (Chen et al., 2017).

Namun jika GO ditambahkan terlalu banyak justru mengurangi struktur lamelar, sehingga material menjadi lebih mudah rapuh atau retak (Almeida, 2022). Hal ini disebabkan oleh semakin menurunnya kemampuan material dalam menyerap energi saat terjadi fraktur. Keberadaan gugus epoksi pada graphene oksida juga berperan penting dalam meningkatkan kompatibilitas antarmuka antara lembaran GO dan matriks epoksi, Hal ini mendukung terbentuknya struktur mikro yang lebih kompak,

sehingga mampu menahan penyebaran retakan dengan lebih baik. (Tang et al., 2014).

Menurut Tabel 4.1 menunjukkan hasil ukuran distribusi partikel partikel sampel epoxy dan komposit GO/Epoxy. Hasil ukuran distribusi partikel pada sampel GO/Epoxy lebih kecil dibandingkan sampel epoxy yang disebabkan adanya *reinforcement* dari GO. Penambahan GO mengakibatkan ukuran partikel lebih kecil. Hasil ukuran distribusi partikel lebih kecil biasanya memiliki kemampuan pembentukan film yang lebih baik dan menguntungkan dalam hal adhesi antarmuka pada komposit (Wang et al., 2015).



Gambar 4.11 (a) Morfologi permukaan SEM Epoxy dan (b) GO/Epoxy (Eqra et al., 2021)

Tabel 4.1 Hasil ukuran rata-rata distribusi partikel

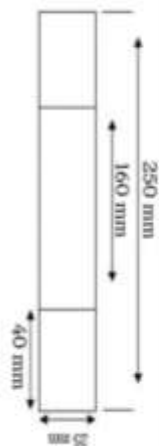
Sampel	Ukuran rata-rata distribusi partikel (nm)
Epoxy	4293,72
GO-Epoxy 1%	917,914

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Nguyen & Bui, 2021) memperlihatkan struktur morfologi yang sama bahwa *graphene oxide* telah terdispersi secara merata dalam material komposit dan terlihat adanya gumpalan yang tidak saling berkaitan menunjukkan bahwa kehadiran GO pada komposit berpengaruh dalam retakan dan mengurangi cacat dalam komposit material. Ketika GO ditambahkan terlalu banyak justru mengurangi struktur *lamellar*, sehingga material menjadi lebih mudah rapuh atau retak (Almeida, 2022). Hal ini disebabkan oleh semakin menurunnya kemampuan material dalam menyerap energi saat terjadi patahan. Keberadaan gugus epoksi pada graphene oksida juga berperan penting dalam meningkatkan kompatibilitas antarmuka antara lembaran GO dan matriks epoksi, Hal ini mendukung terbentuknya struktur mikro yang lebih kompak, sehingga mampu menahan

penyebaran retakan dengan lebih baik. (Tang et al., 2014).

3. Pengujian Mekanik Tensile Test (Uji Tarik)

Pengujian tarik bertujuan untuk memperoleh nilai tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dari bahan komposit material. Metode ini dilakukan guna mengetahui seberapa besar kekuatan tarik dari bahan komposit dengan memberikan beban secara bertahap hingga spesimen mengalami kerusakan mekanis, seperti patah atau terputus (Ilham, 2019). Material yang digunakan dalam penelitian ini merupakan komposit Graphene Oxide/Epoxy dengan spesimen berbentuk persegi panjang dengan mengacu pada standar yang sudah ditentukan. Pengujian mengacu pada standar uji tarik ASTM D3039 menggunakan Mesin Uji Universal (UTM) pada gambar 4.12 (b) merek *Shimadzu* tipe 250 KN yang dilengkapi dengan perangkat lunak Trapezium X. Dalam uji tarik ini, ditentukan untuk semua sampel dengan laju kecepatan 5 mm/menit.



(a)



(b)

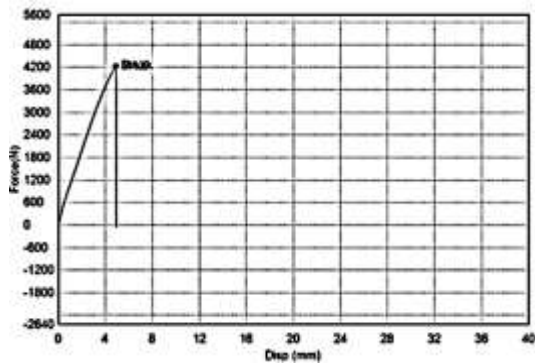
Gambar 4.12 (a) Ukuran Sampel Uji Tarik (b) Mesin Uji Tarik Shimadzu tipe 250 KN

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang telah dilakukan diperoleh data ditunjukkan pada tabel 4.2. rata-rata uji tarik berupa nilai kekuatan tarik (*stress*) dan modulus young

Tabel 4.2 Hasil Rata-Rata Uji Kekuatan Tarik

Sampel	Variasi GO (%)	Stress (MPa)	Strain (%)	Modulus Young (GPa)
A	0%	10,154	17,73	0,571
B	1%	9,528	3,352	2,842
C	2%	8,948	24,77	0,361
D	3%	16,170	1,809	8,936

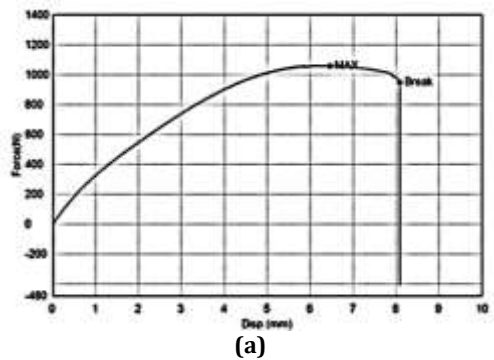
Hasil uji kekuatan tarik pada Tabel 4.1, komposit GO/Epoxy menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari variasi kandungan graphene oxide (GO) terhadap sifat mekanik material. Pada sampel Epoxy menunjukkan bahwa bersifat lebih elastis dan kurang kaku, meskipun masih memiliki kekuatan tarik yang cukup baik seperti Gambar 4.13 (a). Pada gambar tersebut memiliki perpanjangan horizontal, menandakan deformasi plastik (*ductile*), sementara lainnya naik tajam lalu turun (*brittle*) yang memperlihatkan hasil material putus sekitar 3772,54 N.



(a)

Gambar 4.13 a. Hasil Uji Tarik Epoxy

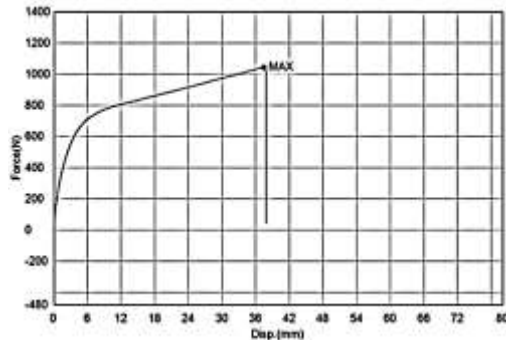
Pada sampel GO/Epoxy 1% pada gambar 4.14 (a) mengindikasikan peningkatan kekakuan material akibat kehadiran GO yang mendukung transfer beban dalam struktur komposit, meskipun kekuatan tarik sedikit menurun seperti pada Gambar 4.13 (b) menunjukkan hasil material putus sekitar 1260 N.



(a)
Gambar 4.14 a. Hasil Uji Tarik Komposit
GO/Epoxy 1%

Sampel GO/Epoxy 2% pada gambar 4.15 (a) menunjukkan bahwa struktur komposit menjadi lebih lunak dan fleksibel, yang kemungkinan disebabkan oleh aglomerasi partikel GO yang menghambat distribusi beban secara merata dalam matriks epoxy meperlihatkan material putus

sekitar 1035,28 N.. Akibatnya, kekakuan dan efisiensi penguatan menurun (Song et al., 2017).

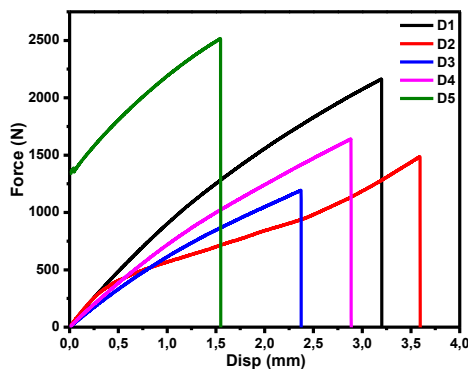


(a)

Gambar 4.15 a. Hasil Uji Tarik Komposit

GO/Epoxy 2%

Kemudian pada sampel GO/Epoxy 3% menunjukkan bahwa pada konsentrasi GO yang tinggi, partikel GO terdistribusi lebih merata dan memberikan efek penguatan maksimal.

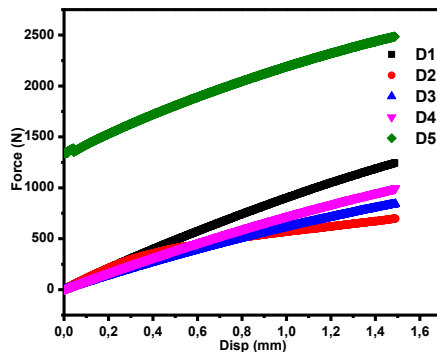


(d)

Gambar 4.16 Hasil Uji Tarik Komposit GO/Epoxy 3%.

Komposit menjadi sangat kuat dan kaku, namun dengan deformasi plastik yang sangat terbatas, mencerminkan sifat material yang cenderung rapuh namun kaku secara struktural (Tjahjanti, 2018) seperti Gambar 4.16 (a) yang memperlihatkan hasil material putus sekitar 1951,47 N.

Tegangan tarik (*stress*) menunjukkan bahwa penambahan GO mampu meningkatkan kekuatan tarik komposit. Hal ini seperti penelitian yang dilakukan oleh (Eqra et al., 2021) menyebabkan sifat mekanik GO yang tinggi, sehingga mampu menahan beban eksternal secara lebih efektif ketika terdispersi secara merata dalam matriks epoxy.



Gambar 4.17 Hasil grafik modulus *young* dari uji tarik komposit GO/Epoxy 3%

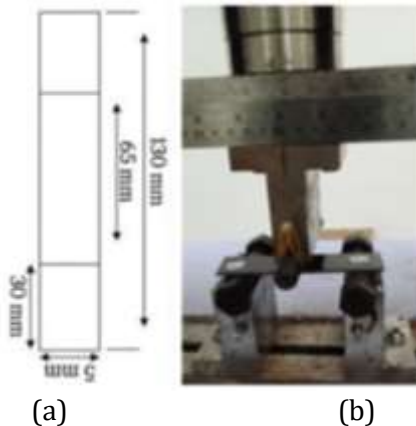
Ketika Modulus Young meningkat seiring dengan peningkatan kandungan GO hingga konsentrasi optimal bisa dilihat pada gambar 4.17, yang mencerminkan peningkatan kekakuan komposit. Hubungan ini seperti penelitian yang telah dilakukan oleh (Cao et al., 2022) menunjukkan bahwa partikel GO memberikan penguatan struktural terhadap matriks, membatasi deformasi elastis material. Namun, pada konsentrasi GO yang terlalu tinggi, kekakuan dapat menurun jika terjadi aglomerasi partikel, yang menyebabkan ketidakteraturan struktur dan menurunkan efisiensi transfer beban antar fase. Sementara itu, nilai strain atau regangan cenderung menurun dengan bertambahnya kandungan GO. Hal ini seperti penelitian yang telah dilakukan oleh (Ferreira et al., 2018) mengindikasikan bahwa material menjadi lebih rapuh atau kurang elastis akibat struktur yang semakin kaku. Meskipun demikian, kombinasi nilai stress yang tinggi dan strain yang rendah menghasilkan modulus Young yang tinggi, yang menggambarkan material dengan kekuatan tarik dan kekakuan tinggi, meskipun

dengan deformasi plastik yang terbatas (Matsuura et al., 2018).

4. Pengujian Mekanik *Three-point Bend Flexural* (Uji Lentur)

Pengujian bending (*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. Dalam pengujian ini, digunakan dua metode pembenanan yang umum, yaitu pembebanan satu titik (*1-point loading*) dan tiga titik (*3-point loading*). Pengujian dilakukan menggunakan Mesin Uji Universal (UTM) merek *Shimadzu* tipe 250 KN. Spesimen uji berbentuk persegi panjang dengan dimensi yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8, spesimen diletakkan di atas dua penyangga dengan jarak tertentu (*support span*). Gaya kemudian diberikan di bagian tengah spesimen hingga terjadi kegagalan mekanik yang diperoleh dari pengujian ini meliputi kekuatan lentur dan modulus elastisitas, yang

memberikan gambaran sejauh mana material mampu menahan pembebanan lentur sebelum mengalami kerusakan. Pengujian bending dilakukan di Laboratorium Material gedung 224, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Serpong, Tangerang Selatan. Uji bending dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur dan kekakuan (modulus Young) dari komposit epoxy dengan variasi penambahan Graphene Oxide (GO) sebesar 0%, 1%, 2%, dan 3%. Uji dilakukan sebanyak lima kali pada masing-masing sampel, dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk grafik stress-strain.



Gambar 4.18 (a) Ukuran Sampel Uji Bending (b) Mesin Uji bending Shimadzu tipe 250 KN

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang telah dilakukan diperoleh data ditunjukkan pada tabel 4.3. rata-rata uji bending berupa nilai kekuatan tarik (*stress*) dan modulus young.

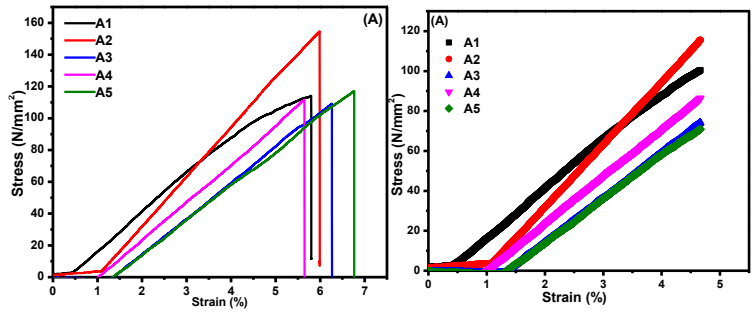
Tabel 4.3 Hasil Rata-Rata Uji Lentur

Sampel	Variasi GO (%)	Stress (MPa)	Strain (%)	Modulus Young (GPa)
A	0%	39,374	17,753	2,217
B	1%	37,231	3,001	12,405
C	2%	1,572	37,816	0,0416
D	3%	2,693	85,165	0,0316

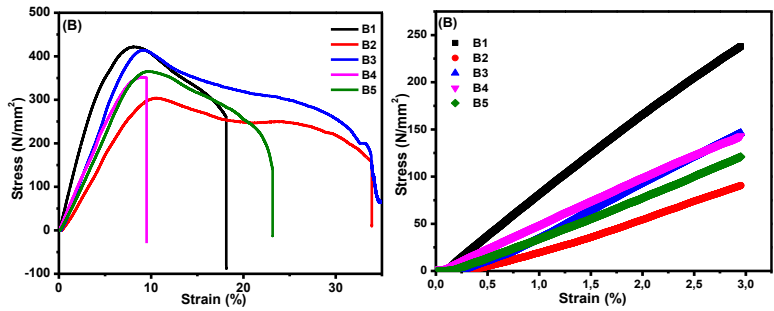
Berdasarkan Tabel 4.3 sifat mekanik lentur (bending) dari Epoxy memiliki kekuatan bending tertinggi diperoleh pada sampel tanpa penambahan GO 0% dengan nilai 39,37 MPa dan modulus Young sebesar 2,22 GPa. Hal ini menunjukkan bahwa epoxy murni mampu menahan beban lentur dengan baik sebelum patah. Berdasarkan grafik tegangan-regangan, epoxy murni (garis merah) menampilkan kenaikan linier di awal (fase elastis) dan kemudian langsung patah, menandakan sifat getas dari material ini. Sementara itu, pada grafik modulus Young, epoxy murni menunjukkan tingkat kekakuan sedang dan

cukup kaku tetapi masih bisa ditingkatkan. Secara keseluruhan, epoxy murni memiliki kekuatan dan struktur yang stabil, namun karena sifat yang getas dan kekakuannya masih sedang, maka penambahan GO dalam jumlah yang tepat berpotensi meningkatkan kinerja mekaniknya. Pada hasil uji bending tersebut didapat grafik melalui Gambar 4.18 (a) dan (b) menunjukkan material putus dengan garis vertikal turun berupa $9,443 \text{ N/mm}^2$. Penambahan GO hingga 1% wt masih menunjukkan kekuatan bending yaitu 37,23 MPa dan menunjukkan peningkatan pada modulus Young hingga 12,41 Gpa, seperti pada Gambar 4.18 (a) dan (b) menunjukkan material putus sebesar $4,311 \text{ N/mm}^2$. Pada komposisi epoxy dengan penambahan GO sebanyak 1% wt material menunjukkan kekakuan yang meningkat cukup besar, meskipun kekuatan lenturnya sedikit menurun dibanding epoxy murni. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan adalah 37,23 MPa, sedikit lebih rendah dari epoxy tanpa GO. Namun, nilai

modulus Young justru naik cukup jauh menjadi 12,41 GPa, yang berarti material menjadi lebih kaku. Pada grafik stress-strain, garis berwarna biru menunjukkan bahwa material ini masih mampu menahan beban lentur dengan baik. Sedangkan pada grafik modulus Young, garis biru memiliki kemiringan paling curam, yang menandakan tingkat kekakuan paling tinggi. Kenaikan ini kemungkinan disebabkan oleh penyebaran GO yang merata dalam epoxy, sehingga membantu menahan lenturan. Secara keseluruhan, penambahan GO 1% dapat membuat epoxy lebih kaku tanpa mengurangi kekuatannya secara drastis. Hal ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi rendah, GO mampu memperkuat matriks epoxy melalui peningkatan adhesi antarmuka dan transfer beban yang lebih efisien antara filler dan matriks (Alwie et al., 2020).



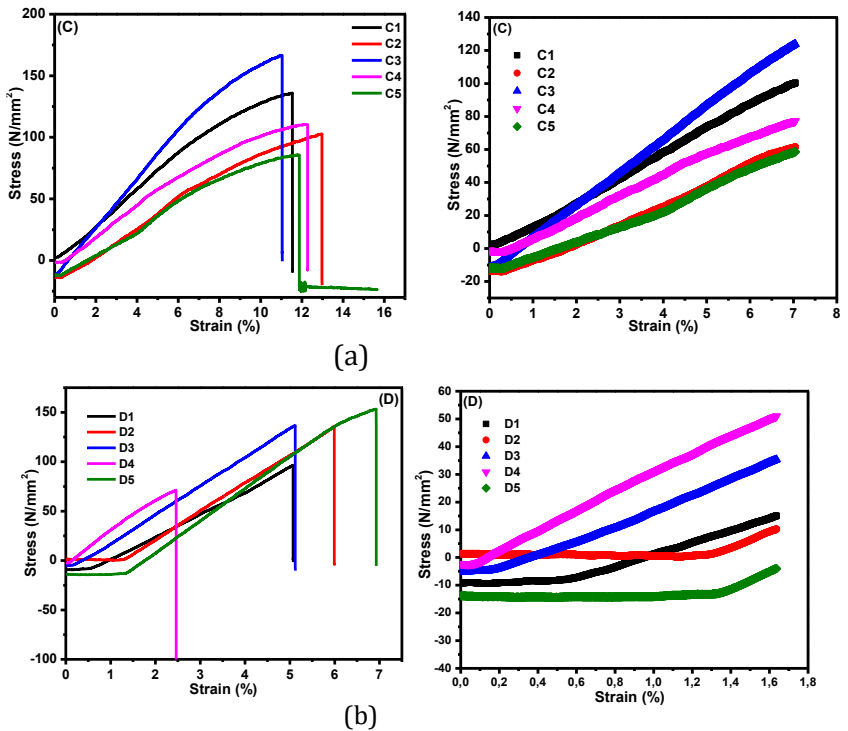
(a)



(b)

Gambar 4.18 (a) Grafik kekuatan Uji Bending dan modulus young Epoxy , b) Grafik kekuatan Uji Bending dan modulus young Komposit GO/Epoxy 1%

Peningkatan konsentrasi GO hingga 2% wt dan 3% wt menyebabkan penurunan pada kekuatan bending, masing-masing menjadi 1,57 MPa dan 2,69 MPa, serta modulus Young turun menjadi 0,042 GPa dan 0,032 GPa. Sesuai dengan Gambar 4.19 (a) dan (b) menunjukkan material putus sebesar 1,572 N/mm² dan 1,953 N/mm². Pada grafik stress-strain, garis berwarna hijau menunjukkan bahwa bahan cepat mencapai puncak dan langsung turun, menandakan material mudah rusak saat dibebani. Grafik modulus Young juga menunjukkan garis landai yang artinya material kurang kaku. Penurunan ini kemungkinan terjadi karena aglomerasi GO jumlahnya yang berlebihan, sehingga penyebarannya tidak merata dalam epoxy. Sehingga penambahan GO 2% wt menjadi lemah dan kurang mampu menahan beban.



Gambar 4.19 (a) Grafik C Uji Bending dan Modulus Young komposit GO/Epoxy 2%, b) Grafik D Uji Bending dan Modulus Young Komposit GO/Epoxy 3%

Penelitian yang dilakukan oleh (Eqra et al., 2021) juga menyebutkan bahwa penambahan GO pada konsentrasi tinggi menyebabkan terjadinya aglomerasi atau penggumpalan yang mengganggu homogenitas dan ikatan antar

fase, sehingga menurunkan efisiensi transfer tegangan dan menyebabkan defek mikro pada struktur komposit.

Peningkatan awal sifat mekanik hingga 1% wt konsisten dengan studi sebelumnya oleh (Ferreira et al., 2018) yang menyebutkan bahwa pada fraksi massa rendah, GO dapat berdispersi dengan baik di dalam matriks dan membentuk ikatan antarmuka yang kuat, berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan lentur dan modulus. Namun, pada konsentrasi lebih tinggi, terjadinya aglomerasi dan distribusi yang tidak merata menyebabkan penurunan kinerja mekanik (Bari et al., 2017). Oleh karena itu, penambahan GO yang optimal berada pada kisaran rendah, yaitu 1% wt menunjukkan kombinasi terbaik antara kekuatan dan kekuatan lentur (Bortz et al., 2012).

Secara keseluruhan, penambahan GO pada epoxy dapat meningkatkan modulus elastisitas secara signifikan pada fraksi berat rendah, namun berpotensi menurunkan kekuatan mekanik bila terjadi aglomerasi pada

konsentrasi tinggi. Peningkatan tertinggi pada modulus Young terjadi pada konsentrasi 1% wt yang meningkat lebih dari lima kali lipat dibandingkan epoxy murni. Hal ini menunjukkan bahwa fraksi berat rendah dari pengisi GO mampu meningkatkan fleksibilitas komposit secara signifikan dengan tetap menjaga struktur material yang homogen.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Penambahan Graphene Oxide (GO) terhadap komposit epoxy memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik, baik pada uji tarik maupun lentur. Hasil optimal pada uji kekuatan tarik penambahan GO sebesar 3% wt meningkat dari 10,15 MPa menjadi 16,17 MPa, dan modulus Young meningkat menjadi 8,93 GPa, mengindikasikan terjadinya penyebaran GO yang merata serta terbentuknya ikatan silang kimia dan ikatan hidrogen yang kuat antara gugus fungsi GO dan rantai epoksi, sehingga memperbaiki transfer tegangan dalam struktur komposit.
2. Pada uji lentur penambahan 1% wt GO memberikan hasil adanya peningkatan modulus lentur hingga 12,41 GPa, meskipun kekuatan lentur sedikit menurun dibandingkan epoxy murni. Hasil SEM juga menunjukkan di mana konsentrasi GO 1% wt terlihat permukaan yang lebih kasar dan berpori yang menandakan interaksi antarfase kuat, dan

efektivitas GO sangat bergantung pada penyebaran homogen serta kekuatan interaksi dengan matriks.

3. Saran

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar pada penelitian selanjutnya dilakukan variasi konsentrasi graphene oxide (GO) yang lebih tinggi untuk menghasilkan sifat mekanik dari uji tarik dan variasi konsentrasi graphene oxide (GO) yang lebih rendah untuk menghasilkan sifat mekanik dari uji lentur.
2. Penelitian selanjutnya bisa menambahkan bahan agar bisa meningkatkan kekuatan mekanik yang diinginkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S. I., & Ansari, M. N. M. (2015). Mechanical properties of graphene oxide (GO)/epoxy composites. *HBRC Journal*, 11(2), 151–156.
<https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.06.001>
- Aksara, M., Akademia, G., & Akademia, A. G. (2024). *Material pertahanan* (Issue August).
- Almeida, E. C. (2022). *Machine Translated by Google*
Aplikasi oksida graphene sebagai penguat (nano) pada komposit epoksi Aplikasi oksida grafis seperti (nano) yang diperkuat dalam komposisi matriks epóxi.
- Alwie, rahayu deny danar dan alvi furwanti, Prasetio, A. B., Andespa, R., Lhokseumawe, P. N., & Pengantar, K. (2020). Tugas Akhir Tugas Akhir. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret201, 2*(1), 41–49.
- Andrew, J. J., Srinivasan, S. M., Arockiarajan, A., & Dhakal, H. N. (2019). Parameters influencing the impact response of fiber-reinforced polymer matrix composite materials: A critical review. *Composite Structures*, 224(0).
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111007>

- Andrijanto, E., Shoelarta, S., Subiyanto, G., & Rifki, S. (2016). Facile synthesis of graphene from graphite using ascorbic acid as reducing agent. *AIP Conference Proceedings*, 1725.
<https://doi.org/10.1063/1.4945457>
- Asim, M., Saba, N., Jawaaid, M., & Nasir, M. (2018). Potential of natural fiber/biomass filler-reinforced polymer composites in aerospace applications. In *Sustainable Composites for Aerospace Applications*. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102131-6.00012-8>
- Bari, P., Khan, S., Njuguna, J., & Mishra, S. (2017). Elaboration of properties of graphene oxide reinforced epoxy nanocomposites. *International Journal of Plastics Technology*, 21(1), 194–208.
<https://doi.org/10.1007/s12588-017-9180-9>
- Basyarahil, Z. I. (2017). Karakterisasi dan proses manufaktur komposit polypropylene berpenguat serat dendrocalamus asper untuk aplikasi ruang mesin otomotif. *Teknik Material*, 2(4), 36–47.
- Bello, S. A., Agunsoye, J. O., Hassan, S. B., Kana, M. G. Z., & Raheem, I. A. (2015). Epoxy resin based composites,

mechanical and tribological properties: A review.
Tribology in Industry, 37(4), 500–524.

Bortz, D. R., Heras, E. G., & Martin-Gullon, I. (2012).
Impressive fatigue life and fracture toughness
improvements in graphene oxide/epoxy composites.
Macromolecules, 45(1), 238–245.
<https://doi.org/10.1021/ma201563k>

Cao, L., Zhi, J., Yang, Y., Yuan, L., Song, Y., Lu, X., & Lu, C.
(2022). Synergistically Improving Mechanical and
Interfacial Properties of Epoxy Resin and CFRP
Composites by Introducing Graphene Oxide.
Advances in Polymer Technology, 2022.
<https://doi.org/10.1155/2022/8309259>

Chen, B., Tang, J., Zhang, G., Chen, S., & Zhang, J. (2017).
Properties and morphologies of epoxy resin based
composites reinforced by polyurethane and graphene
oxide. *Materials Transactions*, 58(5), 842–844.
<https://doi.org/10.2320/matertrans.M2016464>

Costa, U. O., Nascimento, L. F. C., Garcia, J. M., Bezerra, W. B.
A., Costa, G. F. F. da, Luz, F. S. da, Pinheiro, W. A., &
Monteiro, S. N. (n.d.). *Mechanical properties of
composites with graphene oxide functionalization of*

either epoxy matrix or curaua fiber reinforcement.

Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S.

(2010). The chemistry of graphene oxide. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 228–240.

<https://doi.org/10.1039/b917103g>

Dur, S. (2017). Zeolite Processing As Heavy Material.

ZERO: Jurnal Sains, Matematika Dan Terapan, 1(1), 33–45. <https://doi.org/10.30829/zero.v1i1.1457>

Edwards, E. R., Almeida, É. C., Dos Santos, M. B., & Oliveira,

A. S. (2022). Application of graphene oxide as (nano) reinforcement in epoxy composites. *Revista Materia*, 27(2). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220002.1377>

Eqra, R., Moghim, M. H., & Eqra, N. (2021). A study on the

mechanical properties of graphene oxide/epoxy nanocomposites. *Polymers and Polymer Composites*, 29(9_suppl), S556–S564.

<https://doi.org/10.1177/09673911211011150>

Falaah, A. F., Chalid, M., & Fathurrohman, M. I. (2022).

Pengaruh Filler Bentonit Termodifikasi Terhadap Perilaku Sifat Mekanik Ebonit Karet Alam. *Warta*

Perkaretan, 41(1), 31–44.

<https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v41i1.815>

Falah, M., & Mackenzie, K. J. D. (2020). Photocatalytic nanocomposite materials based on inorganic polymers (Geopolymers): A review. *Catalysts*, 10(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/catal10101158>

Fauzi, D. R. (2022). *Pengaruh Pelapisan Graphite Pada Pelat Aluminium Menggunakan Metode Compression Molding Sebagai Pelat Conducting Pada Fuel Cell*. 5–31.

Ferreira, F. V., Brito, F. S., Franceschi, W., Simonetti, E. A. N., Cividanes, L. S., Chipara, M., & Lozano, K. (2018). Functionalized graphene oxide as reinforcement in epoxy based nanocomposites. *Surfaces and Interfaces*, 10(October 2017), 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.12.004>

Galpaya, D., Wang, M., George, G., Motta, N., Wacławik, E., & Yan, C. (2014). Preparation of graphene oxide/epoxy nanocomposites with significantly improved mechanical properties. *Journal of Applied Physics*, 116(5). <https://doi.org/10.1063/1.4892089>

GALPAYA, D., WANG, M., YAN, C., LIU, M., MOTTA, N., & WACLAWIK, E. (2013). Fabrication and Mechanical and Thermal Behaviour of Graphene Oxide/Epoxy Nanocomposites. *Journal of Multifunctional Composites*, 1(2), 99–106.

<https://doi.org/10.12783/issn.2168-4286/1.2/galpaya>

Gibson, R. F. (2016). "Introduction," in Principles of Composite Material Mechanics. In *Principles of Composite Material Mechanics, Fourth Edition* (Vol. 2).

Gogoi, P., Boruah, R., & Dolui, S. K. (2015). Jatropha curcas oil based alkyd/epoxy/graphene oxide (GO) bionanocomposites: Effect of GO on curing, mechanical and thermal properties. *Progress in Organic Coatings*, 84, 128–135.

<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.09.022>

Gugun Gundara, Dikri Saepul Robani, & Aceng Sambas. (2022). Pengaruh Fraksi Volume Serat Dengan Matriks Epoxy Pada Material Komposit Serat Mendong. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(7), 3007–3020. <https://doi.org/10.55927/mudima.v2i7.657>

Hestiawan, H., & Fauzi, A. (2014). Studi Pengaruh Fraksi

Volume dan Susunan Serat Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Komposit Resin Berpenguat Serat Rotan (Calamus Trachycoleus). *Jurnal Mechanical*, 5(1), 3–6.

Hong, X., Lee, J. C., Ng, J. L., Md Yusof, Z., He, Q., & Li, Q. (2023). Effect of Graphene Oxide on the Mechanical Properties and Durability of High-Strength Lightweight Concrete Containing Shale Ceramsite. *Materials*, 16(7).
<https://doi.org/10.3390/ma16072756>

Huang, H. D., Ren, P. G., Chen, J., Zhang, W. Q., Ji, X., & Li, Z. M. (2012). High barrier graphene oxide nanosheet/poly(vinyl alcohol) nanocomposite films. *Journal of Membrane Science*, 409–410, 156–163.
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.03.051>

Ilham, B. dan M. R. (2019). Sifat Kuat Tarik Material Komposit Hibrid Berpenguat Serat Ijuk Dan Sabut Kelapa Dengan Orientasi Serat Acak. *Jurnal Mekanikal*, 10(2), 980–991.

Inkson, B. J. (2016). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization. In *Materials*

Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods. Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X>

Jefferson Andrew, J., Arumugam, V., Saravanakumar, K., Dhakal, H. N., & Santulli, C. (2015). Compression after impact strength of repaired GFRP composite laminates under repeated impact loading. *Composite Structures*, 133, 911–920.

<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.022>

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, A. R., Cintora, A., White, S. R., & Sottos, N. R. (2014). Autonomic healing of carbon fiber/epoxy interfaces. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(9), 6033–6039. <https://doi.org/10.1021/am500536t>

Jones, R., & Chiu, W. K. (1999). Composite repairs to cracks in thick metallic components. *Composite Structures*,

44(1), 17–29. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(98\)00108-1](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(98)00108-1)

K D Vernon-Parry, C. (2000). *Microscopy : an introduction*. 13(4), 40–44.

Katti, P., Verma, K. K., Kumar, S., & Bose, S. (2021). Tuning the interface in epoxy-based composites and laminates through epoxy grafted graphene oxide enhances mechanical properties. *Nanoscale Advances*, 3(23), 6739–6749.
<https://doi.org/10.1039/d1na00437a>

Kausar, A., Rafique, I., Anwar, Z., & Muhammad, B. (2016). Perspectives of epoxy/graphene oxide composite: Significant features and technical applications. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 55(7), 704–722.
<https://doi.org/10.1080/03602559.2015.1098700>

Khaeru, R., Hartono, Y., & Budi, A. S. (2017). Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Asiwung Raja (*Typha Angustipholia*) Sebagai Alternatif Bahan Komposit Untuk Komponen Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk Dan Impak. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2), 10.

- Kutz, M. (2023). Applied Plastics Engineering Handbook. *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Sustainability, Materials, and Applications, May*, 1–870. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-03149-X>
- Lee, C., Wei, X., Kysar, J. W., & Hone, J. (2008). Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *Science*, 321(5887), 385–388. <https://doi.org/10.1126/science.1157996>
- Li, M. S., Ma, C. C. M., Chen, J. L., Lin, M. L., & Chang, F. C. (1996). Epoxy-polycarbonate blends catalyzed by a tertiary amine. 1. Mechanism of transesterification and cyclization. *Macromolecules*, 29(2), 499–506. <https://doi.org/10.1021/ma950978u>
- Liu, Q., Zhou, X., Fan, X., Zhu, C., Yao, X., & Liu, Z. (2012). Mechanical and Thermal Properties of Epoxy Resin Nanocomposites Reinforced with Graphene Oxide. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 51(3), 251–256. <https://doi.org/10.1080/03602559.2011.625381>
- Loeffen, A., Cree, D. E., Sabzevari, M., & Wilson, L. D. (2021). Effect of graphene oxide as a reinforcement in a bio-epoxy composite. *Journal of Composites*

Science, 5(3), 1–19.

<https://doi.org/10.3390/jcs5030091>

Long, J. P., Li, S. X., Liang, B., & Wang, Z. G. (2019).

Investigation of thermal behaviour and mechanical property of the functionalised graphene oxide/epoxy resin nanocomposites. *Plastics, Rubber and Composites*, 48(3), 127–136.

<https://doi.org/10.1080/14658011.2019.1577027>

Lu, S., Li, S., Yu, J., Yuan, Z., & Qi, B. (2013). Epoxy

nanocomposites filled with thermotropic liquid crystalline epoxy grafted graphene oxide. *RSC Advances*, 3(23), 8915–8923.

<https://doi.org/10.1039/c3ra40404h>

Mahkam, M., Rafi, A. A., Faraji, L., & Zakerzadeh, E. (2015).

Preparation of Poly (methacrylic acid)–Graphene Oxide Nanocomposite as a pH-Sensitive Drug Carrier Through in-situ Copolymerization of Methacrylic Acid with Polymerizable Graphene. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 54(9), 916–922.

<https://doi.org/10.1080/03602559.2014.961081>

Maity, P., Kasisomayajula, S. V., Parameswaran, V., Basu, S., & Gupta, N. (2008). Improvement in surface

degradation properties of polymer composites due to pre-processed nanometric alumina fillers. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 15(1), 63–72. <https://doi.org/10.1109/T-DEI.2008.4446737>

Mario, S. D. E., & Pongky, L. W. (2023). Perancangan Mold Base Dengan Sistem Two Plate Mold Untuk Produk Spesimen Uji Tarik. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 7–13.

Matsuura, K., Umahara, Y., Gotoh, K., Hoshijima, Y., & Ishida, H. (2018). Surface modification effects on the tensile properties of functionalised graphene oxide epoxy films. *RSC Advances*, 8(18), 9677–9684. <https://doi.org/10.1039/c8ra00252e>

Méndez-Lozano, N., Pérez-Reynoso, F., & González-Gutiérrez, C. (2022). Eco-Friendly Approach for Graphene Oxide Synthesis by Modified Hummers Method. *Materials*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/ma15207228>

Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. (2017). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444->

- Mudunkotuwa, I. A., Minshid, A. Al, & Grassian, V. H. (2014). ATR-FTIR spectroscopy as a tool to probe surface adsorption on nanoparticles at the liquid-solid interface in environmentally and biologically relevant media. *Analyst*, 139(5), 870–881. <https://doi.org/10.1039/c3an01684f>
- Muhammad, M., & Putra, R. (2018). Uji Mekanik Komposit Berpenguat Serat Pandan Duri dan Resin Polyester Dengan Variasi Komposisi Metoda Fraksi Berat. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 6(2), 63. <https://doi.org/10.29103/jtku.v6i2.476>
- Nash, N. H., Young, T. M., McGrail, P. T., & Stanley, W. F. (2015). Inclusion of a thermoplastic phase to improve impact and post-impact performances of carbon fibre reinforced thermosetting composites - A review. *Materials and Design*, 85, 582–597. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.001>
- Nauval, H. S., Sulardjaka, S., & ... (2023). ... Massa, Komposisi, Dan Treatment Serat Terhadap Kekuatan Uji Tarik Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matriks Gondorukem. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(3),

472–481.

<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/41012%0Ahttps://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/download/41012/30037>

Nguyen, T. A., & Bui, T. T. T. (2021). Study the Effects of Carbon Nanotubes and Graphene Oxide Combinations on the Mechanical Properties and Flame Retardance of Epoxy Nanocomposites. *Journal of Nanomaterials*, 2021.

<https://doi.org/10.1155/2021/1437929>

Nugroho, G., & Wantogia, M. S. R. R. (2019). Proses Fabrikasi dan Sifat Mekanik Komposit Polimer dengan Metode Bladder Compression Moulding. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 1(2), 95.

<https://doi.org/10.22146/jmdt.53047>

Nurhidayat, A., Wijoyo, W., & Irnawan, D. (2022). Kajian Fraksi Volume Serat Komposit Tangkai Ilalang Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Teknosains Kodepena*, 2(2 SE-Articles), 20–26.

<https://www.jtk.kodepena.org/index.php/jtk/article/view/43>

Oktavian, D., Arifvianto, B., & Mahardika, M. (2021).

Ekstruksi Dan Karakterisasi Filamen Komposit
Polylactid Acid (Pla) / Carbon Nano Tube (Cnt).
*Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan
Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, 2(2), 12.
<https://doi.org/10.22146/jmtp.70481>

Papageorgiou, D. G., Kinloch, I. A., & Young, R. J. (2017).
Mechanical properties of graphene and graphene-
based nanocomposites. *Progress in Materials Science*,
90, 75–127.
<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.07.004>

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>

Permana, A. (2021). *Analisis Model Struktur Komposit Main
Landing Gear*. 2(1), 9–18.

Phoenix, S. L., Schwartz, P., & Robinson, H. H. (1988).
Statistics for the strength and lifetime in creep-
rupture of model carbon/epoxy composites.
Composites Science and Technology, 32(2), 81–120.

[https://doi.org/10.1016/0266-3538\(88\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0266-3538(88)90001-2)

Polvillo, O., A, González-Pérez, J. A., A, Boski, T., B,
González-Vila, F. J., & A. (2009). -*alkanes (C 16 -C 33
with clear odd/even.*

Pourhashem, S., Vaezi, M. R., Rashidi, A., & Bagherzadeh, M.
R. (2017). Exploring corrosion protection properties
of solvent based epoxy-graphene oxide
nanocomposite coatings on mild steel. *Corrosion
Science*, 115, 78–92.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.11.008>

Purwaningsih, H., & Pramata, A. D. (2022). *SINTESIS DAN
PENGEMBANGAN NANOFIBER REDUCED GRAPHENE
OXIDE / CuO SEBAGAI ELEKTRODA BIOSENSOR.*

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>

Rajabi, M., Rashed, G. R., & Zaarei, D. (2015). Assessment of
graphene oxide/epoxy nanocomposite as corrosion

- resistance coating on carbon steel. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 50(7), 509–516.
<https://doi.org/10.1179/1743278214Y.00000000232>
- Robertus, T. (2017). *ISSN 1412- 8063 Jakarta – Indonesia Vol. 15 No . 2 Desember 2017 ISSN 1412- 8063*. 15(2).
- S, P., KM, S., K, N., & S, S. (2017). Fiber Reinforced Composites - A Review. *Journal of Material Science & Engineering*, 06(03). <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000341>
- Saba, N., Jawaid, M., Alothman, O. Y., Paridah, M. T., & Hassan, A. (2016). 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., Jawaid, 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>

Salgado-delgado, A. M., Grissel, E., Hern, R., Salgado-delgado, R., Santana-camilo, J. A., & Olarte-paredes, A. (2023). *Obtention and Characterization of GO/Epoxy and GO-GPTMS/Epoxy Nanocompounds with Different Oxidation Degrees and Ultrasound Methods*.

Salman Ali, A. (2020). Application of Nanomaterials in Environmental Improvement. *Nanotechnology and the Environment*, 1–20.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.91438>

Sedyadi, E., & Huda, K. (2016). Kajian Adsorpsi Remazol Yellow FG oleh Montmorillonit-Kitosan. *Integrated Laboratorium Journal*, 04(02), 139–152.

[http://ejournal.uin-](http://ejournal.uin-suka.ac.id/pusat/integratedlab/article/view/1129)

[suka.ac.id/pusat/integratedlab/article/view/1129](http://ejournal.uin-suka.ac.id/pusat/integratedlab/article/view/1129)

Septiyanto, J. N., Azis, 1 Abdul, Syafiqri, 1 Naufal, Firdaus, 1 Faridz Farhat, & Parapat, 2 Riny Yolandha. (2025). *Scientica Scientica*. 3, 169–188.

Setiawan, F., & Ardianto, H. (2018). Karakteristik Sifat Mekanis Kekuatan Tarik Komposit Nanopartikel Daur Ulang PET dengan Limbah Abu Bagase Boiler. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, Vol. 5(2)(2), Pp. 30-44.

<https://jurnal.sttkd.ac.id/index.php/ts/article/view/37>

Shah, R., Kausar, A., Muhammad, B., & Shah, S. (2015). Progression from Graphene and Graphene Oxide to High Performance Polymer-Based Nanocomposite: A Review. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 54(2), 173–183.

<https://doi.org/10.1080/03602559.2014.955202>

Shah, V., Bhaliya, J., Patel, G. M., & Deshmukh, K. (2022). Advances in polymeric nanocomposites for automotive applications: A review. *Polymers for Advanced Technologies*, 33(10), 3023–3048.

<https://doi.org/10.1002/pat.5771>

Shank, G. C., Lee, R., Vähätalo, A., Zepp, R. G., & Bartels, E. (2010). Production of chromophoric dissolved organic matter from mangrove leaf litter and floating Sargassum colonies. *Marine Chemistry*, 119(1–4), 172–181.

<https://doi.org/10.1016/j.marchem.2010.02.002>

Song, L., Lu, S., Xiao, X., Qi, B., He, Z., Xu, X., Rao, B., & Yu, J. (2017). Enhanced thermal and mechanical properties of liquid crystalline-grafted graphene oxide-filled

- epoxy composites. *Polymer Bulletin*, 74(5), 1611–1627. <https://doi.org/10.1007/s00289-016-1792-2>
- Sugiman et al. (2015). *Penyerapan Air pada Epoxy dan Poliester Tak Jenuh dan Pengaruhnya pada Kekuatan Tarik* View project *Water resistance of epoxy adhesive* View project. October 2015.
- Sujatmiko, F. (2020). Biosintesis Komposit Grafena Oksida Tereduksi/SnO₂ menggunakan Ekstrak Daun Matoa (*Pometia Pinnata*) untuk Degradasi Fotokatalitik Biru Metilena. *Universitas Islam Indonesia*.
- Sulistiyani, M. (2018). Spektroskopi Fourier Transform Infra Red Metode Reflektansi (Atr-Ftir) Pada Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Vitamin C. *Jurnal TEMAPELA*, 1(2), 39–43. <https://doi.org/10.25077/temapela.1.2.39-43.2018>
- Sunardi, S., Fawaid, M., & Muhamad, F. R. N. (2015). Variasi Campuran Fly Ash Batubara untuk Material Komposit. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 1(1), 90–102.
- Tang, J., Zhou, H., Liang, Y., Shi, X., Yang, X., & Zhang, J. (2014). Properties of graphene oxide/epoxy resin

composites. *Journal of Nanomaterials*, 2014.

<https://doi.org/10.1155/2014/696859>

Thebora, M. E., Kurnia Nastira Ningsih, & Muhammad Irhash Shalihin. (2020). SINTESIS GRAFENA DARI LIMBAH PELEPAH SAWIT (*Elaeis Sp.*) DENGAN METODE REDUKSI GRAFIT OKSIDA MENGGUNAKAN PEREDUKSI Zn. *Jurnal Khazanah Intelektual*, 3(2), 462–476. <https://doi.org/10.37250/newkiki.v3i2.48>

Thompson, J. D., Higgins, D. G., & Gibson, T. J. (1994). CLUSTAL W: Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*, 22(22), 4673–4680. <https://doi.org/10.1093/nar/22.22.4673>

Tjahjanti, P. H. (2018). Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer. *Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer*. <https://doi.org/10.21070/2019/978-602-5914-27-0>

Tretyakov, I. V., Petrova, T. V., Kireynov, A. V., Korokhin, R. A., Platonova, E. O., Alexeeva, O. V., Gorbatkina, Y. A., Solodilov, V. I., Yurkov, G. Y., & Berlin, A. Al. (2023). Fracture of Epoxy Matrixes Modified with Thermo-

Plastic Polymers and Winding Glass Fibers
Reinforced Plastics on Their Base under Low-Velocity
Impact Condition. *Polymers*, 15(13).
<https://doi.org/10.3390/polym15132958>

Ummah, M. S. (2019). mekanika komposit dan bio-
komposit. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11,
Issue 1).
http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELISTARIKAN

Wang, C., Ge, H., Liu, H., & Guo, S. (2015). Microstructure
and properties of carbon fiber sized with pickering
emulsion based on graphene oxide sheets and its
composite with epoxy resin. *Journal of Applied
Polymer Science*, 132(29), 1–8.
<https://doi.org/10.1002/app.42285>

Wu, H., Cheng, L., Liu, C., Lan, X., & Zhao, H. (2021).
Engineering the interface in graphene oxide/epoxy

composites using bio-based epoxy-graphene oxide nanomaterial to achieve superior anticorrosion performance. *Journal of Colloid and Interface Science*, 587(xxxx), 755–766.

<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.11.035>

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>

Yurugi, T., Ito, S., Numata, Y., & Sykes, K. (2001). *SEM/EDX-Integrated Analysis System SEMEDX Series Improved Operability The SEMEDX Series Application Technologies Application Technologies Software Hardware Software Hardware Integrated Systems SEM/EDX-Integrated Analysis System SEMEDX Series*. 22, 14–18.

Zaera, F. (2014). New advances in the use of infrared absorption spectroscopy for the characterization of heterogeneous catalytic reactions. *Chemical Society Reviews*, 43(22), 7624–7663.

<https://doi.org/10.1039/c3cs60374a>

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>

Abdullah, S. I., & Ansari, M. N. M. (2015). Mechanical properties of graphene oxide (GO)/epoxy composites. *HBRC Journal*, 11(2), 151–156.

<https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.06.001>

Aksara, M., Akademia, G., & Akademia, A. G. (2024). *Material pertahanan* (Issue August).

Almeida, E. C. (2022). *Machine Translated by Google*
*Aplikasi oksida graphene sebagai penguat (nano)
pada komposit epoksi Aplikasi oksida grafis seperti (nano) yang diperkuat dalam komposisi matriks epóxi.*

Alwie, rahayu deny danar dan alvi furwanti, Prasetyo, A. B., Andespa, R., Lhokseumawe, P. N., & Pengantar, K. (2020). Tugas Akhir Tugas Akhir. *Jurnal Ekonomi* Volume 18, Nomor 1 Maret 201, 2(1), 41–49.

Andrew, J. J., Srinivasan, S. M., Arockiarajan, A., & Dhakal,

H. N. (2019). Parameters influencing the impact response of fiber-reinforced polymer matrix composite materials: A critical review. *Composite Structures*, 224(0).
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111007>

Andrijanto, E., Shoelarta, S., Subiyanto, G., & Rifki, S. (2016). Facile synthesis of graphene from graphite using ascorbic acid as reducing agent. *AIP Conference Proceedings*, 1725.
<https://doi.org/10.1063/1.4945457>

Asim, M., Saba, N., Jawaid, M., & Nasir, M. (2018). Potential of natural fiber/biomass filler-reinforced polymer composites in aerospace applications. In *Sustainable Composites for Aerospace Applications*. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102131-6.00012-8>

Bari, P., Khan, S., Njuguna, J., & Mishra, S. (2017). Elaboration of properties of graphene oxide reinforced epoxy nanocomposites. *International Journal of Plastics Technology*, 21(1), 194–208.
<https://doi.org/10.1007/s12588-017-9180-9>

Basyarahil, Z. I. (2017). Karakterisasi dan proses

manufaktur komposit polypropylene berpenguat serat dendrocalamus asper untuk aplikasi ruang mesin otomotif. *Teknik Material*, 2(4), 36–47.

Bello, S. A., Agunsoye, J. O., Hassan, S. B., Kana, M. G. Z., & Raheem, I. A. (2015). Epoxy resin based composites, mechanical and tribological properties: A review. *Tribology in Industry*, 37(4), 500–524.

Bortz, D. R., Heras, E. G., & Martin-Gullon, I. (2012). Impressive fatigue life and fracture toughness improvements in graphene oxide/epoxy composites. *Macromolecules*, 45(1), 238–245.
<https://doi.org/10.1021/ma201563k>

Cao, L., Zhi, J., Yang, Y., Yuan, L., Song, Y., Lu, X., & Lu, C. (2022). Synergistically Improving Mechanical and Interfacial Properties of Epoxy Resin and CFRP Composites by Introducing Graphene Oxide. *Advances in Polymer Technology*, 2022.
<https://doi.org/10.1155/2022/8309259>

Chen, B., Tang, J., Zhang, G., Chen, S., & Zhang, J. (2017). Properties and morphologies of epoxy resin based composites reinforced by polyurethane and graphene oxide. *Materials Transactions*, 58(5), 842–844.

<https://doi.org/10.2320/matertrans.M2016464>

Costa, U. O., Nascimento, L. F. C., Garcia, J. M., Bezerra, W. B. A., Costa, G. F. F. da, Luz, F. S. da, Pinheiro, W. A., & Monteiro, S. N. (n.d.). *Mechanical properties of composites with graphene oxide functionalization of either epoxy matrix or curaua fiber reinforcement.*

Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of graphene oxide. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 228–240.
<https://doi.org/10.1039/b917103g>

Dur, S. (2017). Zeolite Processing As Heavy Material. *ZERO: Jurnal Sains, Matematika Dan Terapan*, 1(1), 33–45. <https://doi.org/10.30829/zero.v1i1.1457>

Edwards, E. R., Almeida, É. C., Dos Santos, M. B., & Oliveira, A. S. (2022). Application of graphene oxide as (nano) reinforcement in epoxy composites. *Revista Materia*, 27(2). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220002.1377>

Eqra, R., Moghim, M. H., & Eqra, N. (2021). A study on the mechanical properties of graphene oxide/epoxy nanocomposites. *Polymers and Polymer Composites*,

29(9_suppl), S556–S564.

<https://doi.org/10.1177/09673911211011150>

Falaah, A. F., Chalid, M., & Fathurrohman, M. I. (2022).

Pengaruh Filler Bentonit Termodifikasi Terhadap Perilaku Sifat Mekanik Ebonit Karet Alam. *Warta Perkaretan*, 41(1), 31–44.

<https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v41i1.815>

Falah, M., & Mackenzie, K. J. D. (2020). Photocatalytic

nanocomposite materials based on inorganic polymers (Geopolymers): A review. *Catalysts*, 10(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/catal10101158>

Fauzi, D. R. (2022). *Pengaruh Pelapisan Graphite Pada*

Pelat Aluminium Menggunakan Metode Compression Molding Sebagai Pelat Conducting Pada Fuel Cell. 5–31.

Ferreira, F. V., Brito, F. S., Franceschi, W., Simonetti, E. A.

N., Cividanes, L. S., Chipara, M., & Lozano, K. (2018).

Functionalized graphene oxide as reinforcement in epoxy based nanocomposites. *Surfaces and Interfaces*, 10(October 2017), 100–109.

<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.12.004>

Galpaya, D., Wang, M., George, G., Motta, N., Waclawik, E., & Yan, C. (2014). Preparation of graphene oxide/epoxy nanocomposites with significantly improved mechanical properties. *Journal of Applied Physics*, 116(5). <https://doi.org/10.1063/1.4892089>

GALPAYA, D., WANG, M., YAN, C., LIU, M., MOTTA, N., & WACLAWIK, E. (2013). Fabrication and Mechanical and Thermal Behaviour of Graphene Oxide/Epoxy Nanocomposites. *Journal of Multifunctional Composites*, 1(2), 99–106. <https://doi.org/10.12783/issn.2168-4286/1.2/galpaya>

Gibson, R. F. (2016). "Introduction," in Principles of Composite Material Mechanics. In *Principles of Composite Material Mechanics, Fourth Edition* (Vol. 2).

Gogoi, P., Boruah, R., & Dolui, S. K. (2015). Jatropha curcas oil based alkyd/epoxy/graphene oxide (GO) bionanocomposites: Effect of GO on curing, mechanical and thermal properties. *Progress in Organic Coatings*, 84, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.09.022>

Gugun Gundara, Dikri Saepul Robani, & Aceng Sambas.

- (2022). Pengaruh Fraksi Volume Serat Dengan Matriks Epoxy Pada Material Komposit Serat Mendong. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(7), 3007–3020. <https://doi.org/10.55927/mudima.v2i7.657>
- Hestiawan, H., & Fauzi, A. (2014). Studi Pengaruh Fraksi Volume dan Susunan Serat Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Komposit Resin Berpenguat Serat Rotan (Calamus Trachycoleus). *Jurnal Mechanical*, 5(1), 3–6.
- Hong, X., Lee, J. C., Ng, J. L., Md Yusof, Z., He, Q., & Li, Q. (2023). Effect of Graphene Oxide on the Mechanical Properties and Durability of High-Strength Lightweight Concrete Containing Shale Ceramsite. *Materials*, 16(7).
<https://doi.org/10.3390/ma16072756>
- Huang, H. D., Ren, P. G., Chen, J., Zhang, W. Q., Ji, X., & Li, Z. M. (2012). High barrier graphene oxide nanosheet/poly(vinyl alcohol) nanocomposite films. *Journal of Membrane Science*, 409–410, 156–163.
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.03.051>
- Ilham, B. dan M. R. (2019). Sifat Kuat Tarik Material Komposit Hibrid Berpenguat Serat Ijuk Dan Sabut

Kelapa Dengan Orientasi Serat Acak. *Jurnal Mekanikal*, 10(2), 980–991.

Inkson, B. J. (2016). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization. In *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X>

Jefferson Andrew, J., Arumugam, V., Saravanakumar, K., Dhakal, H. N., & Santulli, C. (2015). Compression after impact strength of repaired GFRP composite laminates under repeated impact loading. *Composite Structures*, 133, 911–920.
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.022>

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, A. R., Cintora, A., White, S. R., & Sottos, N. R. (2014).

- Autonomic healing of carbon fiber/epoxy interfaces.
ACS Applied Materials and Interfaces, 6(9), 6033–6039. <https://doi.org/10.1021/am500536t>
- Jones, R., & Chiu, W. K. (1999). Composite repairs to cracks in thick metallic components. *Composite Structures*, 44(1), 17–29. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(98\)00108-1](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(98)00108-1)
- K D Vernon-Parry, C. (2000). *Microscopy : an introduction*. 13(4), 40–44.
- Katti, P., Verma, K. K., Kumar, S., & Bose, S. (2021). Tuning the interface in epoxy-based composites and laminates through epoxy grafted graphene oxide enhances mechanical properties. *Nanoscale Advances*, 3(23), 6739–6749. <https://doi.org/10.1039/d1na00437a>
- Kausar, A., Rafique, I., Anwar, Z., & Muhammad, B. (2016). Perspectives of epoxy/graphene oxide composite: Significant features and technical applications. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 55(7), 704–722. <https://doi.org/10.1080/03602559.2015.1098700>

Khaeru, R., Hartono, Y., & Budi, A. S. (2017). Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Asiwung Raja (*Typha Angustipholia*) Sebagai Alternatif Bahan Komposit Untuk Komponen Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk Dan Impak. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2), 10.

Kutz, M. (2023). Applied Plastics Engineering Handbook. *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Sustainability, Materials, and Applications*, May, 1–870. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-03149-X>

Lee, C., Wei, X., Kysar, J. W., & Hone, J. (2008). Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *Science*, 321(5887), 385–388. <https://doi.org/10.1126/science.1157996>

Li, M. S., Ma, C. C. M., Chen, J. L., Lin, M. L., & Chang, F. C. (1996). Epoxy-polycarbonate blends catalyzed by a tertiary amine. 1. Mechanism of transesterification and cyclization. *Macromolecules*, 29(2), 499–506. <https://doi.org/10.1021/ma950978u>

Liu, Q., Zhou, X., Fan, X., Zhu, C., Yao, X., & Liu, Z. (2012). Mechanical and Thermal Properties of Epoxy Resin Nanocomposites Reinforced with Graphene Oxide.

Polymer - Plastics Technology and Engineering, 51(3), 251–256.

<https://doi.org/10.1080/03602559.2011.625381>

Loeffen, A., Cree, D. E., Sabzevari, M., & Wilson, L. D.

(2021). Effect of graphene oxide as a reinforcement in a bio-epoxy composite. *Journal of Composites Science*, 5(3), 1–19.

<https://doi.org/10.3390/jcs5030091>

Long, J. P., Li, S. X., Liang, B., & Wang, Z. G. (2019).

Investigation of thermal behaviour and mechanical property of the functionalised graphene oxide/epoxy resin nanocomposites. *Plastics, Rubber and Composites*, 48(3), 127–136.

<https://doi.org/10.1080/14658011.2019.1577027>

Lu, S., Li, S., Yu, J., Yuan, Z., & Qi, B. (2013). Epoxy

nanocomposites filled with thermotropic liquid crystalline epoxy grafted graphene oxide. *RSC Advances*, 3(23), 8915–8923.

<https://doi.org/10.1039/c3ra40404h>

Mahkam, M., Rafi, A. A., Faraji, L., & Zakerzadeh, E. (2015).

Preparation of Poly (methacrylic acid)–Graphene Oxide Nanocomposite as a pH-Sensitive Drug Carrier

Through in-situ Copolymerization of Methacrylic Acid with Polymerizable Graphene. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 54(9), 916–922.
<https://doi.org/10.1080/03602559.2014.961081>

Maity, P., Kasisomayajula, S. V., Parameswaran, V., Basu, S., & Gupta, N. (2008). Improvement in surface degradation properties of polymer composites due to pre-processed nanometric alumina fillers. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 15(1), 63–72. <https://doi.org/10.1109/T-DEI.2008.4446737>

Mario, S. D. E., & Pongky, L. W. (2023). Perancangan Mold Base Dengan Sistem Two Plate Mold Untuk Produk Spesimen Uji Tarik. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 7–13.

Matsuura, K., Umahara, Y., Gotoh, K., Hoshijima, Y., & Ishida, H. (2018). Surface modification effects on the tensile properties of functionalised graphene oxide epoxy films. *RSC Advances*, 8(18), 9677–9684.
<https://doi.org/10.1039/c8ra00252e>

Méndez-Lozano, N., Pérez-Reynoso, F., & González-Gutiérrez, C. (2022). Eco-Friendly Approach for Graphene Oxide Synthesis by Modified Hummers

Method. *Materials*, 15(20).

<https://doi.org/10.3390/ma15207228>

Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. (2017). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2>

Mudunkotuwa, I. A., Minshid, A. Al, & Grassian, V. H. (2014). ATR-FTIR spectroscopy as a tool to probe surface adsorption on nanoparticles at the liquid-solid interface in environmentally and biologically relevant media. *Analyst*, 139(5), 870–881. <https://doi.org/10.1039/c3an01684f>

Muhammad, M., & Putra, R. (2018). Uji Mekanik Komposit Berpenguat Serat Pandan Duri dan Resin Polyester Dengan Variasi Komposisi Metoda Fraksi Berat. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 6(2), 63. <https://doi.org/10.29103/jtku.v6i2.476>

Nash, N. H., Young, T. M., McGrail, P. T., & Stanley, W. F. (2015). Inclusion of a thermoplastic phase to improve impact and post-impact performances of carbon fibre reinforced thermosetting composites - A

review. *Materials and Design*, 85, 582–597.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.001>

Nauval, H. S., Sulardjaka, S., & ... (2023). ... Massa, Komposisi, Dan Treatment Serat Terhadap Kekuatan Uji Tarik Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matriks Gondorukem. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(3), 472–481.

<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/41012%0Ahttps://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/download/41012/30037>

Nguyen, T. A., & Bui, T. T. T. (2021). Study the Effects of Carbon Nanotubes and Graphene Oxide Combinations on the Mechanical Properties and Flame Retardance of Epoxy Nanocomposites. *Journal of Nanomaterials*, 2021.

<https://doi.org/10.1155/2021/1437929>

Nugroho, G., & Wantogia, M. S. R. R. (2019). Proses Fabrikasi dan Sifat Mekanik Komposit Polimer dengan Metode Bladder Compression Moulding. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 1(2), 95.

<https://doi.org/10.22146/jmdt.53047>

Nurhidayat, A., Wijoyo, W., & Irnawan, D. (2022). Kajian

Fraksi Volume Serat Komposit Tangkai Ilalang Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Teknosains Kodepena*, 2(2 SE-Articles), 20–26.
<https://www.jtk.kodepena.org/index.php/jtk/article/view/43>

Oktavian, D., Arifvianto, B., & Mahardika, M. (2021). Ekstruksi Dan Karakterisasi Filamen Komposit Polylactid Acid (Pla) / Carbon Nano Tube (Cnt). *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, 2(2), 12.
<https://doi.org/10.22146/jmtp.70481>

Papageorgiou, D. G., Kinloch, I. A., & Young, R. J. (2017). Mechanical properties of graphene and graphene-based nanocomposites. *Progress in Materials Science*, 90, 75–127.
<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.07.004>

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>

- Permana, A. (2021). *Analisis Model Struktur Komposit Main Landing Gear*. 2(1), 9–18.
- Phoenix, S. L., Schwartz, P., & Robinson, H. H. (1988). Statistics for the strength and lifetime in creep-rupture of model carbon/epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 32(2), 81–120. [https://doi.org/10.1016/0266-3538\(88\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0266-3538(88)90001-2)
- Polvillo, O., A, González-Pérez, J. A., A, Boski, T., B, González-Vila, F. J., & A. (2009). -alkanes (C 16 -C 33 with clear odd/even.
- Pourhashem, S., Vaezi, M. R., Rashidi, A., & Bagherzadeh, M. R. (2017). Exploring corrosion protection properties of solvent based epoxy-graphene oxide nanocomposite coatings on mild steel. *Corrosion Science*, 115, 78–92. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.11.008>
- Purwaningsih, H., & Pramata, A. D. (2022). *SINTESIS DAN PENGEMBANGAN NANOFIBER REDUCED GRAPHENE OXIDE / CuO SEBAGAI ELEKTRODA BIOSENSOR*.
- 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>

Rajabi, M., Rashed, G. R., & Zaarei, D. (2015). Assessment of graphene oxide/epoxy nanocomposite as corrosion resistance coating on carbon steel. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 50(7), 509–516.

<https://doi.org/10.1179/1743278214Y.00000000232>

Robertus, T. (2017). *ISSN 1412- 8063 Jakarta – Indonesia Vol . 15 No . 2 Desember 2017 ISSN 1412- 8063*. 15(2).

S, P., KM, S., K, N., & S, S. (2017). Fiber Reinforced Composites - A Review. *Journal of Material Science & Engineering*, 06(03). <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000341>

Saba, N., Jawaid, M., Alothman, O. Y., Paridah, M. T., & Hassan, A. (2016). 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., Jawaid, 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>

Salgado-delgado, A. M., Grissel, E., Hern, R., Salgado-delgado, R., Santana-camilo, J. A., & Olarte-paredes, A. (2023). *Obtention and Characterization of GO/Epoxy and GO-GPTMS/Epoxy Nanocompounds with Different Oxidation Degrees and Ultrasound Methods*.

Salman Ali, A. (2020). Application of Nanomaterials in Environmental Improvement. *Nanotechnology and the Environment*, 1–20.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.91438>

Sedyadi, E., & Huda, K. (2016). Kajian Adsorpsi Remazol Yellow FG oleh Montmorillonit-Kitosan. *Integrated Laboratorium Journal*, 04(02), 139–152.
<http://ejournal.uin-suka.ac.id/pusat/integratedlab/article/view/1129>

Septiyanto, J. N., Azis, 1 Abdul, Syafiqri, 1 Naufal, Firdaus,

1Faridz Farhat, & Parapat, 2 Riny Yolandha. (2025).
Scientica Scientica. 3, 169–188.

Setiawan, F., & Ardianto, H. (2018). Karakteristik Sifat
Mekanis Kekuatan Tarik Komposit Nanopartikel
Daur Ulang PET dengan Limbah Abu Bagase Boiler.
Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine, Vol.
5(2)(2), Pp. 30-44.
<https://jurnal.sttkd.ac.id/index.php/ts/article/view/>
37

Shah, R., Kausar, A., Muhammad, B., & Shah, S. (2015).
Progression from Graphene and Graphene Oxide to
High Performance Polymer-Based Nanocomposite: A
Review. *Polymer - Plastics Technology and*
Engineering, 54(2), 173–183.
<https://doi.org/10.1080/03602559.2014.955202>

Shah, V., Bhaliya, J., Patel, G. M., & Deshmukh, K. (2022).
Advances in polymeric nanocomposites for
automotive applications: A review. *Polymers for*
Advanced Technologies, 33(10), 3023–3048.
<https://doi.org/10.1002/pat.5771>

Shank, G. C., Lee, R., Vähätalo, A., Zepp, R. G., & Bartels, E.
(2010). Production of chromophoric dissolved

organic matter from mangrove leaf litter and floating Sargassum colonies. *Marine Chemistry*, 119(1–4), 172–181.

<https://doi.org/10.1016/j.marchem.2010.02.002>

Song, L., Lu, S., Xiao, X., Qi, B., He, Z., Xu, X., Rao, B., & Yu, J. (2017). Enhanced thermal and mechanical properties of liquid crystalline-grafted graphene oxide-filled epoxy composites. *Polymer Bulletin*, 74(5), 1611–1627. <https://doi.org/10.1007/s00289-016-1792-2>

Sugiman et al. (2015). *Penyerapan Air pada Epoxy dan Poliester Tak Jenuh dan Pengaruhnya pada Kekuatan Tarik* View project *Water resistance of epoxy adhesive* View project. October 2015.

Suljatomiko, F. (2020). Biosintesis Komposit Grafena Oksida Tereduksi/SnO₂ menggunakan Ekstrak Daun Matoa (*Pometia Pinnata*) untuk Degradasi Fotokatalitik Biru Metilena. *Universitas Islam Indonesia*.

Sulistiyani, M. (2018). Spektroskopi Fourier Transform Infra Red Metode Reflektansi (Atr-Ftir) Pada Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Vitamin C. *Jurnal TEMAPELA*, 1(2), 39–43. <https://doi.org/10.25077/temapela.1.2.39-43.2018>

Sunardi, S., Fawaid, M., & Muhamad, F. R. N. (2015). Variasi Campuran Fly Ash Batubara untuk Material Komposit. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 1(1), 90–102.

Tang, J., Zhou, H., Liang, Y., Shi, X., Yang, X., & Zhang, J. (2014). Properties of graphene oxide/epoxy resin composites. *Journal of Nanomaterials*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/696859>

Thebora, M. E., Kurnia Nastira Ningsih, & Muhammad Irhash Shalihin. (2020). SINTESIS GRAFENA DARI LIMBAH PELEPAH SAWIT (*Elaeis Sp.*) DENGAN METODE REDUKSI GRAFIT OKSIDA MENGGUNAKAN PEREDUKSI Zn. *Jurnal Khazanah Intelektual*, 3(2), 462–476. <https://doi.org/10.37250/newkiki.v3i2.48>

Thompson, J. D., Higgins, D. G., & Gibson, T. J. (1994). CLUSTAL W: Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*, 22(22), 4673–4680. <https://doi.org/10.1093/nar/22.22.4673>

Tjahjanti, P. H. (2018). Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer. *Buku Ajar Teori Dan*

Aplikasi Material Komposit Dan Polimer.

<https://doi.org/10.21070/2019/978-602-5914-27-0>

Tretyakov, I. V., Petrova, T. V., Kireynov, A. V., Korokhin, R. A., Platonova, E. O., Alexeeva, O. V., Gorbatkina, Y. A., Solodilov, V. I., Yurkov, G. Y., & Berlin, A. Al. (2023). Fracture of Epoxy Matrixes Modified with Thermo-Plastic Polymers and Winding Glass Fibers Reinforced Plastics on Their Base under Low-Velocity Impact Condition. *Polymers*, 15(13).
<https://doi.org/10.3390/polym15132958>

Ummah, M. S. (2019). mekanika komposit dan bio-komposit. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

Wang, C., Ge, H., Liu, H., & Guo, S. (2015). Microstructure and properties of carbon fiber sized with pickering

emulsion based on graphene oxide sheets and its composite with epoxy resin. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(29), 1–8.
<https://doi.org/10.1002/app.42285>

Wu, H., Cheng, L., Liu, C., Lan, X., & Zhao, H. (2021). Engineering the interface in graphene oxide/epoxy composites using bio-based epoxy-graphene oxide nanomaterial to achieve superior anticorrosion performance. *Journal of Colloid and Interface Science*, 587(xxxx), 755–766.
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.11.035>

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>

Yurugi, T., Ito, S., Numata, Y., & Sykes, K. (2001). *SEM/EDX-Integrated Analysis System SEMEDX Series Improved Operability The SEMEDX Series Application Technologies Application Technologies Software Hardware Software Hardware Integrated Systems SEM/EDX-Integrated Analysis System SEMEDX Series.*

22, 14–18.

Zaera, F. (2014). New advances in the use of infrared absorption spectroscopy for the characterization of heterogeneous catalytic reactions. *Chemical Society Reviews*, 43(22), 7624–7663.

<https://doi.org/10.1039/c3cs60374a>

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>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan fraksi berat komposit

a. Volume Komposit

$$\begin{aligned}V_{komposit} &= p \times l \times t \\&= 16 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \\&= 200 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

b. Menghitung Volume Komposit

Perbandingan antara resin dengan hardener adalah 2:1.

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

- Sampel semua variasi

$$\begin{aligned}W_{resin} &= \frac{2}{3} \times 300 \text{ gr} \\&= 200 \text{ gr} \\W_{hardener} &= \frac{1}{3} \times 300 \text{ gr} \\&= 100 \text{ gr}\end{aligned}$$

c. Menghitung Kebutuhan *Graphene Oxide* (GO)

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

- Sampel A

$$\begin{aligned}GO &= 300 \text{ gr} \times 0\% \\&= 0\%\end{aligned}$$

- Sampel B

$$\begin{aligned}GO &= 300 \text{ gr} \times 1\% \\&= 3 \text{ gr}\end{aligned}$$

- Sampel C

$$GO = 300 \text{ gr} \times 2\% \\ = 6 \text{ gr}$$

- Sampel D

$$GO = 300 \text{ gr} \times 3\% \\ = 9 \text{ gr}$$

Lampiran 2 Perhitungan Ralat Pengukuran dan Ralat Perambatan

1. Perhitungan Ralat Kekuatan Tarik

a) Ralat Pengukuran

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

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

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

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

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

- Sampel GO 0%wt

PARAMETER UNIT	STRESS (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
A1	12,098	1,94368	3,777892
A2	9,4266	-0,72772	0,529576
A3	11,606	1,45168	2,107375
A4	8,226	-1,92832	3,718418
A5	9,415	-0,73932	0,546594
	10,15432		10,67986

Nilai rerata ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = 10,154$$

Deviasi standarnya (Δx)

$$\Delta x = \sqrt{\frac{10,679}{4}} = 2,669$$

Besaran terukur ($\bar{x}$)

$$x = (10,154 \pm 2,669) \text{ MPa}$$

Kesalahan relatif

$$\frac{2,669}{10,154} \times 100\% = 0,262\%$$

$$\text{Ketelitian } 100\% - 0,262\% = 99,738\%$$

- Sampel GO 1%wt

PARAMETER UNIT	STRESS (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
B1	8,696	-0,8322	0,693
B2	6,580	-2,9482	8,692
B3	11,985	2,4568	6,036
B4	11,179	1,6508	2,725
B5	9,201	-0,3272	0,107
	9,528		18,253

Nilai rerata ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = 9,528$$

Deviasi standarnya (Δx)

$$\Delta x = \sqrt{\frac{18,253}{4}} = 4,563$$

Besaran terukur ($\bar{x}$)

$$x = (9,528 \pm 4,563) \text{ MPa}$$

Kesalahan relatif

$$\frac{4,563}{9,528} \times 100\% = 0,478\%$$

$$\text{Ketelitian } 100\% - 0,478\% = 99,522\%$$

- Sampel GO 2 %wt

PARAMETER UNIT	STRESS (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
C1	8,498	-0,4498	0,202
C2	8,601	-0,3468	0,120
C3	9,614	0,6662	0,444
C4	8,781	-0,1668	0,028
C5	9,245	0,2972	0,088
	8,9478		0,883

Nilai rerata ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = 8,947$$

Deviasi standarnya (Δx)

$$\Delta x = \sqrt{\frac{0,883}{4}} = 0,220$$

Besaran terukur (x)

$$x = (8,947 \pm 0,220) \text{ MPa}$$

Kesalahan relatif

$$\frac{0,220}{8,947} \times 100\% = 0,024\%$$

Ketelitian $100\% - 0,024\% = 99,976\%$

- Sampel GO 3 %wt

PARAMETER UNIT	STRESS (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
D1	19,224	3,0538	9,326
D2	13,222	-2,9482	8,692
D3	11,929	-4,2412	17,988
D4	14,594	-1,5762	2,484
D5	21,882	5,7118	32,625
	16,1702		71,114

Nilai rerata ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = 16,170$$

Deviasi standarnya (Δx)

$$\Delta x = \sqrt{\frac{71,114}{4}} = 17,778$$

Besaran terukur (x)

$$x = (16,170 \pm 17,778) \text{ MPa}$$

Kesalahan relatif

$$\frac{17,778}{16,170} \times 100\% = 1,099\%$$

$$\text{Ketelitian } 100\% - 1,099\% = 98,901\%$$

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	8,612	12,098	0,001
A2	15,531	9,426	0,001
A3	20,621	11,606	0,001
A4	21,406	8,226	0,000
A5	22,597	9,415	0,000
Average	17,753	10,1542	0,001
Standar Deviasi	5,777745	1,634069	0,000

$$\begin{aligned} \Delta E &= 0,001 \times \sqrt{\left(\frac{1,593}{10,1542}\right)^2 + \left(\frac{2,106}{17,753}\right)^2} \\ &= 0,000133 \end{aligned}$$

- Sampel GO 1%wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
A1	2,852	8,696	0,003
A2	2,661	6,580	0,002
A3	3,200	11,985	0,004
A4	4,128	11,179	0,003
A5	3,919	9,201	0,002
Average	3,352	9,528	0,003
Standar Deviasi	0,647	2,136	0,001

$$\Delta E = 0,001 \times \sqrt{\left(\frac{1,543}{9,528}\right)^2 + \left(\frac{0,915}{3,352}\right)^2}$$

$$= 0,0009$$

- Sampel GO 2%wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
C1	30,219	8,498	0,0003
C2	14,532	8,601	0,0006
C3	21,925	9,614	0,0004
C4	34,239	8,781	0,0003
C5	22,721	9,245	0,0004
Average	24,727	8,9478	0,0004
Standar Deviasi	7,689	0,470	0,000

$$\Delta E = 0,001 \times \sqrt{\left(\frac{1,495}{8,9478}\right)^2 + \left(\frac{2,486}{24,727}\right)^2}$$

$$= 7.70477E - 05$$

- Sampel GO 3%wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
D1	1,938	8,498	0,0044
D2	2,991	8,601	0,0029
D3	1,434	9,614	0,0067
D4	1,747	8,781	0,0050
D5	0,935	9,245	0,0099
Average	1,809	8,9478	0,0058
Standar Deviasi	0,762	0,470	0,003

$$\Delta E = 0,078 \times \sqrt{\left(\frac{1,495}{8,9478}\right)^2 + \left(\frac{0,672}{1,809}\right)^2}$$

$$= 0,0023$$

2. Kekuatan Bending

a) Ralat Pengukuran

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

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

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

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

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

- Sampel GO 0%wt

PARAMETER UNIT	STRESS (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
A1	21,783	-40,899	1672,728
A2	72,098	9,416	88,66106
A3	71,04	8,358	69,85616
A4	80,967	18,285	334,3412
A5	67,522	4,84	23,4256
	62,682		313,41

$$\text{Nilai rerata } (\bar{x})$$

$$\bar{x} = 62,682$$

$$\text{Deviasi standarnya } (\Delta x)$$

$$\Delta x = \sqrt{\frac{313,41}{4}} = 78,352$$

Besaran terukur ($\bar{x}$)

$$x = (62,682 \pm 78,352) \text{ MPa}$$

Kesalahan relatif

$$\frac{78,352}{62,682} \times 100\% = 1,249\%$$

$$\text{Ketelitian } 100\% - 1,249\% = 98,751\%$$

- Sampel GO 1%wt

PARAMETER UNIT	STRESS (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
B1	39,374	2,6164	6,845549
B2	29,749	-7,0086	49,12047
B3	55,746	18,9884	360,5593
B4	35,191	-1,5666	2,454236
B5	23,728	-13,0296	169,7705
	36,7576		183,788

Nilai rerata ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = 36,757$$

Deviasi standarnya (Δx)

$$\Delta x = \sqrt{\frac{183,788}{4}} = 45,947$$

Besaran terukur ($\bar{x}$)

$$x = (129,926 \pm 18,890) \text{ MPa}$$

Kesalahan relatif

$$\frac{18,890}{129,926} \times 100\% = 0,145\%$$

$$\text{Ketelitian } 100\% - 0,145\% = 99,855\%$$

- Sampel GO 2%wt

PARAMETER UNIT	STRESS (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
C1	1,461	-0,1534	0,023532
C2	1,616	0,0016	2,56E-06
C3	1,503	-0,1114	0,01241
C4	1,626	0,0116	0,000135
C5	1,866	0,2516	0,063303
	1,6144		8,072

Nilai rerata ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = 1,614$$

Deviasi standarnya (Δx)

$$\Delta x = \sqrt{\frac{8,072}{4}} = 2,018$$

Besaran terukur (x)

$$x = (1,614 \pm 2,018) \text{ MPa}$$

Kesalahan relatif

$$\frac{2,018}{1,614} \times 100\% = 1,250\%$$

$$\text{Ketelitian } 100\% - 1,250\% = 98,753\%$$

- Sampel GO 3%wt

PARAMETER UNIT	STRESS (Mpa)	Deviasi	Deviasi Kuadrat
D1	2,525	-0,1582	0,025027
D2	2,662	-0,0212	0,000449
D3	2,631	-0,0522	0,002725
D4	2,616	-0,0672	0,004516
D5	2,982	0,2988	0,089281
	2,6832		13,416

Nilai rerata ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = 2,683$$

Deviasi standarnya (Δx)

$$\Delta x = \sqrt{\frac{13,416}{4}} = 3,354$$

Besaran terukur (x)

$$x = (2,683 \pm 3,354) \text{ MPa}$$

Kesalahan relatif

$$\frac{3,354}{2,683} \times 100\% = 1,250\%$$

$$\text{Ketelitian } 100\% - 1,250\% = 98,75\%$$

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	6,221	21,783	0,004
A2	3,428	72,098	0,021
A3	3,528	71,04	0,020
A4	3,143	80,967	0,026
A5	4,214	67,522	0,016
Average	4,107	62,682	0,017
Standar Deviasi	1,245595	23,39344	0,00844968

$$\begin{aligned} \Delta E &= 0,017 \times \sqrt{\left(\frac{3,958}{62,682}\right)^2 + \left(\frac{1,013}{4,107}\right)^2} \\ &= 0,0044 \end{aligned}$$

- Sampel GO 1%wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
B1	2,978	39,374	0,013
B2	3,346	29,749	0,009
B3	2,649	55,746	0,021
B4	3,019	35,191	0,012
B5	3,134	23,728	0,008
Average	3,025	36,7576	0,012
Standar Deviasi	0,254236	12,132086	0,00528089

$$\Delta E = 0,012 \times \sqrt{\left(\frac{3,031}{36,757}\right)^2 + \left(\frac{0,869}{3,025}\right)^2}$$

$$= 0,0037$$

- Sampel GO 2%wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
C1	34,646	1,461	0,000
C2	40,892	1,616	0,000
C3	36,534	1,503	0,000
C4	30,735	1,626	0,000
C5	37,816	1,866	0,000
Average	36,125	1,6144	0,000
Standar Deviasi	3,774606	0,157624	5,79439E-06

$$\Delta E = 0,001 \times \sqrt{\left(\frac{0,635}{1,624}\right)^2 + \left(\frac{3,005}{36,125}\right)^2}$$

$$= 1.81058E - 05$$

- Sampel GO 3%wt

Parameter Unit	Strain (%)	Stress (Mpa)	Modulus Young (Gpa)
D1	83,535	2,525	0,000
D2	92,341	2,662	0,000
D3	96,282	2,631	0,000
D4	84,882	2,616	0,000
D5	78,007	2,982	0,000
Average	87,009	2,6832	0,000
Standar Deviasi	7,280926	0,174642	4,214E-06

$$\Delta E = 0,001 \times \sqrt{\left(\frac{0,819}{2,6832}\right)^2 + \left(\frac{4,663}{87,009}\right)^2}$$

$$= 9.63377E - 06$$

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama : Tara Elsa Shofiyana
Tempat, Tanggal lahir : Grobogan, 14 Juni 2003
Alamat : Kedung Genengadal Kec,
Toroh Kab, Grobogan rt/rw
05/04
No. Telepon : 087366703408
Email : taraelsa311@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. MTs Futuhiyyah 2 Mranggen Demak (2015-2018)
2. MA Futuhiyyah 2 Mranggen Demak (2018-2021)

Semarang, 27 Juni 2025



Tara Elsa Shofiyana

NIM. 2108026011

