

**PERBANDINGAN KEKUATAN TARIK KOMPOSIT
FIBERGLASS BARU DAN *FIBERGLASS* HASIL
PEMBAKARAN SEBAGAI BAHAN PENGUAT KOMPOSIT**

*Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Program Studi D-III Teknik Perkapalan Jurusan Teknik Perkapalan*



Oleh:

AGUS PRAYOGA

1103230024

**PROGRAM STUDI D-III TEKNIK PERKAPALAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
POLITEKNIK NEGERI BENGKALIS
AGUSTUS 2026**

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *FIBERGLASS* BARU DAN *FIBERGLASS* HASIL PEMBAKARAN SEBAGAI BAHAN PENGUAT KOMPOSIT

*Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Program Studi D-III Teknik Perkapalan Jurusan Teknik Perkapalan*



Oleh:

AGUS PRAYOGA

1103230024

**PROGRAM STUDI D-III TEKNIK PERKAPALAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
POLITEKNIK NEGERI BENGKALIS
AGUSTUS 2026**

HALAMAN PENGESAHAN
PERBANDINGAN KEKUATAN TARIK KOMPOSIT
***FIBERGLASS* BARU DAN *FIBERGLASS* HASIL**
PEMBAKARAN SEBAGAI BAHAN PENGUAT KOMPOSIT

*Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Perkapalan*

Oleh :

AGUS PRAYOGA
NIM.1103230024

Disetujui oleh Tim Penguji Skripsi/TA :

Tanggal Ujian : 05 Agustus
Periode Wisuda : 2026



Muhammad Helmi, S.T., M.T
NIP.198208152014041001

(Pembimbing 1)



Jupri, M.T
NIP.198707012025211080

(Pembimbing 2)



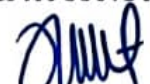
Afriantoni, S.T., M.T
NIP.19750409201404100

(Penguji 1)



Dr. Egi Yuliora, S.Si., M.Si
NIP.198807312025062001

(Penguji 2)



Nur Audina, S.Pi., M.Si
NIP.199408062022032013

(Penguji 3)

Bengkalis, 05 Agustus 2026
Ketua Program Studi D-III Teknik Perkapalan



Jupri, M.T
NIP.198707012025211080

LEMBAR PENGESAHAN

Kami dengan sebenarnya menyatakan bahwa, kami telah membaca keseluruhan dari Skripsi/TA ini, dan kami berpendapat bahwa Tugas Akhir ini layak dan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya.

Tanda Tangan : 
Nama Penguji 1 : Afriantoni, S.T., M.T.
Tanggal Pengujian : 05 Agustus 2026

Tanda Tangan : 
Nama Penguji 2 : Dr. Egi Yuliora, S.Si., M.Si
Tanggal Pengujian : 05 Agustus 2026

Tanda Tangan : 
Nama Penguji 3 : Nur Audina, S.Pi., M.Si
Tanggal Pengujian : 05 Agustus 2026

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah dilakukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya di perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar Pustaka.

Bengkalis, 05 Agustus 2026



AGUS PRAYOGA
NIM.1103230024

PERBANDINGAN KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *FIBERGLASS* BARU DAN *FIBERGLASS* HASIL PEMBAKARAN SEBAGAI BAHAN PENGUAT KOMPOSIT

Nama : Agus Prayoga
Nim : 1103230024
Dosen Pembimbing I : Muhammad Helmi, S.T.,M.T
Dosen Pembimbing II : Jupri, S.T.,M.T

ABSTRAK

Limbah serat kaca fiberglass dari industri perkapalan yang terus menumpuk berpotensi mencemari lingkungan sekitar jika tidak dikelola dengan benar. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kekuatan tarik komposit yang menggunakan serat fiberglass baru dengan serat fiberglass daur ulang hasil pembakaran suhu 480–500 °C. Metode pembuatan spesimen uji dalam penelitian ini menggunakan teknik laminasi manual (hand lay-up) dengan susunan berupa 6 lapis Chopped Strand Mat (CSM) dan 5 lapis Woven Roving (WR) dengan matriks resin poliester. Spesimen uji dipotong menjadi masing-masing 4 sampel berdasarkan standar ASTM D638 Tipe I. Pengujian mekanik dilakukan menggunakan mesin Universal Testing Machine (UTM) untuk mengetahui nilai kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength) serta nilai regangan material tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit serat fiberglass baru memiliki rata-rata kekuatan tarik maksimum sebesar 224,38 MPa dengan regangan rata-rata 4,48%. Sementara itu, komposit serat fiberglass hasil pembakaran mengalami penurunan sifat mekanik dengan rata-rata kekuatan tarik maksimum sebesar 121,12 MPa. Penurunan kekuatan tarik disebabkan oleh degradasi ikatan pada antarmuka serat dan matriks akibat paparan suhu tinggi saat pembakaran. Meskipun demikian, kekuatan tarik serat daur ulang tetap melampaui nilai minimal penelitian sebesar 98 MPa. Kesimpulannya, material serat daur ulang ini layak direkomendasikan untuk diaplikasikan kembali pada komponen nonstruktural ringan di industri perkapalan.

Kata kunci: Komposit, Fiberglass, Daur Ulang Termal, Uji Tarik, ASTM D638 Tipe I.

***COMPARISON OF TENSILE STRENGTH BETWEEN NEW FIBERGLASS
AND FIBERGLASS DERIVED FROM COMBUSTION AS COMPOSITE
REINFORCEMENT MATERIAL***

Name : Agus Prayoga
Student ID Number : 1103230024
Supervisor I : Muhammad Helmi, S.T.,M.T
Supervisor II : Jupri, S.T.,M.T

ABSTRACT

The continuous accumulation of fiberglass waste from the shipbuilding industry poses a significant risk of environmental pollution if not managed properly. This study aims to compare the tensile strength of composites made from new fiberglass with those utilizing recycled fiberglass obtained through thermal processing at 480–500 °C. The specimens were fabricated using the manual laminating technique (hand lay-up), consisting of 6 layers of Chopped Strand Mat (CSM) and 5 layers of Woven Roving (WR) within a polyester resin matrix. The test specimens were then cut into 4 samples for each variation in accordance with the ASTM D638 Type I standard. Mechanical testing was conducted using a Universal Testing Machine (UTM) to determine the ultimate tensile strength and elongation behavior of the materials. The test results indicated that the new fiberglass composite achieved an average ultimate tensile strength of 224.38 MPa with an average strain of 4.48%. Conversely, the recycled fiberglass composite experienced a decline in mechanical properties, yielding an average ultimate tensile strength of 121.12 MPa. This reduction in tensile strength was caused by the degradation of the fiber–matrix interface bond due to high-temperature exposure during combustion. Nevertheless, the tensile strength of the recycled fiber still exceeded the minimum research reference value of 98 MPa. In conclusion, this recycled material remains highly viable and recommended for reapplication in lightweight non-structural components within the shipbuilding industry.

Keywords: Composite, Fiberglass, Thermal Recycling, Tensile Test, ASTM D638 Type I.

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Wr.Wb

Segala puji hanya kepada Allah SWT. atas limpahan dan Rahmat-Nya penyusun mampu menyelesaikan Tugas Akhir tepat pada waktunya. Pada penyusunan Tugas Akhir ini banyak pihak yang telah memberikan bantuan materi maupun spiritual. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Untuk itu penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Muhammad Ikhsan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Program Studi Teknik Perkapalan, Politeknik Negeri Bengkalis.
2. Bapak Siswandi.B,S.T.,M.T selaku Sekretaris Jurusan Program Studi Teknik Perkapalan, Politeknik Negeri Bengkalis.
3. Bapak Jupri, M.T selaku Ketua Program Studi D-III Teknik Perkapalan, Politeknik Negeri Bengkalis.
4. Bapak Muhamad Helmi, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing 1 dan Bapak Jupri, M.T selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir . Terima kasih atas bimbingan, masukan dan ide-ide yang telah diberikan.
5. Kedua orang tua Bapak dan Ibu . Terima kasih atas doa, dukungan moril dan materil selama pengerjaan Tugas Akhir penulis.

Penulis mohon maaf karena dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan terdapat banyak kekurangan. Atas perhatian dan waktunya penulis ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bengkalis,04 Agustus 2026
Penulis,

AGUS PRAYOGA
NIM. 1103230024

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Kajian Terdahulu	4
2.2. Pengertian Komposit	5
2.2.1. Komponen Penyusun Komposit	7
2.2.2. Klasifikasi Komposit	9
2.3. Komposit Serat (Fiber Composite)	10
2.3.1. Jenis Serat	11

2.3.2. Penempatan Serat Dalam Komposit	11
2.4. Serat Gelas.....	13
2.5. Matrik (Resin)	16
2.6. Proses Pembuatan Komposit	17
2.7. Standar Dimensi Spesimen.....	19
2.8. Pengujian Tarik (Tensile Strength)	20
1.8. PT Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Tahapan Penelitian	24
3.2. Identifikasi Masalah	24
3.3. Studi Literatur.....	24
3.4. Pengumpulan Data	24
3.5. Prosedur Pembuatan Spesimen	25
3.5.1. Alat dan Bahan.....	25
3.6. Prosedur Pengujian Tarik	26
3.7. Analisa Perbandingan.....	27
3.8. Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>)	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Pembuatan Spesimen.....	28
4.1.1. Pemotongan Triplek Sebagai Cetakan.....	28
4.1.2. Pengaplikasian Mirror Glass.....	29
4.1.3. Pemotongan Serat	29
4.1.4. Membuat Adonan	30
4.1.5. Peroses Laminasi Pada Serat Yang Akan Dibakar	30
4.1.6. Penghilangan Resin Dengan Dibakar	31
4.1.7. Peroses Laminasi	32
4.1.8. Proses Pemotongan Spesimen	32
4.2. Melakukan Uji Tarik	33
4.3. Data Hasil Uji Tarik	34
4.3.1. Data dari Spesimen Uji Tarik	35

4.3.2. Data Hasil Pengujian Tarik Dengan Serat Baru	35
4.3.3. Data Hasil Pengujian Tarik Dengan Serat Yang Sudah Dibakar.....	37
4.4. Perbandingan Kekuatan Tarik	40
4.5. Perbandingan Hasil Pengujian Dengan Acuan BKI.....	41
BAB V PENUTUP	42
5.1. Kesimpulan.....	42
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik Beberapa Jenis Polimer Termoset	17
Tabel 2. 2 Standar Ukuran Spesimen Uji Tarik	20
Tabel 4. 1 Data Spesimen Uji	35
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Untuk Fiberglass Baru	35
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Untuk Fiberglass Yang Dibakar.....	37
Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Pengujian	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fasa-Fasa Dalam Komposit	5
Gambar 2. 2 Grafik Hubungan <i>Strain-Tensile Stress</i> Dari Beberapa Komposit.....	6
Gambar 2. 3 Beberapa Bentuk Partikel Yang Biasa Digunakan Sebagai Filler	8
Gambar 2. 4 Struktur Penyusun Komposit	8
Gambar 2. 5 Diagram Klasifikasi Bahan Komposit Yang Umum Dikenal	10
Gambar 2. 6 <i>Continuous Fiber Composite</i>	12
Gambar 2. 7 <i>Woven Fiber Composite</i>	12
Gambar 2. 8 <i>Chopped Fiber Composite</i>	13
Gambar 2. 9 <i>Hybrid Composite</i>	13
Gambar 2. 10 Dimensi Spesimen Uji Tarik	20
Gambar 2. 11 Pengujian Tarik	21
Gambar 2. 12 Kurva Uji Tarik	21
Gambar 4. 1 Pemotongan Triplek	29
Gambar 4. 2 Pengaplikasian Mirror Glass	29
Gambar 4. 3 Pemotongan Serat.....	30
Gambar 4. 4 Pencampuran Resin Dan Katalis	30
Gambar 4. 5 Proses Laminasi.....	31
Gambar 4. 6 Proses Penghilangkan Resin Dengan Dibakar	31
Gambar 4. 7 Proses Laminasi Pada Serat Murni Dan Yang Sudah Di Bakar.....	32
Gambar 4. 8 Pemotong Spesimen	33
Gambar 4. 9 Pengujian Tarik	33
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Uji Tarik Untuk Serat Baru	36
Gambar 4. 11 Grafik Hasil Uji Tarik Untuk Serat Yang Dibakar	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Standar ASTM D638-14	46
Lampiran 2 : Standar ASTM D638-14	47
Lampiran 3 : Standar ASTM D638-14	48
Lampiran 4 : Standar ASTM D638-14	49
Lampiran 5 : Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Untuk <i>Fiberglass</i> Baru	50
Lampiran 6 : Hasil Uji Tarik Spesimen 2 Untuk <i>Fiberglass</i> Baru	51
Lampiran 7 : Hasil Uji Tarik Spesimen 3 Untuk <i>Fiberglass</i> Baru	52
Lampiran 8 : Hasil Uji Tarik Spesimen 4 Untuk <i>Fiberglass</i> Baru	53
Lampiran 9 : Gambar Sumua Grafik Untuk Serat Baru.....	54
Lampiran 10 : Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Untuk <i>Fiberglass</i> Yang Dibakar.....	55
Lampiran 11 : Hasil Uji Tarik Spesimen 2 Untuk <i>Fiberglass</i> Yang Dibakar.....	56
Lampiran 12 : Hasil Uji Tarik Spesimen 3 Untuk <i>Fiberglass</i> Yang Dibakar.....	57
Lampiran 13 : Hasil Uji Tarik Spesimen 4 Untuk <i>Fiberglass</i> Dibakar	58
Lampiran 14 : Gambar Semua Grafik Untuk Serat Yang Dibakar	59

DAFTAR SIMBOL

F_m	= Gaya Maksimum
F_b	= Gaya Saat Spesimen Patah
F_y	= Gaya Pada Saat Spesimen Mulai Luluh
L_y	= Pertambahan Panjang
TS	= Tegangan Tarik Maksimum
TS_b	= Tegangan Saat Patah
S_y	= Tegangan Luluh
E_y	= Tegangan Luluh

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan komposit fiberglass (*Fiberglass Reinforced Polymer/FRP*) terus meningkat pada berbagai sektor industri, seperti perkapalan, otomotif, konstruksi, dan energi terbarukan. Besarnya pemanfaatan material ini ditunjukkan oleh kapasitas produksi komposit berserat kaca secara global yang telah mencapai lebih dari 9 juta ton per tahun Ginder & Ozcan. (2021). Permintaan terhadap material ini terus mengalami kenaikan karena sejumlah keunggulan yang dimilikinya, meliputi rasio kekuatan yang tinggi terhadap beratnya, ketahanan terhadap serangan korosi, serta efektivitas biaya produksi yang lebih terjangkau jika dibandingkan dengan material konvensional seperti baja dan kayu.

Seiring dengan meningkatnya penggunaan fiberglass, jumlah limbah fiberglass yang dihasilkan juga semakin bertambah. Limbah ini umumnya berasal dari sisa proses produksi, produk cacat, hasil pemotongan, serta produk fiberglass yang telah habis masa pakainya. Berbeda dengan limbah logam, limbah fiberglass tergolong sulit terurai dan memiliki tingkat daur ulang yang rendah karena struktur kompositnya yang tersusun dari ikatan kuat antara serat kaca dan resin polimer. Kondisi ini menyebabkan limbah fiberglass berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan jangka panjang apabila tidak dikelola dengan baik.

Salah satu metode yang digunakan untuk mendaur ulang limbah fiberglass adalah *thermal recycling* atau proses daur ulang secara termal. Metode ini bertujuan menghilangkan matriks resin yang mengikat serat kaca sehingga serat dapat dipulihkan dan dimanfaatkan kembali. Dibandingkan metode daur ulang lainnya, proses termal memiliki potensi menghasilkan serat dengan kualitas yang relatif lebih baik. Namun, paparan temperatur tinggi selama proses tersebut dapat menyebabkan degradasi permukaan serat dan menurunkan sifat mekaniknya, terutama kekuatan tarik. Meskipun demikian, serat fiberglass hasil daur ulang

masih berpotensi dimanfaatkan kembali sebagai bahan penguat pada produk komposit tertentu.(Gonçalves dkk., 2022)

Pemanfaatan limbah fiberglass pasca pembakaran sebagai penguat komposit menawarkan pendekatan yang lebih sederhana dan realistis dibandingkan metode daur ulang kimia atau mekanis yang kompleks dan mahal. Namun, proses pembakaran diduga dapat memengaruhi kondisi permukaan serat, seperti terjadinya kerusakan mikro, perubahan kekasaran permukaan, serta penurunan kekuatan intrinsik serat. Perubahan-perubahan tersebut berpotensi memengaruhi kualitas ikatan antarmuka antara serat daur ulang dan matriks resin baru, yang pada akhirnya akan berdampak pada sifat mekanik komposit yang dihasilkan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan penelitian yang menganalisis dan membandingkan kekuatan tarik antara komposit fiberglass murni dan komposit fiberglass yang menggunakan serat hasil daur ulang limbah fiberglass yang telah melalui proses pembakaran untuk menghilangkan resin. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kelayakan serat fiberglass daur ulang pasca pembakaran sebagai bahan penguat komposit, sekaligus menjadi solusi inovatif dalam upaya pengurangan limbah fiberglass dan pengembangan material komposit yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai kekuatan tarik fiberglass baru berdasarkan hasil pengujian tarik?
2. Bagaimana nilai kekuatan tarik fiberglass limbah hasil pembakaran berdasarkan hasil pengujian tarik?
3. Bagaimana perbandingan kekuatan tarik antara fiberglass baru dan fiberglass limbah hasil pembakaran berdasarkan hasil pengujian tarik?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah komposit berbasis fiberglass dengan matriks resin polimer yang sama untuk seluruh spesimen uji.
2. Variasi yang ditinjau dalam penelitian ini dibatasi pada perbedaan jenis serat penguat, sedangkan parameter lain seperti jenis resin, perbandingan pencampuran resin dan katalis, serta metode fabrikasi dibuat sama.
3. Metode pembuatan spesimen komposit dibatasi pada satu metode fabrikasi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi nilai kekuatan tarik komposit berbahan serat *fiberglass* baru melalui pengujian tarik.
2. Mengidentifikasi nilai kekuatan tarik komposit berbahan serat *fiberglass* limbah hasil pembakaran melalui pengujian tarik.
3. Membandingkan kekuatan tarik antara fiberglass baru dan fiberglass limbah hasil pembakaran.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menjadi referensi ilmiah bagi mahasiswa dan peneliti selanjutnya yang akan melakukan penelitian mengenai pemanfaatan serat fiberglass daur ulang sebagai bahan penguat pada material komposit.
2. Memberikan informasi teknis dan praktis mengenai pengaruh penggunaan serat fiberglass hasil daur ulang terhadap kekuatan tarik komposit, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan material untuk aplikasi struktural ringan.
3. Mendukung upaya pengurangan limbah fiberglass melalui pemanfaatan kembali serat hasil daur ulang, sehingga berkontribusi terhadap pelestarian lingkungan dan penerapan konsep material berkelanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Terdahulu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit *Glass Fiber Reinforced Epoxy Composite* (GFRC) mengalami dekomposisi termal dalam tiga tahap dengan tahap utama terjadi pada rentang suhu 256–500 °C, yang menunjukkan terurainya resin epoksi sehingga menyisakan serat kaca sebagai residu padat. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pirolisis merupakan metode yang efektif dan ramah lingkungan untuk mendaur ulang limbah komposit fiberglass karena mampu menghilangkan matriks resin sekaligus menghasilkan serat kaca yang berpotensi dimanfaatkan kembali. Namun, penelitian tersebut hanya berfokus pada karakteristik termal dan kinetika pirolisis serta belum mengevaluasi sifat mekanik serat atau komposit hasil daur ulang setelah digunakan kembali. (Yousef dkk., 2021).

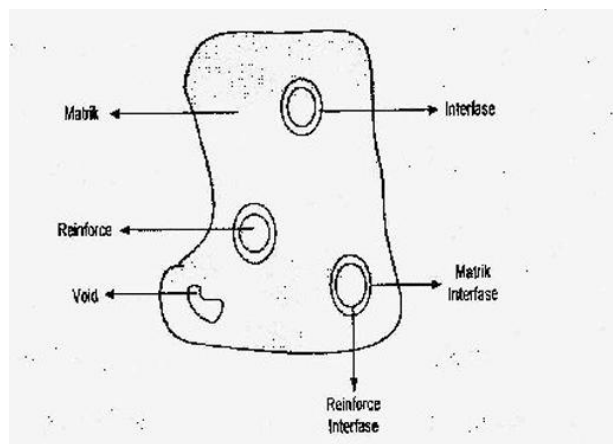
Penelitian kedua dilakukan oleh Kaboré dkk. (2025). yang mengulas berbagai metode daur ulang limbah *Glass Fiber-Reinforced Polymer* (GFRP), meliputi daur ulang mekanis, termal, dan kimia, serta pemanfaatannya pada material berbasis semen. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode termal mampu memulihkan serat kaca melalui proses dekomposisi matriks polimer, meskipun sifat mekanik serat hasil daur ulang umumnya mengalami penurunan akibat paparan suhu tinggi. Selain membahas proses daur ulang, penelitian ini juga meninjau pemanfaatan GFRP daur ulang sebagai bahan penyusun beton dan mortar, yang berpotensi mengurangi limbah komposit sekaligus mendukung penerapan konsep ekonomi sirkular.

Penelitian ketiga dilakukan oleh. Igl dkk. (2023) yang mengevaluasi penerapan *thermal recycling* pada komposit fiberglass dalam mendukung konsep ekonomi sirkular. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas yang digunakan untuk memisahkan serat dari matriks polimer menyebabkan penurunan kekuatan tarik serat akibat degradasi termal. Meskipun demikian, serat hasil daur ulang masih mampu mempertahankan kekakuan (*stiffness*) yang relatif baik

sehingga tetap memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali pada aplikasi tertentu yang tidak menuntut sifat mekanik setara dengan serat baru. Penelitian ini menegaskan bahwa daur ulang termal merupakan alternatif yang menjanjikan untuk mengurangi limbah komposit sekaligus meningkatkan keberlanjutan pemanfaatan material fiberglass.

2.2. Pengertian Komposit

Komposit adalah salah satu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, di mana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda, dengan satu material sebagai pengisi (matrik) dan material lainnya sebagai fasa penguat (*reinforcement*). Komposit biasanya terdiri dari dua bahan dasar, yaitu serat dan matriks. Serat biasanya bersifat elastis dan memiliki kekuatan tarik yang baik, namun tidak dapat digunakan pada temperatur yang tinggi. Sementara itu, matriks umumnya bersifat ulet, lunak, dan berfungsi sebagai bahan pengikat setelah mencapai titik bekunya. Kedua bahan yang memiliki sifat berbeda ini digabungkan untuk memperoleh suatu bahan baru (komposit) yang memiliki sifat berbeda dari sifat partikel penyusunnya (Cylne & Hull, 2019).

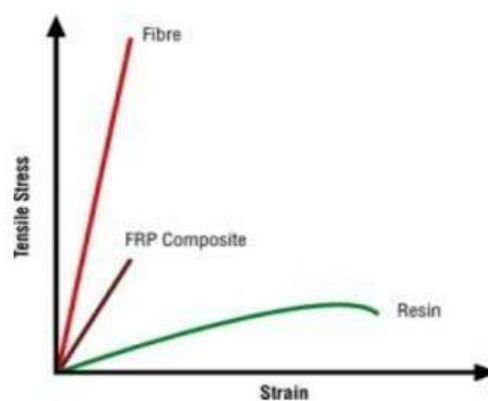


Gambar 2. 1 Fasa-Fasa Dalam Komposit

Sumber : Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit

Suatu material komposit merupakan material yang kompleks, yang tersusun dari dua material atau lebih yang digabungkan atau disatukan secara bersamaan pada skala makroskopik untuk membentuk suatu produk yang berguna dan dirancang guna menghasilkan kualitas serta sifat terbaik. Fase penguat biasanya bersifat elastis dan memiliki kekuatan tarik yang baik, namun tidak dapat digunakan pada temperatur tinggi, sedangkan matriks bersifat ulet, lunak, dan berfungsi sebagai bahan pengikat setelah mencapai titik bekunya. Kedua bahan dengan karakteristik yang berbeda tersebut digabungkan untuk menghasilkan material baru (komposit) yang memiliki sifat mekanik yang berbeda dari masing-masing bahan penyusunnya. Di dalam material komposit dapat terbentuk suatu interphase, yaitu fase peralihan antara fase matriks dan fase penguat, yang dapat timbul akibat adanya interaksi kimia antara matrik dan penguat.

Perkembangan teknologi memungkinkan komposit didesain sedemikian rupa sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan sehingga dapat dibuat menjadi lebih kuat, ringan dan kaku. Beberapa kelebihan tersebut menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan teknologi tinggi di bidang industri, transportasi dan konstruksi bangunan. Karena komposit adalah kombinasi sistem resin dan serat penguat, maka sifat-sifat yang dimiliki komposit adalah kombinasi dari sifat sistem resin dan serat penguatnya (Gopalraj & Kärki, 2020).



Gambar 2. 2 Grafik Hubungan *Strain-Tensile Stress* Dari Beberapa Komposit

Sumber : *Principles Of Composite Material* (halaman 27)

2.2.1. Komponen Penyusun Komposit

Komposit pada umumnya terdiri dari dua fasa (Cylne & Hull, 2019):

a. Matriks

Matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer atau logam. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matriks. Matriks dalam susunan komposit berguna untuk melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Selain itu, matriks juga berfungsi sebagai pelapis serat.

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Mentransfer tegangan ke serat.
2. Membentuk ikatan koheren, permukaan matriks/serat.
3. Melindungi serat.
4. Memisahkan serat.
5. Melepas ikatan.
6. Tetap stabil setelah proses manufaktur\

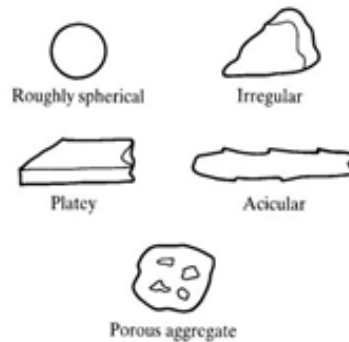
Matriks yang baik untuk digunakan pada komposit serat harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Matriks melekat dengan baik pada permukaan serat sehingga beban yang diberikan pada komposit akan didistribusikan dengan baik kepada serat, karena serat inilah yang memegang peranan penting dalam menahan beban yang diterima oleh komposit.
2. Melindungi permukaan serat dari kerusakan.
3. Melindungi serat dari perambatan keretakan.

Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC) merupakan komposit dengan jenis matriks polimer, Contoh : *Thermoplastic, thermosetting*.

2. *Metal Matrix Composite* (MMC) yang merupakan komposit berbahan matriks logam, Contoh: Aluminium, magnesium, titanium.
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik, Contoh : Alumina, aluminium titanate, silicon *carbide*

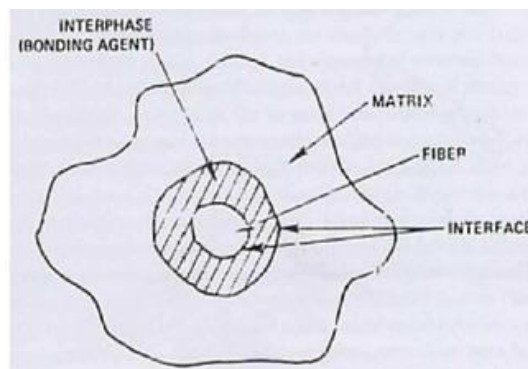


Gambar 2. 3 Beberapa Bentuk Partikel Yang Biasa Digunakan Sebagai Filler

Sumber : *The Non Halogenated Flame Retardant* (halaman 7)

b. *Reinforcement* atau Filler atau Fiber

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya, Matriks (penyusun dengan fraksi volume terbesar), Penguat (penahan beban utama), Interphase (pelekat antar dua penyusun), interface (permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain) (Mallick, 2007).



Gambar 2. 4 Struktur Penyusun Komposit

Sumber : *Composite Material Handbook* (halaman 4)

Secara struktur mikro material komposit tidak mengubah material pembentuknya (dalam orde kristalin) tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya karena terjadi ikatan antar permukaan antara matriks dan filler.

Syarat terbentuknya komposit : adanya ikatan permukaan antara matriks dan filler. Ikatan antar permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi. Dalam material komposit gaya adhesi-kohesi terjadi melalui tiga cara utama (Mallick, 2007):

1. Interlocking antar permukaan atau ikatan yang terjadi karena kekasaran bentuk permukaan partikel.
2. Gaya elektrostatis atau ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara atom yang bermuatan (ion).
3. Gaya Van der Waals atau ikatan yang terjadi karena adanya pengutupan antar partikel.

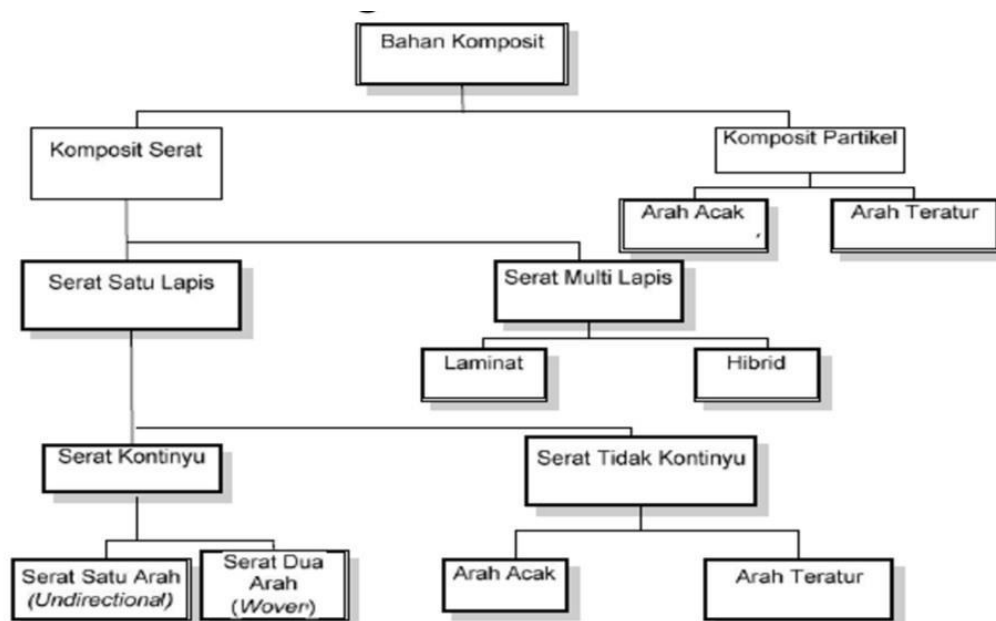
Kualitas ikatan antara matriks dan filler dipengaruhi oleh beberapa variabel antara lain :

1. Ukuran partikel
2. Rapat jenis bahan yang digunakan
3. Fraksi volume material
4. Komposisi material
5. Bentuk partikel
6. Kecepatan dan waktu pencampuran
7. Penekanan (kompaksi)
8. Pemanasan (sintering)

2.2.2. Klasifikasi Komposit

Berdasarkan matriks, komposit dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok besar yaitu :

- c. Komposit matriks polimer (KMP), polimer sebagai matrik.
- d. Komposit matriks logam (KML), logam sebagai matrik.
- e. Komposit matriks keramik (KMK), keramik sebagai matriks.



Gambar 2. 5 Diagram Klasifikasi Bahan Komposit Yang Umum Dikenal

2.3. Komposit Serat (Fiber Composite)

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat atau komposit yang terdiri dari fiber dan matriks sebagai pengikat. Komposit ini terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat atau fiber. Serat yang digunakan biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat aramid dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Peningkatan kekuatan menjadi tujuan utama, komponen penguat harus mempunyai rasio aspek yang besar, yaitu rasio panjang terhadap diameter harus tinggi agar beban ditransfer melewati titik di mana mungkin terjadi perpatahan.

Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matriks, kemudian akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matriks penyusun komposit (Gopalraj & Kärki, 2020).

Serat dalam bahan komposit berperan sebagai bahan utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil diameter serat yang mendekati kristal, maka semakin kuat bahan tersebut karena minimnya cacat pada material.

2.3.1. Jenis Serat

Serat (fiber) adalah suatu jenis bahan berupa potongan- potongan komponen yang akan membentuk jaringan memanjang yang utuh. Berdasarkan jenisnya, serat penguat untuk komposit dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (Daniel & Ishai, 2016):

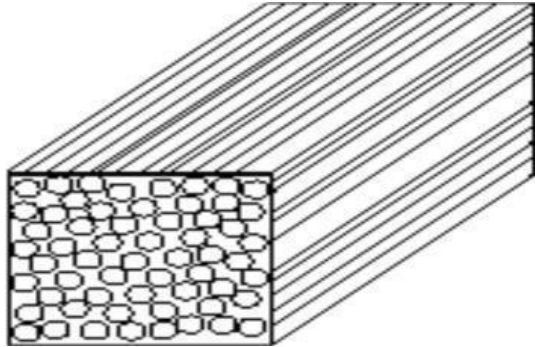
- a. Serat buatan (*Synthetic fiber*), merupakan serat penguat untuk bahan komposit yang dibuat dari bahan-bahan kimia. Contohnya: serat gelas (*fiber glass*), serat optik (*fiber optic*), serat poliester (*polyester fiber*) dan lain-lain.
- b. Serat alami (*Natural fiber*), merupakan serat penguat untuk bahan komposit yang merupakan serat alami dari hasil alam. Serat alami dapat berasal dari hewan walaupun kebanyakan berasal dari tumbuh-tumbuhan. Contoh: bulu domba (hewani), serat bambu dan serat pisang (tumbuhan) dan lain-lain.

2.3.2. Penempatan Serat Dalam Komposit

Penempatan serat dan arah serat yang tepat pada posisinya akan menjadikan komposit dapat menahan beban lebih baik. Serat dibedakan menjadi beberapa bagian (Daniel & Ishai, 2006):

a. *Continuous fiber composite*

Continuous fiber composite mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina di antara matriksnya dan mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan.

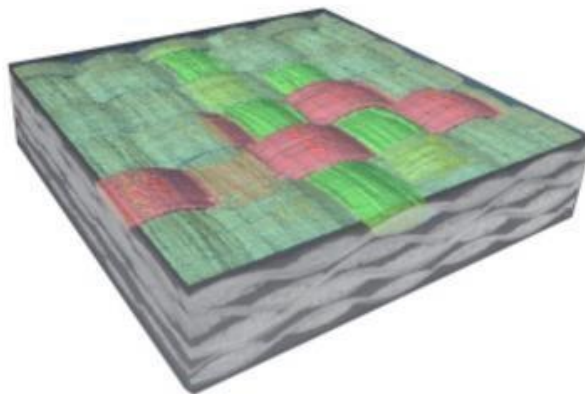


Gambar 2. 6 Continuous Fiber Composite

Sumber : *Principles Of Composite Material (Introduction)*

b. *Woven fiber composite*

Woven fiber composite tidak mudah mengalami pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah. (Komposit yang diperkuat dengan serat anyaman).

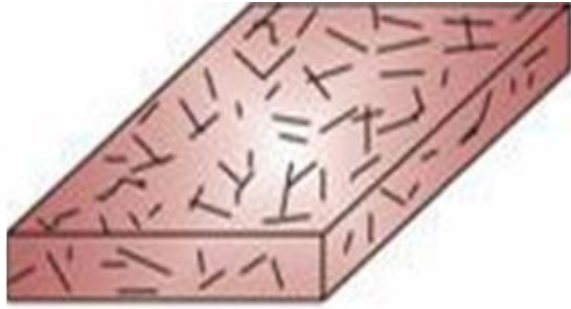


Gambar 2. 7 Woven Fiber Composite

Sumber : *Principles Of Composite Material* (halaman 157)

c. *Chopped fiber composite*

Chopped fiber composite ini diperkuat serat pendek dan serat acak.

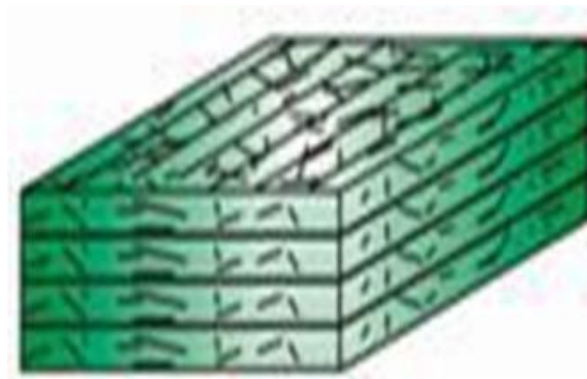


Gambar 2. 8 *Chopped Fiber Composite*

Sumber : *Principles Of Composite Material* (halaman 4)

d. *Hybrid fiber composite*

Hybrid fiber composite merupakan komposit gabungan antara serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat-sifat kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.



Gambar 2. 9 *Hybrid Composite*

Sumber : *Principles Of Composite Material* (halaman 27)

2.4. Serat Gelas

Serat gelas (*Fiberglass*) adalah bahan yang tidak mudah terbakar. Serat jenis ini biasanya digunakan sebagai penguat matrik jenis *polymer*. Komposisi kimia serat gelas sebagian besar adalah SiO_2 dan sisanya adalah *oksida-oksida alumunium* (Al), *kalsium* (Ca), *magnesium* (Mg), *natrium* (Na), dan unsur unsur lainnya. Berdasarkan bentuknya serat gelas dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain (Quadrini et al., 2025):

a *Chopped Strand Mat (CSM)*

Jenis serat kaca dengan anyaman yang diproduksi secara acak ke berbagai arah dan tidak beraturan. Serat kaca inilah yang paling banyak digunakan oleh perajin fiberglass karena harga yang relatif murah dan mudah digunakan. *Chopped strand mat* artinya adalah helaian untaian cincang. Dikarenakan jenis serat kaca ini memang seperti kumpulan serat-serat yang dicincang dan dibentuk menjadi satu helai atau lembaran baru. Jenis serat ini sangat cocok sebagai penguat resin tipe polyester dan epoxy karena sudah mengandung bubuk pengikat yang akan bereaksi apabila terkena resin. Kapasitas serap yang bisa mencapai 1½ ukuran beratnya membuat jenis serat kaca ini cukup kuat digunakan untuk menopang beban besar. Ketebalan serat ini pun diproduksi berbeda-beda dari yang tipis hingga yang tebal dan kadang dipadukan dengan serat yang lebih baik yaitu *Woven Roving Mat*.

b *Woven Roving Mat (WRM)*

Jenis serat kaca yang diproduksi dengan anyaman yang rapi dari dua arah yaitu horizontal dan vertikal dengan kekuatan beban yang sama. Jenis serat kaca ini sering juga disebut tipe (0°/90°) mengikuti sudut horizontal dan sudut vertikal yang dibentuk anyamannya yang berarti kuat menahan beban kedua arah tersebut dan lemah ke arah diagonal atau 45°. Namun jenis serat kaca ini tetap banyak digunakan dan telah diuji kekuatannya dalam perkapalan terutama yang banyak disebut dengan WR600 (*Woven Roving 600gram / m²*) yang cukup tebal untuk 1 lapis/ meternya. Kelebihan lain serat ini adalah pemakaian resin yang relatif lebih kecil dibanding CSM yaitu 1:1 dan hal ini menjadi pertimbangan bagi produsen peralatan dan kapal berbahan *fiberglass* untuk tujuan komersial.

c *Biaxial Mat (BX)*

Disebut juga *biax fiberglass*, jenis serat ini adalah ibarat perpaduan antara *Woven Roving Mat* (WRM) dan *Chopped Strand Mat* (CSM) yang dijahit hingga membentuk kekuatan yang maksimal. Arah untaian serat yang membentuk 45° dan CSM dilapisan bawahnya menjadikan serat ini lebih kuat dari kedua jenis sebelumnya. Kelebihan lain jenis serat ini adalah berkurangnya penggunaan serat yang berlapis-lapis dan lebih hemat dalam penggunaan resin dibanding

CSM dan WRM. Jenis serat *Biaxial* ini disebut ($\pm 45^\circ$) sesuai dengan arah untai serat yang dibentuk membuat penggunaan jenis serat *fiber* ini sangat mudah karena mampu mengikuti lekukan permukaan yang dilapisi dengan jauh lebih baik.

d *Carbon Fiber (CF)*

Serat karbon (*Carbon Fiber*) atau sering disebut, dengan *Fiber* atau *Graphite Fibre*. Sejak tahun 70-an serat ini sudah mulai populer dan diproduksi seiring meningkatnya kebutuhan pasar yang menuntut kedua karakteristik tersebut yaitu kuat tetapi ringan. Kelebihan lain serat karbon ini adalah sifat kaku lenturnya, ketahanan terhadap suhu panas dingin yang ekstrem dan ketahanannya terhadap reaksi kimia yang besar. Serat karbon banyak digunakan dalam pembuatan pesawat terbang, pertahanan persenjataan, teknologi tinggi, olah raga profesional seperti mobil balap, sepeda balap, alat pancing, dan lain sebagainya. Penguat yang digunakan untuk fiber pada umumnya dalam bentuk serat atau benang dan dapat dipakai secara terpisah maupun bersama-sama keberadaan penguat yang tinggi memberikan kekuatan tarik yang tinggi. Perbandingan antara resin dan penguat merupakan faktor yang sangat penting untuk menentukan sifat struktur komposit. Material penguat (*reinforcement*) yang paling sering digunakan untuk membentuk komposit pada umumnya berbentuk serat gelas yang mempunyai modulus elastisitas yang cukup tinggi.

Berdasarkan jenisnya serat gelas dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain (Mallick, 2017):

a Serat E-Glass

Serat *E-Glass* adalah salah satu jenis serat yang dikembangkan sebagai penyekat atau bahan isolasi. Jenis ini mempunyai kemampuan bentuk yang baik. Kandungan unsur *alkali* dalam serat gelas tipe ini kurang dari 1 % yang dikombinasikan dengan *sodium* dan *potassium oksida*.

b Serat C-Glass

Serat *C-Glass* adalah jenis serat yang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap korosi, sehingga banyak digunakan untuk melapisi peralatan pabrik kimia.

c Serat S-Glass

Serat S-Glass adalah jenis serat yang mempunyai kekakuan yang tinggi

2.5. Matrik (Resin)

Matriks (resin) dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Matriks harus bisa meneruskan beban dari luar ke serat. Umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan yang lunak dan liat. Polimer (plastik) merupakan bahan umum yang biasa digunakan. Matriks juga umumnya dipilih berdasarkan kemampuannya menahan panas. Polyester, vinilester dan epoksi adalah bahan-bahan polimer yang sejak dahulu telah dipakai sebagai bahan matriks (Mallick, 2017).

2.5.1. Resin Termoplastik

Resin termoplastik adalah resin yang melunak jika dipanaskan dan akan mengeras jika didinginkan, atau dapat dikatakan bahwa proses pengerasannya bersifat reversible. Resin termoplastik memberikan sifat-sifat yang lebih unggul dari pada resin termoset, karena memiliki kekuatan lentur yang lebih baik, ketahanan terhadap cracking yang lebih tinggi, dan lebih mudah dibentuk tanpa katalis. Namun resin tipe ini sulit dikombinasikan dengan reinforcement karena viskositas dan kekuatannya yang tinggi. Beberapa contoh resin termoplastik antara lain: *polyvinyl chloride* (PVC), *polyethylene*, *polypropylene* dan lain-lain.

2.5.2 Resin Thermoset

Resin Thermoset adalah resin yang akan mengeras jika dipanaskan, namun jika dipanaskan lebih lanjut tidak akan melunak, atau dengan kata lain proses pengerasannya *irreversible*. Resin Thermoset tidak dapat didaur ulang karena telah membentuk ikatan silang antara rantai – rantai molekulnya. Sifat mekanis dari resin ini bergantung pada unsur molekul yang membentuk jaringan, rapat dan panjang jaringan silang. Ada beberapa macam Resin Thermoset, antara lain:

a. Polyester

Resin polyester merupakan resin yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, baik itu berdiri sendiri maupun dalam bentuk material komposit.

b. Epoxy

Resin epoxy sering digunakan sebagai bahan pembuat material komposit. Resin ini dapat direkayasa untuk menghasilkan sejumlah produk yang berbeda guna menaikkan kinerjanya.

c. Vinyl Ester

Matriks jenis ini dikembangkan untuk menggabungkan kelebihan dari resin epoxy. Vinyl Ester memiliki ketangguhan mekanik dan ketahanan korosi yang sangat baik.

Jenis resin termoset memiliki nilai sifat mekanik yang berbeda yang dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik Beberapa Jenis Polimer Termoset

Jenis polimer	Termoset		
Nama polimer	Epoxy	Polyester	Vinylester
<i>Specific gravity</i>	1,11 – 1,40	1,04 – 1,46	1,16 – 1,35
<i>Tensile strength</i> , (MPa)	27,58 – 89,63	4,14 – 89,63	72,39 – 81,01
<i>Tensile modulus</i> , (MPa)	2,413	2,068 – 3,447	2,413 – 4,137
<i>Elongation</i> , %	3 – 6	1 – 5	3,5 – 5,5
<i>Deflection temperature</i> , °C	97 – 523	122 – 382	132 – 152
<i>Flexural strength</i> ,(MPa)	89,63 – 444,79	58,61 – 158,58	117,21 – 24,11

2.6. Proses Pembuatan Komposit

Ada empat langkah dasar dalam proses manufaktur komposit pembasahan atau *impregnasi*, *lay-up*, *consolidation* dan *solidification*. Semua proses manufaktur komposit melibatkan empat langkah yang sama, meskipun mereka dilakukan dengan cara yang berbeda (Cylne & Hull, 2019).

1. *Impregnasi*

Pada langkah ini, serat dan resin dicampur bersama-sama untuk membentuk lamina. Misalnya, dalam proses *filament winding*, serat melewati bak resin untuk peresapan. Dalam proses *wet lay-up*, seluruh bagian serat dibasahi dengan resin menggunakan roller atau kuas untuk peresapan yang tepat. Tujuan

dari langkah ini adalah untuk memastikan bahwa resin mengalir merata ke semua bagian serat. Viskositas, tegangan permukaan, dan kapilaritas adalah parameter utama yang mempengaruhi proses peresapan. Termoset lebih mudah untuk meresap karena memiliki viskositas lebih rendah daripada termoplastik.

2. *Lay-up*

Pada langkah ini, laminasi komposit dibentuk dengan menempatkan campuran resin fiber atau prepregs pada sudut yang diinginkan dan di tempat-tempat yang dibutuhkan. Ketebalan komposit yang diinginkan dibentuk dengan menempatkan berbagai campuran lapisan serat dan resin. Dalam proses *lay-up prepreg*, *prepreg* diletakkan pada orientasi serat tertentu, baik secara manual ataupun dengan mesin. Tujuan dari langkah ini adalah untuk mencapai arsitektur serat yang diinginkan sesuai desain. Kinerja struktur komposit sangat bergantung pada orientasi serat dan rangkaian *lay-up*.

3. *Consolidation*

Langkah ini adalah kontak langsung antara setiap lapisan prepreg atau lamina yang bertujuan untuk memastikan bahwa semua udara yang terperangkap dihilangkan di antara lapisan selama pemrosesan. *Consolidation* atau konsolidasi adalah langkah yang sangat penting dalam mendapatkan kualitas komposit yang baik. Bagian konsolidasi yang buruk akan terlihat dengan adanya rongga dan bintik-bintik kering. Konsolidasi komposit serat kontinyu melibatkan dua proses penting yaitu aliran resin melalui media berpori dan deformasi elastis serat. Selama proses konsolidasi, tekanan diberikan pada struktur resin dan serat. Pada awalnya tekanan didapatkan sepenuhnya oleh resin (tanpa deformasi elastis serat). Serat mengalami deformasi elastis ketika tekanan meningkat dan resin mengalir ke luar dari batasan.

4. *Solidification*

Langkah terakhir adalah pembekuan, yang mungkin memakan waktu kurang dari satu menit untuk termoplastik atau mungkin memakan waktu hingga 120 menit untuk termoset. Semakin singkat waktu pembekuan, semakin tinggi tingkat produksi yang dicapai oleh proses itu. Dalam komposit termoset, laju

pembekuan tergantung pada formulasi resin dan kinetika pengeringan (*curing*). Panas disuplai selama pemrosesan untuk mempercepat tingkat pengeringan (*curing*). Dalam resin termoset, biasanya semakin tinggi suhu pengeringan (*curing*), semakin cepat pembentukan ikatan silang. Dalam termoplastik, tidak ada perubahan kimia selama pembekuan dan pemadatan membutuhkan sedikit waktu. Dalam pengolahan termoplastik, laju pembekuan tergantung pada laju pendinginan proses. Dalam komposit termoset, suhu dinaikkan untuk mendapatkan pembekuan cepat, sedangkan dalam pengolahan termoplastik, suhu diturunkan untuk mendapatkan bagian yang kaku.

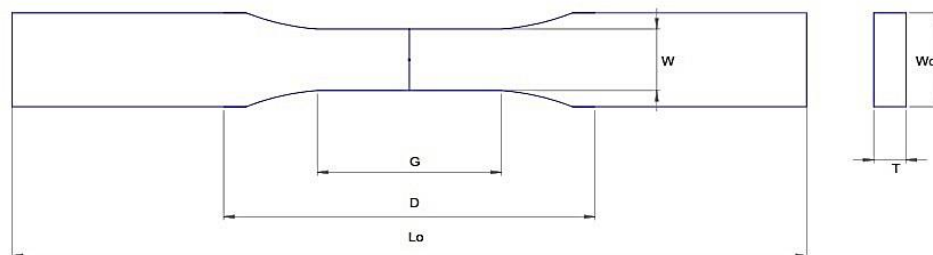
Curing atau pengeringan pada proses polimerisasi merupakan perubahan fase cair dan pasta menjadi padat. Proses ini dapat terjadi secara fisika karena adanya penguapan pelarut atau media pendispersi. *Curing* juga dapat terjadi karena perubahan kimia, terjadinya reaksi antara molekul-molekul yang relatif kecil dengan fase cair atau pasta membentuk jaringan molekul yang lebih besar, padat, dan tidak mudah larut. Proses *curing* dapat dilakukan dengan reaksi polimerisasi yang bersifat eksotermis, lebih sederhana meskipun terkadang *curing* dalam polimerisasi ini perlu waktu yang lama

2.7. Standar Dimensi Spesimen

Pada penelitian ini, dimensi spesimen yang digunakan mengacu pada standar ASTM D638 tipe I, yaitu standar pengujian sifat tarik plastik dan material polimer. Pemilihan standar tersebut disesuaikan dengan karakteristik material yang digunakan dalam penelitian, yaitu fiberglass komposit. Penggunaan dimensi yang mengacu pada ASTM D638 tipe I bertujuan agar bentuk dan ukuran spesimen yang digunakan memiliki acuan standar sehingga hasil pengujian tarik dapat dilakukan secara sistematis dan dapat dibandingkan secara konsisten antara fiberglass baru dan fiberglass hasil perlakuan pembakaran. Spesimen dibuat dengan bentuk *dog-bone* sesuai dengan geometri yang ditetapkan dalam standar ASTM D638 tipe I, terutama pada bagian panjang ukur (*gauge length*), lebar bagian ukur, lebar bagian ujung, dan ketebalan spesimen.

Tabel 2. 2 Standar Ukuran Spesimen Uji Tarik

Lo – Length Overall (mm)	D – Distance between grips (mm)	G – Gage length (mm)	T – Thickness (mm)	W – Width narrow section (mm)	Wo – Width overall (mm)	R – Radius fillet
$165 \pm 0,4$	115 ± 5	$50 \pm 0,25$	$6 \pm 0,4$	$13 \pm 0,5$	$19 \pm 6,4$	76 ± 1

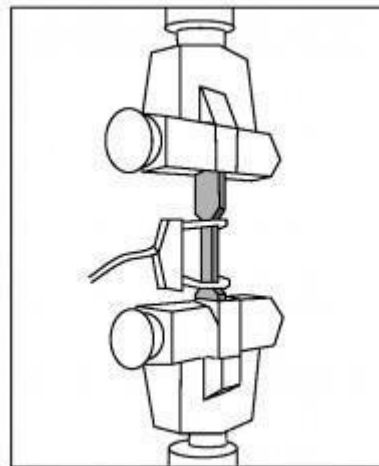


Gambar 2. 10 Dimensi Spesimen Uji Tarik

2.8. Pengujian Tarik (Tensile Strength)

Pengujian tarik merupakan pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menahan beban tarik hingga mengalami deformasi dan patah. Pengujian dilakukan dengan memberikan gaya tarik secara bertahap pada kedua ujung spesimen menggunakan Universal Testing Machine (UTM). Dari pengujian ini dapat diperoleh beberapa sifat mekanik, seperti gaya maksimum, tegangan tarik, regangan, dan pertambahan panjang. Pada material komposit, pengujian tarik digunakan untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menerima beban tarik serta mengevaluasi pengaruh jenis dan kondisi serat terhadap kekuatan mekaniknya. Dalam penelitian ini, pengujian tarik dilakukan untuk membandingkan kekuatan tarik komposit fiberglass baru dengan komposit fiberglass hasil pembakaran. Pengujian mengacu pada standar ASTM D638-14, dengan kondisi matriks dan prosedur pengujian yang sama sehingga perbedaan hasil dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh kondisi fiberglass

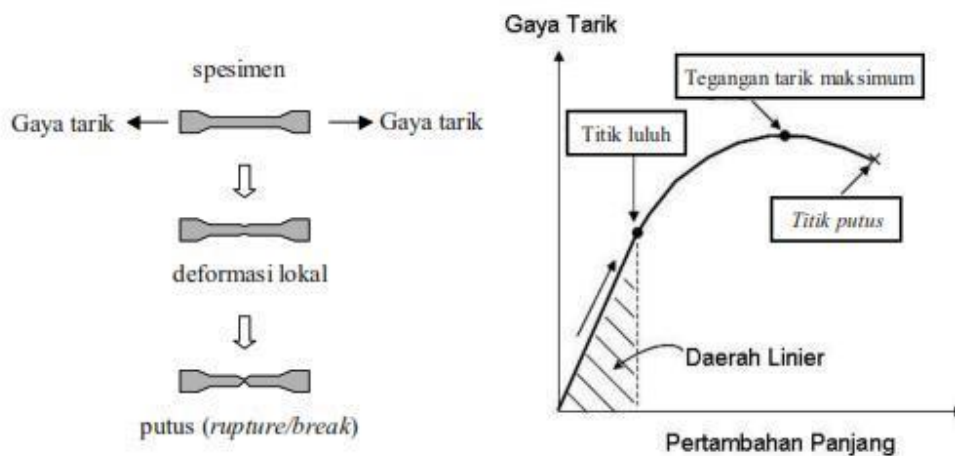
terhadap sifat mekanik komposit. (standar ASTM D 638-14) (American Society for Testing and Materials, 2016).



Gambar 2. 11 Pengujian Tarik

Sumber : *New Polymer Systems*

Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan pada material. Pada spesimen uji yang telah distandarisasi, dilakukan pembebanan *uniaxial* sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya patah. Dari uji Tarik didapat kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Kurva tersebut bisa dilihat di Gambar2.11



Gambar 2. 12 Kurva Uji Tarik

Sumber : *Mengenal Uji Tarik dan Sifat-Sifat Mekanik Logam*

Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian Tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang spesimen uji (American Society for Testing and Materials, 2016).

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

Dimana:

σ = Tegangan Tarik (MPa)

F = Beban saat Spesimen putus (N)

A = Luas penampang (mm²)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang awal dengan panjang sesaat ukur benda uji.

$$\varepsilon = \frac{L_i}{L_o}$$

Dimana:

ε = Regangan

L_i = Panjang awal (mm)

L_o = Panjang akhir specimen (mm)

1.8. PT Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)

BKI adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang bergerak dalam bidang pengklasifikasian kapal yang beroperasi di teritori laut Republik Indonesia. Dalam pelayanan jasanya, Perusahaan melakukan kegiatan riset dan mempublikasikan serta menerapkan standar Teknik (*Rules dan Regulation*) dengan melakukan kegiatan desain, konstruksi dan survei maritim terkait dengan kapal, termasuk fasilitas terapung standar ini disusun dan dikeluarkan oleh Perusahaan sebagai publikasi Teknik. Rules dan regulation yang dikembangkan tidak hanya struktur konstruksi lambung, namun juga meliputi peralatan keselamatan, instalasi permesinan dan kelistrikan.

Dalam aturan ini ditentukan untuk FRP kapal yang dicetak dengan fiberglass yang terdiri dari CSM (matt) dan WR (woven roving) dan dicetak dengan FRP yang

memiliki kekuatan yang ditentukan dalam 1 hingga 4 berikut, tetapi tidak termasuk gelcoat. (Rules for the classification and construction part 3. special ships 2016)

Kekuatan Tarik : 98 N/mm^2 (MPa)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahap penelitian ini harus menjelaskan secara utuh tahapan penelitian yang akan dilaksanakan, luaran, indikator capaian yang terukur di setiap tahapan, teknik pengumpulan data dan analisis data, cara penafsiran dan penyimpulan hasil penelitian langkah-langkah sebagai berikut:

3.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka terdapat beberapa pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini, yang dapat dikemukakan adalah:

1. Bagaimana pengelolaan bahan limbah *fibreglass* untuk digunakan sebagai bahan baku komposit *fiberglass* baru?
2. Bagaimana menentukan sampel pengujian bahan komposit limbah *fibreglass* dari sisa pembakaran?
3. Bagaimana membandingkan bahan komposit *fiberglass* dari hasil pembakaran dengan bahan *fibreglass* murni?

3.3. Studi Literatur

Tahap ini digunakan untuk mencari referensi teori, jurnal penelitian terdahulu, dan buku yang berkaitan dengan serat *fiberglass*, daur ulang, dan pengujian tarik. Ini dilakukan untuk memperkuat landasan teori.

3.4. Pengumpulan Data

Pada tahap ini penulis mengumpulkan berbagai data yang berkaitan dengan judul, meliputi komponen penyusun komposit, jenis serat dan jenis resin.

3.5. Prosedur Pembuatan Spesimen

3.5.1. Alat dan Bahan

a. Alat

1. Gerinda, gerinda adalah salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk mengasah atau memotong benda kerja dan juga
2. Gunting, gunting adalah alat pemotong yang digunakan untuk memotong bahan yang akan di cetak.
3. Penggaris, penggaris adalah alat pengukur yang digunakan untuk mengukur bahan yang akan di cetak
4. Kuas, kuas adalah alat pemoles yang digunakan untuk memoleskan resin dan katalis
5. Gelas Ukur, gelas ukur adalah alat pengukur cairan yang digunakan untuk mengukur cairan resin dan katalis
6. Jangka sorong, jangka sorong dipakai untuk mengukur dimensi spesimen yang telah di cetak. Pembacaan skala pengukuran dimensi spesimen sampai ketelitian 0,1 mm
7. Timbangan digital, timbangan digital digunakan untuk menimbang berat serat yang belum diberi perlakuan dan sudah diberi perlakuan
8. Cetakan adalah tempat yang digunakan untuk membentuk spesimen
9. Universal Testing Machine (UTM) UTM pada penelitian ini digunakan untuk alat uji kekuatan tarik (tensile strenght) spesimen komposit

b. Bahan

1. Serat Fibreglass
Fibreglass fiber menjadi filler utama pada penelitian ini
2. Serat Fibreglass Yang Dibakar
Serat fiberglass yang dibakar digunakan sebagai perbandingan kekuatan tarik untuk mengetahui kelayakan limbah fiberglass
3. Resin Polyester dan Katalis
Resin dan hardener adalah bahan yang digunakan sebagai pengikat atau matriks pada specimen
4. Miracle Gloss

Miracle gloss digunakan untuk membuat permukaan lilin yang tahan lama digunakan pada cetakan agar tidak lengket

a. Persiapan Sebelum Pencetakan

1. Mempersiapkan bahan
2. Mempersiapkan alat pendukung berupa gerinda, penggaris, timbangan digital, cetakan, gunting, kuas, gelas ukur dan *stopwatch*.
3. Mempersiapkan *fiberglass* baru, limbah *fibreglass* yang telah dibakar dan bersih dari resin
4. Mempersiapkan alat tulis untuk mencatat data penelitian.

b. Proses Pencetakan

1. Penentuan perbandingan fraksi serat *fiberglass* baru dan *woven roofing fiberglass* serta menentukan perbandingan fraksi serat *fibreglass* limbah dan *woven roofing fiberglass*
2. Perbandingan fraksi resin dengan katalis yaitu 100:1,5.
3. Masukkan resin serta katalis dalam satu wadah lalu aduk sampai homogen.

3.6. Prosedur Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui besar kekuatan tarik dan modulus elastisitas dari bahan komposit. Pengujian ini dilakukan dengan mesin uji Universal testing machine. Specimen uji tarik berupa spesimen dengan standar ASTM D 638 type I dengan desain dan dimensi sebagai berikut (American Society for Testing and Materials, 2016):

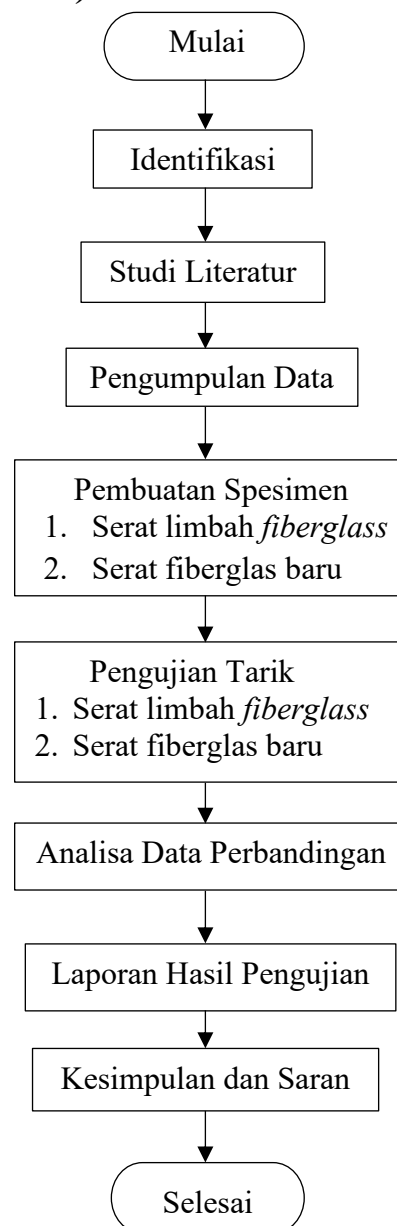
Langkah – langkah pengujian kekuatan tarik dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memastikan dimensi spesimen sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan dan beri tambahan sepanjang 5 mm pada ujung masing – masing gage.
2. Memasang spesimen dan memastikan terjepit dengan benar dan Menyalakan mesin uji tarik.
3. Mengamati dengan teliti beban dan pertambahan panjang sampai spesimen patah

3.7. Analisa Perbandingan

Analisa perbandingan dari pengujian tarik adalah proses evaluasi dan penarikan kesimpulan dengan membandingkan data mekanik yang diperoleh dari uji tarik antara dua atau lebih material. Tujuannya bukan hanya mengetahui kekuatan satu material, tetapi menentukan mana yang lebih unggul, lebih sesuai, atau mengalami perubahan.

3.8. Diagram Alir (*Flow Chart*)



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

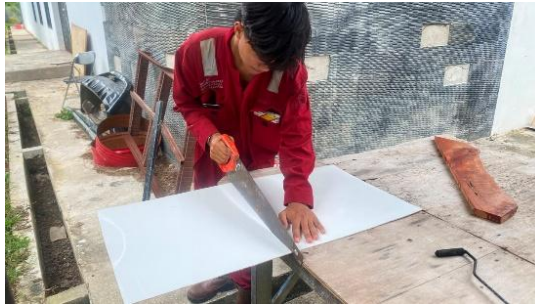
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Spesimen

Sampel fiberglass dibentuk dalam struktur lembaran menggunakan teknik manufaktur yang spesifik, kemudian dipotong berdasarkan dimensi yang telah ditetapkan dalam standar ASTM D638 Tipe I untuk pengujian tarikan. Sebagian sampel fiberglass terlebih dahulu menjalani perlakuan thermal berupa pembakaran yang bertujuan menghilangkan resin yang masih melekat pada serat kaca. Setelah proses pembakaran selesai, sampel didinginkan pada kondisi suhu ambien dan dibersihkan dari partikel residu hasil pembakaran. Sampel kemudian dibentuk ulang dan dipotong sesuai dengan spesifikasi dimensi ASTM D638 Tipe I sehingga menghasilkan ukuran yang konsisten dan memenuhi persyaratan standar pengujian. Sampel yang telah memperoleh dimensi dan geometri sesuai standar kemudian diberikan penanda kode identifikasi serta disiapkan untuk pengujian dalam rangka mengevaluasi dampak proses pembakaran terhadap sifat-sifat mekanis material fiberglass.

4.1.1. Pemotongan Triplek Sebagai Cetakan

Pemotongan triplek dengan ukuran 40 x 40 cm dilakukan untuk membuat cetakan berbentuk lembaran yang akan digunakan dalam proses pembuatan spesimen komposit. Triplek dipotong sesuai dengan ukuran cetakan yang telah direncanakan sehingga menghasilkan lembaran komposit dengan dimensi yang seragam. Cetakan ini berfungsi sebagai wadah selama proses pencetakan menggunakan metode hand lay-up. Setelah komposit mengalami proses pengerasan (curing), lembaran komposit dilepaskan dari cetakan dan selanjutnya dipotong sesuai dengan dimensi spesimen uji yang mengacu pada standar pengujian yang digunakan.



Gambar 4. 1 Pemotongan Triplek

4.1.2. Pengaplikasian Mirror Glass

Pengaplikasian mirror glass pada cetakan fiberglass dilakukan dengan mengoleskan dan memoles cairan mirror glass secara merata pada permukaan cetakan yang telah halus dan bersih. Proses ini bertujuan menghasilkan permukaan yang mengilap, melindungi cetakan, serta mempermudah pelepasan produk fiberglass sehingga hasil cetakan menjadi lebih halus dan berkualitas.



Gambar 4. 2 Pengaplikasian Mirror Glass

4.1.3. Pemotongan Serat

Pemotongan serat woven roving dan matt dilakukan sesuai ukuran cetakan, yaitu 40×40 cm. Proses ini bertujuan agar setiap lapisan serat sesuai dengan dimensi cetakan, sehingga penyusunan selama proses laminasi menjadi lebih rapi, mengurangi pemborosan material, dan menghasilkan spesimen dengan ukuran yang seragam.



Gambar 4. 3 Pemotongan Serat

4.1.4. Membuat Adonan

Pencampuran resin polyester dan katalis Tripoxe dilakukan dengan perbandingan 100 : 1,5, yaitu setiap 100 bagian resin dicampur dengan 1,5 bagian katalis. Katalis ditambahkan secara perlahan ke dalam resin, kemudian diaduk hingga tercampur merata agar proses pengerasan berlangsung optimal. Perbandingan yang tepat penting untuk menghasilkan waktu pengerasan yang sesuai serta memastikan produk fiberglass memiliki kekuatan dan kualitas yang baik.



Gambar 4. 4 Pencampuran Resin Dan Katalis

4.1.5. Proses Laminasi Pada Serat Yang Akan Dibakar

Proses laminasi dilakukan hanya pada satu layer serat *woven roving* atau CSM (*Chopped Strand Mat*). Lapisan serat diletakkan pada cetakan, kemudian

diresapi resin hingga merata dan dilakukan proses rolling untuk menghilangkan gelembung udara serta memastikan resin menyerap ke seluruh bagian serat. Setelah resin mengeras, spesimen satu layer tersebut dibakar pada suhu 480–500 °C untuk menghilangkan matriks resin sehingga diperoleh serat kaca yang siap digunakan pada proses laminasi ulang atau pengujian lebih lanjut.



Gambar 4. 5 Proses Laminasi

4.1.6. Penghilangan Resin Dengan Dibakar

Penghilangan resin dilakukan dengan membakar serat yang telah dilaminasi pada suhu 480–500 °C hingga resin polyester terdekomposisi dan habis terbakar, sehingga hanya serat fiberglass yang tersisa. Setelah proses pembakaran selesai, serat didinginkan hingga mencapai suhu ruang (± 35 °C) agar aman untuk ditangani dan tidak mengalami perubahan akibat panas. Selanjutnya, serat fiberglass yang telah bersih dari resin digunakan kembali sebagai bahan penguat melalui proses laminasi ulang dengan penambahan resin polyester dan katalis untuk membentuk spesimen baru.



Gambar 4. 6 Proses Penghilangan Resin Dengan Dibakar

4.1.7. Proses Laminasi

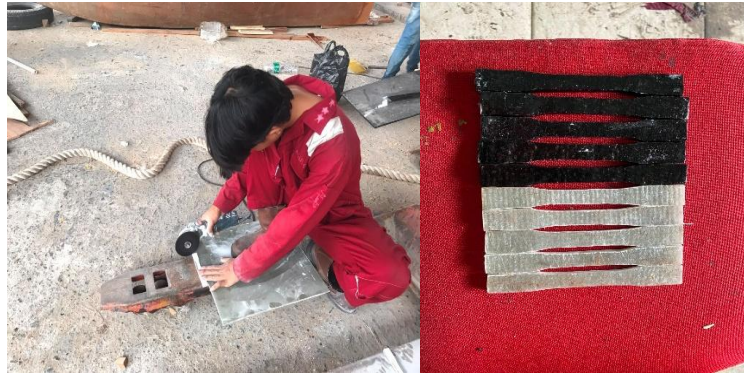
Proses laminasi pada serat murni dan serat hasil pembakaran dilakukan dengan prosedur yang sama, yaitu menyusun serat satu layer demi satu layer. Laminasi diawali dengan peletakan satu lapis CSM (*Chopped Strand Mat*) atau *woven roving* (WR) sesuai urutan susunan, kemudian setiap lapisan diresapi resin hingga merata dan dilakukan proses rolling untuk menghilangkan gelembung udara serta memastikan resin terserap sempurna. Setelah satu lapisan selesai, proses yang sama diulangi pada lapisan berikutnya hingga terbentuk 6 layer CSM dan 5 layer WR, kemudian laminasi dibiarkan mengeras sebelum dilakukan proses selanjutnya.



Gambar 4. 7 Proses Laminasi Pada Serat Murni Dan Yang Sudah Di Bakar

4.1.8. Proses Pemotongan Spesimen

Setelah proses laminasi dan pengerasan selesai, pelat fiberglass dipotong menjadi spesimen uji sesuai bentuk dan ukuran standar ASTM D638 Tipe I. Pemotongan dilakukan secara hati-hati untuk memastikan setiap spesimen memiliki dimensi yang seragam dan sesuai standar pengujian. Sebanyak 4 spesimen dibuat dari fiberglass murni dan 4 spesimen dari fiberglass dengan serat hasil pembakaran, sehingga diperoleh total 8 spesimen yang siap digunakan untuk pengujian tarik.



Gambar 4. 8 Pemotong Spesimen

4.2. Melakukan Uji Tarik

Uji tarik merupakan pengujian mekanik yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik suatu material terhadap beban tarik. Pada penelitian ini, spesimen komposit fiberglass dipasang pada mesin *Universal Testing Machine (UTM)* sesuai standar *ASTM D638 Tipe I*. Selanjutnya, mesin memberikan gaya tarik secara bertahap hingga spesimen mengalami patah. Selama pengujian, mesin mencatat nilai gaya dan pertambahan panjang spesimen, sehingga diperoleh data seperti kekuatan tarik (*tensile strength*), regangan (*strain*). Data tersebut kemudian digunakan untuk membandingkan sifat mekanik komposit fiberglass serat murni dengan komposit fiberglass hasil pembakaran.



Gambar 4. 9 Pengujian Tarik

Pada pengujian ini, spesimen komposit fiberglass diuji pada kondisi suhu ruang. Suhu lingkungan selama proses pengujian dapat mengalami perubahan, baik sedikit lebih rendah maupun lebih tinggi dari suhu ruang. Namun, perubahan suhu tersebut tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekuatan tarik spesimen, karena masih berada pada rentang temperatur yang relatif rendah dan belum menyebabkan perubahan berarti pada sifat mekanik matriks resin. Hal ini sejalan dengan penelitian (Ou et al. 2016), yang menunjukkan bahwa kekuatan tarik GFRP relatif stabil dengan perubahan temperatur dari -25°C hingga 50°C , dengan perubahan kekuatan tarik kurang dari 3%. Pengaruh temperatur yang lebih signifikan baru terlihat pada temperatur yang lebih tinggi, terutama ketika mendekati temperatur transisi gelas (T_g) dari matriks resin, yang menyebabkan pelunakan matriks dan penurunan kekuatan tarik.

4.3. Data Hasil Uji Tarik

Berdasarkan ASTM D638, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui karakteristik mekanik material ketika menerima pembebanan tarik. Hasil pengujian dapat digunakan untuk menentukan kekuatan tarik maksimum, regangan, modulus elastisitas, serta karakteristik kegagalan material. Dengan demikian, pengujian tarik dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan komposit fiberglass dalam menahan beban tarik dan mengetahui perubahan sifat mekaniknya akibat perlakuan pembakaran.

Perilaku linier hingga patah menunjukkan bahwa komposit fiberglass didominasi oleh deformasi elastis. Serat kaca tidak mengalami deformasi plastis yang berarti, sehingga ketika tegangan mencapai kekuatan maksimumnya, kerusakan berkembang cepat melalui retak matriks, lepasnya ikatan serat–matriks, dan patahnya serat. Akibatnya, material mengalami kegagalan secara tiba-tiba tanpa melalui daerah plastis yang jelas, yang merupakan karakteristik material getas (*brittle material*). (Gibson 2016)

4.3.1. Data dari Spesimen Uji Tarik

Tabel 4. 1 Data Spesimen Uji

Parameter	Nilai	Keterangan
Tebal (Thickness)	6 mm	Ketebalan spesimen
Panjang total (LO)	165 mm	Panjang keseluruhan spesimen
Panjang penampang (Width)	13 mm	Lebar bagian sempit spesimen
Luas penampang (Area)	78 mm ²	Luas penampang

4.3.2. Data Hasil Pengujian Tarik Dengan Serat Baru

Berdasarkan ASTM D638, pengujian tarik digunakan untuk menentukan sifat tarik material plastik, termasuk material plastik yang diperkuat. Oleh karena itu, tabel dibawah merepresentasikan karakteristik sifat mekanik tarik komposit fiberglass hasil pembakaran yang ditunjukkan melalui parameter gaya maksimum (Fm), gaya luluh (Fy), gaya patah (Fb), kekuatan tarik maksimum (TS), tegangan luluh (Sy), pertambahan panjang (Ly), dan regangan (Ey). Data tersebut digunakan untuk mengetahui kemampuan material dalam menerima pembebanan tarik serta karakteristik deformasinya. Dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Untuk Fiberglass Baru

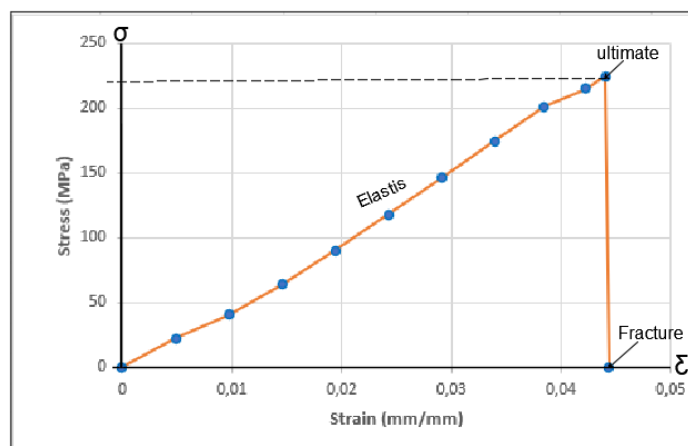
NO	Fm (N)	Fb (N)	Fy (N)	Ly (mm)	TS (MPa)	TSb (MPa)	Sy (MPa)	Ey (%)
1	18960	750	18625	7,23	243,08	9,6	238,78	4,4
2	15870	445	14870	7,02	203,46	5,7	190,64	4,3
3	18350	1895	17595	7,64	235,26	24,29	225,58	4,6
4	16825	665	15965	7,55	215,71	8,5	204,68	4,6
Rata rata	17501, 25	938,75	16763 ,75	7,36	224,37 8	12,02	214,92	4,4 8

Keterangan:

Fm : gaya maksimum

F_b : gaya saat spesimen patah
 F_y : gaya pada saat spesimen mulai luluh
 L_y : pertambahan panjang
 TS : tegangan Tarik maksimum
 TS_b : tegangan saat patah
 S_y : tegangan luluh
 E_y : regangan luluh

Berdasarkan tabel di atas, hasil uji tarik pada fiberglass baru menunjukkan nilai rata-rata gaya maksimum (F_m) sebesar 17.501,25 N, gaya luluh (F_y) sebesar 16.763,75 N, dan gaya putus (F_b) sebesar 938,75 N. Nilai rata-rata kekuatan tarik maksimum (TS) yang diperoleh adalah 224,38 MPa, sedangkan tegangan luluh (S_y) sebesar 214,92 MPa dengan regangan (E_y) rata-rata 4,48%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komposit fiberglass baru memiliki kekuatan tarik yang baik dan mampu menahan beban tinggi sebelum mengalami kegagalan. Perbedaan nilai antarspesimen dipengaruhi oleh faktor proses laminasi, seperti distribusi resin, orientasi serat, serta kemungkinan adanya rongga (*void*) pada material. Secara umum, fiberglass baru menunjukkan perilaku mekanik yang stabil dengan karakteristik hampir linier hingga mendekati patah.



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Uji Tarik Untuk Serat Baru

Grafik hasil uji tarik di atas menunjukkan hubungan antara tegangan tarik (stress, MPa) dan regangan (strain, mm/mm) pada spesimen fiberglass baru. Kurva memperlihatkan bahwa tegangan meningkat hampir secara linier terhadap regangan hingga mencapai tegangan maksimum (*ultimate tensile strength*) sebesar sekitar 223 MPa pada regangan sekitar 0,044 mm/mm. Hal ini menunjukkan bahwa komposit fiberglass baru memiliki perilaku mekanik yang didominasi oleh daerah elastis, di mana material masih mampu mempertahankan sifat elastisnya selama pembebanan berlangsung hingga mendekati tegangan maksimum. Setelah mencapai titik *ultimate tensile strength*, terjadi penurunan tegangan secara drastis hingga mendekati nol yang menandakan spesimen mengalami fraktur (*fracture*) atau patah secara tiba-tiba. Karakteristik tersebut merupakan sifat khas komposit fiberglass, yaitu memiliki kekuatan tarik yang tinggi tetapi bersifat getas (*brittle*), sehingga tidak menunjukkan daerah luluh (*yielding*) maupun daerah plastis yang signifikan sebelum mengalami kegagalan.

4.3.3. Data Hasil Pengujian Tarik Dengan Serat Yang Sudah Dibakar

Berdasarkan ASTM D638, pengujian tarik digunakan untuk menentukan sifat tarik material plastik, termasuk material plastik yang diperkuat. Oleh karena itu, tabel dibawah merepresentasikan karakteristik sifat mekanik tarik komposit fiberglass hasil pembakaran. Dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Untuk Fiberglass Yang Dibakar

NO	Fm (N)	Fb (N)	Fy (N)	Ly (mm)	TS (MPa)	TSb (MPa)	Sy (MPa)	Ey (%)
1	8890	905	8285	6,85	115,26	11,60	106,22	4,2
2	11300	2685	10025	8,62	144,87	34,42	128,53	5,2
3	7965	2210	7350	7,08	102,12	28,33	94,23	4,3
4	9535	235	9105	7,24	122,24	3,0	116,73	4,4
Rata rata	9422,5	1508,7 5	8691, 25	7,445	121,12	22,34	111,43	4,5 2

Keterangan:

F_m : gaya maksimum

F_b : gaya saat spesimen patah

F_y : gaya pada saat spesimen mulai luluh

L_y : pertambahan panjang

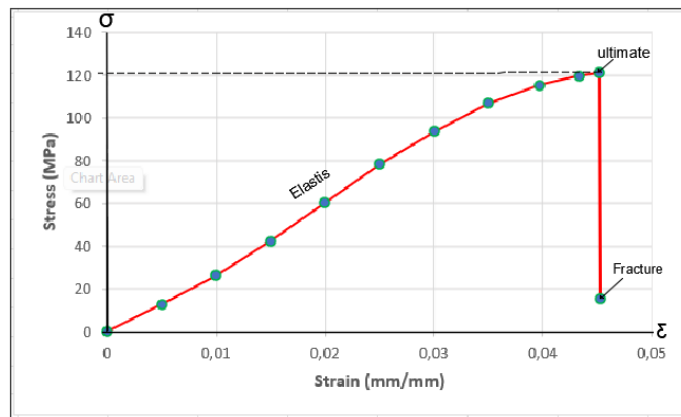
TS : tegangan Tarik maksimum

TS_b : tegangan saat patah

S_y : tegangan luluh

E_y : regangan luluh

Berdasarkan Tabel 4.3, hasil uji tarik pada fiberglass yang telah dibakar menunjukkan nilai rata-rata gaya maksimum (F_m) sebesar 9.422,50 N, gaya luluh (F_y) sebesar 8.691,25 N, dan gaya putus (F_b) sebesar 1.508,75 N. Nilai rata-rata kekuatan tarik maksimum (TS) yang diperoleh adalah 121,12 MPa, sedangkan tegangan luluh (S_y) sebesar 111,43 MPa dengan regangan (E_y) rata-rata 4,52%. Dibandingkan dengan fiberglass baru, nilai kekuatan tarik fiberglass yang dibakar mengalami penurunan yang cukup signifikan. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses pembakaran menyebabkan berkurangnya kemampuan serat dalam menahan beban tarik akibat degradasi struktur serat dan hilangnya lapisan pelindung (*sizing*) pada permukaan serat. Akibatnya, ikatan antara serat dan matriks menjadi lebih lemah sehingga kemampuan komposit dalam menahan beban tarik menurun. Meskipun demikian, nilai regangan rata-rata yang hampir sama dengan fiberglass baru menunjukkan bahwa kemampuan deformasi material sebelum patah tidak mengalami perubahan yang signifikan.



Gambar 4. 11 Grafik Hasil Uji Tarik Untuk Serat Yang Dibakar

Grafik hasil uji tarik di atas menunjukkan hubungan antara tegangan tarik (*stress*, MPa) dan regangan (*strain*, mm/mm) pada spesimen fiberglass yang telah mengalami pembakaran. Kurva memperlihatkan bahwa tegangan meningkat hampir secara linear terhadap regangan hingga mencapai tegangan maksimum (*ultimate tensile strength*) sekitar 120 MPa pada regangan sekitar 0,045 mm/mm. Dibandingkan dengan fiberglass baru, nilai tegangan maksimum yang dicapai lebih rendah, yang menunjukkan bahwa proses pembakaran telah menyebabkan penurunan kemampuan material dalam menahan beban tarik. Selama proses pembebanan, respons material masih didominasi oleh daerah elastis tanpa terlihat adanya daerah luluh (*yielding*) maupun deformasi plastis yang signifikan. Setelah mencapai tegangan maksimum, kurva mengalami penurunan secara drastis yang menandakan spesimen mengalami fraktur (*fracture*) atau patah secara tiba-tiba. Penurunan sifat mekanik tersebut disebabkan oleh degradasi matriks polimer akibat paparan suhu tinggi, yang mengurangi ikatan antara serat kaca dan matriks (*fiber-matrix interface*), sehingga kemampuan material dalam mentransfer beban menurun dan spesimen menjadi lebih mudah mengalami kegagalan tarik.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap empat spesimen pada masing-masing variasi, terlihat adanya perbedaan nilai kekuatan tarik antarspesimen. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya variasi hasil pengujian yang dapat terjadi pada setiap spesimen. Oleh karena itu, nilai rata-rata dari keempat spesimen digunakan sebagai nilai representatif untuk masing-masing variasi material. Pendekatan ini juga sejalan dengan penelitian Li dkk. (2024), yang melakukan pengujian tarik pada

material komposit menggunakan empat spesimen untuk setiap komposit dengan metode ASTM D638. Hasil pengujian dari setiap spesimen kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh nilai karakteristik material. Pendekatan tersebut menjadi rujukan dalam penelitian ini, yang juga menggunakan empat spesimen fiberglass pada masing-masing variasi material untuk memperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik.

4.4. Perbandingan Kekuatan Tarik

Dari hasil pengujian maka dapat dilihat perbandingan kekuatan tarik komposit fiberglass baru dan fiberglass hasil pembakaran

Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Pengujian

Parameter Perbandingan	Fiberglass Baru	Fiberglass Hasil Pembakaran	Hasil Perbandingan
Kekuatan tarik rata-rata	224,38 MPa	121,12 MPa	Turun 103,26 MPa (46,02%)
Pertambahan panjang rata-rata	7,36 mm	7,44 mm	Naik 0,08 mm ($\pm 1,08\%$)
Kemampuan menahan beban tarik	Lebih tinggi	Lebih rendah	Terjadi penurunan setelah pembakaran

Berdasarkan hasil pengujian tarik, komposit yang diperkuat menggunakan serat fiberglass baru menunjukkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan komposit yang menggunakan serat fiberglass hasil pembakaran. Nilai rata-rata kekuatan tarik maksimum komposit dengan serat fiberglass baru mencapai 224,38 MPa, sedangkan komposit dengan serat fiberglass hasil pembakaran hanya mencapai 121,12 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses pembakaran menyebabkan penurunan kekuatan tarik sekitar 46%.

Dari hasil pengujian pertambahan panjang (*elongation*), komposit dengan serat fiberglass baru memiliki rata-rata pertambahan panjang sebesar 7,36 mm,

sedangkan komposit dengan serat fiberglass hasil pembakaran sebesar 7,44 mm. Perbedaannya hanya sekitar 1,08%, sehingga dapat dikatakan bahwa proses pembakaran tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan spesimen untuk mengalami deformasi sebelum patah.

Meskipun komposit dengan serat fiberglass hasil pembakaran masih mampu mengalami pertambahan panjang yang hampir sama dengan komposit serat baru, kemampuan material dalam menahan tegangan tarik telah berkurang secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa serat hasil pembakaran masih memiliki kemampuan untuk mengalami deformasi bersama matriks, namun kekuatan serat sebagai elemen penguat telah menurun akibat degradasi yang terjadi selama proses pembakaran.

4.5. Perbandingan Hasil Pengujian Dengan Acuan BKI

Berdasarkan hasil pengujian tarik, komposit fiberglass hasil pembakaran memperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik maksimum sebesar 121,12 MPa. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan acuan BKI *Rules for Fibreglass Reinforced Plastics Ships* yang mencantumkan nilai kekuatan tarik sebesar 98 MPa untuk FRP yang menggunakan fiberglass CSM (*Chopped Strand Mat*) dan WR (*Woven Roving*). Hasil perbandingan menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit fiberglass hasil pembakaran sebesar 121,12 MPa lebih tinggi 23,12 MPa dibandingkan nilai acuan 98 MPa. Dengan demikian, berdasarkan parameter kekuatan tarik, material hasil pembakaran telah melampaui nilai kekuatan tarik yang dijadikan acuan.

Meskipun demikian, hasil tersebut tidak dapat langsung diartikan bahwa komposit fiberglass hasil pembakaran dapat digunakan pada seluruh bagian konstruksi kapal. BKI juga mensyaratkan adanya pengujian material FRP, perhitungan kekuatan struktur, serta pemeriksaan terhadap proses pembuatan dan penyambungan konstruksi. Oleh karena itu, nilai 121,12 MPa menunjukkan bahwa fiberglass hasil pembakaran memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan penguat komposit, tetapi penentuan penggunaannya pada bagian struktural kapal tertentu masih memerlukan pengujian dan analisis lebih lanjut.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa komposit dengan fiberglass baru memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 224,38 MPa, sedangkan komposit dengan fiberglass hasil pembakaran memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 121,12 MPa. Dengan demikian, terjadi penurunan kekuatan tarik sebesar 103,26 MPa atau sekitar 46,02% setelah proses pembakaran. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembakaran berpengaruh terhadap kemampuan fiberglass dalam menahan beban tarik.
2. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa komposit dengan fiberglass baru memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 224,38 MPa, sedangkan komposit dengan fiberglass hasil pembakaran memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 121,12 MPa. Dengan demikian, terjadi penurunan kekuatan tarik sebesar 103,26 MPa atau sekitar 46,02% setelah proses pembakaran. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembakaran berpengaruh terhadap kemampuan fiberglass dalam menahan beban tarik.
3. Berdasarkan hasil perbandingan, fiberglass hasil pembakaran memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan penguat komposit, terutama pada aplikasi yang tidak memerlukan tingkat kekuatan mekanik setinggi fiberglass baru. Untuk penggunaan pada komponen struktural kapal tertentu, diperlukan analisis lebih lanjut terhadap beban yang diterima, konfigurasi laminasi, faktor keamanan, serta pengujian mekanik lainnya.
4. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses pembakaran tidak menghilangkan potensi pemanfaatan kembali limbah fiberglass, tetapi penggunaannya perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasinya. Fiberglass hasil pembakaran lebih tepat direkomendasikan sebagai bahan penguat untuk komposit nonstruktural atau aplikasi yang tidak memerlukan kekuatan tarik tinggi, sedangkan penggunaannya sebagai material struktural kapal tidak dapat ditetapkan hanya berdasarkan hasil uji tarik.

5.2. Saran

1. Fiberglass hasil pembakaran dapat dikembangkan sebagai bahan penguat komposit untuk aplikasi nonstruktural atau aplikasi yang tidak memerlukan kekuatan mekanik tinggi. Meskipun nilai kekuatan tariknya sebesar 121,12 MPa telah melampaui nilai acuan 98 MPa yang digunakan dalam penelitian, hasil tersebut belum cukup untuk menentukan kelayakan penggunaannya pada seluruh bagian konstruksi kapal.
2. Pengujian dapat dilengkapi dengan pengujian mekanik lainnya, seperti uji lentur dan uji impak, sehingga karakteristik material dapat diketahui secara lebih lengkap.
3. Untuk penggunaan fiberglass hasil pembakaran pada komponen struktural kapal, disarankan dilakukan analisis beban, perhitungan kekuatan struktur, penentuan konfigurasi laminasi, serta evaluasi faktor keamanan sebelum material tersebut diterapkan pada komponen tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. (2016). ASTM D638-14. In *ASTM International* (Vol. 82, Number C, pp. 1–15). <https://doi.org/10.1520/D0638-14.1>
- Cylne, T. W., & Hull, D. (2019). *An Introduction to Composite Materials* (Third Edit). Cambrigde University Press.
- Daniel, I. M., & Ishai, O. (2006). Engineering Mechanics of Composite Materials. In *Isbn:1859572634 9781859572634* (Second Edi, Vol. 3, Number June). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-385-5.50021-0>
- Ginder, R. S., & Ozcan, S. (2021). Recycling of commercial E-glass reinforced thermoset composites via two temperature step pyrolysis to improve recovered fiber tensile strength and failure strain. *Recycling*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/recycling4020024>
- Gibson, Ronald F. 2016. *PRINCIPLES OF COMPOSITE MATERIAL MECHANICS*.
- Gonçalves, R. M., Martinho, A., & Oliveira, J. P. (2022). Recycling of Reinforced Glass Fibers Waste: Current Status. *Materials*, 15(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ma15041596>
- Gopalraj, S. K., & Kärki, T. (2020). A study to investigate the mechanical properties of recycled carbon fibre/glass fibre-reinforced epoxy composites using a novel thermal recycling process. *Processes*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/PR8080954>
- Kaboré, M. W., Perrin, D., Idir, R., Jenny, P., Garcia-Diaz, É., & El Bitouri, Y. (2025). A Review on the Valorization of Recycled Glass Fiber-Reinforced Polymer (rGFRP) in Mortar and Concrete: A Sustainable Alternative to Landfilling. In *Polymers* (Vol. 17, Number 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polym17192664>
- Igl, M., Santos, P., & Lima, T. M. (2023). *Thermal Recycling of Glass Fibre Composites : A Circular Economy Approach*.

- Li, Beichen, Bolei Deng, Wan Shou, Tae- Hyun Oh, Yuanming Hu, and Yiyue Luo. 2024. "Computational Discovery of Microstructured Composites with Optimal Stiffness- - Toughness Trade- - Offs." 4284(February): 1–11. doi:10.1126/sciadv.adk4284.
- Mallick, P. K. (2007). fiber Reinforced Composites. In *Thermoplastic Polymer Composites: Processing, Properties, Performance, Applications and Recyclability* (Materials,). CRC Press. <https://doi.org/10.1002/9781119865544.ch4>
- Muharom, Restu, Taufik Hidayat, and Husein Syahab. 2024. "The Influence of Fiberglass Fiber Arrangement Variations on the Tensile and Bending Strength of Ships." *Indonesian Journal of Maritime Technology* Quadrini, F., Iorio, L., Patrizii, G., Bellisario, D., & Santo, L. (2025). Recycling Waste Fiberglass by Powder Grinding and Direct Molding of Powders. *Polymers*, 17(7), 1–12. <https://doi.org/10.3390/polym17070987>
- Ou, Yunfu, Deju Zhu, Huaian Zhang, Liang Huang, Yiming Yao, Gaosheng Li, and Barzin Mobasher. 2016. "Mechanical Characterization of the Tensile Properties of Glass Fiber and Its Reinforced Polymer (GFRP) Composite under Varying Strain Rates and Temperatures." doi:10.3390/polym8050196.
- Rules for the classification and construction part 3. special ships.* (2016). V.
- Yousef, S., Eimontas, J., Stri, N., Ugas, ¯, Praspaliauskas, M., & Abdelnaby, M. A. (2021). *Pyrolysis Kinetic Behaviour of Glass Fibre-Reinforced Epoxy Resin Composites Using Linear and Nonlinear Isoconversional Methods.* <https://doi.org/10.3390/polym1310>

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Standar ASTM D638-14

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D638 – 14

Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the tensile properties of unreinforced and reinforced plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed.

1.2 This test method is applicable for testing materials of any thickness up to 14 mm (0.55 in.). However, for testing specimens in the form of thin sheeting, including film less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness, ASTM standard D882 is the preferred test method. Materials with a thickness greater than 14 mm (0.55 in.) shall be reduced by machining.

1.3 This test method includes the option of determining Poisson's ratio at room temperature.

NOTE 1—This standard and ISO 527-1 address the same subject matter, but differ in technical content.

NOTE 2—This test method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant rate of crosshead movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations in the surface-volume ratios of such specimens, and that these variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

NOTE 3—This test method may be used for testing phenolic molded resin or laminated materials. However, where these materials are used as electrical insulation, such materials should be tested in accordance with Test Methods D229 and Test Method D651.

NOTE 4—For tensile properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous or discontinuous high modulus >20 -GPa ($>3.0 \times 10^6$ -psi) fibers, tests shall be made in accordance with Test Method D3039/D3039M.

1.4 Test data obtained by this test method have been found to be useful in engineering design. However, it is important to

consider the precautions and limitations of this method found in Note 2 and Section 4 before considering these data for engineering design.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D229 Test Methods for Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation

D412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D651 Test Method for Test for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials (Withdrawn 1989)³

D882 Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheet

D883 Terminology Relating to Plastics

D1822 Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials

D3039/D3039M Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials (PA)

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved Dec. 15, 2014. Published March 2015. Originally approved in 1941. Last previous edition approved in 2010 as D638-10. DOI: 10.1520/D0638-14.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2969, United States

Lampiran 2 : Standar ASTM D638-14

D638 – 14

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standard:⁴

ISO 527-1 Determination of Tensile Properties

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D883 and Annex A2.

4. Significance and Use

4.1 This test method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data are also useful for qualitative characterization and for research and development.

4.2 Some material specifications that require the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.3 Tensile properties are known to vary with specimen preparation and with speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

4.4 It is realized that a material cannot be tested without also testing the method of preparation of that material. Hence, when comparative tests of materials per se are desired, exercise great care to ensure that all samples are prepared in exactly the same way, unless the test is to include the effects of sample preparation. Similarly, for referee purposes or comparisons within any given series of specimens, care shall be taken to secure the maximum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

4.5 Tensile properties provide useful data for plastics engineering design purposes. However, because of the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this test method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this test method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

NOTE 5—Since the existence of a true elastic limit in plastics (as in many other organic materials and in many metals) is debatable, the propriety of applying the term "elastic modulus" in its quoted, generally accepted definition to describe the "stiffness" or "rigidity" of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of

stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stress-strain curves for plastics, determined as described in this test method, almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant-rate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine can be either the fixed or self-aligning type.

5.1.3.1 Fixed grips are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used take extreme care to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

5.1.3.2 Self-aligning grips are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. Align the specimens as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to those of a coarse single-cut file, serrations about 2.4 mm (0.09 in.) apart and about 1.6 mm (0.06 in.) deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics, such as the thermosetting materials. It is important that the serrations be kept clean and sharp. Should breaking in the grips occur, even when deep serrations or abraded specimen surfaces are used, other techniques shall be used. Other techniques that have been found useful, particularly with smooth-faced grips, are abrading that portion of the surface of the specimen that will be in the grips, and interposing thin pieces of abrasive cloth, abrasive paper, or plastic, or rubber-coated fabric, commonly called hospital sheeting, between the specimen and the grip surface. No. 80 double-sided abrasive paper has been found effective in many cases. An open-mesh fabric, in which the threads are coated with abrasive, has also been effective. Reducing the cross-sectional area of the specimen may also be effective. The use of special types of grips is sometimes necessary to eliminate slippage and breakage in the grips.

5.1.4 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting a uniform, controlled velocity to the movable member with

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

Lampiran 3 : Standar ASTM D638-14



E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standard:^A

ISO 527-1 Determination of Tensile Properties

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D883 and Annex A2.

4. Significance and Use

4.1 This test method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data are also useful for qualitative characterization and for research and development.

4.2 Some material specifications that require the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.3 Tensile properties are known to vary with specimen preparation and with speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

4.4 It is realized that a material cannot be tested without also testing the method of preparation of that material. Hence, when comparative tests of materials per se are desired, exercise great care to ensure that all samples are prepared in exactly the same way, unless the test is to include the effects of sample preparation. Similarly, for referee purposes or comparisons within any given series of specimens, care shall be taken to secure the maximum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

4.5 Tensile properties provide useful data for plastics engineering design purposes. However, because of the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this test method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this test method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

NOTE 5—Since the existence of a true elastic limit in plastics (as in many other organic materials and in many metals) is debatable, the propriety of applying the term "elastic modulus" in its quoted, generally accepted definition to describe the "stiffness" or "rigidity" of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of

stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stress-strain curves for plastics, determined as described in this test method, almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant-rate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine can be either the fixed or self-aligning type.

5.1.3.1 Fixed grips are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used take extreme care to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

5.1.3.2 Self-aligning grips are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. Align the specimens as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to those of a coarse single-cut file, serrations about 2.4 mm (0.09 in.) apart and about 1.6 mm (0.06 in.) deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics, such as the thermosetting materials. It is important that the serrations be kept clean and sharp. Should breaking in the grips occur, even when deep serrations or abraded specimen surfaces are used, other techniques shall be used. Other techniques that have been found useful, particularly with smooth-faced grips, are abrading that portion of the surface of the specimen that will be in the grips, and interposing thin pieces of abrasive cloth, abrasive paper, or plastic, or rubber-coated fabric, commonly called hospital sheeting, between the specimen and the grip surface. No. 80 double-sided abrasive paper has been found effective in many cases. An open-mesh fabric, in which the threads are coated with abrasive, has also been effective. Reducing the cross-sectional area of the specimen may also be effective. The use of special types of grips is sometimes necessary to eliminate slippage and breakage in the grips.

5.1.4 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting a uniform, controlled velocity to the movable member with

^A Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www ansi org>.

Lampiran 4 : Standar ASTM D638-14

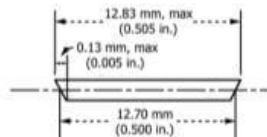
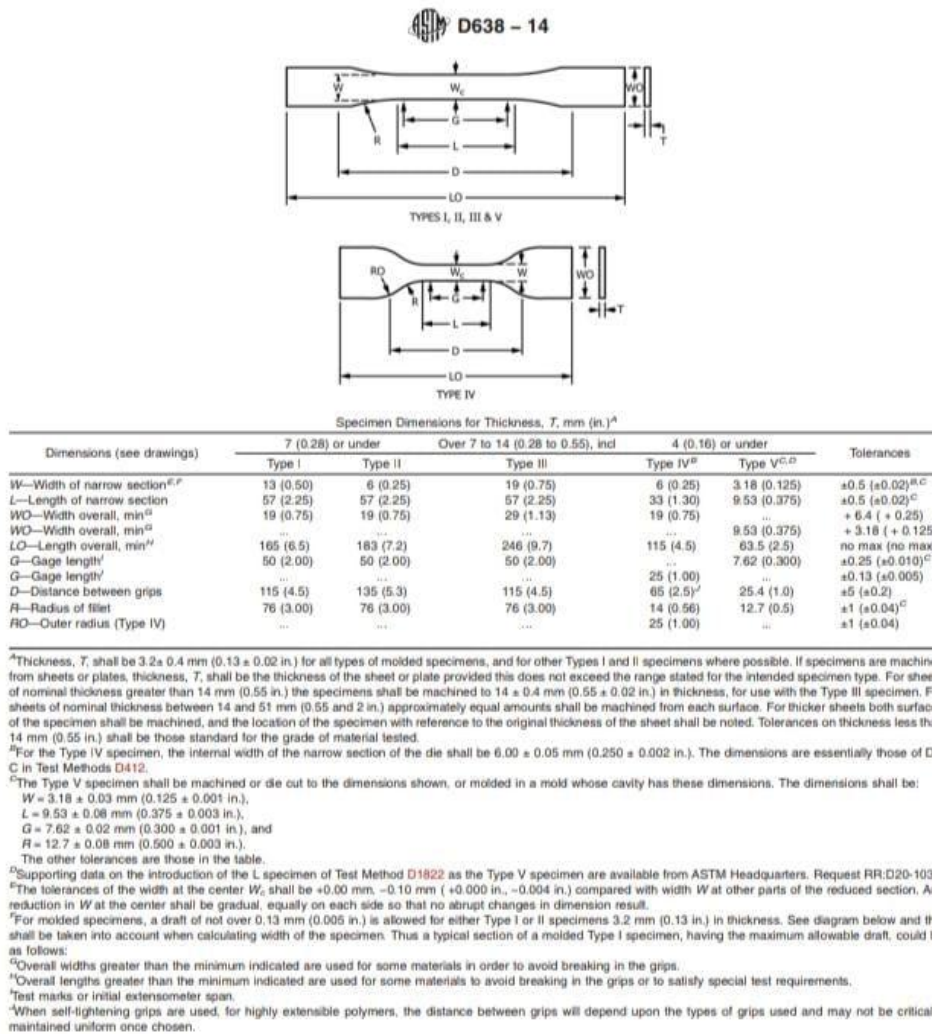
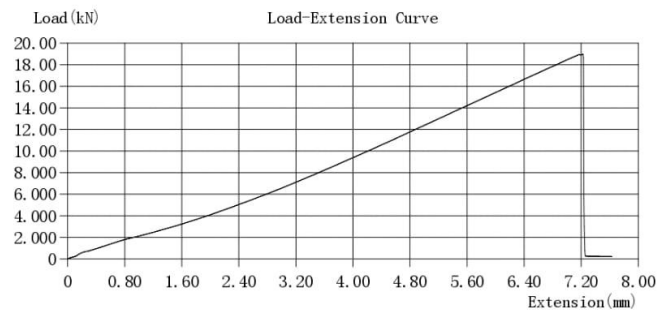


FIG. 1 Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics

Lampiran 5 : Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Untuk *Fiberglass* Baru

UJI TARIK

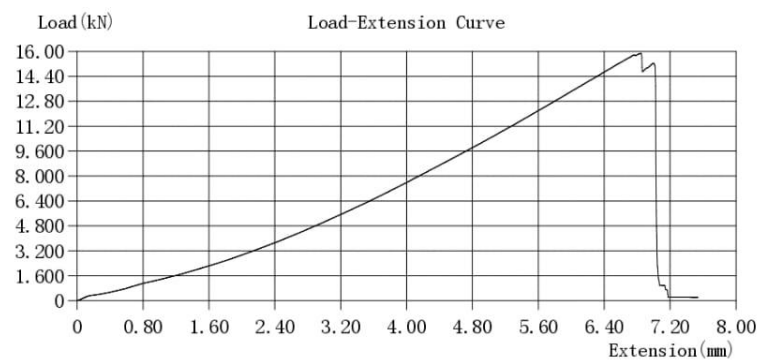
SampleID	E8/E8M-13a	TestDate	7/13/2026
Operator	agus02	L0 (mm)	165
Type	Dumb-bells	Width (mm)	13
Thickness (mm)	6	Area	78.00
Fm (N)	18960.00	TS (MPa)	243.08
Fb (N)	750.00	TSb (MPa)	9.6
Fy (N)	18625.00	Sy (MPa)	238.78
Ly (mm)	7.23	Ey (%)	4.4
Lb (mm)		Eb (%)	/
Given stress (MPa)		Ls (mm)	/
Es (%)	/	Given elongation (mm)	
Fe (N)		Se (MPa)	/



Lampiran 6 : Hasil Uji Tarik Spesimen 2 Untuk *Fiberglass* Baru

UJI TARIK

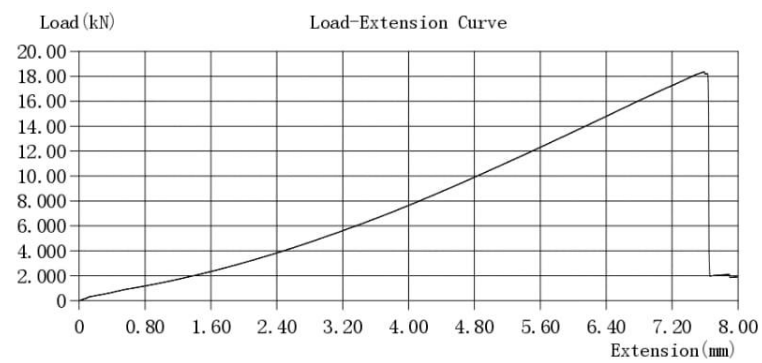
SampleID	E8/ESM-13a	TestDate	7/13/2026
Operator	agus03	LO (mm)	165
Type	Dumb-bells	Width (mm)	13
Thickness (mm)	6	Area	78.00
Fm (N)	15870.00	TS (MPa)	203.46
Fb (N)	445.00	TSb (MPa)	5.7
Fy (N)	14870.00	Sy (MPa)	190.64
Ly (mm)	7.02	Ey (%)	4.3
Lb (mm)		Eb (%)	/
Given stress (MPa)		Ls (mm)	/
Es (%)	/	Given elongation (mm)	
Fe (N)		Se (MPa)	/



Lampiran 7 : Hasil Uji Tarik Spesimen 3 Untuk *Fiberglass* Baru

UJI TARIK

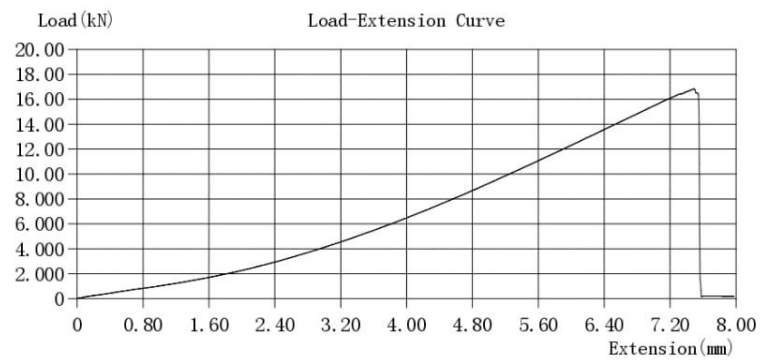
SampleID	E8/ESM-13a	TestDate	7/13/2026
Operator	agus04	LO (mm)	165
Type	Dumb-bells	Width (mm)	13
Thickness (mm)	6	Area	78.00
Fm (N)	18350.00	TS (MPa)	235.26
Fb (N)	1895.00	TSb (MPa)	24.29
Fy (N)	17595.00	Sy (MPa)	225.58
Ly (mm)	7.64	Ey (%)	4.6
Lb (mm)		Eb (%)	/
Given stress (MPa)		Ls (mm)	/
Es (%)	/	Given elongation (mm)	
Fe (N)		Se (MPa)	/



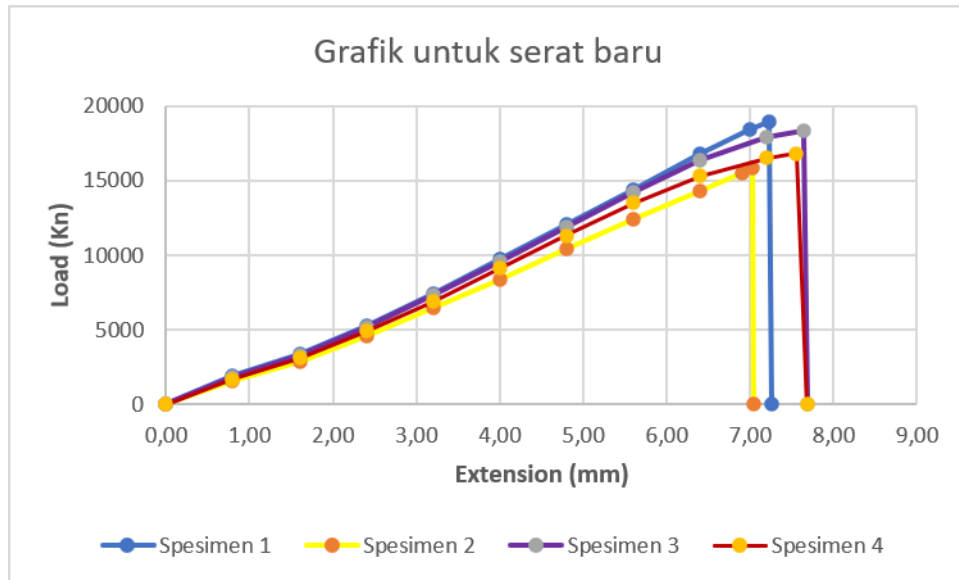
Lampiran 8 : Hasil Uji Tarik Spesimen 4 Untuk *Fiberglass* Baru

UJI TARIK

SampleID	E8/E8M-13a	TestDate	7/13/2026
Operator	agus05	LO (mm)	165
Type	Dumb-bells	Width (mm)	13
Thickness (mm)	6	Area	78.00
Fm (N)	16825.00	TS (MPa)	215.71
Fb (N)	665.00	TSb (MPa)	8.5
Fy (N)	15965.00	Sy (MPa)	204.68
Ly (mm)	7.55	Ey (%)	4.6
Lb (mm)		Eb (%)	/
Given stress (MPa)		Ls (mm)	/
Es (%)	/	Given elongation (mm)	
Fe (N)		Se (MPa)	/



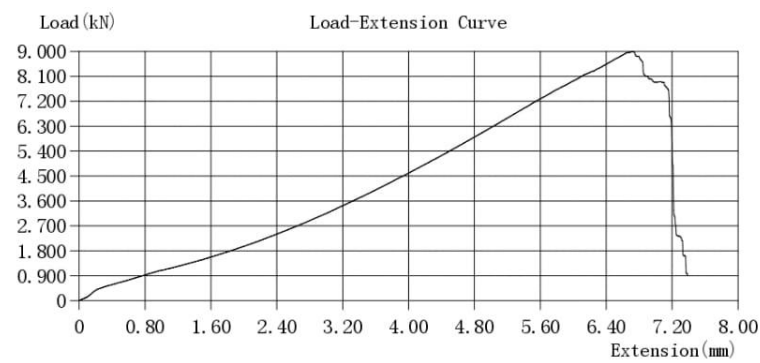
Lampiran 9 : Gambar Sumua Grafik Untuk Serat Baru



Lampiran 10 : Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Untuk *Fiberglass* Yang Dibakar

UJI TARIK

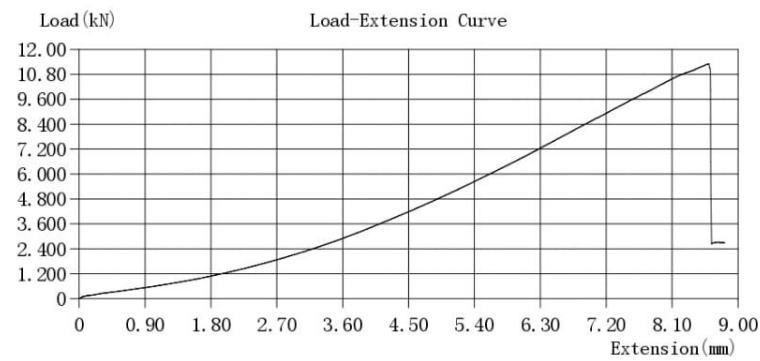
SampleID	E8/ESM-13a	TestDate	7/13/2026
Operator	agus06	LO (mm)	165
Type	Dumb-bells	Width (mm)	13
Thickness (mm)	6	Area	78.00
Fm (N)	8990.00	TS (MPa)	115.26
Fb (N)	905.00	TSb (MPa)	11.60
Fy (N)	8285.00	Sy (MPa)	106.22
Ly (mm)	6.85	Ey (%)	4.2
Lb (mm)		Eb (%)	/
Given stress (MPa)		Ls (mm)	/
Es (%)	/	Given elongation (mm)	
Fe (N)		Se (MPa)	/



Lampiran 11 : Hasil Uji Tarik Spesimen 2 Untuk *Fiberglass* Yang Dibakar

UJI TARIK

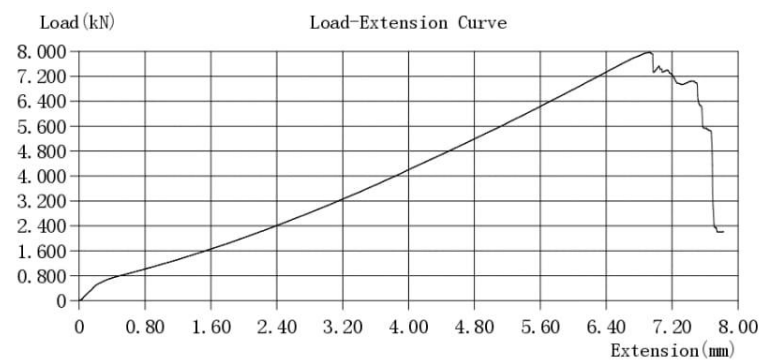
SampleID	E8/ESM-13a	TestDate	7/13/2026
Operator	agus07	LO (mm)	165
Type	Dumb-bells	Width (mm)	13
Thickness (mm)	6	Area	78.00
Fm (N)	11300.00	TS (MPa)	144.87
Fb (N)	2685.00	TSb (MPa)	34.42
Fy (N)	10025.00	Sy (MPa)	128.53
Ly (mm)	8.62	Ey (%)	5.2
Lb (mm)		Eb (%)	/
Given stress (MPa)		Ls (mm)	/
Es (%)	/	Given elongation (mm)	
Fe (N)		Se (MPa)	/



Lampiran 12 : Hasil Uji Tarik Spesimen 3 Untuk *Fiberglass* Yang Dibakar

UJI TARIK

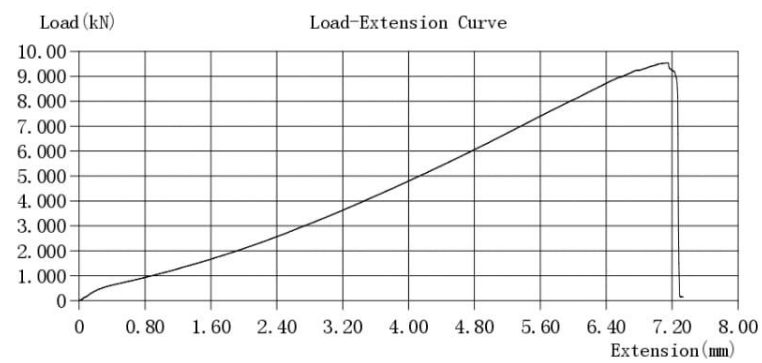
SampleID	E8/ESM-13a	TestDate	7/13/2026
Operator	agus08	LO (mm)	165
Type	Dumb-bells	Width (mm)	13
Thickness (mm)	6	Area	78.00
Fm (N)	7965.00	TS (MPa)	102.12
Fb (N)	2210.00	TSb (MPa)	28.33
Fy (N)	7350.00	Sy (MPa)	94.23
Ly (mm)	7.08	Ey (%)	4.3
Lb (mm)		Eb (%)	/
Given stress (MPa)		Ls (mm)	/
Es (%)	/	Given elongation (mm)	
Fe (N)		Se (MPa)	/



Lampiran 13 : Hasil Uji Tarik Spesimen 4 Untuk *Fiberglass* Dibakar

UJI TARIK

SampleID	E8/ESM-13a	TestDate	7/13/2026
Operator	agus09	LO (mm)	165
Type	Dumb-bells	Width (mm)	13
Thickness (mm)	6	Area	78.00
Fm (N)	9535.00	TS (MPa)	122.24
Fb (N)	235.00	TSb (MPa)	3.0
Fy (N)	9105.00	Sy (MPa)	116.73
Ly (mm)	7.24	Ey (%)	4.4
Lb (mm)		Eb (%)	/
Given stress (MPa)		Ls (mm)	/
Es (%)	/	Given elongation (mm)	
Fe (N)		Se (MPa)	/



Lampiran 14 : Gambar Semua Grafik Untuk Serat Yang Dibakar

