

**ANALISA PENGARUH FRAKSI VOLUME DAN ARAH SERAT
TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA MATERIAL
KOMPOSIT SERAT ALAM ECENG GONDOK**



SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Syarat Ujian Sarjana Strata satu
pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas IBA

Disusun oleh :

Nama : Adi Prasetya

NPM : 22 32 0005

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS IBA
PALEMBANG**

2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Adi Prasetya
NPM : 22 32 0005
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Fraksi Volume Dan Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Pada Material Komposit Serat Alam Eceng Gondok

Dengan ini saya menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi yang telah saya buat ini merupakan hasil karya saya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Skripsi ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas IBA.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Penulis,



Adi Prasetya
22 32 0005

**ANALISA PENGARUH FRAKSI VOLUME DAN ARAH SERAT
TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA MATERIAL
KOMPOSIT SERAT ALAM ICENG GONDOK**



SKRIPSI

**Disusun untuk Memenuhi Syarat Ujian Sarjana Strata satu
pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas IBA**

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik,

**Palembang,
Ketua Program Studi Teknik Mesin**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA**

**Dr. Ir. Hardiyani Haruno, MT.
NIK. 03 24 514**



**Reny Afriany, S.T., M.Eng
NIK. 02 05 171**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

AGENDA NO :
DITERIMA TGL :
PARAF :

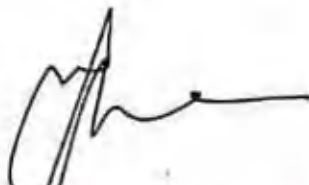
**ANALISA PENGARUH FRAKSI VOLUME DAN ARAH SERAT
TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA MATERIAL
KOMPOSIT SERAT ALAM ECENG GONDOK**

NAMA : Adi Prasetya
NPM : 22 32 0005
SPESIFIKASI : a) Material Komposit
b) Perhitungan Kekuatan Tarik
c) ASTM D3039

Menyetujui,

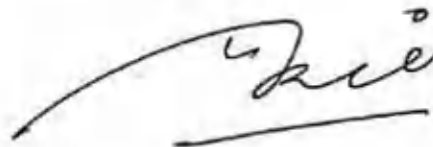
Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Reny Afriany, ST, M.Eng.

NIK : 02 05 171

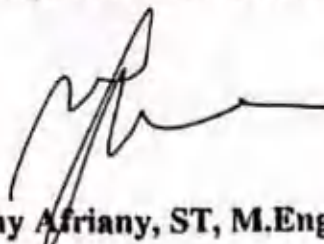


Dr. Arie Yudha Budiman, ST., MT.

NIK : 03 24 508

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Reny Afriany, ST, M.Eng.

NIK : 02 05 17

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini dengan judul : Analisa Pengaruh Fraksi Volume Dan Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Pada Material Komposit Serat Alam Eceng Gondok

Penyusun : Adi Prasetya
NPM : 22 32 0005
Program Studi : Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana (ujian komprehensif) dan diterima sebagai bagian dari persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA.

TIM PENGUJI

Ketua : Reny Afriany, ST, M.Eng ()

Anggota : 1. Dr. Arie Yudha Budiman, S.T., M.T. ()

2. Yeny Pusvyta, S.T., M.T. ()

3. Muhammad Nur, S.T., M.Log. ()

Ditetapkan di : Palembang

Tanggal .

ABSTRAK

Populasi eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang melimpah pada perairan sungai Musi Kota Palembang dapat dimanfaatkan menjadi serat komposit sebagai pengganti serat sintetis pada material komposit. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh fraksi volume dan arah serat terhadap kekuatan tarik pada komposit bermatriks resin polyester SHCP 2668. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, standar pengujian tarik ASTM D3039 dan metode pembentukan komposit dengan metode hand lay-up. Variabel penelitian meliputi arah serat (*Continuous* dan *Discontinuous*) serta fraksi volume serat dan resin (30% : 70% dan 40% : 60%) dengan perendaman NaOH 6% selama 2 jam dan panjang serat yang seragam 80 mm. Hasil menunjukkan kekuatan tertinggi dengan patahan pada *gage area* dicapai pada arah serat searah dengan fraksi volume 40% serat dan 60% resin sebesar 9,53 MPa dan elongasi 0,49%, sedangkan kekuatan tarik terendah pada 30% serat dan 70% resin dengan orientasi serat searah sebesar 7,46 MPa. Hasil menunjukkan bahwa orientasi serat tidak menjadi satu-satunya faktor yang menentukan kekuatan tarik komposit. Pengamatan pengujian terlihat kegagalan yang dominan di area *gage* berupa *fiber breaking* dan *matrix crack* yang menandakan transfer beban antar matriks dan serat berlangsung optimal. Dapat disimpulkan fraksi volume dan arah serat berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik komposit eceng gondok.

Kata Kunci: Arah serat, Fraksi volume, kekuatan tarik, serat eceng gondok

ABSTRACT

*The abundant population of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in the Musi River, Palembang, can be utilized to produce composite fibers as a substitute for synthetic fibers in composite materials. This study aims to analyze the effects of fiber volume fraction and fiber orientation on the tensile strength of composites using an SHCP 2668 polyester resin matrix. The research employed an experimental method, the ASTM D3039 tensile testing standard, and the hand lay-up fabrication technique. Research variables included fiber orientation (continuous and discontinuous) and fiber-to-resin volume fractions (30%:70% and 40%:60%), with a uniform fiber length of 80 mm and a 6% NaOH soaking treatment for 2 hours. The highest tensile strength—accompanied by failure within the gauge area—was achieved with unidirectional fiber orientation at a volume fraction of 40% fiber and 60% resin (9.53 MPa, 0.49% elongation), while the lowest tensile strength (7.46 MPa) was observed at 30% fiber and 70% resin with unidirectional orientation. The results indicate that fiber orientation is not the sole factor determining the composite's tensile strength. Observations during testing revealed dominant failure modes in the gauge area—specifically fiber breakage and matrix cracking—indicating optimal load transfer between the matrix and the fibers. It can be concluded that fiber volume fraction and fiber orientation significantly influence the tensile strength of water hyacinth composites.*

Keywords: *Fiber orientation, volume fraction, tensile strength, water hyacinth fiber*

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Pertama Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua mamak dan bapak. Terima kasih atas setiap doa, kasih sayang, dukungan, pengorbanan, dan perjuangan yang tidak pernah berhenti diberikan kepada saya. Terima kasih telah menjadi sumber kekuatan dan alasan saya untuk terus berusaha menyelesaikan setiap hal yang saya jalani, hingga akhirnya memperoleh gelar sarjana dan menjadi sarjana pertama dalam keluarga. Semoga gelar ini dapat menjadi awal untuk membahagiakan dan membanggakan, serta menjadi bukti bahwa segala doa, pengorbanan, dan perjuangan yang telah diberikan tidak pernah sia-sia.”

“Untuk diri saya sendiri, terima kasih telah bertahan dan terus berusaha hingga sampai pada titik ini, serta telah menjadi lebih kuat dalam menjalani berbagai hal dan melewati berbagai proses yang perlahan mengubah pola pikir serta mengajarkan banyak hal tentang kehidupan. Berbagai tantangan dan pertemuan dengan banyak orang telah memberikan pandangan dan perspektif baru dalam melihat kehidupan. Semoga semua proses yang telah dilalui menjadi pelajaran berharga untuk terus berkembang dan menjadi pribadi yang lebih baik. Semoga ke depannya tetap kuat dalam menghadapi setiap proses, tidak mudah menyerah, dan mampu memberikan manfaat bagi orang-orang di sekitar”

MOTTO

Sebenarnya tidak ada yang perlu dikhawatirkan, Allah memang tidak menjanjikan hidupmu selalu mudah tetapi, dua kali Allah berjanji bahwa:

"Fa inna ma'al-usri yusra, inna ma'al - 'usri yusra".

(Q.S Al-Insyirah: 05-06)

“Berbuat baiklah kepada semua orang, bukan karena mereka baik kepada kita, tetapi karena kita memilih untuk menjadi baik.”

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Bismillahirrahmanirrahim serta memanjatkan puji dan syukur kepada ALLAH SWT atas segala karunia serta rahmat yang telah diberikannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tanpa kendala yang berarti dan penuh rasa syukur.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak terutama :

1. Dr.Ir. Hardayani Haruno,MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.
2. Reny Afriany S.T, M.Eng. selaku Pembimbing pertama serta Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas IBA.
3. Dr. Arie Yudha Budiman, ST., MT. selaku Pembimbing Kedua serta Wakil Dekan I Fakultas Teknik
4. Ir. Ratih Diah Andayani, MT selaku Dosen Pembimbing Akademik serta Wakil Dekan II Fakultas Teknik
5. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Mesin , Universitas IBA Palembang, serta selaku Dosen penguji pada awal seminar proposal hingga seminar akhir.
6. Orang tua tersayang, Mamak dan Bapak, yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan motivasi selama penulis menempuh pendidikan hingga menyelesaikan skripsi ini
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin Universitas IBA Palembang, baik yang seangkatan maupun yang telah mendahului, yang telah memberikan bantuan, dan kebersamaan selama proses perkuliahan.

Dalam penyusunan Skripsi ini banyak pihak yang telah memberikan dorongan serta bimbingan kepada penulis, Semoga ALLAH SWT memberikan balasan atas jasa-jasa yang mereka berikan. Tiada gading yang tak retak; begitu juga, skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis menyadari bahwa terdapat kekurangan dan keterbatasan, baik dari segi penyajian maupun isi pembahasan. Oleh karena itu, penulis dengan terbuka dan lapang dada menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi yang berguna bagi pembaca dan pihak-pihak yang berkepentingan.

Palembang, 18 Juli 2026

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Adi Prasetya

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN AGENDA	iv
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan penelitian.....	4
1.5 Manfaat penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Material Komposit.....	5
2.2 Struktur Material Komposit	6
2.2.1 Matriks (penyusun)	7
2.2.2 <i>Reinforcement</i> (penguat)	8
2.3 Komposit Berpenguat Serat (<i>Fiber Reinforced Composite</i>)	9
2.4 Serat Batang Eceng Gondok	12
2.5 Metode pembuatan komposit	14
2.6 Resin <i>Polyester</i>	16
2.7 Rumus komposit.....	16
2.8 Pengujian Tarik Spesimen Komposit.....	17
2.9 Patahan Pada Material Komposit	17

2.9.1 Jenis Patahan (<i>Failure Type</i>).....	18
2.9.2 Lokasi dan Area Patahan (<i>Failure Area and Location</i>)	19
2.10 Kegagalan Pada Material Komposit.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Metodologi Penelitian	23
3.2 Variabel Eksperimen Penelitian	24
3.3 Persiapan Alat dan Bahan	24
3.3.1 Bahan.....	24
3.3.2 Alat	29
3.4 Proses Pembuatan Spesimen Komposit	33
3.5 Pengujian Spesimen.....	36
3.6 Pengumpulan Data Spesimen.....	37
BAB IV PENGOLAHAN DATA.....	38
4.1 Perhitungan Pembuatan Komposit	38
4.2 Rancangan Spesimen.....	40
4.3 Hasil Percobaan Spesimen	41
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
5.1 Hasil.....	43
5.2 Pembahasan	50
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	53
6.1 Kesimpulan.....	53
6.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Penyebaran eceng gondok di sungai Musi kota Palembang	2
Gambar 2. 1 Struktur Komposit.....	6
Gambar 2. 2 Serat buatan (<i>Sintetic fiber</i>).....	10
Gambar 2. 3 Serat alami (<i>Natural fiber</i>).....	10
Gambar 2. 4 <i>Continuous Fiber Composite</i> (CFC)	11
Gambar 2. 5 <i>Woven Fiber Composite</i> (WFC).....	11
Gambar 2. 6 <i>Discountinuous Fiber Composite</i> (DFC)	12
Gambar 2. 7 <i>Hybrid fiber composite</i> (HFC)	12
Gambar 2. 8 Tanaman eceng gondok.....	13
Gambar 2. 9 Metode <i>Hand lay-up</i>	14
Gambar 2. 10 Metode <i>Spray Lay-Up</i>	15
Gambar 2. 11 Metode <i>Injection Moulding</i>	15
Gambar 2. 12 Kurva <i>stress–strain</i> tegangan tarik komposit.....	17
Gambar 2. 13 Patahan Pada Komposit.....	18
Gambar 2. 14 Kegagalan pada Komposit	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3. 2 Perendaman menggunakan NaOH 6%.....	26
Gambar 3. 3 Pengeringan Serat.....	26
Gambar 3. 4 Pengelompokan Serat.....	27
Gambar 3. 5 Resin SHCP2668.....	28
Gambar 3. 6 Katalis.....	28
Gambar 3. 7 NaOH	29
Gambar 3. 8 Wax	29
Gambar 3. 9. <i>Universal Testing Machine (UTM)</i>	30
Gambar 3. 10 Gelas Ukur.....	30
Gambar 3. 11 Cetakan Spesimen	31
Gambar 3. 12 Timbangan Digital	31
Gambar 3. 13 Ember	32
Gambar 3. 14 Kuas.....	32
Gambar 3. 15 Saringan.....	33
Gambar 3. 16 Alat Penekan Spesimen.....	33
Gambar 3. 17 Pelapisan wax pada cetakan	34
Gambar 3. 18 Pencampuran Resin dan Katalis.....	34
Gambar 3. 19 Peletakan Serat	35

Gambar 3. 20 Penekanan Spesimen	35
Gambar 3. 21 Spesimen Akhir	36
Gambar 3. 22 Spesimen uji Tarik ASTM D3039	36
Gambar 5. 1 Grafik Uji Tarik Komposit Serat Eceng Gondok.....	43
Gambar 5. 2 Grafik Elongasi Uji Tarik Komposit Serat Eceng Gondok.....	44
Gambar 5. 3 Patahan Spesimen.....	45
Gambar 5. 4 Patahan Searah 40/60	46
Gambar 5. 5 Patahan Acak 40/60.....	47
Gambar 5. 6 Patahan Searah 30/70	48
Gambar 5. 7 Patahan Acak 30/70.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2 .1 Massa jenis serat eceng gondok (Rambe, 2011)	13
Tabel 3. 1 Variabel Penelitian	24
Tabel 4. 1 Hasil Percobaan kekuatan Tarik spesimen.....	41
Tabel 4. 2 Hasil Elongasi Uji Tarik	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan sektor industri, antara lain otomotif, konstruksi, perkapalan, dan pesawat, komposit material ini banyak digunakan karena memiliki keunggulan antara lain rasio kekuatan terhadap beban yang tinggi, ketahanan korosi yang sangat baik, serta fleksibilitas dalam perancangan sifat mekanik. Meskipun material komposit telah banyak digunakan di berbagai sektor industri, sebagian besar komposit yang diproduksi saat ini masih menggunakan serat sintetis, seperti serat kaca (*glass fiber*) dan serat karbon (*carbon fiber*), sebagai bahan penguat. Serat sintetis memiliki sifat mekanik yang sangat baik, namun biaya produksinya relatif tinggi, membutuhkan energi yang besar dalam proses pembuatannya, serta sulit terurai di lingkungan sehingga menimbulkan permasalahan pada tahap pembuangan limbah. Selain itu, ketergantungan terhadap bahan baku sintetis berbasis petrokimia juga menjadi tantangan dalam upaya mewujudkan industri yang lebih berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan komposit berbasis serat alam terus meningkat sebagai alternatif yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, serta memanfaatkan sumber daya lokal yang melimpah tanpa mengabaikan kebutuhan akan sifat mekanik yang memadai.

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan air yang tumbuh sangat melimpah di Sungai Musi dan perairan sekitarnya di Kota Palembang. Tanaman ini memiliki laju pertumbuhan yang sangat cepat sehingga sering menutupi permukaan perairan, menghambat aliran air, mempercepat proses pendangkalan, serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Kondisi tersebut menyebabkan eceng gondok selama ini lebih banyak dipandang sebagai gulma air yang perlu dikendalikan. Namun, di balik keberlimpahannya, eceng gondok memiliki potensi sebagai sumber

bahan baku serat alam yang bernilai ekonomis dan dapat dimanfaatkan sebagai penguat material komposit.

Serat eceng gondok yang diperoleh dari bagian batang tanaman mengandung selulosa yang cukup tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan penguat pada material komposit berbasis serat alam. Pemanfaatan serat tersebut tidak hanya memberikan nilai tambah terhadap biomassa yang selama ini kurang dimanfaatkan, tetapi juga mendukung pengembangan material komposit yang lebih ramah lingkungan. Ketika dikombinasikan dengan matriks polimer, serat eceng gondok mampu menghasilkan material komposit dengan sifat mekanik yang dapat direkayasa sesuai kebutuhan aplikasi, khususnya pada produk-produk ringan yang tidak memerlukan kekuatan setinggi komposit berbasis serat sintetis.



Gambar 1. 1 Penyebaran eceng gondok di sungai Musi kota Palembang

(<https://kumparan.com/urbanid/foto-tumpukan-sampah-eceng-gondok-di-sungai-musi-palembang-1uSe9XRpgzp> diakses 17 juni 2026)

.Penelitian ini akan berfokus pada pengaruh arah serat serta komposisi serat terhadap sifat mekanik material komposit berbasis serat eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Arah serat dan komposisi serat merupakan parameter yang penting dalam pembentukan sebuah struktur komposit karena secara langsung memengaruhi mekanisme distribusi dan transfer beban antara matriks dan serat penguat. Pemahaman

terhadap pengaruh kedua parameter tersebut akan menentukan konfigurasi komposit yang optimal, baik dari segi kinerja mekanik maupun efisiensi proses manufaktur

Dengan demikian, penelitian ini mendukung pengembangan teknologi berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam industri material. Maka dari itu sesuai dari latar belakang yang telah diuraikan maka penelitian ini diberi judul “Analisa Pengaruh Fraksi Volume Dan Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Pada Material Komposit Serat Alam Eceng Gondok”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi matriks dan serat terhadap kekuatan tarik komposit serat eceng gondok ?
2. Bagaimana pengaruh arah serat terhadap kekuatan tarik komposit serat eceng gondok ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Arah penyusunan serat dalam proses pembuatan komposit searah dan acak berjumlah 2 variasi
2. Metode *hand lay-up* digunakan untuk pembuatan komposit.
3. Panjang serat yang digunakan seragam pada 80 mm
4. Waktu perendaman serat eceng gondok dengan 6% NaOH adalah 2 jam.
5. Resin *Polyester* SHCP2668 digunakan dalam penelitian ini.
6. Proses manufaktur komposit menggunakan bantuan alat penekan sebagai teknik pemadatan dengan durasi waktu dan berat yang seragam untuk setiap spesimen
7. Pengujian tarik berdasarkan standar ASTM D3039.

1.4 Tujuan penelitian

Pada penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi matriks dan serat terhadap kekuatan tarik komposit serat eceng gondok
2. Mengetahui pengaruh variasi arah serat terhadap kekuatan tarik komposit serat eceng gondok.

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah :

- 1 Menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengaruh komposisi matriks serat dan panjang serat terhadap karakteristik mekanik komposit serat alam.
- 2 Mengetahui kekuatan murni ikatan antara serat eceng gondok dan resin setelah diberi perlakuan alkali yang berguna untuk pengembangan material kulit pada struktur ringan, seperti bodi pesawat tanpa awak atau panel dinding kendaraan, yang membutuhkan ketahanan tinggi terhadap gaya regang saat beroperasi.
- 3 Mendukung upaya pemanfaatan eceng gondok sebagai sumber biomassa bernilai tambah, sehingga berkontribusi dalam pengurangan permasalahan lingkungan akibat pertumbuhan eceng gondok yang berlebihan di perairan Sungai Musi Kota Palembang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Komposit merupakan material yang tersusun atas dua atau lebih material sebagai konstituen (unsur, bagian, atau komponen) dan memiliki sifat gabungan dari kedua material konstituen tersebut. Komposit terdiri atas matriks dan penguat (*reinforce/filler*) yang menjadi definisi khususnya Matriks pada komposit berfungsi sebagai distributor tegangan yang diterima oleh penguat yang jenisnya dapat bermacam-macam (Wardhana 2017).

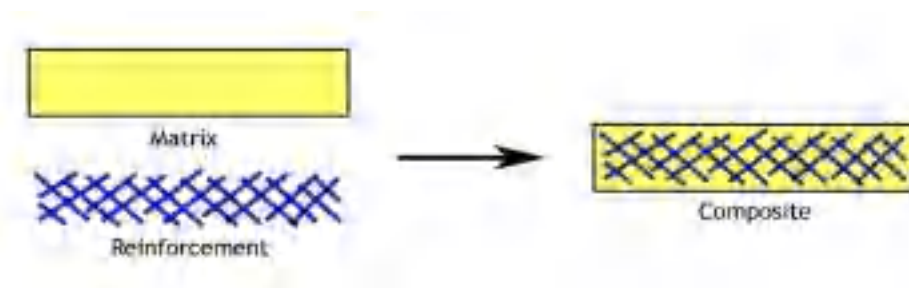
Adapun penelitian mengenai material komposit yang menggunakan serat eceng gondok telah dilakukan oleh berbagai peneliti. Beberapa penelitian terdahulu yang memanfaatkan serat eceng gondok sebagai penguat komposit antara lain sebagai berikut:

- a) Penelitian karakteristik uji tarik komposit berpenguat serat eceng gondok bermatriks resin *polyester* dengan perlakuan pola anyaman variasi arah serat (sudut 0° dan 45°) serta fraksi volume 68%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit dengan arah serat sudut 0° searah memberikan sifat mekanik tertinggi dengan kekuatan tarik sebesar 6,35 MPa dan nilai modulus elastisitas mencapai 4,63 GPa. Sementara itu, untuk arah serat sudut 45° bersilangan menghasilkan kekuatan tarik sebesar 2,47 MPa dan modulus elastisitas sebesar 1,47 GPa (Yudo dan Kiryanto, 2012).
- b) Penelitian karakteristik komposit serat eceng gondok bermatriks resin *polyester* BQTN 157 dengan variasi fraksi volume serat 15%, 20%, dan 25% menggunakan prosedur pengujian tarik mengacu pada ASTM D3039. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume serat meningkatkan kekuatan tarik komposit, di mana fraksi volume serat 25% memberikan sifat mekanik

tertinggi dengan kekuatan tarik rata-rata sebesar 30,41 MPa dan modulus elongasi rata-rata sebesar 1265,15 MPa. Sementara itu, nilai terendah diperoleh pada fraksi volume 15% dengan kekuatan tarik rata-rata sebesar 12,43 MPa dan modulus Elongasi rata-rata sebesar 996,82 MPa (Setyawan, 2016).

2.2 Struktur Material Komposit

Struktur material komposit terdiri atas dua komponen utama, yaitu matriks penyusun dan *reinforcement* (penguat), yang dikombinasikan untuk membentuk satu kesatuan material dengan sifat mekanik yang lebih baik.



Gambar 2. 1 Struktur Komposit

Ketika matriks dan *reinforcement* digabungkan, terbentuk material komposit yang memiliki sifat mekanik lebih baik dibandingkan masing-masing komponen penyusunnya secara terpisah. Kombinasi ini memungkinkan terjadinya transfer beban yang efektif dari matriks ke *reinforcement*, sehingga komposit mampu menahan gaya tarik, tekan, dan lentur dengan lebih baik.

Adapun bagian-bagian utama penyusun dan penguat material komposit adalah sebagai berikut.

2.2.1 Matriks (penyusun)

Matriks (penyusun) adalah komponen utama yang berfungsi sebagai pengikat untuk melapisi serat agar terhindar dari berbagai macam kerusakan (Khotimah, 2018). Berdasarkan jenis matriknya, komposit dapat diklasifikasikan kedalam tiga kelompok besar yaitu:

1. *Polymer Matrix Composites (PMC)*

Polymer Matrix Composites merupakan komposit yang sering digunakan dan disebut, Polimer Berpenguatan Serat. Bahan ini menggunakan suatu polimer Berdasarkan resin sebagai matriknya, dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (Kevlar) sebagai penguatannya (Wardhana 2017).

2. *Metal Matrix Composites (MMC)*

Metal Matrix Composites (MMC) merupakan salah satu jenis material komposit yang menggunakan logam sebagai untuk aplikasi dirgantara (aerospace). Seiring perkembangannya, MMC juga banyak diaplikasikan pada industri otomotif, dengan aluminium dan paduannya sebagai matriks serta bahan penguat seperti silikon karbida. Dibandingkan *Polymer Matrix Composites (PMC)*, MMC memiliki keunggulan berupa kemampuan transfer tegangan dan Elongasi yang lebih baik, ketahanan terhadap temperatur tinggi, tidak menyerap kelembaban, tidak mudah terbakar, serta memiliki kekuatan tekan, geser, ketahanan aus, dan stabilitas muai termal yang lebih baik. Namun demikian, MMC memiliki keterbatasan berupa biaya produksi yang relatif mahal dan masih terbatasnya standarisasi material maupun proses pabrikasi (Wardhana 2017).

3. *Ceramic Matrix Composites (CMC)*

Ceramic Matrix Composites (CMC) merupakan material komposit dua fasa, di mana satu fasa berperan sebagai penguat (*reinforcement*) dan fasa lainnya sebagai matriks yang terbuat dari bahan keramik. Penguat yang umum digunakan pada CMC meliputi oksida, karbida, dan nitrida, seperti silikon karbida dan boron nitrida dalam bentuk serat pendek atau *whiskers*. CMC banyak diaplikasikan pada lingkungan bersuhu sangat tinggi karena memiliki ketahanan termal yang sangat baik (Wardhana 2017).

2.2.2 *Reinforcement (penguat)*

Reinforcement (penguat) adalah komponen utama yang berfungsi menjadi pondasi dalam menentukan besar atau kecilnya kekuatan komposit (Khotimah, 2018). Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Particulate Composites*

Particulate Composites Adalah komposit yang memanfaatkan serbuk maupun partikel untuk penguat, kemudian mentransferkan secara menyeluruh kepada matriks untuk mempengaruhi daya kokoh meterial, yang memiliki keunggulan dapat mempengaruhi kekerasan serta kekuatan material komposit. *Particulate Composites* terbagi menjadi 2 jenis dilihat dari partikelnya, yaitu *large particle* dan *dispersion strengthend particle* (Arba, 2021).

2. *Structural Composites*

Structural Composites adalah composites yang digunakan oleh dua bentuk kembaran atau lapisan, kemudian digabungkan untuk menghasilkan kekuatan yang terbaik pada tiap lapisan komposit. Komposit dilihat dari strukturnya terbagi menjadi 2 macam, yaitu komposit struktur *sandwich* dan komposit struktur

laminate. Komposit struktur *sandwich* adalah komposit yang terbentuk dari 2 lapisan yaitu material inti (*core*) di bagian tengahnya dan *metal sheet* sebagai kulit permukaan, untuk menghasilkan efisiensi berat yang optimal. Sedangkan komposit struktur *laminate* adalah komposit yang terbentuk dari perpaduan 2 atau lebih lamina kemudian terbentuk menjadi sebuah elemen struktur yang memiliki daya kokoh material yang baik (Arba, 2021).

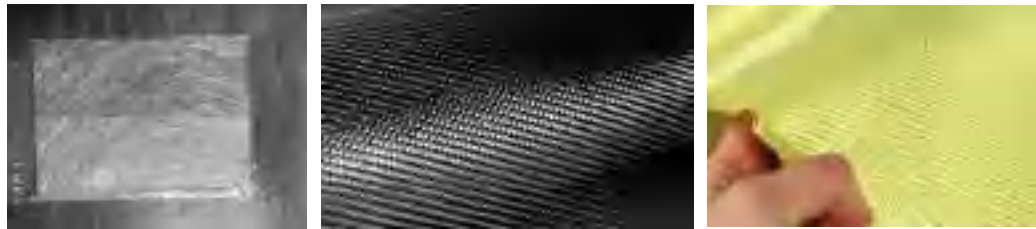
3. *Fiber Composites*

Fiber Composites adalah composites yang terdiri dari serat penguat dan matriks sebagai pengikat serat. Serat berfungsi untuk menopang kekuatan komposit, sehingga kuat komposit tergantung dari jenis serat yang dipakai (Arba, 2021).

2.3 Komposit Berpenguat Serat (*Fiber Reinforced Composite*)

Komposit Berpenguat Serat (*Fiber Reinforced Composite*) merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat atau komposit yang terdiri dari fiber dan matriks sebagai pengikat. 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:

1. Serat buatan (*Sintetic fiber*), merupakan serat penguat untuk bahan komposit yang dibuat dari bahan-bahan kimia. Contohnya: serat gelas (*fiber glass*), serat karbon, serat aramid dan lain-lain.

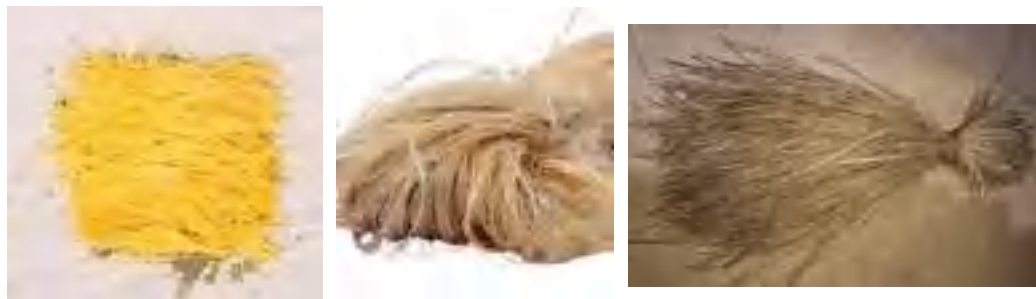
a). *fiber glass*

b). serat karbon

c). serat aramid

Gambar 2. 2 Serat buatan (*Sintetic fiber*)

2. Serat alami (*Natural fiber*), merupakan serat penguat untuk bahan komposit yang merupakan serat alami dari hasil alam. Serat alami dapat berasal dari hewani walaupun pada umumnya kebanyakan berasal dari tumbuh-tumbuhan. Contoh: serat tebu dan serat pisang ,serat eceng gondok dan lain-lain.



a). serat tebu

b). serat pisang

c). serat eceng gondok

Gambar 2. 3 Serat alami (*Natural fiber*)

Berdasarkan penempatan dan orientasi serat di dalam matriks, komposit berpenguat serat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe, yaitu :

1. *Continuous Fiber Composite (CFC)*

Continuous Fiber Composite , mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar antar lapisan. Hal

ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya (Wardhana 2017).



Gambar 2. 4 Continuous Fiber Composite (CFC)

2. *Woven Fiber Composite (WFC)*

Woven Fiber Composite adalah komposit yang memiliki arah penyusunan serat memanjang dan tidak luruh, sehingga menimbulkan kekakuan dan kekuatannya lemah, namun pemisahan antar lapisan tidak mudah terpengaruh (Yuniarti, 2011).



Gambar 2. 5 Woven Fiber Composite (WFC)

3. *Discountinuous Fiber Composite (DFC)*

Discountinuous Fiber Composite adalah jenis komposit berserat pendek yang disusun secara acak. Komposit serat ini terdiri dari *aligned discountinuous fiber*, *off-axis aligned discountinuous fiber*, dan *randomly oriented discountinuous fiber* (Abusiri, 2016).



Gambar 2. 6 *Discontinuous Fiber Composite (DFC)*

4. *Hybrid fiber composite (HFC)*

Hybrid fiber composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya (Wardhana 2017).



Gambar 2. 7 *Hybrid fiber composite (HFC)*

2.4 Serat Batang Eceng Gondok

Serat batang eceng gondok merupakan material alam yang memiliki potensi besar sebagai penguat dalam pembuatan komposit karena karakteristik mekanisnya yang kompetitif. Secara struktural, serat ini memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi, berkisar antara 40% hingga 66%. Dalam aplikasinya sebagai bahan komposit, serat eceng gondok umumnya dikombinasikan dengan matriks polimer seperti resin *epoxy* atau *polyester* untuk menciptakan produk fungsional di berbagai industri.

Penggunaan serat eceng gondok sebagai bahan utama sangatlah strategis karena memiliki massa jenis yang rendah, yaitu sebesar 0,40 gr/cm³. Nilai ini menunjukkan bahwa serat eceng gondok merupakan material yang sangat ringan, bahkan hampir menyerupai densitas serat tebu (0,36 gr/cm³) dan jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan serat pohon kelapa yang mencapai 1,36 gr/cm³.

Tabel 2 .1 Massa jenis serat eceng gondok (Rambe, 2011)

Jenis Serat	Massa Jenis
Serat Eceng Gondok	0,25 gr/cm ³
Serat Tebu	0,36 gr/cm ³
Serat Pohon Kelapa	1,36 gr/cm ³

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah tanaman gulma terapung di wilayah perairan tenang. Eceng gondok mengandung protein lebih dari 11,5% dan mengandung selulosa yang lebih tinggi dari nonselulosanya seperti lignin, abu, lemak dan zat-zat lain (Haryadi 2021). Tanaman eceng gondok memiliki struktur morfologi yang khas sebagai tumbuhan air mengapung. Berikut adalah bagian-bagian utamanya yaitu akar , batang , daun ,dan bunga



Gambar 2. 8 Tanaman eceng gondok

- a) Akar ,bagian ini Memiliki sistem akar serabut yang sangat lebat dan panjang. Akar ini berfungsi untuk menjaga keseimbangan tumbuhan saat mengapung dan menyerap nutrisi langsung dari air.

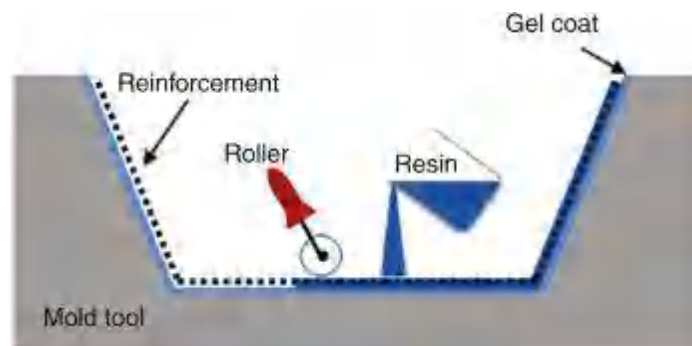
- b) Batang , struktur ini berisi rongga udara yang berfungsi sebagai pelampung agar tumbuhan tetap berada di permukaan air.
- c) Daun ,pada eceng gondok memiliki daun tunggal berbentuk oval atau bulat telur dengan ujung yang meruncing. Permukaannya licin, berwarna hijau mengkilap, dan memiliki lapisan lilin untuk mencegah air menempel.
- d) Bunga eceng gondok termasuk majemuk berbentuk bulir yang muncul di bagian ujung. Bunganya berwarna ungu muda atau kebiruan yang sangat mencolok dan indah.

2.5 Metode pembuatan komposit

Metode pembuatan sangat menentukan keberhasilan dalam proses manufaktur material komposit tersebut , berikut merupakan beberapa metode pembuatan komposit:

1. *Hand lay-up*

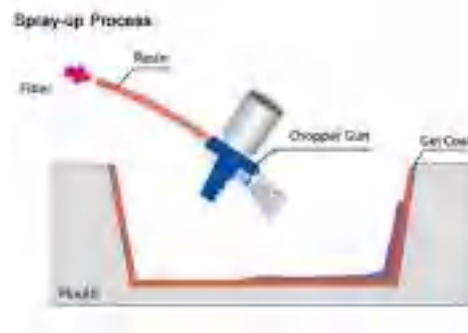
Metode *Hand lay-up* merupakan metode pembuatan komposit. Pada proses ini menggunakan cetakan terbuka, yang dilakukan dengan cara menuangkan resin secara terus-menerus ke dalam cetakan yang telah diletakkan serat, hingga mencapai ketebalan yang telah ditetapkan sesuai standar yang dipilih. (Tantowi, 2004).



Gambar 2. 9 Metode *Hand lay-up*

2. *Spray Lay-Up*

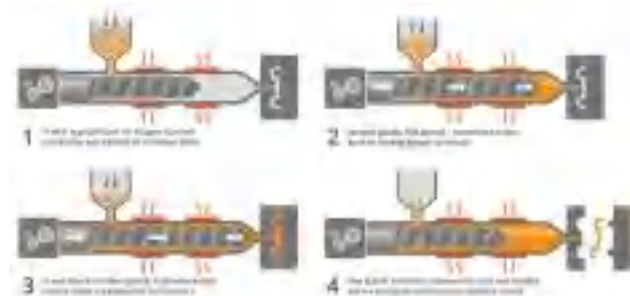
Metode *spray lay-up* dilakukan dengan mencampurkan resin dan katalis kemudian disemprotkan dalam cetakan berisi serat, ditunggu sampai komposit mengeras (Tantowi, 2014).



Gambar 2. 10 Metode *Spray Lay-Up*

3. *Injection Moulding*

Injection moulding merupakan metode pembuatan komposit dengan matriks polimer yang dilakukan dengan memasukkan serat dan resin ke dalam hooper pada mesin injection moulding sampai kedua material menyatu dengan baik, kemudian dilakukan proses injeksi ke dalam cetakan. (Tantowi, 2014).



Gambar 2. 11 Metode *Injection Moulding*

2.6 Resin Polyester

Resin *polyester* tak jenuh merupakan resin tipe thermoset atau lebih dikenal dengan sebutan *polyester*. *Polyester* adalah resin cair yang memiliki viskositas rendah apabila dibandingkan dengan resin yang lain (Rangkuti, 2011). Berikut ini beberapa kelebihan dari *polyester* antara lain yaitu (Syamsu, 2015):

1. Mempunyai kekuatan tarik yang sangat baik.
2. Memiliki ketahanan terhadap Elongasi, bahkan lumut.
3. Mudah dalam segi perawatan.
4. Mempunyai ketahanan terhadap air dan mudah mengering.

2.7 Rumus komposit

Perhitungan komposisi merupakan metode untuk menentukan proporsi massa atau volume antara serat, resin, dan katalis yang diperlukan dalam proses pencetakan spesimen komposit. Rumus komposisi komposit adalah sebagai berikut (Yuliyanto & Masdani, 2018):

1. Persentase Serat

Persentase serat menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{Volume Cetakan} \times \text{Persentase Serat} \times \text{Massa Jenis Serat} \dots\dots(2.1)$$

2. Persentase Resin

Persentase resin menggunakan rumus di bawah ini:

$$\text{Volume Cetakan} \times \text{Persentase Resin} \times \text{Massa Jenis Resin} \dots\dots(2.2).$$

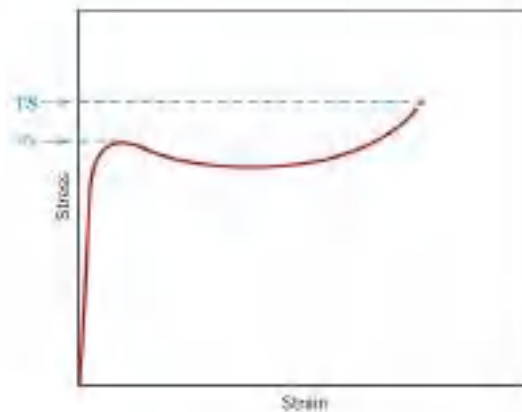
3. Persentase Katalis

Persentase katalis menggunakan rumus seperti berikut ini:

$$\text{Volume Resin} \times \text{Persentase Katalis} \times \text{Massa Jenis Katalis} \dots\dots(2.3)$$

2.8 Pengujian Tarik Spesimen Komposit

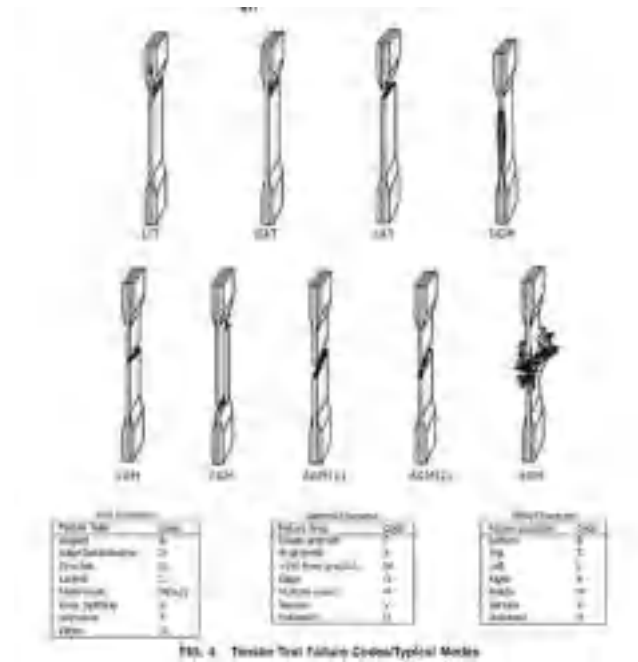
Uji tarik merupakan metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban tarik hingga mengalami patah. Pada pengujian ini spesimen dijepit pada mesin uji tarik, kemudian diberi pembebanan secara bertahap hingga mencapai beban maksimum dan mengalami kegagalan. Hasil pengujian umumnya disajikan dalam bentuk kurva tegangan–Elongasi (*stress–strain*), yang digunakan untuk menentukan sifat mekanik material seperti modulus elastisitas, tegangan luluh (*yield strength*), dan kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) (Callister & Rethwisch, 2018). Namun, pada pengujian tarik yang dilakukan menggunakan mesin UTM di ITERA, diperoleh hasil berupa grafik hubungan antara gaya (*force*) dan pertambahan panjang (*elongation*). Grafik *force–elongation* tersebut menunjukkan perubahan gaya yang diterima spesimen terhadap pertambahan panjang selama proses pembebanan hingga spesimen mengalami patah



Gambar 2. 12 Kurva *stress–strain* tegangan tarik komposit
(Sumber: Callister & Rethwisch, 2018)

2.9 Patahan Pada Material Komposit

Berdasarkan standar ASTM D3039 klasifikasi kegagalan atau mode patahan pada pengujian tarik material komposit patahan dibagi ke dalam tiga kategori utama, yaitu jenis patahan ,area patahan , dan lokasi spesifik patahan.



Gambar 2. 13 Patahan Pada Komposit

2.9.1 Jenis Patahan (*Failure Type*)

Tabel pertama mengidentifikasi bentuk fisik dari patahan yang terlihat setelah spesimen mengalami putus akibat beban tarik.

Tabel 2. 1 Jenis Patahan

Kode	Jenis Patahan (Failure Type)	Keterangan
L	<i>Lateral</i>	Patahan lurus yang memotong spesimen secara melintang (horizontal).
A	<i>Angled</i>	Patahan bersudut atau membentuk garis miring pada penampang spesimen.
S	<i>Long. Splitting</i>	Pembelahan memanjang secara longitudinal yang biasanya mengikuti arah serat.
D	<i>Edge Delamination</i>	Terjadinya pemisahan atau pengelupasan antar lapisan (<i>delaminasi</i>) pada bagian tepi spesimen.

X	<i>Explosive</i>	Kegagalan agresif di mana spesimen pecah hancur menjadi beberapa bagian di area uji.
M	<i>Multi-mode</i>	Mode kegagalan kombinasi yang menunjukkan lebih dari satu jenis patahan secara bersamaan.
G	<i>Grip/Tab</i>	Patahan yang terjadi tepat di dalam area cengkeraman rahang mesin atau <i>tab</i> .
O	<i>Other</i>	Mode patahan lain yang tidak terdefinisikan oleh kategori di atas.

2.9.2 Lokasi dan Area Patahan (*Failure Area and Location*)

Tabel kedua menentukan area tempat terjadinya kerusakan, sedangkan Tabel ketiga menjelaskan posisi spesifik pada arah memanjang spesimen uji.

Tabel 2. 2 Area Patahan

Kode	Area Patahan (Failure Area)	Keterangan
G	<i>Gage</i>	Terjadi di area tengah spesimen yang bebas (Valid, rentang jarak >25 mm dari rahang).
W	<i><1W from grip/tab</i>	Terjadi dekat penjepit dengan rentang jarak kurang dari satu kali lebar spesimen (< 25 mm).
A	<i>At grip/tab</i>	Patahan terjadi tepat pada batas rahang penjepit mesin.
I	<i>Inside grip/tab</i>	Patahan terjadi di dalam area cengkeraman rahang penjepit.
M	<i>Multiple areas</i>	Kerusakan terjadi di beberapa area jepitan/bebas sekaligus.
V	<i>Various</i>	Area patahan bervariasi di beberapa titik spesimen.
U	<i>Unknown</i>	Area kegagalan atau patahan tidak diketahui.

Tabel 2. 3 Lokasi Patahan

Kode	Lokasi Patahan (Failure Location)	Keterangan
M	<i>Middle</i>	Patahan berada di posisi bagian tengah spesimen.
T	<i>Top</i>	Patahan berada di posisi bagian atas spesimen.
B	<i>Bottom</i>	Patahan berada di posisi bagian bawah spesimen.
L	<i>Left</i>	Patahan cenderung berada di posisi bagian kiri spesimen.
R	<i>Right</i>	Patahan cenderung berada di posisi bagian kanan spesimen.
V	<i>Various</i>	Posisi penempatan patahan bervariasi.
U	<i>Unknown</i>	Posisi patahan pada material tidak diketahui.

Melalui pemisahan kode visual ini, kombinasi karakter seperti LGM (patahan *Lateral* di area *Gage* bagian tengah) atau SGM (patahan *Splitting* di area *Gage* bagian tengah) dapat digunakan secara konsisten untuk menganalisis karakteristik kegagalan spesimen komposit serat alam.

2.10 Kegagalan Pada Material Komposit

Selain pengamatan bentuk patahan komposit saat menerima pembebanan tarik adapun kegagalan yang umum terjadi akibat pembebanan tarik diklasifikasikan menjadi beberapa yaitu:



Gambar 2. 14 Kegagalan pada Komposit

1. Retak Matriks (*Matrix crack*)

Merupakan keretakan awal yang terjadi pada resin akibat sifatnya yang lebih getas dibandingkan serat. Ketika komposit menerima beban tarik, retakan akan muncul pada area resin yang paling lemah, lalu menjalar sepanjang matriks hingga membentur permukaan serat.

2. Terkelupasnya Serat dari Matriks (*Debonding*)

Debonding adalah kegagalan rekat berupa terlepasnya ikatan antarmuka antara serat eceng gondok dan resin. Fenomena ini berkaitan erat dengan perlakuan NaOH 6%, yang berfungsi membersihkan lapisan lilin agar permukaan serat lebih kasar dan mudah melekat. Jika ikatan antarmuka ini kurang kuat, transfer beban dari resin ke serat akan terputus.

3. Serat Tertarik Keluar (*Fiber Pull-out*)

Fenomena ini terjadi akibat kekuatan ikatan antarmuka antara serat dan resin lebih kecil daripada gaya saat ditarik. Akibatnya, serat tidak langsung putus melainkan tergelincir dan tercabut keluar dari resin. Secara visual (terutama pada serat searah), kegagalan ini meninggalkan lubang kosong bekas serat.

4. Patah pada Serat (*Fiber Breaking / Fiber Rupture*)

Fiber breaking adalah kegagalan karena transfer beban dari resin ke serat berjalan baik. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan ikatan antarmuka sudah optimal, sehingga serat mampu menahan beban mekanis secara maksimal hingga putus bersamaan dengan resin.

5. Terpisahnya Lamina (*Delamination*)

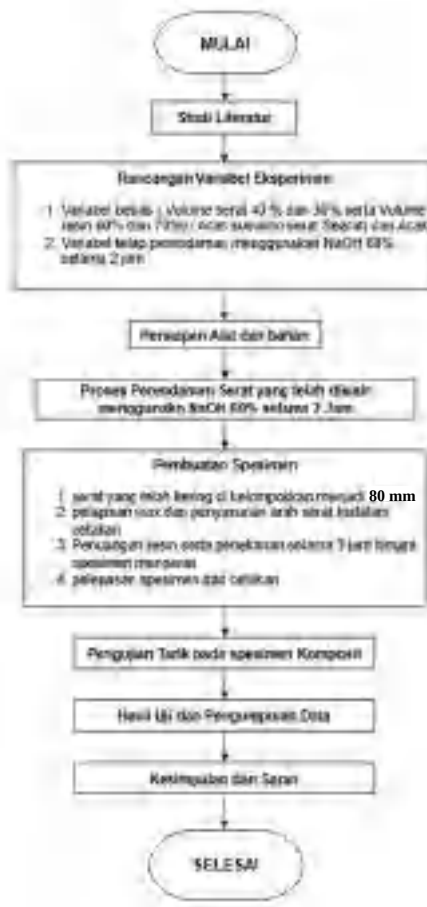
Delamination adalah kegagalan berupa terkelupas atau terpisahnya antarlapisan pada struktur komposit. Mekanisme ini berkaitan erat dengan proses manufaktur seperti teknik *hand lay-up*. Kerapatan antar-lapisan yang kurang padat atau adanya udara yang terjebak (*void*) di sela lapisan menjadi pemicu utama terpisahnya lapisan tersebut saat material menerima beban tarik.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat dan arah penyusunan serat terhadap kekuatan tarik material komposit serat eceng gondok.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Variabel Eksperimen Penelitian

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian

Arah Serat	Fraksi Resin : Serat	Perendaman NaOH	Jumlah Replikasi
Searah	70% : 30%	6% Selama 2 jam	3
	60% : 40%		3
Acak	70% : 30%		3
	60% : 40%		3
Total Spesimen			12

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen pada material komposit dengan variasi arah penyusunan serat, yaitu searah, dan acak. Variasi fraksi volume serat dan Resin yang digunakan adalah 70% : 30% dan 60% : 40%. Seluruh spesimen diberi perlakuan perendaman NaOH dengan konsentrasi 6% selama 2 jam.

Setiap kombinasi perlakuan dibuat sebanyak tiga kali Pengulangan (replikasi), sehingga diperoleh 4 kombinasi perlakuan. Dengan demikian, total spesimen yang dihasilkan untuk pengujian kekuatan tarik adalah sebanyak 12 buah.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam pelaksanaan penelitian ini, diperlukan sejumlah alat dan bahan utama yang berperan penting dalam menunjang seluruh tahapan penelitian, mulai dari proses persiapan bahan, hingga tahap pengujian komposit tersebut.

3.3.1 Bahan

Persiapan bahan-bahan yang digunakan selama melakukan proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Serat eceng gondok

Penelitian ini menggunakan serat eceng gondok sebagai bahan utama. Tanaman eceng gondok yang diperoleh dari perairan terlebih dahulu dipisahkan bagian batangnya sebagai sumber serat. Batang tersebut kemudian dibersihkan dan dikeringkan secara awal untuk mengurangi kadar air.

Proses persiapan serat dilakukan melalui empat tahapan utama, yaitu penyisiran, pengelompokan, perendaman, dan pengeringan akhir. Setiap tahapan bertujuan untuk menghasilkan serat dengan kondisi yang lebih bersih, seragam, dan siap digunakan sebagai bahan penguat pada material komposit. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing tahapan tersebut

a) Penyisiran

Tahap penyisiran bertujuan untuk memisahkan serat-serat halus dari bagian batang yang masih kasar atau tidak diperlukan. Proses ini dilakukan agar diperoleh serat yang lebih bersih, terurai, dan relatif bebas dari sisa jaringan non-serat yang dapat memengaruhi kualitas material komposit.

b) Perendaman

Serat yang telah melalui proses penyisiran akan direndam dalam larutan air dan NaOH dengan perendaman 6% dalam waktu 2 jam untuk membersihkan serat dari kotoran dan residu yang menempel, agar mendapatkan susunan lapisan atas serat yang baik supaya dapat diikat oleh resin.



Gambar 3. 2 Perendaman menggunakan NaOH 6%

c) Pengeringan

Setelah proses perendaman selesai, serat dicuci hingga bersih dan dikeringkan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari langsung hingga kadar air larutan NaOH berkurang secara optimal. Proses pengeringan ini bertujuan untuk memastikan tidak adanya sisa larutan yang tertinggal pada serat serta mempersiapkan serat dalam kondisi kering sebelum digunakan pada tahap pembuatan spesimen uji tarik.



Gambar 3. 3 Pengeringan Serat

d) Pengelompokan

Serat yang telah kering selanjutnya dikelompokkan berdasarkan ukuran panjang nya .Pengelompokan ini dilakukan untuk memperoleh keseragaman dimensi serat sesuai dengan kebutuhan penelitian. Dalam penelitian ini, serat digunakan dengan Panjang 80 mm, yang akan digunakan sebagai variabel dalam pembuatan spesimen uji.



Gambar 3. 4 Pengelompokan Serat

2. Resin *polyester*

Resin *polyester* SHCP 2668 merupakan resin *polyester* untuk aplikasi laminasi lembaran (*sheet laminating*), seperti pembuatan lembaran atap fiberglass (*roofing sheet*), dan panel transparan. Resin ini memiliki karakteristik mampu mengalir dengan baik selama proses laminasi dan memudahkan meresap pada material penguat.

Resin polyester tak jenuh (*unsaturated polyester resin*) merupakan salah satu jenis resin termoset yang banyak digunakan sebagai matriks pada material komposit karena mudah diperoleh, memiliki harga yang relatif ekonomis, serta mudah diproses. Resin ini mengalami proses *curing*, yaitu perubahan dari fase cair menjadi fase padat sehingga membentuk matriks yang mampu mengikat serat penguat (Rizal et al., 2020).

Pada suhu ruang, resin ini memiliki waktu gel (*gel time*) sekitar 5–12 menit dan waktu pengerasan (*cure time*) sekitar 20–40 menit, sehingga memberikan waktu kerja yang cukup selama proses fabrikasi komposit metode hand lay-up. Selama proses

polimerisasi, resin menghasilkan temperatur maksimum sebesar 130–140°C, yang menunjukkan reaksi pengerasan berlangsung secara optimal.



Gambar 3. 5 Resin SHCP2668

3. Katalis

Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP) berfungsi sebagai katalis pengerasan pada resin poliester. Dalam proses fabrikasi komposit, MEKP tidak bereaksi sebagai bahan penyusun utama, melainkan menginisiasi reaksi polimerisasi sehingga resin berubah dari fase cair menjadi padat, MEKP berbentuk cairan bening (tidak berwarna) dengan bau yang khas serta memiliki massa jenis sekitar 1,25 g/cm³



Gambar 3. 6 Katalis

4. NaOH

Natrium hidroksida (NaOH) digunakan sebagai bahan perlakuan alkali pada serat dengan konsentrasi larutan sebesar 6%. Perlakuan ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel pada permukaan serat, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan dan memperbaiki ikatan antara serat dan matriks resin.



Gambar 3. 7 NaOH

5. Wax

Wax yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *mirror glaze*. Wax diaplikasikan pada permukaan cetakan untuk mencegah komposit melekat pada cetakan serta mempermudah proses pelepasan spesimen setelah proses pengeringan selesai.



Gambar 3. 8 Wax

3.3.2 Alat

1. *Universal Testing Machine* (UTM)

Universal Testing Machine (UTM) *Zwick/Roell* digunakan untuk melakukan pengujian tarik pada spesimen komposit sesuai standar ASTM D3039. Pengujian ini

bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik material komposit berpenguat serat eceng gondok.



Gambar 3. 9. Universal Testing Machine (UTM)

2. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk menakar volume larutan NaOH dan air yang digunakan dalam proses perlakuan alkali serat.



Gambar 3. 10 Gelas Ukur

3. Cetakan Spesimen

Cetakan yang digunakan merupakan cetakan spesimen uji tarik yang mengacu pada standar ASTM D3039. Cetakan ini berfungsi untuk membentuk komposit sesuai dimensi standar pengujian, Pada cetakan komposit ini dimodifikasi sehingga dapat menghasilkan 3 spesimen dengan lebar cetakan 75 mm + 10 mm (toleransi potongan) dan panjang 250 mm.



Gambar 3. 11 Cetakan Spesimen

4. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa serat, resin *polyester*, dan katalis. Penimbangan yang akurat diperlukan untuk menjaga konsistensi komposisi material komposit.



Gambar 3. 12 Timbangan Digital

5. Ember

Ember digunakan sebagai wadah perendaman serat eceng gondok dalam larutan NaOH 6% selama 2 jam.



Gambar 3. 13 Ember

6. Kuas

Kuas digunakan untuk mengaplikasikan wax pada permukaan cetakan sebelum proses pencetakan komposit, sehingga mempermudah pelepasan spesimen setelah pengeringan



Gambar 3. 14 Kuas

7. Saringan

Saringan digunakan untuk memisahkan serat dari larutan NaOH setelah proses perendaman selesai.



Gambar 3. 15 Saringan

8. Alat Penekan Komposit

Alat penekan ini berfungsi menghilangkan gelembung udara pada spesimen untuk menghasilkan kepadatan yang sempurna. Rangka utamanya terbuat dari besi *hollow* 4x4 dan besi siku, sedangkan proses penekanan memanfaatkan dongkrak putar.



Gambar 3. 16 Alat Penekan Spesimen

3.4 Proses Pembuatan Spesimen Komposit

Setelah serat eceng gondok disiapkan, tahap selanjutnya adalah pembuatan spesimen uji tarik menggunakan metode *hand lay-up*

Proses pembuatan spesimen dilakukan sebagai berikut:

1. Persiapan Cetakan

Cetakan spesimen disiapkan sesuai standar ASTM D3039, kemudian permukaannya dilapisi wax untuk mencegah komposit melekat pada cetakan.



Gambar 3. 17 Pelapisan wax pada cetakan

2. Pencampuran Resin dan Katalis

Resin *polyester* dicampur dengan katalis sesuai komposisi yang telah ditentukan.



Gambar 3. 18 Pencampuran Resin dan Katalis

3. Peletakan Serat

Serat eceng gondok yang telah ditimbang sesuai kebutuhan masing-masing spesimen ditempatkan ke dalam cetakan. Campuran resin kemudian dituangkan secara merata hingga seluruh susunan serat terimpregnasi dengan baik.



Gambar 3. 19 Peletakan Serat

4. Proses pengerasan resin

Setelah specimen diletakkan selanjutnya ditutup dan di tekan dengan berat total 13500 gram agar susunan serat secara merata serta meminimalkan terbentuknya rongga udara dengan durasi waktu 3 jam untuk setiap spesimen.



Gambar 3. 20 Penekanan Spesimen

5. Pelepasan Spesimen

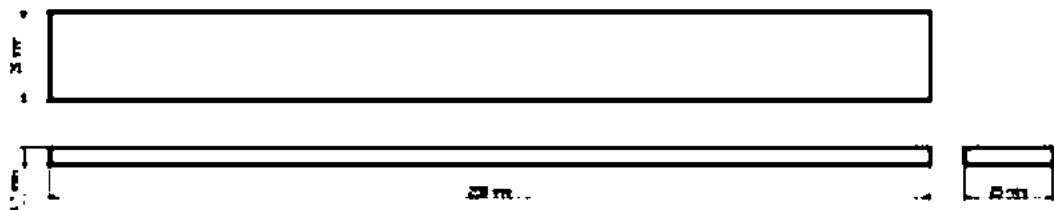
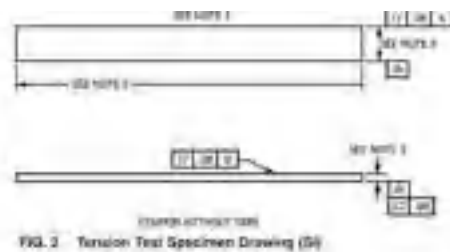
Setelah proses pengerasan selesai, spesimen dilepaskan dari cetakan dan dipotong dengan ukuran yang ditentukan selanjutnya dapat disiapkan untuk tahap pengujian tarik.



Gambar 3. 21 Spesimen Akhir

3.5 Pengujian Spesimen

Pada penelitian ini dilakukan pengujian tarik mengacu pada standar ASTM D3039 untuk memperoleh data material komposit berpenguat serat eceng gondok.



Gambar 3. 22 Spesimen uji Tarik ASTM D3039

Keterangan :

L (Lebar genggaman)	= 25 mm
P (Panjang keseluruhan)	= 250 mm
T (Tebal keseluruhan)	= 4,7 mm

Pada pengujian ini cetakan komposit akan dimodifikasi sehingga dapat menghasilkan 3 spesimen dengan lebar cetakan 75 mm + 10 mm (toleransi potongan) dan panjang 250 mm dengan komposisi yang sama serta perlakuan yang sama dapat diharapkan menghasilkan spesimen yang diinginkan.

Berdasarkan standar ASTM D3039 Poin 12.2, validitas data uji tarik ditentukan oleh posisi rentang area patahan. Jika spesimen patah di dalam rentang jarak kurang dari satu kali lebar spesimen ($< 1W$) dari ujung rahang jepit (*grip*), kegagalan tersebut dikategorikan sebagai *grip failure* akibat tegangan lokal alat. Mengingat spesimen dalam penelitian ini memiliki lebar 25 mm, maka batas ambang aman patahan adalah di luar zona 25 mm dari ujung jepitan.

3.6 Pengumpulan Data Spesimen

Pengolahan data dilakukan untuk menentukan sifat mekanik komposit berpenguat serat eceng gondok berdasarkan variasi fraksi volume serat dan matriks, yaitu 70% : 30% dan 60% : 40%. Seluruh serat terlebih dahulu diberi perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH 6% selama 2 jam.

Data kekuatan tarik diperoleh melalui pengujian yang dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Sumatera (ITERA), Kabupaten Lampung Selatan, dengan mengacu pada standar ASTM D3039. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume terhadap nilai kekuatan tarik komposit.

BAB IV PENGOLAHAN DATA

4.1 Perhitungan Pembuatan Komposit

Pada pembuatan material serat yang digunakan adalah seragam pada 80 mm dengan komposisi serat, dengan dua variasi, yaitu 60%:40 dan 70%:30%. Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variasi faktor material. Diketahui :

a. Cetakan Komposit

- L (Lebar gengaman) = 85 mm
- P (Panjang keseluruhan) = 250 mm
- T (Tebal keseluruhan) = 4,7 mm
- V cetakan (PxLxT) = 99,88 cm³

b. Massa Jenis Serat Eceng gondok = 0,25 gr/ cm³

c. Massa Jenis Resin SHCP2668 = 1,215 gr/ cm³

d. Massa Jenis Katalis = 1,25 gr/ cm³

1. Perhitungan fraksi volume 40% serat dan 60% matriks yaitu sebagai berikut:

a. Perhitungan massa (m) serat:

$$\begin{aligned}\text{massa serat eceng gondok} &= V \text{ cetakan} \times \% \text{ serat} \times \text{massa jenis serat} \\ &= 99,88 \text{ cm}^3 \times 40\% \times 0,25 \text{ gr/ cm}^3 \\ &= 9,98 \text{ gr}\end{aligned}$$

b. Perhitungan massa (m) resin:

$$\text{massa resin} = V \text{ cetakan} \times \% \text{ resin} \times \text{massa jenis resin}$$

$$= 99,88 \text{ cm}^3 \times 60\% \times 1,215 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 72,8 \text{ gr}$$

c. Perhitungan massa (m) katalis:

$$\text{massa katalis} = \text{massa resin} \times \% \text{ katalis} \times \text{massa jenis katalis}$$

$$= 72,8 \text{ gr} \times 2\% \times 1,25 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 1,8 \text{ gr}$$

2. Perhitungan fraksi volume 30% serat, 70% matriks yaitu sebagai berikut:

a. Perhitungan massa (m) serat:

$$\text{massa serat eceng gondok} = V \text{ cetakan} \times \% \text{ serat} \times \text{massa jenis serat}$$

$$= 99,88 \text{ cm}^3 \times 30\% \times 0,25 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 7,5 \text{ gr}$$

b. Perhitungan massa (m) resin:

$$\text{massa resin} = V \text{ cetakan} \times \% \text{ resin} \times \text{massa jenis resin}$$

$$= 99,88 \text{ cm}^3 \times 70\% \times 1,215 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 84,9 \text{ gr}$$

c. Perhitungan massa (m) katalis:

$$\text{massa katalis} = V \text{ resin} \times \% \text{ katalis} \times \text{massa jenis katalis}$$

$$= 84,9 \text{ gr} \times 2\% \times 1,25 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 2,1 \text{ gr}$$

4.2 Rancangan Spesimen

Rancangan yang diterapkan dalam penelitian ini menggunakan metode faktorial 2×2 , yaitu suatu desain eksperimen yang melibatkan dua faktor utama, di mana masing-masing faktor memiliki dua taraf atau level perlakuan. Penggunaan rancangan faktorial ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor secara individu maupun interaksi antar faktor terhadap karakteristik material komposit yang dihasilkan.

1. Orientasi Serat

- Serat searah (*continuous fiber composite*)
- Serat acak (*discontinuous fiber composite*)

2. Persentase Komposisi Serat

- Komposisi 30% serat : 70% bahan pengikat
- Komposisi 40% serat : 60% bahan pengikat

Berdasarkan rancangan faktorial tersebut, diperoleh empat kombinasi perlakuan yang akan diuji, yaitu:

- Perlakuan 1: Serat searah dan komposisi 30% : 70%
- Perlakuan 2: Serat searah dan komposisi 40% : 60%
- Perlakuan 3: Serat acak dan komposisi 30% : 70%
- Perlakuan 4: Serat acak dan komposisi 40% : 60%

4.3 Hasil Percobaan Spesimen

Pada percobaan di eksperimen ini spesimen akan diuji menggunakan mesin uji tarik atau *Universal Testing Machine* yang dilakukan di Universitas Teknologi Sumatera yang akan digunakan untuk mengetahui kekuatan Tarik yang dihasilkan.

Tabel 4. 1 Hasil Percobaan kekuatan Tarik spesimen

Susunan Serat	Ukuran Serat	Fraksi Volume (%)		Perendaman NaOH (%)	Kekuatan Tarik (MPa)		
		Serat	Resin		1	2	3
Searah	80 mm	40 %	60%	6% selama 2 jam	9,23	9,53	9,55
		30%	70%		9,90	11,42	7,46
Acak		40 %	60%		8,21	9,80	8,19
		30%	70%		5,60	8,48	6,57

Dapat dilihat dari tabel tersebut diketahui bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada komposit dengan susunan serat searah dan fraksi volume 30% serat : 70% resin, yaitu sebesar 11,42 MPa pada spesimen kedua. Sementara itu, nilai kekuatan tarik terendah diperoleh pada komposit dengan susunan serat acak dan fraksi volume 30% serat : 70% resin, yaitu sebesar 5,60 MPa pada spesimen pertama.

Pada komposit dengan susunan serat searah dan fraksi volume 40% serat : 60% resin, hasil pengujian menunjukkan nilai yang relatif seragam, yaitu 9,23 MPa, 9,54 MPa, dan 9,55 MPa. Untuk komposit dengan susunan serat acak dan fraksi volume 40% serat : 60% resin, nilai kekuatan tarik yang diperoleh adalah 8,21 MPa, 9,80 MPa, dan 8,19 MPa. Serta komposit dengan susunan serat acak dan fraksi volume 30% serat : 70% resin, diperoleh nilai kekuatan tarik sebesar 5,60 MPa, 8,48 MPa, dan 6,57 MPa, yang merupakan kelompok dengan rata-rata kekuatan tarik terendah.

Tabel 4. 2 Hasil Elongasi Uji Tarik

Susunan Serat	Ukuran Serat	Fraksi Volume (%)		Perendaman NaOH (%)	Elongation at tensile strength (%)		
		Serat	Resin		1	2	3
Searah	80 mm	40 %	60%	6% selama 2 jam	0,46	0,49	0,43
		30%	70%		0,43	0,46	0,32
Acak		40 %	60%		0,42	0,45	0,44
		30%	70%		0,38	0,52	0,39

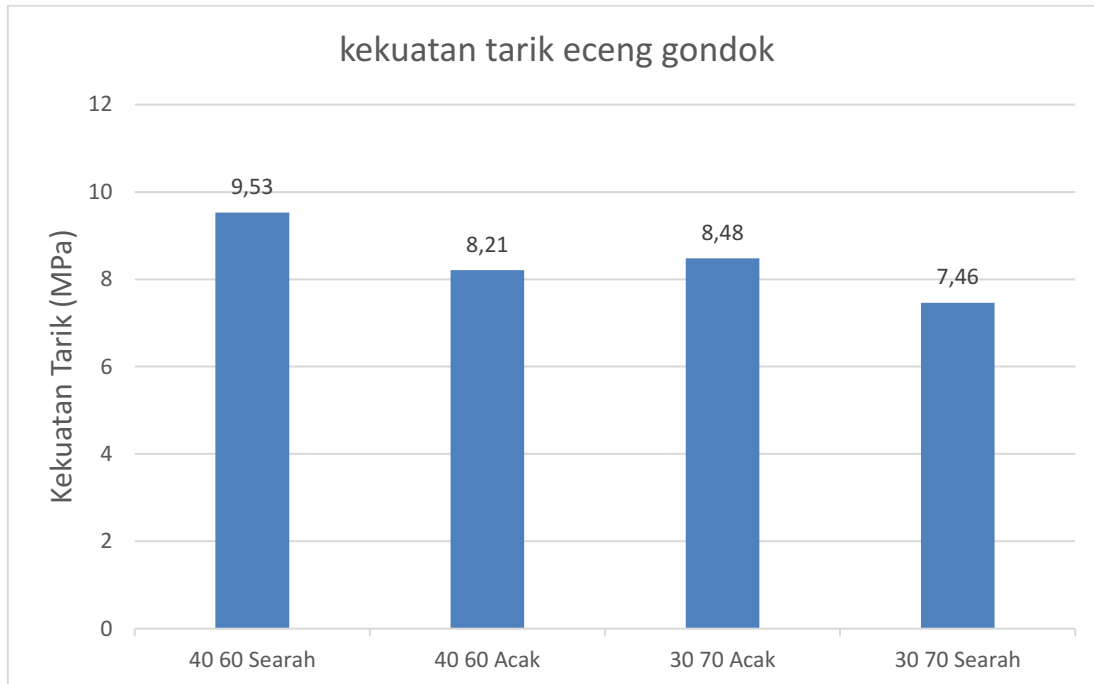
Berdasarkan tabel hasil Elongasi uji tarik, pada susunan serat searah dengan fraksi volume 40% serat dan 60% resin diperoleh nilai sebesar 0,46%; 0,49%; dan 0,43%, dengan nilai tertinggi 0,49% dan nilai terendah 0,43%. Pada susunan serat searah dengan fraksi volume 30% serat dan 70% resin, diperoleh nilai sebesar 0,43%; 0,46%; dan 0,32%. Nilai tertinggi pada variasi ini adalah 0,46%, sedangkan nilai terendah sebesar 0,32%. Pada susunan serat acak dengan fraksi volume 40% serat dan 60% resin, diperoleh nilai sebesar 0,42%; 0,45%; dan 0,44%. Nilai-nilai tersebut relatif berdekatan, dengan nilai tertinggi 0,45% dan nilai terendah 0,42%, sehingga menunjukkan hasil Elongasi uji tarik yang cukup seragam.

Sementara itu, pada susunan serat acak dengan fraksi volume 30% serat dan 70% resin, diperoleh nilai sebesar 0,38%; 0,52%; dan 0,39%. Variasi ini menghasilkan nilai tertinggi dari seluruh spesimen, yaitu 0,52%, namun juga menunjukkan rentang nilai Elongasi uji tarik yang cukup besar dibandingkan variasi lainnya, karena nilai terendahnya sebesar 0,38%.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

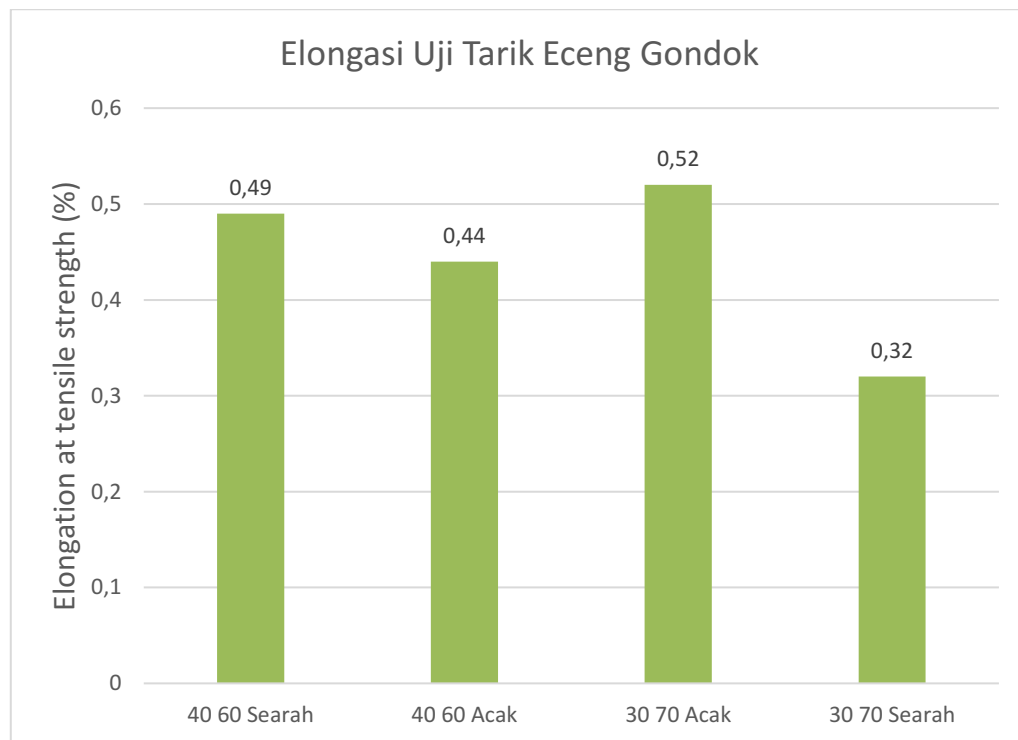
5.1 Hasil



Gambar 5. 1 Grafik Uji Tarik Komposit Serat Eceng Gondok

Berdasarkan Gambar 5.1, spesimen komposit serat eceng gondok yang ditampilkan merupakan spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi pada variasinya dan patahan pada daerah *gage* serta tidak melewati batas *grip*, sehingga hasil pengujian tarik dinyatakan valid sesuai dengan standar ASTM D3039. Grafik tersebut menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi dari setiap variasi komposisi dan orientasi serat berdasarkan spesimen yang mengalami patahan di daerah *gage*. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada komposisi 40% serat dan 60% resin dengan orientasi serat searah sebesar 9,53 MPa, sedangkan nilai terendah diperoleh pada komposisi yang sama dengan orientasi serat searah sebesar 7,46 MPa. Pada komposisi 30% serat dan 70% resin, orientasi serat acak menghasilkan kekuatan tarik sebesar 8,48 MPa, sedikit

lebih tinggi dibandingkan dengan orientasi serat acak 40/60 sebesar 8,21 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh fraksi volume serat dan arah orientasi serat terhadap kekuatan tarik komposit tidak menunjukkan pola yang sepenuhnya linier. Meskipun komposisi 40% serat dan 60% resin dengan orientasi searah menghasilkan kekuatan tarik tertinggi, pada variasi lainnya, orientasi acak justru memberikan nilai yang lebih tinggi dibandingkan orientasi searah.



Gambar 5. 2 Grafik Elongasi Uji Tarik Komposit Serat Eceng Gondok

Berdasarkan Gambar 5.2, spesimen komposit serat eceng gondok yang ditampilkan merupakan spesimen dengan hasil Elongasi uji tarik tertinggi pada setiap variasi komposisi dan orientasi serat serta mengalami patahan pada daerah *gage* dan tidak melewati batas *grip*. Nilai Elongasi uji tarik tertinggi diperoleh pada komposisi 30% serat dan 70% resin dengan orientasi acak sebesar 0,52%, sedangkan nilai terendah diperoleh pada komposisi 30% serat dan 70% resin dengan orientasi searah sebesar 0,32%. Pada komposisi 40% serat dan 60% resin, orientasi serat searah

menghasilkan Elongasi uji tarik sebesar 0,49%. Sementara itu, pada komposisi 30% serat dan 70% resin, orientasi serat acak menghasilkan Elongasi uji tarik sebesar 0,52%, lebih tinggi dibandingkan orientasi searah sebesar 0,32%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai elongasi komposit dipengaruhi oleh kombinasi fraksi volume serat dan orientasi serat, namun pengaruhnya tidak menunjukkan kecenderungan yang konsisten. Nilai elongasi tertinggi diperoleh pada komposisi 30% serat dan 70% resin dengan orientasi acak sebesar 0,52%, sedangkan nilai terendah terdapat pada komposisi yang sama dengan orientasi searah sebesar 0,32%. Pada komposisi 40% serat dan 60% resin, orientasi searah menghasilkan elongasi sebesar 0,49%, yang menunjukkan kemampuan deformasi yang lebih baik dibandingkan variasi orientasi searah pada komposisi 30% serat dan 70% resin. Adapun hasil dari pengujian tarik yaitu patahan pada spesimen antara lain :



Gambar 5. 3 Patahan Spesimen

1. Serat Searah 40% , 60%



Spesimen 1

Spesimen 2

Spesimen 3

Gambar 5. 4 Patahan Searah 40/60

(a) Spesimen 1

Jenis patahan : *Lateral (L)*

Lokasi Patahan : *Gage (G) /middle (M)*

Jenis Kegagalan : *Patah pada Serat (Fiber Breaking)*

(b) Spesimen 2

Jenis patahan : *Angled (A)*

Lokasi Patahan : *Gage (G) / middle (M)*

Jenis Keagalan : *Fiber Breaking dan Retak Matriks (Matrix crack)*

(c) Spesimen 3

Jenis patahan : *Angled (A)*

Lokasi Patahan : *At grip (A) / top (T)*

Jenis Kegagalan : *Fiber Breaking dan Retak Matriks (Matrix crack)*

2. Serat Acak 40% , 60%



Spesimen 1

Spesimen 2

Spesimen 3

Gambar 5. 5 Patahan Acak 40/60

(a) Spesimen 1

Jenis patahan : Angled (A)

Lokasi Patahan : *Gage* (G) / *middle* (M)

Jenis Kegagalan : Patah pada Serat (*Fiber Breaking*)

(b) Spesimen 2

Jenis patahan : Angled (A)

Lokasi Patahan : *At grip* (A) / *top* (T)

Jenis Kegagalan : Patah pada Serat (*Fiber Breaking*)

(c) Spesimen 3

Jenis patahan : Angled (A)

Lokasi Patahan : *Gage* (G) / *middle* (M)

Jenis kegagalan : Patah pada Serat (*Fiber Breaking*)

3. Serat Searah 30% , 70%



Spesimen 1

Spesimen 2

Spesimen 3

Gambar 5. 6 Patahan Searah 30/70

(a) Spesimen 1

Jenis patahan : Angled (A)
 Lokasi Patahan : *At grip* (A) / *top* (T)
 Jenis Kegagalan : *Fiber Breaking* dan Retak Matriks (*Matrix crack*)

(b) Spesimen 2

Jenis patahan : Angled (A)
 Lokasi Patahan : *At grip* (A) / *top* (T)
 Jenis Kegagalan : *Fiber Breaking* dan Retak Matriks (*Matrix crack*)

(c) Spesimen 3

Jenis patahan : Angled (A)
 Lokasi Patahan : *Gage* (G) / *middle* (M)
 Jenis Kegagalan : *Fiber Breaking* , *Matrix crack* dan *Delamination*

4. Serat Acak 30% ,70%



Spesimen 1

Spesimen 2

Spesimen 3

Gambar 5. 7 Patahan Acak 30/70

(a) Spesimen 1

Jenis patahan : Angled (A)

Lokasi Patahan : *Gage* (G) / Bottom (B)

Jenis Kegagalan : *Fiber Breaking* dan Retak Matriks (*Matrix crack*)

(b) Spesimen 2

Jenis patahan : *Lateral* (L)

Lokasi Patahan : *Gage* (G) / Bottom (B)

Jenis Kegagalan : *Fiber Breaking* dan Retak Matriks (*Matrix crack*)

(c) Spesimen 3

Jenis patahan : *Lateral* (L)

Lokasi Patahan : *Gage* (G) / Bottom (B)

Jenis Kegagalan : *Fiber Breaking* dan Retak Matriks (*Matrix crack*)

5.2 Pembahasan

Nilai kekuatan tarik tertinggi pada penelitian ini diperoleh pada komposit dengan komposisi 40% serat dan 60% resin berorientasi searah, yaitu sebesar 9,53 MPa. Serat berfungsi sebagai komponen utama yang menahan beban tarik, sedangkan matriks berfungsi mengikat serat, mempertahankan posisi serat, melindungi serat dari kerusakan, serta mentransfer beban menuju serat. Oleh karena itu, jumlah serat yang lebih tinggi akan meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan beban tarik selama matriks masih mampu mengimpregnasi serat secara baik sehingga terbentuk ikatan antarmuka yang kuat.

Pada komposisi 40% serat dan 60% resin, kandungan resin masih cukup untuk membasahi permukaan serat eceng gondok sehingga proses transfer beban dari matriks menuju serat berlangsung lebih efektif. Sebaliknya, apabila resin tidak mampu mengisi rongga di antara serat secara sempurna, maka dapat terbentuk *void* yang menyebabkan konsentrasi tegangan dan menurunkan kekuatan tarik komposit. Selain itu, orientasi serat yang disusun searah dengan arah pembebanan menyebabkan sebagian besar gaya tarik diterima langsung oleh serat, sehingga distribusi tegangan menjadi lebih merata yang menyebabkan komposit mampu menahan beban tarik yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Yudo dan Kiryanto (2012) yang meneliti komposit berpenguat serat eceng gondok bermatriks *polyester* dengan variasi orientasi serat 0° dan 45°. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa orientasi serat 0° (searah) menghasilkan kekuatan tarik lebih tinggi dibandingkan orientasi 45° (bersilangan). Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit dengan arah serat sudut 0° searah memberikan sifat mekanik tertinggi dengan kekuatan tarik sebesar 6,35 Mpa dan nilai modulus elastisitas mencapai 4,63 GPa. Sementara itu, untuk arah serat sudut 45° bersilangan menghasilkan kekuatan tarik sebesar 2,47 Mpa dan modulus elastisitas sebesar 1,47 GPa, sehingga mendukung hasil penelitian ini yang juga menunjukkan

bahwa orientasi searah menghasilkan kekuatan tarik lebih tinggi dibandingkan orientasi acak.

Adapun hasil yang serupa juga diperoleh pada penelitian komposit berpenguat serat batang pisang abaka bermatriks epoxy. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa orientasi serat yang lebih teratur (dua arah) menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan orientasi acak. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada orientasi dua arah dengan fraksi volume serat 15% sebesar 75,40 MPa, sedangkan pada orientasi acak nilai tertinggi hanya mencapai 29,03 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penyusunan serat yang lebih teratur mampu mendistribusikan tegangan secara lebih efektif sehingga meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan beban tarik. Sebaliknya, orientasi acak menyebabkan distribusi beban menjadi kurang merata sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan lebih rendah (Martijanti, 2011)

Pada komposit berpenguat serat sintetis, hasil yang serupa juga diperoleh oleh Munasir pada komposit *fiberglass* bermatriks *polypropylene*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa orientasi serat searah menghasilkan kekuatan tarik rata-rata sebesar 57,21 MPa, sedangkan orientasi serat dua arah menghasilkan kekuatan tarik sebesar 46,92 MPa. Nilai tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan komposit serat eceng gondok pada penelitian ini, yang memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 9,53 MPa. Perbedaan tersebut disebabkan oleh sifat mekanik serat fiberglass yang memiliki kekuatan dan kekakuan lebih tinggi dibandingkan serat alam. Meskipun demikian, mekanisme penguatannya tetap sama, yaitu serat yang disusun sejajar dengan arah pembebanan mampu mendistribusikan beban secara lebih efektif sehingga meningkatkan kekuatan tarik komposit. Sebaliknya, orientasi serat dua arah menyebabkan sebagian serat berada tegak lurus terhadap arah pembebanan sehingga kemampuan komposit dalam menahan beban tarik menjadi lebih rendah (Munasir, 2011).

Berdasarkan hasil pengamatan setelah pengujian tarik pada penelitian ini, spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi mengalami patahan pada daerah *gage* dengan jenis kegagalan berupa *fiber breaking* dan *matrix crack*. Menurut standar ASTM D3039, patahan yang terjadi pada daerah *gage* menunjukkan bahwa kegagalan terjadi pada daerah pengukuran sehingga hasil uji dapat dinyatakan valid. Sebaliknya, patahan yang terjadi pada daerah *grip* dapat dipengaruhi oleh konsentrasi tegangan akibat penjepitan spesimen sehingga tidak digunakan sebagai acuan utama dalam sifat tarik material. Dengan demikian, nilai kekuatan tarik sebesar 9,53 MPa pada penelitian ini memenuhi kriteria pengujian karena spesimen mengalami patahan pada daerah *gage*.

Jenis patahan berupa *fiber breaking* menunjukkan bahwa beban tarik telah berhasil ditransfer dari matriks menuju serat hingga kekuatan serat terlampaui dan serat mengalami patah. Sementara itu, *matrix crack* menunjukkan bahwa matriks *polyester* mengalami retak setelah menerima dan meneruskan beban selama proses pembebanan. Dominasi kedua jenis patahan tersebut mengindikasikan bahwa mekanisme kegagalan komposit diawali oleh kerusakan pada matriks yang kemudian diikuti oleh patahnya serat sebagai elemen utama penahan beban. Hal ini menunjukkan bahwa ikatan antara serat eceng gondok dan matriks *polyester* bekerja dengan cukup baik sehingga komposit mampu mencapai kekuatan tarik maksimum sebelum mengalami kegagalan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

Variasi komposisi matriks dan serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit serat eceng gondok. Komposisi 40% serat dan 60% resin polyester menghasilkan kekuatan tarik tertinggi pada spesimen yang memenuhi kriteria ASTM D3039, yaitu sebesar 9,53 MPa. Sementara itu, pada komposisi 30% serat dan 70% resin, kekuatan tarik tertinggi yang diperoleh sebesar 8,48 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan fraksi serat hingga 40% dengan kandungan resin 60% mampu menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi karena jumlah serat sebagai penguat lebih besar dan resin masih mampu mengikat serat dengan baik sehingga transfer beban dari matriks ke serat berlangsung lebih efektif.

Variasi arah serat juga memengaruhi kekuatan tarik komposit serat eceng gondok, namun pengaruhnya bergantung pada komposisi serat dan resin. Pada komposisi 40% serat dan 60% resin, orientasi serat searah menghasilkan kekuatan tarik sebesar 9,53 MPa, lebih tinggi dibandingkan orientasi acak sebesar 8,21 MPa. Sebaliknya, pada komposisi 30% serat dan 70% resin, orientasi serat acak menghasilkan kekuatan tarik sebesar 8,48 MPa, lebih tinggi dibandingkan orientasi searah sebesar 7,46 MPa. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa orientasi serat tidak menjadi satu-satunya faktor yang menentukan kekuatan tarik komposit. Kualitas ikatan antarmuka antara serat dan matriks, pemerataan distribusi resin, serta kemungkinan terbentuknya void selama proses fabrikasi juga memengaruhi kemampuan komposit dalam menahan beban tarik. Selain itu, pola patahan yang didominasi terjadi pada daerah gage sesuai ketentuan ASTM D3039 menunjukkan bahwa hasil pengujian

dinyatakan valid, dengan mekanisme kegagalan berupa fiber breaking dan matrix crack yang mengindikasikan beban telah ditransfer dari matriks menuju serat hingga material mengalami kegagalan.

6.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi fraksi volume serat dan matriks yang lebih beragam, seperti 45%:55% atau 50%:50%, untuk memperoleh komposisi optimum yang mampu menghasilkan sifat mekanik komposit serat eceng gondok yang lebih baik. Selain itu, proses fabrikasi komposit perlu lebih diperhatikan, terutama pada penataan orientasi serat, pemerataan distribusi resin, serta proses penekanan agar ikatan antara serat dan matriks menjadi lebih baik dan pembentukan *void* dapat diminimalkan sehingga variasi hasil antarspesimen berkurang dan sifat mekanik komposit menjadi lebih konsisten. Penelitian selanjutnya juga disarankan tidak hanya melakukan pengujian tarik sesuai ASTM D3039, tetapi melengkapinya dengan pengujian sifat mekanik lainnya, seperti uji lentur (ASTM D790), uji impak (ASTM D256), dan uji kekerasan, sehingga karakteristik mekanik komposit serat eceng gondok dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aji, T. A., Purwanto, H. dan S. M. B. Respati. 2018. Pengaruh Ketebalan Komposit Matrik Resin dengan Penguat Kulit Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*).
2. Ali, M. Y. Analisis Kekuatan Uji Impak Komposit Serat Alam (Serat Batang Pisang). Skripsi. Universitas Fajar Makassar. Makassar.
3. Arba, A. A. 2021. Pengaruh Waktu Perebusan dalam Larutan Enzim Bromelain pada Serat Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) terhadap Kekuatan Tarik Komposit Bermatrik Epoxy. Skripsi.
4. Bagir, A. dan G. E. Pratama. Pemanfaatan Serat Eceng Gondok sebagai Bahan Baku Pembuatan Komposit. Universitas Diponegoro. Semarang.
5. Callister, W. D. dan D. G. Rethwisch. 2018. Materials Science and Engineering: An Introduction. Edisi ke-10. John Wiley & Sons. New York.
6. Endramawan, T., A. Sifa, F. Dionisius, Sukroni dan S. Prasetya. 2024. Pengaruh Perbandingan Fraksi Volume Serat Eceng Gondok dan Serat Sabut Kelapa terhadap Kekuatan Tarik Bermatrik Resin Epoxy. *Journal of Applied Mechanical Technology (JAMET)*. 3(1):24-32.
7. Gnanadurai, R. R., T. Guadie dan S. Mesfin. 2021. Study on the Mechanical Properties of Water Hyacinth Fiber Reinforced High Density Polyethylene Composite. University of Gondar.
8. Haryanti, N. H. dan H. Wardhana. 2017. Potensi Serat Alam sebagai Material Komposit. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin.
9. Kusumawati, E. dan Haryadi. Ekstraksi dan Karakterisasi Serat Selulosa dari Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
10. Martijanti. 2011. Analisa Orientasi Arah dan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Geser dan Tarik Material Komposit Berpenguat Serat Batang Pisang

- Abaka. JURNAL TEKNIK. Volume X, No. 2, November 2011, 76-82. Universitas Jenderal Achmad Yani.
11. Musliman, A. dan F. Damayanti. 2023. Analisis Mekanik dan Termal Material Komposit Berbasis Serat Eceng Gondok sebagai Bahan Kemasan Ramah Lingkungan. *JoP (Journal of Physics)*. 9(1):98-103.
 12. Nasution, J. D., Mataram, A., Hasan, W., Budiman, A. Y., Anwar, U. A., Anisya, N., ... & Rizal, S. (2023). Effect of temperature post curing on impact strength polyester composite-Coconut coir fiber. *TOWARD ADAPTIVE RESEARCH AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR FUTURE LIFE*, 2689(1), 070015.
 13. Rifolds. 2023. Karakteristik Kekuatan Serat Tebu sebagai Penguat Komposit dengan Matriks *Polyester* Yukalac 157 BQTN-EX terhadap Uji Tarik dan Uji Bending. Proyek Akhir. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Bangka Belitung.
 14. SAPUTRA, M. S. (2025). *Analisa Kegagalan Pada Pengujian Tarik Material Komposit Serat Tebu* (Doctoral Dissertation, Universitas IBA).
 15. Sulardjaka, Nugroho, S. dan R. Ismail. 2020. Peningkatan Kekuatan Sifat Mekanis Komposit Serat Alam Menggunakan Serat Eceng Gondok (Tinjauan Pustaka). TEKNIK.
 16. Sutanto, B. 2020. Pengaruh Orientasi Serat terhadap Kekuatan Bending dan Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Eceng Gondok–Tebu dengan Matrik Epoxy. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
 17. Suyuti, M. A., R. Nur, P. Gautama, M. A. Murtadha dan C. Agatha. 2021. Sifat Mekanik Material Komposit Serat Natural Eceng Gondok (EG). Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat 2021. Makassar.
 18. Tuasalamony, R. D. Analisis Statistik Kekuatan Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Epoksi yang Menggunakan Alkalisasi.

19. Urban Id. (2020, 25 Oktober). Foto: Tumpukan Sampah Eceng Gondok di Sungai Musi Palembang. *Kumparan*. Diakses 17 Juni 2026, dari *Kumparan*
20. Yudo, H. dan Kiryanto. Analisa Teknis Rekayasa Serat Eceng Gondok sebagai Bahan Pembuatan Komposit Ditinjau dari Kekuatan Tarik. Universitas Diponegoro. Semarang

LAMPIRAN

1. SK Skripsi Fakultas Teknik UIBA



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA**

**SURAT KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS IBA**
Nomor : F.T.E.23202/G/WR53

**tentang
PENUNJUKAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS IBA**

Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA:

Memperhatikan : Menimbang : Mengingat :	1. Penunjukan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin untuk menyusun Skripsi, pada semester Gasal/Gasap Tahun Akademik 2023/2024. 2. Surat Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas IBA Nomor: PSTME.72025/G/MS12, tanggal 23 April 2024, tentang usulan Dosen Pembimbing Skripsi. 1. Bahwa guna pelaksanaan penulisan skripsi tersebut perlu mengangkat dan menunjuk Dosen Pembimbing skripsi yang relevan dengan bidang kajian skripsi. 2. Bahwa untuk tertib administrasi perlu diterbitkan surat keputusan sebagai pedoman dan landasan hukumnya. 1. Undang-Undang RI Nomor 2 Tahun 1989 2. Peraturan Pemerintah No.63 Tahun 1999 3. Statuta Universitas IBA 4. Surat Keputusan BAN-PT No. 7477/SK/BAN-PT/IA-FP/IS/2020, tentang status akreditasi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA. 5. Surat Kep. Rektor UIBA Nomor :157/UM/G/VI/1994, tentang kelulusan umum dan Prosedur penulisan Skripsi / Tugas Akhir serta Ujian Kemapukan. 6. Surat Kep. Penguasa Hasim Yayasan IBA, Nomor: 203/Pers. IBA/C-3/VI/2024, tentang pengangkatan Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA.
---	--

MEMUTUSKAN

Menetapkan : Putusan : Kedua : Ketiga :	1. Menunjuk dan mengangkat Dosen Pembimbing skripsi dengan tujuan sebagaimana terlampir. Masa berlakunya SK. Pembimbing selama 2x semester dan dinyatakan selesai setelah mahasiswa yang dibimbing dinyatakan lulus dalam sidang angjana. Jika penyusunan skripsi melebihi batas waktu 2x semester, maka dinyatakan gagal dan SK. Akan diajukan kembali. Surat keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan selesainya penyusunan skripsi tersebut dengan ketentuan apabila di kemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam keputusan ini, maka akan dipertahankan sebagaimana mestinya.
---	--

Ditetapkan di Padang tanggal 10 Mei 2024

Dekan



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA**

Dr. Ir. Heri H. H. H.
NIK. 03 21 51 4

Tembusan YB:

1. Ketua Program Studi
2. Dosen Pembimbing skripsi
3. Arsip.

KAMPUS IBA
JALAN ANAYOR RUSLAN, PALMANG 2013 | TELP. : (0711) 251364, 976777 | FAX. : (0711) 350193

FAKULTAS
KULUM | INOVASI | TEKNIK | PERTANAHAN

WEBSITE : iba.ac.id





Lampiran

SK Dekan Fakultas Teknik Universitas IDA

Nomor : FTE.23/2023/WB32, Tanggal : 24 April 2023

**NAMA DOSEN PEMBIMBING UTARA DAN PEMBIMBING KEDUA
PENULISAN SKRIPSI MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
SEMESTER GANJIL GENAP 2022/2023**

No.	Nama	NPM	Judul Skripsi	Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
1	Adi Prastika	22220093	Analisa Pengaruh Faktor Volume dan Arah Giral terhadap Kekuatan Tarik pada Material Komposit Serat Alam Encang Gendak	Riky Alhary, ST, MEng.	Dr. Arie Yudha Subianto, ST, MT
2	Ramadhan Malik	22220095	Perancangan Reaktor/Lit Perungup pada Casing SNI CTI 838 berdasarkan SNI 83 4573-2018	Riky Pusyita, ST, MT	Riky Alhary, ST, MEng
3	Muhammad Rochan Hengga	22220094	Studi Eksperimental Pengaruh Fraksi Massa dan Gradien Serat Rajan pada Material Komposit terhadap Uji Bending dan Aplikasi Jarak Pancing	Riky Pusyita, ST, MT	Dr. Ir. Ana Wita Yuda, ST, MT

Ditandatangani di
Pusat Pengajar
Dekan

Dr. Y. Hengga, ST, MT
NIM 0324034

2. Lembar Konsultasi Dosen Pembimbing



LEMBAR Bimbingan Skripsi

NAMA : Adi Prasetya
 NPM : 12120002
 PROGRAM STUDI : Teknik Sipil
 J1 TEK. SAKRIPSI : Analisis Pergerakan Frekuensi dan Arus Besar Turbulensi Kibutan
 Turb. Pada Material Komposit Serat Alam Kacang Ganda
 PEMBIMBING : Remy Adhany, ST, M.Eng.

NO.	TANGGAL	POKOK BAHASAN	PERBAIKAN	PARAPEKSI
1	10/4 - 26	kebutuhan komposit	komposit	✓
2	11/5 - 26	kebutuhan komposit di bagian ujung dan 210 mm (random).		✓
3	12/5 - 26	kebutuhan komposit ul mm : mm 20 : 40		✓
4	13/5 - 26	komposit ke bagian 10 : 30		✓
5	14/5 - 26	kebutuhan komposit ul mm : mm 20 : 40		✓
6	15/5 - 26	kebutuhan komposit ul mm : mm 20 : 40		✓
7	16/5 - 26	kebutuhan komposit ul mm : mm 20 : 40		✓
8	17/5 - 26	kebutuhan komposit ul mm : mm 20 : 40		✓
9	18/5 - 26	kebutuhan komposit ul mm : mm 20 : 40		✓

Mengetahui,
 Ketua Program Studi

Remy Adhany, ST, M.Eng.
 NIK. 02 05 171



LEMBAR BAHINGAN SKRIPSI

NAMA : Adi Prasetya
 NPM : 22.52.8005
 PROGRAM STUDI : Teknik Mesin
 JUDUL SKRIPSI : Analisis Pengaruh Fraktur Volume Dan Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Pada Material Komposit Serat Alam Eceng Gondok
 PEMBIMBING II : Dr. Ardi Yudha Budiman, ST., MT.

NO	TANGGAL	PUNYAI BAHASAN	PERBAIKAN	PARAF DOSEN
1	8/5 2025	Cara pembuatan specimen benda uji	perhitungan panjang serat terhadap area serat	A
2	8/5 2025	retakan benda uji	hitung lagi untuk volume	A
3	21/5 2025	cara acuan untuk ketebalan specimen	ketebalan specimen	A
4	25/5 2025	Analisis Hasil Pengujian Tarik	—	A
5	31/5 2025	Pembahasan Pembahasan	—	A
6	2/6 2025	Kesimpulan dan Serat	—	A
7	19/6 2025	AEC untuk digital hard cover	—	A

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Adi Prasetya, ST, M.Eng
 NIK. 82 05 171

**FAKULTAS TEKNIK UNIVESITAS IBA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

LEMBAR PERBAIKAN

Ujian : *10-7 Sidang Komprehensif*
Tanggal : *10-Juli 2016*

Nama : *Adi Prasetyo*
NIM : *22.52.0006*

No	Halaman	Materi Perbaikan	Keterangan
1.	1	<i>Literatur Berulang:</i> <i>- Cari literatur berulang ketekanan / ketahanan material komposit yang digunakan oleh Industri Saat ini.</i> <i>- 102, 13/7/2016</i> <i>[Signature]</i>	

Palang-bang, 10 Juli 2016

Dosen Pengajar *[Signature]*
Maunand Nur

**SURAT KETERANGAN
PERBAIKAN SEMINAR KOMPREHENSIF SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Nur S.T, M.Lug
Jabatan : Dosen penguji seminar Komprehensif Skripsi

Menyatakan bahwa mahasiswa sebagai berikut :

Nama : Adi Prasetya
NPM : 22320005
KBJK : Pembastutan & Material
Judul Skripsi : **Analisa Pengaruh Fraksi Volume Dan Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Pada Material Komposit Serat Alam Eceng Gondok**

Telah melakukan perbaikan Laporan Skripsi sesuai dengan yang telah disarankan oleh penguji Seminar Komprehensif Skripsi.

Demikianlah surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Paloembang, September 2020
Dosen penguji Seminar Komprehensif



Muhammad Nur S.T, M.Lug

3. Lembar Hasil Pengujian



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI**
INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA
UPA LABORATORIUM TERPADU
Jalan Terusan Rusa, Desa Way Se, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan 35372
Telp: (021) 8361181
Email: upalab@its.ac.id, its@its.ac.id, its@its.ac.id

Sertifikat Hasil Pengujian

Certificate of Analysis

(Nama Terjemah) **ITE-MS-ITM-ITTA-V-19006**

(Nama Pengirim) **Indo Energy**

(Alamat) **Jalan Sumatra, BIA Palembang**

(Kontak telepon) **0897-473620**

(Tanggal Pengiriman sampel) **24 Juni 2020**

(Tanggal penerimaan) **24 Juni 2020**

(Lokasi Sampel) **Indo**

(Kontak Sampel) **Enduser**

(Produk Sampel) **Waktu Nyala**

(Metode Analisis) **Edison**

(Tanggal Penerbitan) **24 Juni 2020**

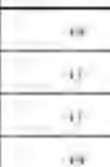
(Tanda Tangan)

(Nama Pengirim)

Kode Sampel	Nama Sampel	Kuat Tarik Zona Sampel (MPa)	Ketegangan elastis sampel (%)	Tingkat Spesifikasi Sampel diberikan kami	Luaran Spesifikasi Sampel dalam kami
0001TSM-ITTA-V-19006	0001 S-1	9.208	9.843	17	19
0002TSM-ITTA-V-19006	0002 S-2	9.310	9.897	17	19
0003TSM-ITTA-V-19006	0003 S-3	9.340	9.908	17	19.3
0004TSM-ITTA-V-19006	0004 S-1	9.211	9.818	17	18
0005TSM-ITTA-V-19006	0005 S-3	9.793	9.938	17	19.3
0006TSM-ITTA-V-19006	0006 S-3	9.184	9.880	16	18
0007TSM-ITTA-V-19006	0007 S-1	9.943	10.284	17	19.3
0008TSM-ITTA-V-19006	0008 S-2	9.636	10.001	17	18
0009TSM-ITTA-V-19006	0009 S-2	9.385	9.943	16	18
0010TSM-ITTA-V-19006	0010 S-1	9.960	10.007	17	19
0011TSM-ITTA-V-19006	0011 S-2	11.058	10.946	17	19
0012TSM-ITTA-V-19006	0012 S-1	1.000	9.934	16	18

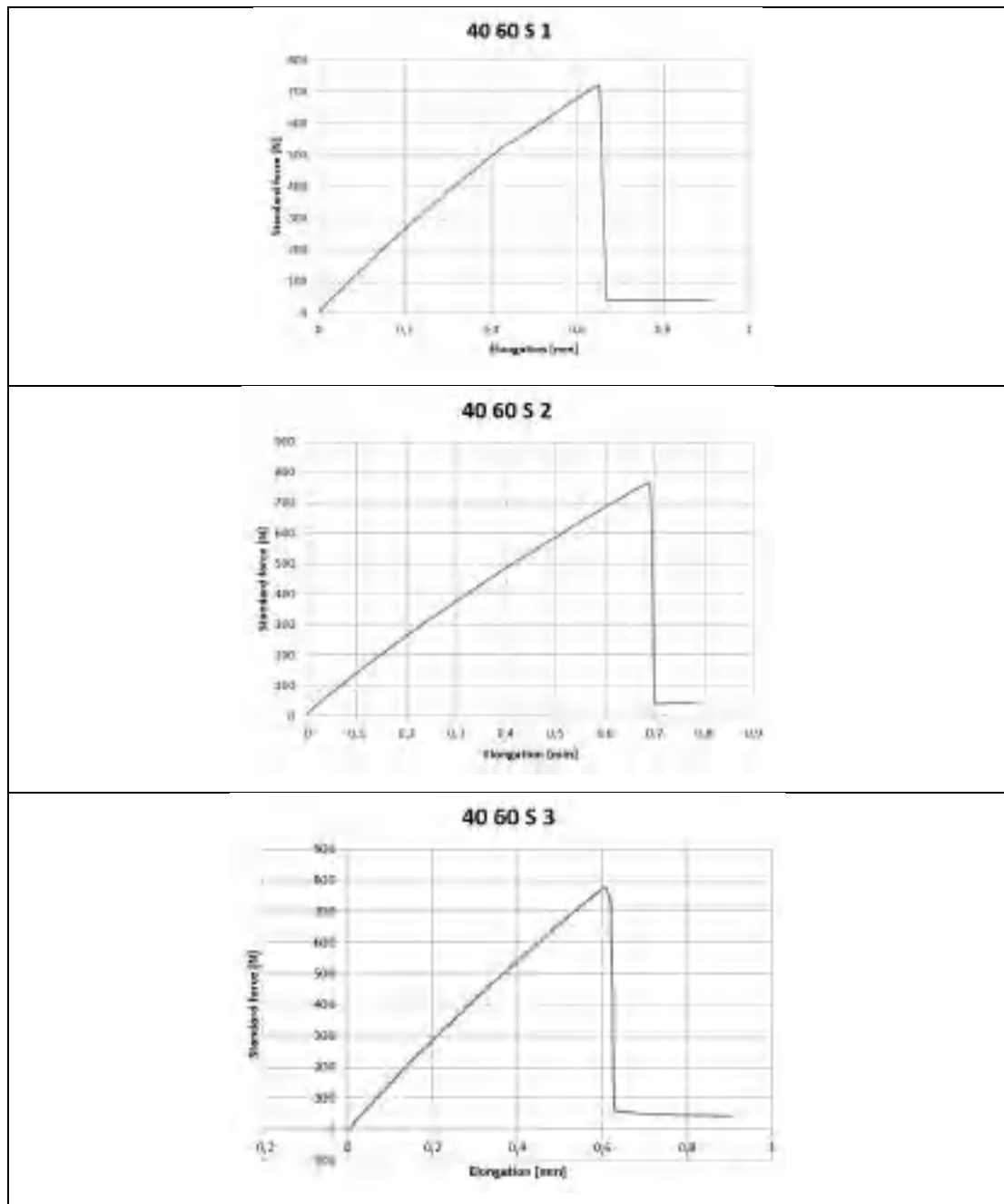
(Keterangan)
 Hasil yang didapatkan adalah rata-rata sampel uji yang ada.

(Tanda Tangan)
 Kepala UPA, Universitas Terpadu

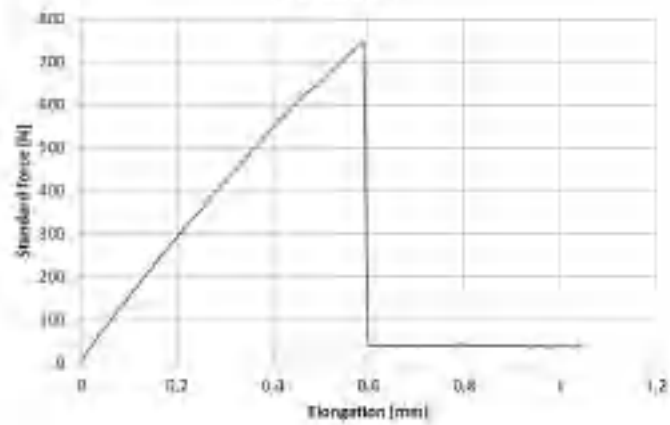


Upa/Manajemen, 5 Juli 2020

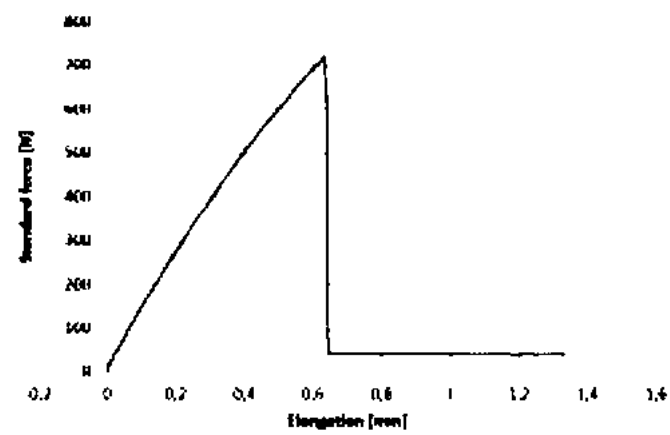
4. Grafik Hasil Uji Tarik



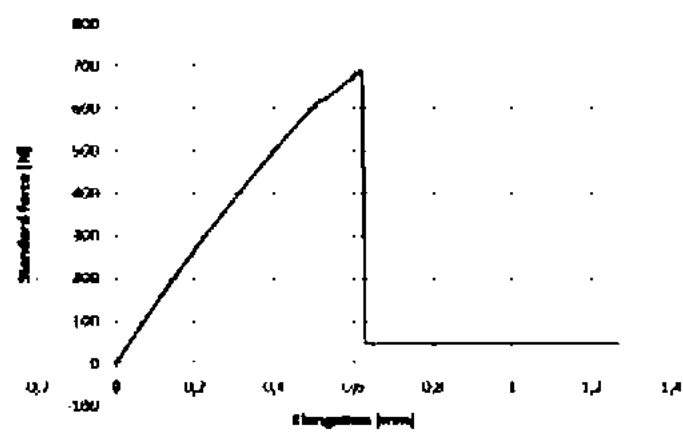
40 60 A 1

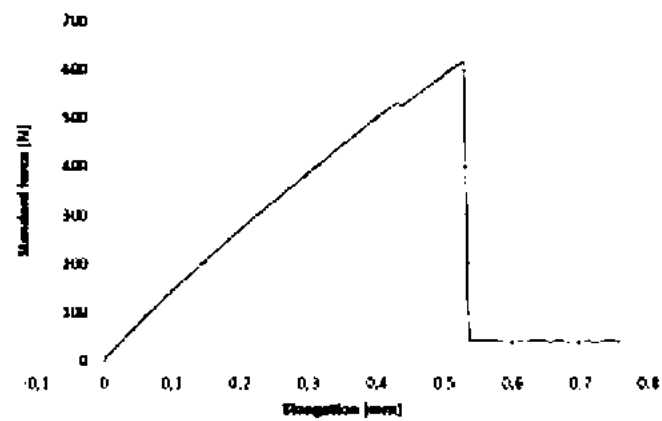
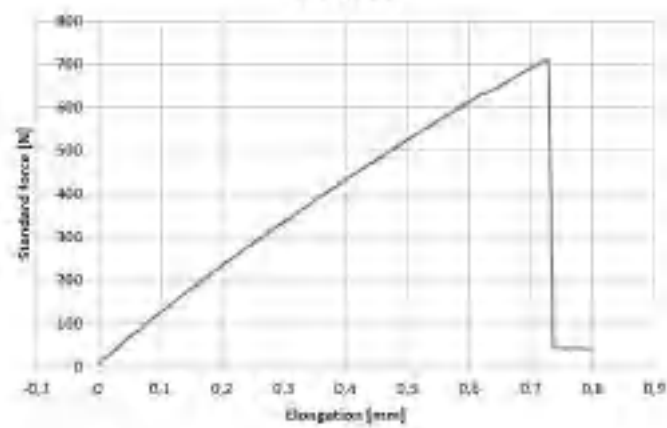
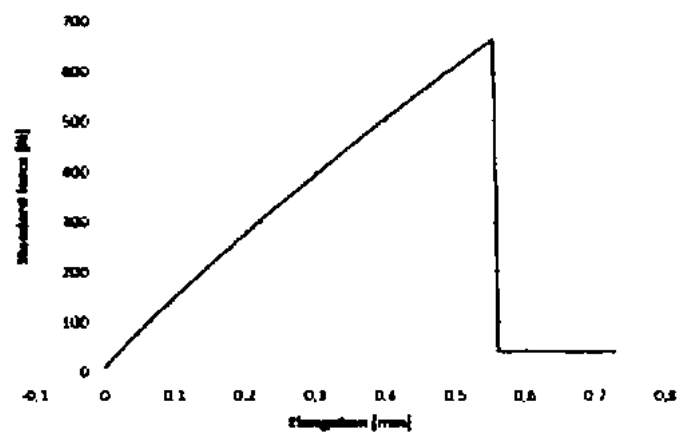


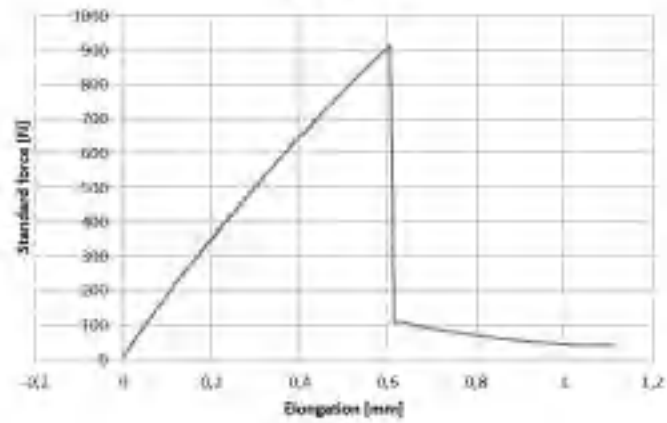
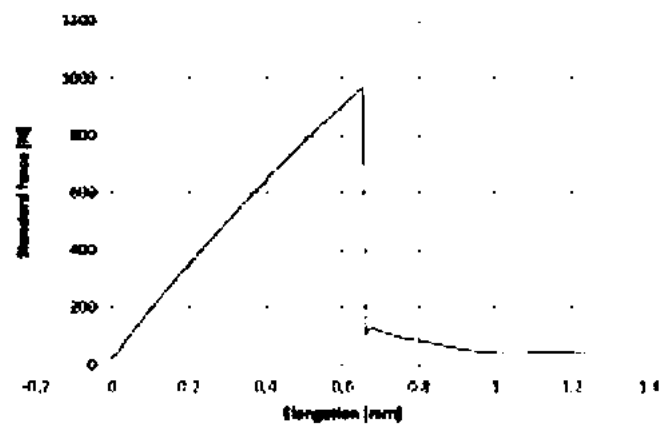
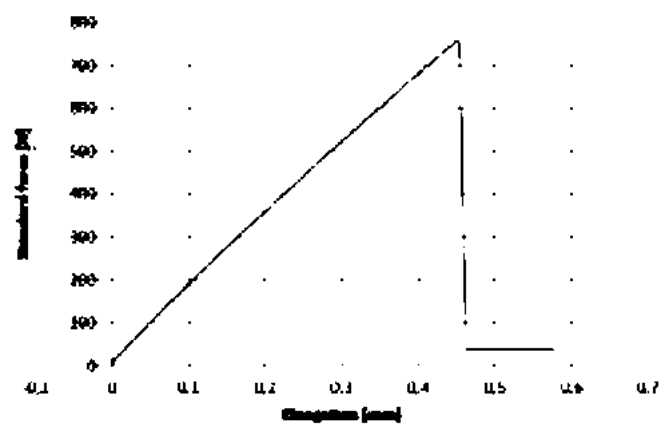
40 60 A 2



40 60 A 3



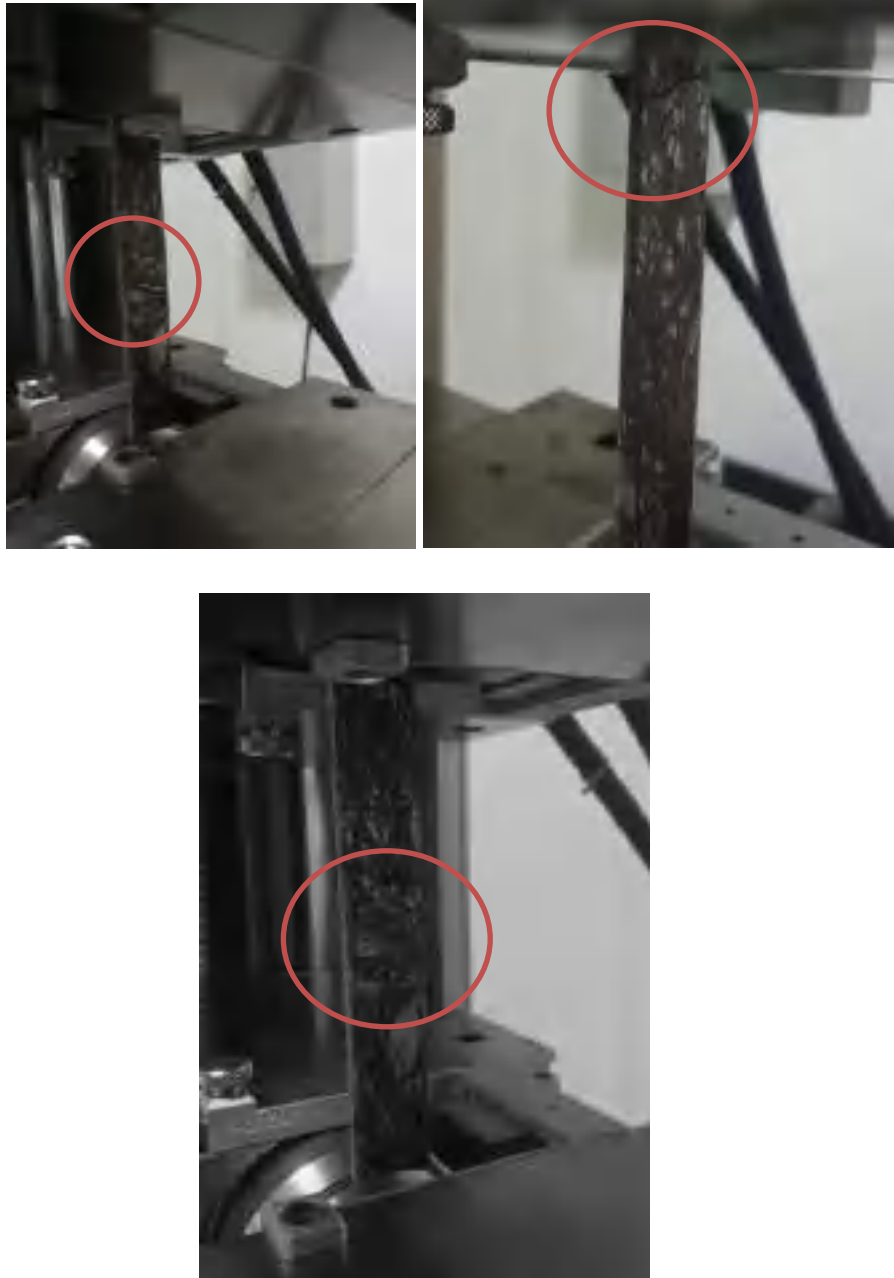
30 70 A 1**30 70 A 2****30 70 A 3**

30 70 S 1**30 70 S 2****30 70 S 3**

5. Alat Penekan Manual (dongkrak ulir , besi *hollow* , plat galvanis , besi siku)



6. Dokumentasi Pengujian menggunakan mesin UTM



7. Standar ASTM D3039



Designation: D3039/D3039M - 14

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D3039/D3039M; 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 approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

1. Scope

1.1 This test method determines the in-plane tensile properties of polymer matrix composite materials reinforced by high-modulus fibers. The composite material forms are limited to continuous fiber or discontinuous fiber-reinforced composites in which the laminate is balanced and symmetric with respect to the test direction.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 *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

- D792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins
- D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics
- D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials
- D3878 Terminology for Composite Materials
- D5529/D5529M Test Method for Moisture Absorption Prop-

erties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus
- E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
- E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages
- E456 Terminology Relating to Quality and Statistics
- E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application
- E1247 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages

3. Terminology

3.1 **Definitions**—Terminology D3039 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D883 defines terms relating to plastics. Terminology E6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E456 and Practice E177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D3078 shall have precedence over the other standards.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 **Note**—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental dimensions, shown within square brackets: [M] for mass, [L] for length, [T] for time, [Θ] for thermodynamic temperature, and { n/d } for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Laminate and Laminated Test Methods.

Current edition approved May 15, 2014. Published May 2014. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 2006 as D3039-06. DOI: 10.1520/D3039-14.

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.

3.2.2 nominal value, n —a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.3 transition region, n —a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.4 transition strain, $\epsilon^{\text{transition}}$ [udf, n —the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

3.2.4.1 Discussion—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during force application, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus long longitudinal strain. There are varying physical reasons for the existence of a transition region. Common examples include: matrix cracking under tensile force application and ply delamination.

3.3 Symbols:

A —minimum cross-sectional area of a coupon.

B_y —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

B_z —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about z axis of the specimen (about the wide direction).

CV —coefficient of variation statistic of a sample population for a given property (in percent).

E —modulus of elasticity in the test direction.

F^u —ultimate tensile strength in the test direction.

F^s —ultimate shear strength in the test direction.

h —coupon thickness.

L_g —extensometer gage length.

$L_{\min}$ —minimum required bonded tab length.

n —number of coupons per sample population.

P —force carried by test coupon.

P' —force carried by test coupon at failure.

$P^{\max}$ —maximum force carried by test coupon before failure.

s_{n-1} —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

w —coupon width.

x_i —test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

$\bar{x}$ —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

δ —extensional displacement.

ϵ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

σ —normal stress.

ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording the force. The ultimate strength of the material can be

determined from the maximum force carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development, quality assurance, and structural design and analysis. Factors that influence the tensile response and should therefore be reported include the following: material, methods of material preparation and lay-up, specimen stacking sequence, specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing, specimen alignment and gripping, speed of testing, time at temperature, void content, and volume percent reinforcement. Properties, in the test direction, which may be obtained from this test method include the following:

5.1.1 Ultimate tensile strength.

5.1.2 Ultimate tensile strain.

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity.

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

6.1 Material and Specimen Preparation—Poor material fabrication practices, lack of control of fiber alignment, and damage induced by improper coupon machining are known causes of high material data scatter in composites.

6.2 Gripping—A high percentage of grip-induced failures, especially when combined with high material data scatter, is an indicator of specimen gripping problems. Specimen gripping methods are discussed further in 7.2.4, 8.2, and 11.5.

6.3 System Alignment—Excessive bending will cause premature failure, as well as highly inaccurate modulus of elasticity determination. Every effort should be made to eliminate excess bending from the test system. Bending may occur as a result of misaligned grips or from specimens themselves if improperly installed in the grips or out-of-tolerance caused by poor specimen preparation. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given test machine, then the alignment should be checked as discussed in 7.2.5.

6.4 Edge Effects in Angle Ply Laminates—Premature failure and lower stiffnesses are observed as a result of edge softening in laminates containing off-axis plies. Because of this, the strength and modulus for angle ply laminates can be drastically underestimated. For quasi-isotropic laminates containing significant 0° plies, the effect is not as significant.

7. Apparatus

7.1 Micrometers and Calipers—A micrometer with a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball interface shall be used to measure the specimen thickness when at least one surface is irregular (such as the bag-side of a laminate). A micrometer with a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball interface or with a flat anvil interface shall be

used to measure the specimen thickness when both surfaces are smooth (such as tool-etched surfaces). A micrometer or caliper, with a flat anvil interface, shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample dimensions. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.0025 mm [± 0.0001 in.] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.025 mm [± 0.001 in.] is adequate for width measurement.

7.2 Testing Machine—The testing machine shall be in conformance with Practices E4 and shall satisfy the following requirements:

7.2.1 Testing Machine Heads—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

7.2.2 Drive Mechanism—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

7.2.3 Force Indicator—The testing machine force-sensing device shall be capable of indicating the total force being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the force with an accuracy over the force range(s) of interest of within ± 1 % of the indicated value. The force range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

Note 1—Obtaining precision force data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate force are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

7.2.4 Grips—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of force applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

Note 2—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in unnotched coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery cloth interface, or both.

7.2.5 System Alignment—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_1) and width plane (B_2) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

7.2.5.2 When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer), and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1 and Eq 2 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon. Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation force range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate

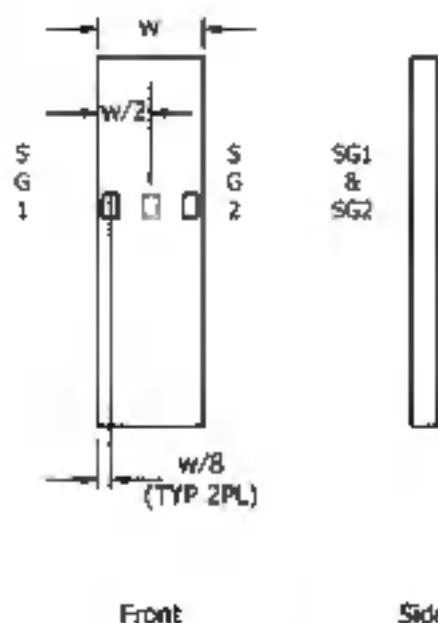


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

bending strains near the grip at high loading levels. While the maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels ($>1000 \mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_y = \frac{\epsilon_{avg} - \epsilon_3}{\epsilon_{avg}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{2/3 (\epsilon_1 - \epsilon_2)}{\epsilon_{avg}} \times 100 \quad (2)$$

where:

- B_y = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;
- B_z = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;
- ϵ_1, ϵ_2 , and ϵ_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and
- ϵ_{avg} = $(\epsilon_1 + \epsilon_2)/2 + \epsilon_3/2$

Note 3—Experimental error may be introduced by sources such as poor system alignment, specimen preparation and strain gage precision and calibration. These sources of error may result in an average calculated strain (ϵ_{avg}) of 0, causing B_y and B_z (Eq 1 and Eq 2) to approach infinity as the average calculated strain is the denominator. To minimize the potential for this occurrence during system alignment evaluation, it is recommended that force be applied to the alignment coupon until all three strain gages measure positive strain of no less than 500 $\mu\epsilon$ with an ϵ_{avg} of no less than 1000 $\mu\epsilon$. If these conditions can not be met, the test configuration should be adjusted prior to performing further system alignment evaluation.

7.3 Strain-Indicating Device—Force-strain data, if required, shall be determined by means of either a strain transducer or an extensometer. Attachment of the strain-indicating device to the coupon shall not cause damage to the specimen surface. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen shall be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions. If the modulus of elasticity is to be determined, the longitudinal strain should be simultaneously measured on opposite faces of the specimen to allow for a correction as a result of any bending of the specimen (see 11.6 for further guidance).

7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].³ Gage calibration certification shall comply with Test Methods E251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.⁴

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process. The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 Ω or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

7.3.1.4 Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 13.

7.3.2 Extensometers—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

Note 4—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

7.4 Conditioning Chamber—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vapor-level-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required relative vapor level to within ± 3 %. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.5 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of

³ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

⁴ Tuttle, M. E. and Brinson, H. R., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54-65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153-154.

maintaining the gage section of the test specimen at the required test environment during the mechanical test.

8. Sampling and Test Specimens

8.1 Sampling—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E122 should be consulted. Report the method of sampling.

NOTE 5—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 Geometry—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 General Requirements	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 Specific Recommendations	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 Detailed Examples	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 General Requirements

8.2.1.1 Shape, Dimensions, and Tolerances—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 Use of Tabs—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of force into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and

specification of the major tab design parameters, by the end result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method.

8.2.2 Specific Recommendations

8.2.2.1 Width, Thickness, and Length—Select the specimen width and thickness to promote failure in the gage section and assure that the specimen contains a sufficient number of fibers in the cross section to be statistically representative of the bulk material. The specimen length should normally be substantially longer than the minimum requirement to minimize bending stresses caused by minor grip eccentricities. Keep the gage section as far from the grips as reasonably possible and provide a significant amount of material under stress and therefore produce a more statistically significant result. The minimum requirements for specimen design shown in Table 1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and tolerated coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 Gripping/Use of Tabs—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 Tab Geometry—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 3. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 Friction Tabs—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the force into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used must be able to withstand significant compressive forces. Some

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ^a
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^a See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^a

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, ^a
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.6 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	178 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

^aDimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]_{ns} laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the force direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 Bonded Tab Length—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{\min} = F^{\text{ult}} / 2F^{\text{ad}} \quad (3)$$

where:

$L_{\min}$ = minimum required bonded tab length, mm [in.];
 F^{ult} = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
 h = coupon thickness, mm [in.]; and
 F^{ad} = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

8.2.2.7 Bonded Tab Adhesive—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform bondline of minimum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

8.2.3 Detailed Examples—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of Table 1 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

8.3 Specimen Preparation

8.3.1 Panel Fabrication—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

8.3.2 Machining Methods—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens

individually to avoid edge and cutting effects or cut them from plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

8.3.3 Labeling—Label the coupons so that they will be distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D5229/D5229M; however, if the test requestor does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, no conditioning is required and the test specimens may be tested as prepared.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the test data.

Note 6—The term moisture, as used in Test Method D5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.3 If no explicit conditioning process is performed, the specimen conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

Note 7—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.



DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:
NO DECIMAL $\pm .1$ $\pm .3$
 $\pm .1$ $\pm .3$
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm .5^\circ$.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO $[0^\circ]$ WITHIN $\pm .5^\circ$.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6 μ (SYMBOLS BY ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAYUP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO $[0^\circ]$, OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

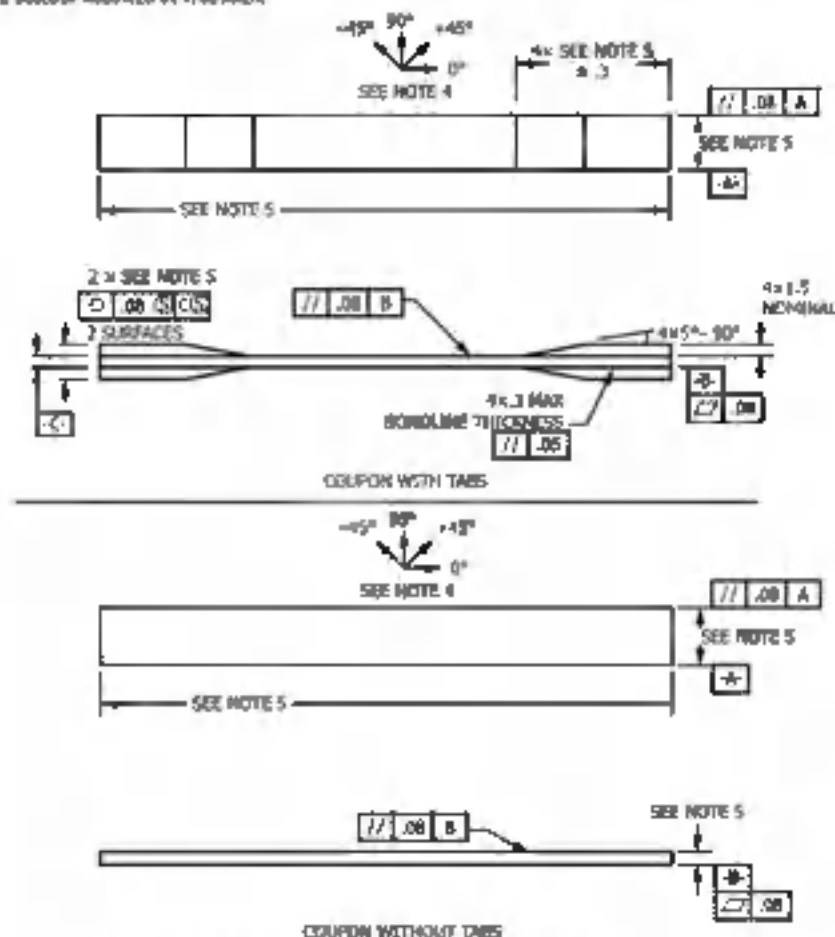


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D2584. The void content equations of Test Methods D2734 are applicable to both Test Method D2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as $A = w \times b$, at three places in the gage section,

and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm^2 (in^2).

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of force application to maintain a nearly constant strain rate, as measured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min (0.05 in./min).



DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO $\begin{array}{|c|} \hline \text{---} \\ \hline \end{array}$ WITHIN $\pm 5^\circ$.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64V (SYMBOLIZING IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO $\begin{array}{|c|} \hline \text{---} \\ \hline \end{array}$, OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

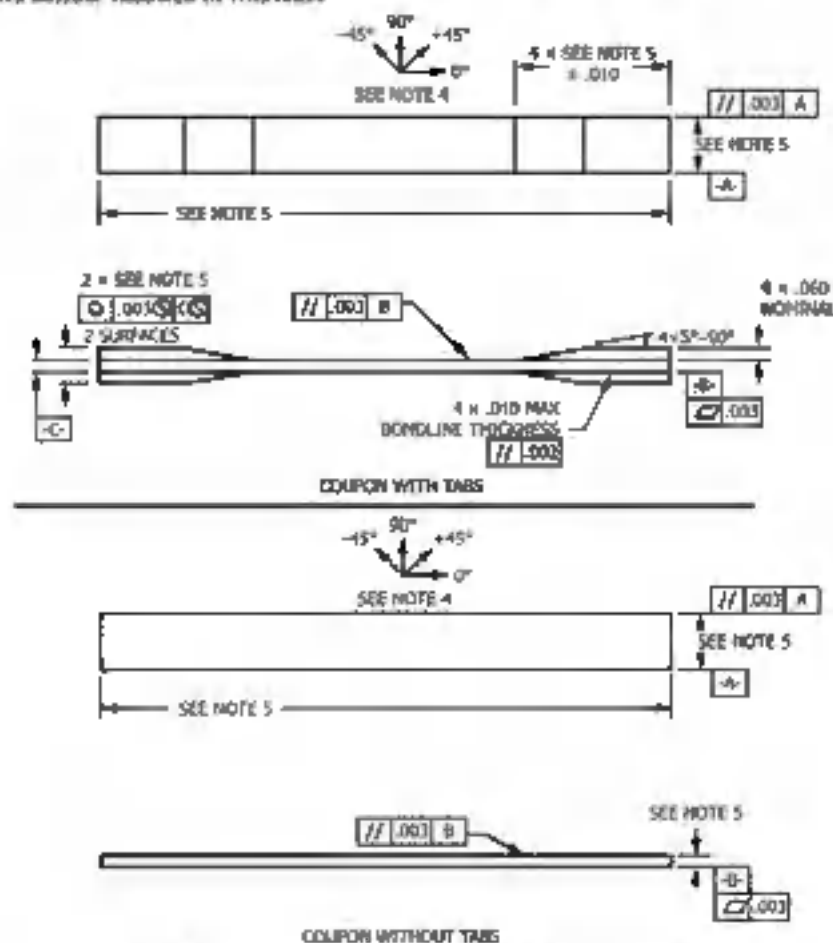


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

Note B—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded. In the case where there is no fluid exposure control, the percentage moisture loss of the specimen prior to test completion may be estimated by placing a conditioned traveler coupon of known weight within the test

chamber at the same time as the specimen is placed in the chamber. Upon completion of the test, the traveler coupon is removed from the chamber, weighed, and the percentage weight calculated and reported.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

Note 9—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed



specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm (0.5 in.) past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

11.6 Transducer Installation—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 4, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_p = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (4)$$

where:

ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$;
 ϵ_b = indicated strain from back transducer, $\mu\epsilon$; and
 B_p = percent bending in specimen.

11.7 Loading—Apply the force to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 Data Recording—Record force versus crosshead displacement (and force versus strain, if extensometers are utilized) continuously or at frequent regular intervals. For this test method, a sampling rate of 2 to 3 data recordings per second, and a target minimum of 100 data points per test are recommended. If a transition region or initial ply failures are noted, record the force, strain, and mode of damage at such points. Record the method used to determine the initial failure (visual, acoustic emission, etc.). If the specimen is to be failed, record the maximum force, the failure force, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

Note 10—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes force versus head displacement data and force versus time data.

11.9 Failure Mode—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$ 1000 ^B	$\mu\epsilon$ 3000	$\mu\epsilon$ 2000

^A 1000 $\mu\epsilon$ = 0.001 absolute strain.

^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

12. Validation

12.1 Values for ultimate properties shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious flaw, unless such flaw constitutes a variable being studied. Retests shall be performed for any specimen on which values are not calculated.

12.2 Grip/Tab Failures—Reexamine the means of force introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

13. Calculation

13.1 Tensile Stress/Tensile Strength—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 5 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 6.

$$F^u = P^u/A \quad (5)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (6)$$

where:

F^u = ultimate tensile strength, MPa [psi];
 P^u = maximum force before failure, N [lbf];
 σ_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];
 P_i = force at i th data point, N [lbf]; and
 A = average cross-sectional area from 11.2.3, mm² [in.²].

13.2 Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 7 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (7)$$

where:

ϵ_i = tensile strain at i th data point, $\mu\epsilon$;
 δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.]; and
 L_g = extensometer gage length, mm [in.].

13.3 Tensile Modulus of Elasticity:

Note 11—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

13.3.1 Tensile Chord Modulus of Elasticity—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 8. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

13.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant

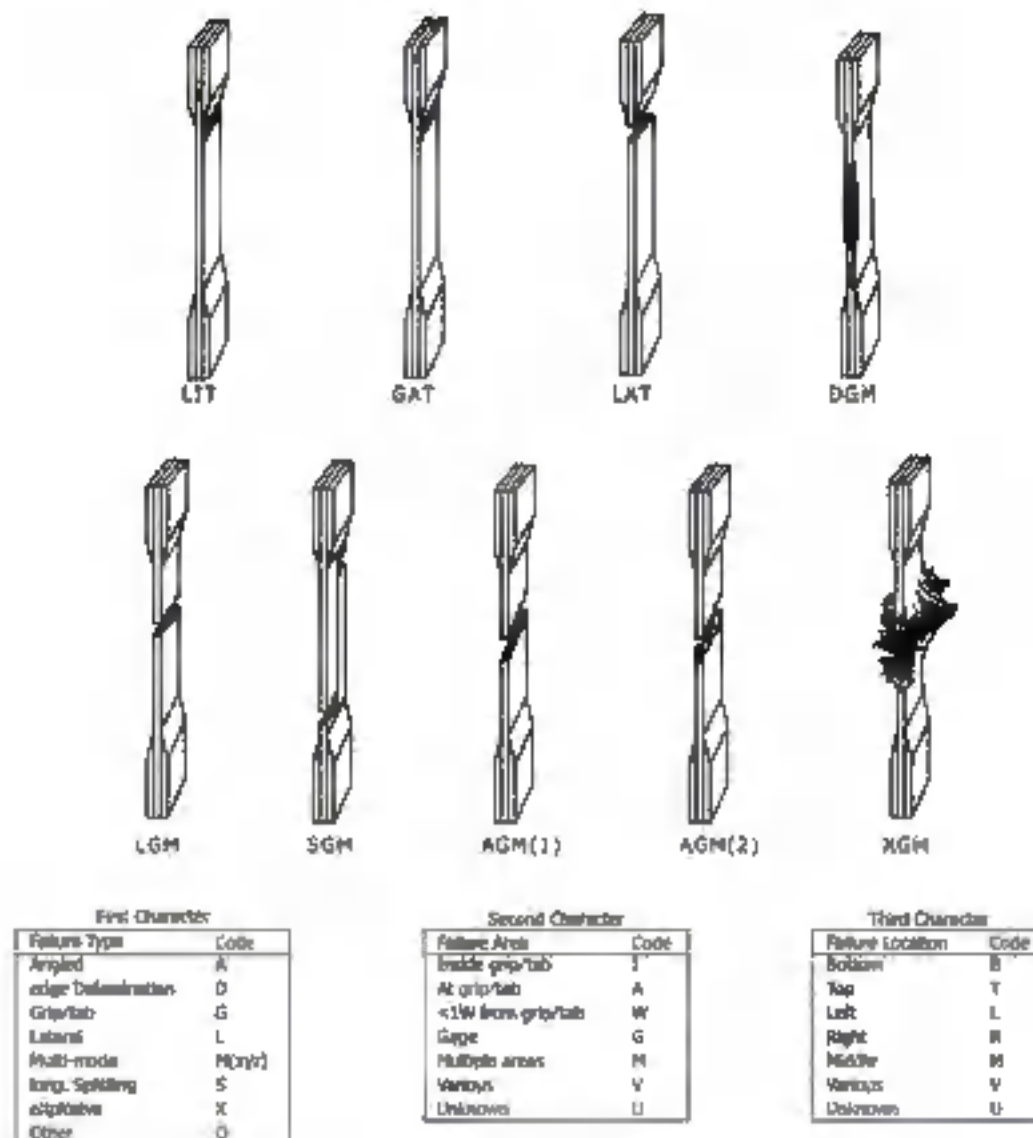


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{\text{chord}} = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon \quad (8)$$

where:

- E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\varepsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

13.3.2 Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

Note 12—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear

stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

13.4 Poisson's Ratio

Note 13—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

13.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied force), ε_t , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied force), ε_l , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 9 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\varepsilon_t / \Delta\varepsilon_l \quad (9)$$

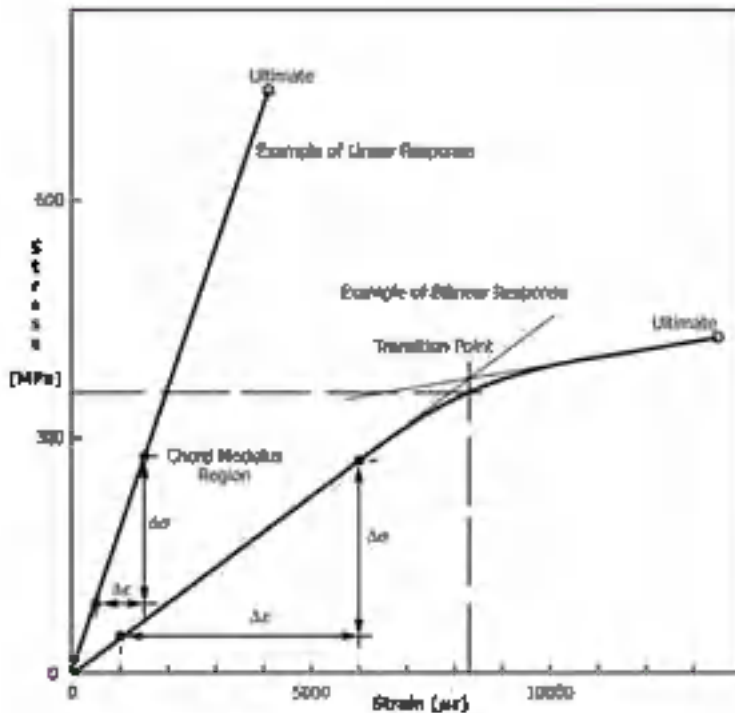


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

where:

ν = Poisson's ratio;

$\Delta\epsilon_y$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and

$\Delta\epsilon_l$ = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

13.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

13.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

13.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n \quad (10)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right) / (n-1)} \quad (11)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1} / \bar{x} \quad (12)$$

where:

$\bar{x}$ = sample mean (average);

s_{n-1} = sample standard deviation;

CV = sample coefficient of variation, in percent;

n = number of specimens; and

x_i = measured or derived property.

14. Report

14.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

14.1.1 The revision level or date of issue of this test method.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the test.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

14.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

14.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

14.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

14.1.9 Average ply thickness of the material.

14.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

14.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

14.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

14.1.15 Dimensions of each test specimen.

14.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Speed of testing.

14.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

14.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

14.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

14.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

14.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure force was less than the maximum force before failure.

14.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

14.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

14.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias⁵

15.1 Precision:

15.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D3039/D3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

15.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of force application and displacement/strain measurement, speed of force application, alignment of test specimen with applied force, parallelism of the grips, grip pressure, and type of force control (displacement, strain, or force).

15.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

15.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D3039/D3039M. This result suggests that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

15.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

15.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

15.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.⁶ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 4 are defined as:

TABLE 4 Precision Statistics

Material	$\bar{x}$	$s/\bar{x}$	S_x	S_y	$S_x/\bar{x}, \%$	$S_y/\bar{x}, \%$
Strength, kN						
A	342.89	0.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.82	9.94	10.84
C	158.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.46	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, MPa						
A	23.57	0.05	0.63	0.65	2.69	3.68
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.08	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.08
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	5.15
B	0.08	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.08	5.25	5.97
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

⁵ A research report is available from ASTM International Headquarters. Request RR.D30-1003.

⁶ International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D3039/D3039M and ISO 527-5. Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.



- A IM-6/3501-6 uni-tape (0°)
- B IM-6/3501-6 uni-tape (90°)
- C IM-6/3501-6 uni-tape (90°/0°)
- F Glass/epoxy fabric (7781
glass/Ciba R 7376 Epoxy)-
warp aligned
- G Carbon/epoxy fabric (66106
carbon/Ciba R 6376)

15.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/X and S_d/X represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S_r/X , %	Average of S_d/X , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9888 (phone), 610-832-9888 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. Tel: (978) 845-2600; <http://www.copyright.com/>

These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

15.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, material and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

16. Keywords

16.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength