ANALISA KEKUATAN BENDING PADA MATERIAL KOMPOSIT *FIBERGLASS* DENGAN VARIASI FRAKSI VOLUME DAN METODE PEMBUATAN



SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Ujian Sarjana Strata Satu
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas IBA Palembang

Diusun Oleh:

DENDI SAPUTRA
22 32 0002

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS IBA
PALEMBANG
2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Dendi Saputra

NPM : 22 32 0002

Judul Skripsi : Analisa Kekuatan Bending Pada Material Komposit *Fiberglas* Dengan Variasi Fraksi Volume dan Metode Pembuatan

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

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

Penulis



Dendi Saputra
22 32 0002

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA KEKUATAN BENDING PADA MATERIAL KOMPOSIT *FIBERGLASS* DENGAN VARIASI FRAKSI VOLUME DAN METODE PEMBUATAN

SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Syarat UjianSarjana Strata Satu
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas IBA Palembang

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

Dr. Ir. Hardhayani Haruno, M.T
NIK. 04 24 514

Ketua Program Studi
Teknik Mesin

Reny Adriany, S.T., M.Eng
NIK. 02 05 171

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

AGENDA No. :
DITERIMA TGL :
PARA :

ANALISA KEKUATAN BENDING PADA MATERIAL KOMPOSIT *FIBERGLASS* DENGAN VARIASI FRAKSI VOLUME DAN METODE PEMBUATAN

NAMA : **Dendi Saputra**

NPM : **22 32 0002**

SPESIFIKASI : **a) Material Komposit**

b) Perhitungan Kekuatan Bending

c) ASTM D790

Menyetujui

Pembimbing Utama

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

Pembimbing Pendamping

Dr. Arie Yudha Budiman, S.T., M.T
NIK : 03 24 508

Mengetahui,
Ketua Program StudiTeknik Mesin

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

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini berjudul	: Analisa Kekuatan Bending Pada Material Komposit *Fiberglass* Dengan Variasi Fraksi Volume dan Metode Pembuatan
Penyusun	: Dendi Saputra
NPM	: 22 32 0002
Program Studi	: Teknik Mesin

Telah Berhasil Dipertahankan Dalam Sidang Sarjana (Ujian Komprehensip) Dan Diterima Sebagai Bagian Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA.

TIM PENGUJI

Ketua	: Reny Afriany, S.T., 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	: 22 Agustus 2026

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

"Langkahku rata oleh doamu, peluhku dijaga oleh sujudmu. Maka bertahan dalam proses adalah baktiku, dan tumbuh gemilang adalah cara terbaikku menghidupkan mimpi yang kau langitkan"

~ Penulis ~

PERSEMBAHAN

Tiada lembar yang paling indah dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan, berikut penulis persembahkan skripsi ini untuk orang-orang terkasih dan tersayang yaitu:

1. Kepada ibundaku tercinta Niswati, terima kasih atas segala pengorbanan besar yang telah kau dedikasikan kepada ku, terima kasih untuk setiap pengorbanan tenaga, pikiran, kekuatan, kesabaran dan doa-doa yang selalu kau panjatkan untukku. Terima kasih karena sudah memperjuangkan dan memberikan semangat serta motivasi sampai akhirnya skripsi ini terselesaikan dengan sangat baik.
2. Kepada ayahandaku tercinta Supriadi, terima kasih untuk setiap hal-hal yang telah kau berikan kepada ku untuk menjaga, menyayangi, mendidik, membimbing, memberikan semangat dan motivasi, serta selalu mengkahwatirkan ku. Terima kasih untuk setiap doa-doa sehingga skripsi ini dapat selesai dengan sangat baik.
3. Kepada adik kecilku Annisa Oktarina dan kakak perempuanku Dea Anggraini, terima kasih untuk setiap dukungan, semangat, motivasi dan doa-doa yang telah kau berikan kepada ku.

4. Kepada teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2022 terima kasih karena telah berperan banyak memberikan pengalaman dan pembelajaran selama masa perkuliahan, salam Solidarity M Forever.
5. Terimakasih kepada seluruh dosen fakultas teknik, terutama dosen-dosen program studi teknik mesin.

Terakhir penulis persembahkan untuk diri sendiri, Dendi Saputra. Terimakasih karena telah menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terimakasih karena selalu berusaha keras untuk menyelesaikan pendidikan sarjana-1 ini, terimakasih karena tidak pernah menyerah dan selalu senantiasa menikmati setiap prosesnya walaupun dibilang tidak mudah. Terimakasih karena telah mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan di luar keadaan dan tak pernah memutuskan untuk berhenti. Apapun proses penyusunan skripsi ini kamu sudah menyelesaikannya dengan baik dan maksimal, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggkaan untuk diri sendiri dan saya ingin mengucapkan permintaan maaf kepada diri saya sendiri karena tidak dapat memberikan hasil yang baik untuk hasil akhir. Setelah ini mari bekerja lebih keras lagi.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi manufaktur meningkatkan kebutuhan terhadap material yang memiliki bobot relatif rendah, kekuatan mekanik yang baik, serta ketahanan terhadap korosi. *Komposit glass fiber reinforced polymer* (GFRP) menjadi salah satu material alternatif karena mampu menggabungkan bobot yang relatif ringan dengan sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik, sehingga penggunaannya berkembang pada berbagai aplikasi teknik. Karakteristik mekanik komposit tidak hanya ditentukan oleh jenis material penyusunnya, tetapi juga oleh jumlah penguat dan proses pembentukannya. Oleh karena itu, pengujian bending digunakan untuk mengevaluasi respons material terhadap pembebanan lentur. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume dan metode pembuatan terhadap kekuatan bending komposit bermatriks polyester. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan dua metode pembuatan, yaitu hand lay up dan press, serta tiga variasi fraksi volume, yaitu 15%, 20%, dan 25%. Setiap kombinasi dibuat dua spesimen sehingga total terdapat 12 spesimen. Spesimen berukuran 127 mm × 12,7 mm × 3,2 mm dan diuji menggunakan *three-point bending* dengan acuan ASTM D790 dan jarak tumpuan 80 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serat dari 15% hingga 25% meningkatkan rata-rata *flexural strength* pada kedua metode. Pada metode hand lay up, nilai rata-rata *flexural strength* berturut-turut sebesar 70,0946 MPa, 143,6639 MPa, dan 215,5678 MPa. Pada metode press, nilainya sebesar 56,2942 MPa, 87,8616 MPa, dan 124,1506 MPa. Nilai rata-rata *zone fiber strain* tertinggi diperoleh pada hand lay up dengan fraksi serat 25%, yaitu 2,5313%. Kombinasi terbaik adalah hand lay up dengan fraksi volume serat 25%, dengan rata-rata *flexural strength* 215,5678 MPa. Berdasarkan pengamatan spesimen, kombinasi tersebut mengalami *deflection failure* berupa pembengkokan permanen tanpa patah total. Kondisi ini menunjukkan bahwa kombinasi *hand lay up* dan fraksi serat 25% memiliki kemampuan menahan beban lentur dan deformasi yang paling baik dibandingkan variasi lainnya.

Kata Kunci: serat kaca; kekuatan bending; regangan lentur; hand lay up; press.

ABSTRAC

The development of manufacturing technology has increased the demand for materials with relatively low weight, good mechanical strength, and high corrosion resistance. Glass fiber reinforced polymer (GFRP) composites have become an alternative material due to their ability to combine relatively low weight with good mechanical properties and corrosion resistance, leading to their increasing use in various engineering applications. The mechanical characteristics of composites are influenced not only by the constituent materials but also by the amount of reinforcement and the manufacturing process. Therefore, bending testing is used to evaluate the material response under flexural loading. This study aims to analyze the effect of fiber volume fraction and manufacturing method on the flexural strength of polyester matrix composites. An experimental method was employed using two manufacturing methods, namely hand lay-up and press, with three variations of fiber volume fraction: 15%, 20%, and 25%. Two specimens were prepared for each combination, resulting in a total of 12 specimens. The specimens had dimensions of 127 mm × 12.7 mm × 3.2 mm and were tested using a three-point bending test in accordance with ASTM D790 with a support span of 80 mm. The results showed that increasing the fiber volume fraction from 15% to 25% increased the average flexural strength for both manufacturing methods. For the hand lay-up method, the average flexural strength values were 70.0946 MPa, 143.6639 MPa, and 215.5678 MPa, respectively. For the press method, the corresponding values were 56.2942 MPa, 87.8616 MPa, and 124.1506 MPa. The highest average zone fiber strain was obtained using the hand lay-up method with a 25% fiber volume fraction, reaching 2.5313%. The best combination was the hand lay-up method with a 25% fiber volume fraction, achieving an average flexural strength of 215.5678 MPa. Based on the specimen observations, this combination exhibited deflection failure in the form of permanent bending without complete fracture. This condition indicates that the combination of the hand lay-up method and a 25% fiber volume fraction provided the best flexural load-bearing and deformation resistance compared with the other variations.

Keywords: *fiberglass; flexural strength; flexural strain; hand lay up; press.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya-lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisa Kekuatan Bending Pada Material Komposit *Fiberglass* Dengan Variasi Fraksi Volume dan Metode Pembuatan". Skripsi ini dibuat untuk memenuhi tugas akhir perkuliahan dan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA. Selain itu, skripsi ini juga dibuat sebagai salah satu wujud implementasi dari ilmu yang didapatkan selama masa perkuliahan di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA.

Penulis menyadari bahwa skripsi masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap dapat belajar lebih banyak lagi dalam mengimplementasikan ilmu yang didapatkan. Skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan, masukan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Hardayani, M.T. selaku ketua dekan fakultas teknik universitas iba
2. Ibu Reny Afriany, S.T., M.Eng. selaku ketua program studi teknik mesin universitas iba palembang.
3. Ibu Reny Afriany, S.T., M.Eng. selaku pembimbing utama dan bapak Dr. Arie Yudha Budiman, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping.
4. Seluruh bapak/ibu dosen fakultas teknik universitas iba yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
5. Orang tuaku tercinta ayah Supriadi, ibu Niswati, adick yang cantik Annisa Oktarina serta keluarga yang telah mendoakan, dan memotivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Serta rekan-rekan seperjuangan selama menempuh masa kuliah yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini terutama Muhammad Royhan

Renata, Habil Saska Pramadani dan M Fikry Juliansyah, yang telah menjadi dorongan besar bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, baik dari segi bahasa, penulisan maupun materi. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi penulis pribadi maupun pembaca pada umumnya.

Palembang, 18 September 2026



Dendi Saputra
NIM. 22 32 0002

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ..... **ii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **iii**
HALAMAN AGENDA ..... **iv**
PENGESAHAN TIM PENGUJI ..... **v**
MOTTO DAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
ABSTRAK ..... **viii**
KATA PENGANTAR ..... **x**
DAFTAR ISI ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
DAFTAR TABEL ..... **xvi**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Batasan Masalah 5
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 Material Komposit 7
2.2 Jenis dan Klasifikasi Komposit 8
2.2.1 Komposit Partikel (*Particle Composite*) 8
2.2.2 Komposit Serat (*Fiber Composite*) 9
2.2.3 Sturktural Komposit (*Structute Composite*) 12
2.3 Void Pada Material Komposit 13
2.4 Serat Penguat Komposit 14
2.5 Serat Kaca (*Fiberglass*) 15
2.6 Perbandingan Serat 16
2.7 Matriks 17
2.8 Pengujian Bending 17

2.9 ASTM D790 18
2.10 Jenis Patahan 21
2.10.1 Patah Total (*Complete Fracture*) 21
2.10.2 Patah Sebagian atau Retak (*Partial Fracture/Cracking*) 21
2.10.3 Delaminasi (*Delamination Failure*) 22
2.10.4 *Fiber Pull-Out* 22
2.10.5 Lentur Tanpa Patah (*Bending/Deflection Failure*) 23
2.11 Parameter Yang Diteliti 24
2.11.1 Volume Cetakan 24
2.11.2 Perhitungan Massa Serat 24
2.11.3 Perhitungan Massa Resin 24
2.11.4 Perhitungan Massa Katalis 25
2.11.5 Rasio Jarak Tumpuan (Support Span) 25
2.11.6 Kekuatan Lentur (Flexural Stress) 25
2.11.7 Regangan Lentur (*Flaxural Strain*) 26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 27
3.1 Diagram Alir 27
3.2 Variabel Penelitian 28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 28
3.3.1 Bahan Penelitian 28
3.3.2 Alat Penelitian 30
3.4 Rancangan Spesimen 32
3.5 Perhitungan Komposit 33
3.5.1 Perhitungan Volume Cetakan 33
3.5.2 Perhitungan Massa 33
3.6 Pembuatan Spesimen 34
3.7 Metodologi Pengujian Bending 36
3.7.1 Prosedur Pengujian Bending 37
BAB IV PENGOLAHAN DATA 38
4.1 Hasil Pengujian Bending 38
4.2 Validasi Patahan Spesimen 38

4.3 Perhitungan Hasil Data Pengujian 43
4.4 Hasil Perhitungan Data Pengujian Bending 43
BAB V PEMBAHASAN 45
5.1 Pengaruh Fraksi Volume Serat 45
5.2 Pengaruh Metode Pembuatan 46
5.3 Analisa *Error* Pada Spesimen 48
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 50
6.1 Kesimpulan 50
6.2 Saran 51
DAFTAR PUSTAKA 52
LAMPIRAN 55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit (Kurniawan, Hiendro dan Khairi, 2021)..... 8
Gambar 2.2 Komposit Partikel (Fucheng, 2020)..... 9
Gambar 2.3 Serat Sintetis (Widodo dan Iswanto, 2022)..... 10
Gambar 2.4 Serat Alami (Harsi, Sari dan Sinarep, 2015)..... 10
Gambar 2.5 Continous fiber composite (Widodo dan Iswanto, 2022)..... 10
Gambar 2.6 Woven fiber composite (Widodo dan Iswanto, 2022)..... 11
Gambar 2.7 Chopped fiber composite (Widodo dan Iswanto, 2022)..... 11
Gambar 2.8 Hybrid composite (Widodo dan Iswanto, 2022)..... 12
Gambar 2.9 Komposit Sandwich (Ghofur dkk., 2026)..... 12
Gambar 2.10 Komposit Laminat (Suteja dkk., 2019)..... 13
Gambar 2.11 Resin Polyester (Pencarian google)..... 17
Gambar 2.12 Uji kelenturan (ASTM, 2017)..... 19
Gambar 2.13 Kurva Tegangan-Regangan Lentur (ASTM, 2017)..... 19
Gambar 3.1 Diagram Alir..... 27
Gambar 3.2 Serat Kaca..... 28
Gambar 3.3 Resin Polyester (Pencarian Google)..... 29
Gambar 3.4 Katalis..... 29
Gambar 3. 5 Cetakan spesimen..... 30
Gambar 3.6 Timbangan digital..... 30
Gambar 3.7 Jangka sorong..... 31
Gambar 3.8 Kuas (Pencarian Google)..... 31
Gambar 3.9 Gunting..... 31
Gambar 3.10 Gelas ukur..... 32
Gambar 4.1 Hasil patahan spesimen..... 38
Gambar 5.1 Rata-rata flexural strength..... 45
Gambar 5.2 Rata-rata zone fiber strain..... 46
Gambar 5.3 Perbandingan press dan hand lay up..... 47
Gambar 5.4 Hasil data pengujian..... 48

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variabel Penelitian 28
Tabel 4.1 Validasi Metode Hand Lay Up..... 39
Tabel 4.2 Validasi Metode Press 41
Tabel 4.3 Hasil Flexural Strength..... 43
Tabel 4.4 Hasil Zone Fiber Strain 44

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi industri mendorong kebutuhan terhadap material yang memiliki kekuatan mekanik baik, ringan, tahan terhadap korosi, serta mampu digunakan pada berbagai kondisi operasional. Material konvensional seperti baja dan aluminium masih banyak digunakan dalam berbagai bidang teknik, tetapi memiliki keterbatasan berupa massa yang relatif tinggi dan ketahanan korosi yang berbeda-beda pada lingkungan tertentu. Kondisi tersebut mendorong penggunaan material komposit sebagai salah satu alternatif material teknik karena memiliki keunggulan berupa bobot yang ringan, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta fleksibilitas dalam proses pembentukan dan perancangan. Sifat tersebut menyebabkan material komposit semakin banyak dikembangkan untuk menggantikan atau mengurangi penggunaan material logam pada berbagai aplikasi teknik (Kurniawan, Hiendro dan Khairi, 2021).

Salah satu material komposit yang banyak digunakan dalam industri adalah *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), yaitu material komposit yang menggunakan serat kaca (*fiberglass*) sebagai penguat dan polimer sebagai matriks. Serat kaca memiliki kekuatan mekanik yang baik, massa jenis relatif rendah, ketahanan terhadap korosi, serta memiliki biaya yang relatif ekonomis dibandingkan beberapa jenis serat berperforma tinggi lainnya. Kombinasi antara serat kaca dan matriks polimer memungkinkan material memiliki sifat mekanik yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya. Oleh karena itu, material GFRP telah digunakan pada berbagai bidang, antara lain otomotif, konstruksi, kelautan, transportasi, dan energi (Shams, 2026). Dalam aplikasinya, penggunaan serat kaca sebagai penguat komposit juga telah berkembang pada industri otomotif. Salah satu penerapannya adalah penggunaan *glass fiber reinforcement* pada proses *Sheet Molding Compound* (SMC) untuk menghasilkan komponen struktural dan semi-struktural kendaraan. Penggunaan serat kaca pada komponen tersebut bertujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan

mekanik dan bobot material yang lebih rendah dibandingkan beberapa material konvensional. Pengurangan bobot komponen kendaraan menjadi salah satu aspek penting dalam pengembangan teknologi otomotif karena dapat mendukung efisiensi penggunaan energi dan kebutuhan *vehicle lightweighting* (Riyanto dan Arif Irfa'I, 2018).

Kinerja material komposit tidak hanya ditentukan oleh jenis serat dan matriks yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh komposisi material serta proses pembuatannya. Salah satu parameter penting dalam pembuatan komposit adalah fraksi volume serat, yaitu perbandingan volume serat terhadap volume keseluruhan komposit. Perubahan fraksi volume serat dapat memengaruhi kemampuan material dalam menerima dan meneruskan beban. Peningkatan jumlah serat pada kondisi tertentu dapat meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan beban karena serat berperan sebagai penguat utama. Namun, penggunaan serat yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan distribusi matriks menjadi kurang optimal dan berpotensi menimbulkan rongga atau ikatan antarpermukaan yang kurang baik. Penelitian mengenai komposit serat *e-glass* dan matriks polyester menunjukkan bahwa variasi fraksi volume dapat menghasilkan perbedaan kekuatan bending yang cukup signifikan (Suhot dan Chambers, 2014).

Selain fraksi volume serat, metode pembuatan komposit merupakan faktor penting yang dapat memengaruhi sifat mekanik material. Proses manufaktur menentukan distribusi serat, jumlah matriks, tingkat pemadatan, serta kemungkinan terbentuknya rongga (void) di dalam material. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam pembuatan komposit adalah hand lay-up karena prosesnya relatif sederhana dan tidak memerlukan peralatan yang kompleks. Selain hand lay-up, metode press molding dapat digunakan untuk memberikan tekanan pada material selama proses pembentukan sehingga susunan serat dan matriks menjadi lebih padat. Penelitian (Riyanto dan Arif Irfa'I, 2018), menunjukkan penggunaan metode hand lay-up dan press mold dalam pembuatan komposit serat *e-glass* dan polyester, sehingga metode pembuatan menjadi salah satu variabel penting dalam menghasilkan karakteristik mekanik komposit.

Kualitas ikatan antara serat dan matriks juga memiliki peranan penting terhadap kekuatan bending. Ketika komposit menerima pembebanan lentur, beban akan ditransfer dari matriks menuju serat melalui daerah antarmuka (*interface*). Ikatan antarmuka yang baik memungkinkan transfer beban berlangsung secara efektif sehingga serat dapat menjalankan fungsinya sebagai penguat. Sebaliknya, ikatan yang kurang baik dapat menyebabkan terjadinya *fiber pull-out*, retak pada matriks (*matrix cracking*), serta pemisahan antara serat dan matriks (*debonding*). Kondisi tersebut dapat menurunkan kemampuan material dalam menerima beban bending.

Sifat mekanik komposit juga dapat dipengaruhi oleh orientasi dan distribusi serat. Serat yang terdistribusi secara merata di dalam matriks akan membantu menghasilkan material dengan sifat mekanik yang lebih seragam. Sebaliknya, distribusi serat yang tidak merata dapat menyebabkan konsentrasi tegangan pada daerah tertentu dan memicu terjadinya kegagalan lebih awal. Penelitian mengenai komposit hybrid dengan penguat serat *e-glass* menunjukkan bahwa perubahan fraksi volume dan orientasi serat dapat memberikan pengaruh terhadap kekuatan bending material (Gundara dan Rahman, 2019). Salah satu sifat mekanik yang penting untuk diketahui dalam penggunaan material komposit adalah kemampuan material dalam menerima beban lentur (bending). Pengujian bending digunakan untuk mengetahui kemampuan spesimen dalam menahan pembebanan lentur hingga mengalami deformasi atau patah. Pengujian ini penting karena banyak komponen teknik mengalami pembebanan lentur selama penggunaannya. Pengujian bending pada material komposit umumnya dapat dilakukan menggunakan metode *three-point* bending dengan mengacu pada standar ASTM D790.

Berdasarkan penelitian terdahulu, variasi fraksi volume dapat memberikan pengaruh terhadap sifat bending komposit. Sebagai contoh, penelitian (Riyanto dan Arif Irfa'I, 2018), mengenai komposit hybrid dengan penguat serat bambu acak dan e-glass anyam bermatriks polyester menggunakan variasi fraksi volume 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan bending tidak selalu meningkat secara linear seiring bertambahnya fraksi volume serat, sehingga

diperlukan komposisi serat dan matriks yang sesuai untuk memperoleh sifat mekanik yang optimal. Hal tersebut menunjukkan bahwa penentuan fraksi volume merupakan aspek penting dalam penelitian material komposit.

Selain itu, penelitian mengenai komposit polyester dengan variasi fraksi volume menunjukkan bahwa perubahan jumlah serat dapat menghasilkan perubahan nilai kekuatan bending. Penelitian Gundara dan Rahman mengenai komposit serat sabut kelapa-polyester menggunakan variasi fraksi volume dan pengujian bending berdasarkan ASTM D790 juga menunjukkan bahwa variasi komposisi serat merupakan salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam menentukan karakteristik mekanik komposit (Gundara dan Rahman, 2019).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diketahui bahwa fraksi volume *fiberglass* dan metode pembuatan merupakan dua faktor yang penting dalam menentukan kekuatan bending material komposit bermatriks polyester. Perbedaan fraksi volume dapat memengaruhi jumlah penguat yang tersedia untuk menerima beban, sedangkan metode pembuatan dapat memengaruhi distribusi serat, kandungan matriks, kepadatan material, dan kemungkinan terbentuknya void. Interaksi antara kedua faktor tersebut dapat menghasilkan karakteristik bending yang berbeda pada material komposit.

Oleh karena itu, penelitian dengan judul "Analisa Kekuatan Bending pada Material Komposit *Fiberglass* dengan Variasi Fraksi Volume dan Metode Pembuatan" penting dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume fiberglass dan metode pembuatan terhadap kekuatan bending komposit bermatriks polyester. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai hubungan antara komposisi serat, metode manufaktur, dan kemampuan material dalam menerima beban lentur. Hasil penelitian juga diharapkan dapat menjadi referensi dalam menentukan komposisi dan metode pembuatan yang sesuai untuk menghasilkan material komposit *fiberglass* dengan sifat mekanik yang baik, ringan, serta dapat digunakan sebagai alternatif material untuk berbagai kebutuhan teknik dan industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume serat kaca (*fiberglass*) terhadap kekuatan bending komposit dengan matriks resin polyester?
2. Berapa nilai *flexural strength* dan *flexural strain* yang dihasilkan dari pengujian bending pada komposit *fiberglass*?
3. Fraksi volume serat manakah yang menghasilkan kekuatan bending terbaik pada komposit *fiberglass*?
4. Metode pembuatan manakah yang menghasilkan kekuatan bending terbaik pada komposit *fiberglass*?

1.3 Batasan Masalah

1. Material yang digunakan adalah komposit serat kaca (*fiberglass*) matriks resin *polyester*.
2. Penelitian hanya menganalisis sifat mekanik kekuatan bending (lentur).
3. Pengujian menggunakan metode *three-point* bending sesuai standar ASTM Internasional D790.
4. Variasi penelitian meliputi dari metode pembuatan dan fraksi volume serat.
5. Spesimen uji dibuat dalam bentuk sampel standar laboratorium.
6. Analisis hanya berfokus pada nilai tegangan lentur, regangan lentur.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat kaca (*fiberglass*) terhadap kekuatan bending komposit dengan matriks resin polyester.
2. Menentukan nilai *flexural strength* dan *flexural strain* komposit *fiberglass* berdasarkan hasil pengujian bending.
3. Menentukan fraksi volume serat yang menghasilkan kekuatan bending terbaik pada komposit *fiberglass*.

4. Menentukan metode pembuatan yang menghasilkan kekuatan bending terbaik pada komposit *fiberglass*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan kontribusi teoritis dengan memperdalam pemahaman tentang sifat mekanik komposit laminat serat kaca (*fiberglass*).
2. Berfungsi sebagai referensi bagi komunitas akademik dan peneliti bahan komposit untuk inovasi material
3. Berkontribusi pada pengembangan teknologi bahan yang efisien dan ramah lingkungan, yang dapat diterapkan di sektor lain seperti otomotif atau konstruksi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

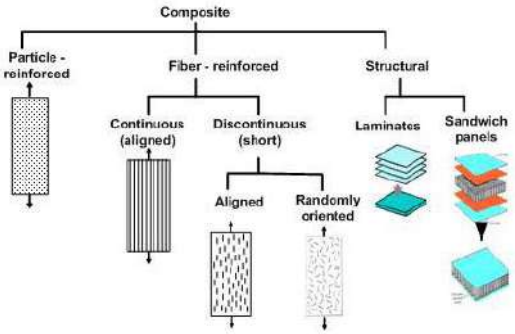
Komposit adalah salah satu jenis material yang ada saat ini di samping material lainnya seperti logam, polimer dan keramik. Material komposit adalah material multifase yaitu suatu material campuran yang terbuat dari dua atau lebih jenis material, dengan pencampurannya tidak terjadi reaksi secara kimia. Sifat material komposit merupakan paduan dari sifat-sifat material penyusunnya, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*) atau pengisi (*filler*) dimana keduanya memiliki sifat yang berbeda. Matriks berfungsi sebagai pengikat dan pelindung material penguat, sedangkan penguat berfungsi untuk memberikan kontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik material. Ketentuan untuk material penguat harus dapat menunjang atau memperbaiki sifat-sifat matriks dalam membentuk material komposit. Dengan adanya kombinasi antara matriks dan penguat tersebut, material komposit dapat memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan material penyusunnya secara terpisah. Sifat material komposit secara umum memiliki ikatan yang bervariasi dengan struktur mikro berupa matriks dan penguat (Tjahjanti, 2018).

Salah satu keunggulan utama komposit dibandingkan material konvensional adalah kemampuannya untuk memberikan kombinasi sifat yang optimal, seperti bobot yang lebih ringan, kekuatan yang tinggi, ketahanan korosi, serta ketahanan aus yang baik. Selain itu, variasi bentuk, ukuran, dan interaksi antarpenyusunnya juga sangat memengaruhi karakteristik akhir material. Pemilihan jenis matriks dan penguat yang tepat dapat menghasilkan material dengan sifat yang disesuaikan terhadap kebutuhan penggunaannya. Interaksi antara matriks dan penguat juga berperan dalam proses penerimaan dan penerusan beban pada material, sehingga kualitas ikatan antara kedua komponen tersebut menjadi salah satu faktor yang menentukan karakteristik komposit. Oleh karena itu, material komposit banyak digunakan dalam berbagai bidang teknik yang membutuhkan kombinasi antara kekuatan, ketahanan, dan efisiensi massa (Widodo dan Iswanto, 2022).

Karakteristik material komposit juga dipengaruhi oleh jenis, bentuk, dan distribusi material penyusunnya. Penguat dapat berbentuk serat maupun partikel, sedangkan matriks berfungsi sebagai pengikat yang menjaga posisi penguat dan membantu meneruskan beban yang diterima material. Interaksi antara matriks dan penguat menjadi salah satu faktor penting karena kualitas ikatan di antara keduanya dapat memengaruhi kemampuan komposit dalam menerima pembebanan. Distribusi penguat yang merata diperlukan agar sifat material yang dihasilkan lebih seragam, sedangkan distribusi yang tidak merata dapat menyebabkan konsentrasi tegangan pada bagian tertentu. Selain itu, keberadaan cacat seperti void atau rongga di dalam material dapat memengaruhi kualitas dan sifat mekanik komposit. Oleh karena itu, pemilihan material penyusun serta pengaturan struktur dan distribusi penguat merupakan bagian penting dalam menghasilkan material komposit yang memiliki karakteristik sesuai dengan kebutuhan aplikasinya (Gundara dan Rahman, 2019).

2.2 Jenis dan Klasifikasi Komposit

Material komposit terdiri dari unsur-unsur penyusun dan komponen dapat berupa unsur organik, anorganik ataupun metalik dalam bentuk serat, partikel serbuk dan lapisan. Secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu:

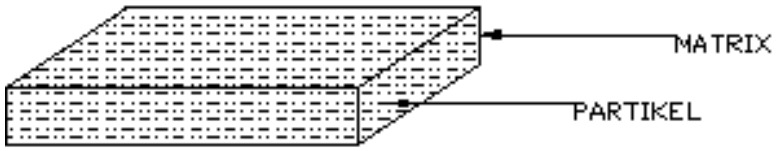


Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit (Kurniawan, Hiendro dan Khairi, 2021)

2.2.1 Komposit Partikel (*Particle Composite*)

Komposit partikel adalah material yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguat yang tersebar merata dalam matriks, seperti beton yang tersusun dari pasir dan batu yang diikat semen. Proses pembuatannya

melibatkan pencampuran partikel dengan matriks serta perlakuan seperti panas atau tekanan untuk memperkuat ikatan; berbeda dengan komposit serat, jenis ini bersifat isotropis dengan sifat mekanik relatif seragam ke segala arah, dan kekuatannya ditentukan oleh kualitas adhesi antara partikel dan matriks (Andaru, 2017). Berdasarkan jenisnya, serat penguat untuk komposit dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:



Gambar 2.2 Komposit Partikel (Fucheng, 2020)

2.2.2 Komposit Serat (*Fiber Composite*)

Komposit serat adalah salah satu jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat dan matriks sebagai bahan pengikat. Material ini umumnya tersusun atas satu lapisan atau lebih yang diperkuat oleh serat seperti serat gelas, serat karbon, serat aramid, dan jenis serat lainnya. Serat tersebut dapat disusun secara acak, sejajar, maupun dalam bentuk anyaman yang lebih kompleks sesuai kebutuhan penggunaan (Widodo dan Iswanto, 2022).

Untuk memperoleh kekuatan yang optimal, serat penguat harus memiliki rasio aspek yang tinggi, yaitu perbandingan panjang terhadap diameter yang besar. Hal ini penting agar beban dapat ditransfer dengan baik dari matriks ke serat sebelum terjadi kegagalan. Kekuatan komposit sangat dipengaruhi oleh jenis serat yang digunakan, karena matriks yang menerima beban terlebih dahulu akan meneruskannya ke serat, kemudian serat menahan beban hingga mencapai batas maksimum (Widodo dan Iswanto, 2022).

Berdasarkan jenisnya, serat penguat untuk komposit dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

a. Serat buatan (*Sintetic fiber*), merupakan serat penguat untuk bahan komposit yang dibuat dari bahan-bahan kimia. Contohnya: serat gelas

(*fiber glass*), serat optik (*fiber optic*), serat poliester (*polyester fiber*) dan lain-lain (Feriyanto dkk., 2022).



Gambar 2.3 Serat Sintetis (Widodo dan Iswanto, 2022)

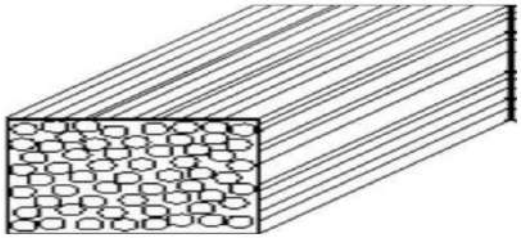
b. Serat alami (*Natural fiber*), merupakan serat penguat untuk bahan komposit yang merupakan serat alami dari hasil alam. Serat alami dapat berasal dari hewani walaupun pada umumnya kebanyakan berasal dari tumbuh-tumbuhan (Siagian dan Putra, 2024). Contoh: bulu domba (hewani), serat bambu dan serat pisang (tumbuhan) dan lain-lain.



Gambar 2.4 Serat Alami (Harsi, Sari dan Sinarep, 2015)

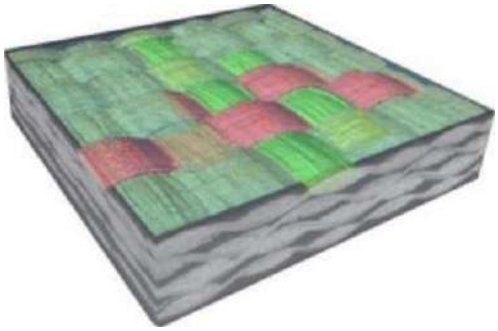
Penempatan serat dan arah serat yang tepat pada posisinya akan menjadikan komposit dapat menahan beban lebih baik. Serat dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu:

a. *Continous fiber composite*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya dan mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan (Matsuzaki dkk., 2016).



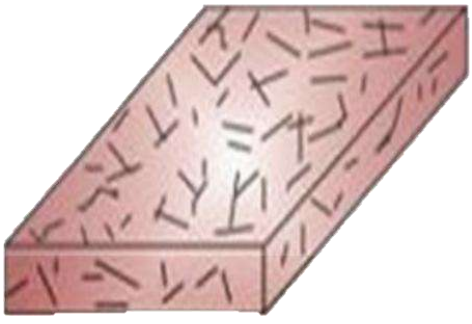
Gambar 2.5 *Continous fiber composite* (Widodo dan Iswanto, 2022)

b. *Woven fiber composite,* tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Susunan serat memanjanganya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah (komposit yang diperkuat dengan serat anyaman) (Rajesh dan Pitchaimani, 2017).



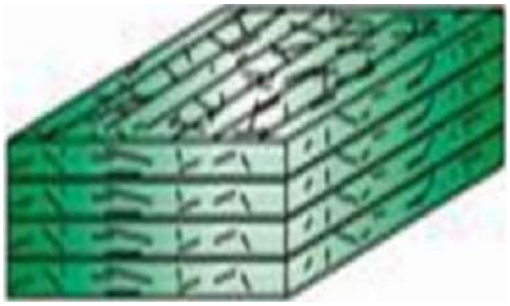
Gambar 2.6 *Woven fiber composite* (Widodo dan Iswanto, 2022)

c. *Chopped fiber composite* merupakan jenis material komposit yang menggunakan serat pendek yang telah dipotong dengan panjang tertentu sebagai material penguat dan dicampurkan ke dalam matriks polimer. Serat pada komposit ini umumnya memiliki orientasi acak, sehingga sifat mekaniknya relatif seragam pada berbagai arah. *Chopped fiber composite* banyak digunakan karena proses pembuatannya relatif sederhana dan dapat menghasilkan bentuk produk yang kompleks.



Gambar 2.7 *Chopped fiber composite* (Widodo dan Iswanto, 2022)

d. *Hybrid fiber composite,* merupakan komposit gabungan antara serat lurus dengan serat acak. Tipe ini dugunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat-sifat kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihannya (Feriyanto dkk., 2022).

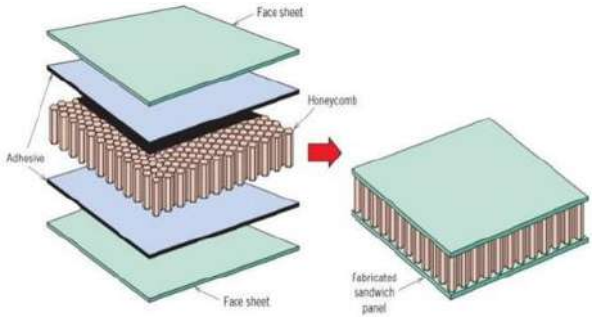


Gambar 2.8 *Hybrid composite* (Widodo dan Iswanto, 2022)

2.2.3 Sturktural Komposit (*Structute Composite*)

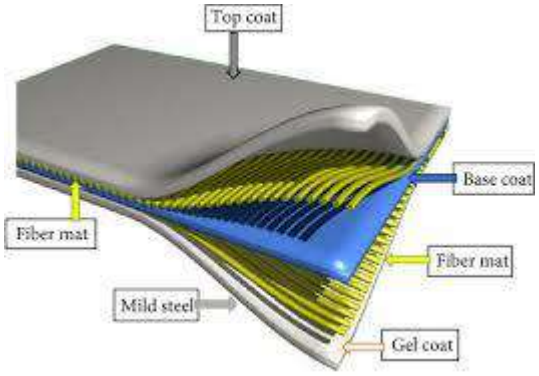
Komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih material yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat tersendiri.

1. Komposit sandwich, merupakan material tiga lapis yang terdiri dari dua lapisan luar (*skin*) yang kuat dan inti (*core*) ringan di bagian tengah. Struktur ini dirancang agar ringan namun memiliki kekuatan dan kekakuan lentur tinggi, di mana skin menahan gaya tarik dan tekan, sedangkan core meningkatkan momen inersia dengan memperbesar jarak antar lapisan (Ghofur dkk., 2026).



Gambar 2.9 Komposit Sandwich (Ghofur dkk., 2026)

2. Komposit Laminat (*Laminate Composite),* Komposit Laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus. Komposit laminat ini terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat hybrid (Suteja dkk., 2019).



Gambar 2.10 Komposit Laminat (Suteja dkk., 2019)

2.3 Void Pada Material Komposit

Void merupakan rongga atau ruang kosong yang terbentuk di dalam material komposit dan umumnya berasal dari udara atau gas yang terperangkap selama proses manufaktur. Pembentukan void dapat terjadi akibat proses impregnasi resin yang kurang sempurna, distribusi resin yang tidak merata, udara yang terperangkap di antara serat dan matriks, maupun proses pemadatan yang kurang optimal. Jumlah dan distribusi void pada material komposit sangat berkaitan dengan kondisi serta parameter proses manufaktur. Oleh karena itu, pengendalian proses manufaktur menjadi salah satu faktor penting untuk memperoleh komposit dengan tingkat porositas yang rendah dan kualitas struktur yang baik. Penelitian mengenai komposit serat kaca dan polypropylene menunjukkan bahwa perubahan kondisi proses pemadatan dapat menghasilkan variasi kandungan void pada material yang dihasilkan.

Keberadaan void dapat memengaruhi sifat mekanik material komposit karena rongga tersebut mengurangi luas penampang efektif dan dapat mengganggu proses transfer beban antara serat dan matriks. Void juga dapat menjadi lokasi awal terjadinya konsentrasi tegangan yang selanjutnya dapat memicu kerusakan pada matriks maupun daerah antarmuka serat dan matriks. Penelitian (Hagstrand, Bonjour dan Månson, 2005). menunjukkan bahwa pada komposit *unidirectional glass fibre reinforced polypropylene*, peningkatan kandungan void memberikan pengaruh negatif terhadap flexural modulus dan flexural strength, dengan penurunan sekitar 1,5% untuk setiap peningkatan 1% kandungan void. Sementara

itu pada penelitian (Suhot dan Chambers, 2014), komposit carbon/epoxy melaporkan bahwa peningkatan kandungan void sebesar 2% menyebabkan penurunan *flexural strength* sebesar 12,7%. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa void dapat memengaruhi proses inisiasi dan perkembangan delamination pada saat material menerima pembebanan lentur.

Dalam penelitian ini, void menjadi salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam menjelaskan perbedaan nilai flexural strength antara spesimen yang dibuat menggunakan metode Hand Lay-Up dan Press. Perbedaan proses pemberian tekanan dan pemadatan pada kedua metode tersebut dapat menghasilkan tingkat porositas yang berbeda pada spesimen. Spesimen dengan jumlah void yang lebih tinggi berpotensi memiliki kemampuan transfer beban yang lebih rendah antara matriks dan serat sehingga dapat memengaruhi kemampuan material dalam menerima beban bending. Dengan demikian, keberadaan dan pengendalian void perlu diperhatikan dalam proses pembuatan komposit fiberglass bermatriks polyester agar diperoleh spesimen dengan kualitas struktur dan sifat mekanik yang baik.

2.4 Serat Penguat Komposit

Secara umum, serat penguat dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber materialnya menjadi serat alam dan sintetis. Serat organik berasal dari sumber alami, terutama tumbuhan, sedangkan serat anorganik dibuat melalui proses industri dan memiliki karakteristik yang lebih terkontrol. Perbedaan karakteristik tersebut menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan serat untuk menghasilkan komposit sesuai dengan kebutuhan aplikasi (Nasution dkk., 2023)

- Serat organik/alam, yaitu serat yang berasal dari sumber terbarukan seperti jute, kenaf, sisal, rami, bambu, dan serat alami lainnya. Serat ini memiliki keunggulan berupa bobot ringan, harga relatif rendah, dan potensi lebih ramah lingkungan (Patel, Kravchenko dan Manas-Zloczower, 2018).
- Serat anorganik/sintetis, yaitu serat yang dihasilkan melalui proses industri, seperti serat kaca, serat karbon, serat aramid, dan serat basalt. Kelompok ini

umumnya memiliki sifat mekanik yang lebih konsisten dan ketahanan lingkungan yang lebih baik (Harsi, Sari dan Sinarep, 2015).

Dengan demikian, klasifikasi serat penguat tidak hanya berdasarkan sumber material, tetapi juga dapat mempertimbangkan jenis serat dan konfigurasi penyusunannya. Pemahaman terhadap klasifikasi tersebut menjadi dasar dalam menentukan jenis serat yang paling sesuai dengan matriks, metode manufaktur, serta karakteristik mekanik yang ingin dicapai dalam penelitian.

2.5 Serat Kaca (*Fiberglass*)

Pada penelitian ini menggunakan Serat kaca (*fiberglass*) yang merupakan salah satu jenis serat kaca yang paling umum digunakan sebagai penguat komposit. Serat kaca memiliki kekuatan tarik yang baik, modulus elastisitas yang cukup tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta sifat isolasi listrik yang baik. Selain memiliki karakteristik mekanik yang mendukung penguatan komposit, *fiberglass* juga relatif mudah diproses dan memiliki harga yang lebih ekonomis dibandingkan serat berperforma tinggi seperti karbon dan aramid. Oleh karena itu, *fiberglass* banyak digunakan pada komposit berbasis polimer untuk berbagai aplikasi, termasuk otomotif, konstruksi, kelautan, dan komponen teknik (Hussain dkk., 2026).

Fiberglass memiliki komposisi utama silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan kalsium oksida (CaO). Karakteristik mekaniknya antara lain:

- Kekuatan mekanik yang tinggi
- Modulus elastisitas sekitar 70–76 GPa
- Densitas sekitar 2,5 g/cm³
- Tahan terhadap kelembaban dan korosi
- Biaya relatif ekonomis dan mudah diperoleh

Dibandingkan serat karbon dan aramid yang memiliki performa mekanik lebih tinggi pada kondisi tertentu, *fiberglass* menawarkan keseimbangan antara performa dan biaya yang lebih sesuai dengan tujuan penelitian. Sementara itu, dibandingkan serat alam, *fiberglass* memiliki keunggulan dalam hal konsistensi

sifat, ketahanan terhadap kelembapan, dan stabilitas lingkungan (Kumar dkk., 2024).

Oleh karena itu, *fiberglass* dipilih sebagai material penguat karena dinilai paling sesuai untuk menghasilkan komposit polyester yang memiliki kekuatan bending yang baik, proses manufaktur sederhana, dan potensi penerapan industri yang ekonomis.

2.6 Perbandingan Serat

Pemilihan serat penguat dalam material komposit perlu mempertimbangkan kekuatan mekanik, massa jenis, biaya, ketahanan terhadap lingkungan, dan kemudahan proses manufaktur. Setiap jenis serat memiliki karakteristik yang berbeda sehingga tidak terdapat satu jenis serat yang unggul dalam seluruh aspek (Palanisamy, 2024). Perbandingan tersebut menjadi dasar untuk menentukan serat yang paling sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Beberapa perbandingan serat penguat yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

- Serat kaca memiliki kekuatan mekanik yang baik, tahan korosi dan kelembapan, mudah diperoleh, serta memiliki biaya yang relatif ekonomis. Kekurangannya adalah modulus elastisitasnya masih lebih rendah dibandingkan serat karbon.
- Serat karbon memiliki kekuatan dan kekakuan yang sangat tinggi serta bobot yang ringan. Namun, harganya relatif mahal dan sifatnya cenderung lebih getas sehingga penggunaannya lebih banyak pada aplikasi yang membutuhkan performa tinggi.
- Serat aramid memiliki bobot ringan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap benturan yang baik. Kekurangannya adalah kemampuan menahan beban tekan relatif rendah serta proses pengolahannya lebih sulit.
- Serat basalt memiliki kekuatan yang baik serta ketahanan terhadap panas dan bahan kimia. Namun, ketersediaan dan penggunaannya dalam industri komposit masih belum seluas serat kaca.
- Serat alam seperti jute, kenaf, sisal, rami, dan bambu memiliki keunggulan berupa bobot ringan, sumber terbarukan, dan potensi ramah lingkungan.

Kekurangannya adalah mudah menyerap kelembapan, sifat mekaniknya lebih bervariasi, dan ketahanan terhadap temperatur relatif lebih rendah.

2.7 Matriks

Penelitian ini menggunakan resin *polyester* laminating sebagai matriks komposit karena memiliki kekuatan mekanik tinggi, daya rekat yang baik terhadap serat kaca, serta stabilitas dimensi dan ketahanan kimia yang baik. *Polyester* berfungsi mengikat serat membentuk struktur laminasi yang mampu menahan beban lentur sesuai pengujian ASTM D790 (Shams, 2026).



Gambar 2.11 Resin Polyester (Pencarian google)

Secara kimia, polyester mengalami proses curing setelah dicampur hardener dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi yang menghasilkan material padat dan kaku; tingkat ikatan silang memengaruhi kekuatan dan kekakuan, namun dapat meningkatkan sifat getas jika terlalu tinggi. Selain itu, polyester menyalurkan tegangan ke serat saat pembebanan, sehingga kualitas ikatan antarmuka penting untuk mencegah delaminasi. Karakteristik penyusutan rendah, ketahanan lelah yang baik (Widodo dan Iswanto, 2022).

2.8 Pengujian Bending

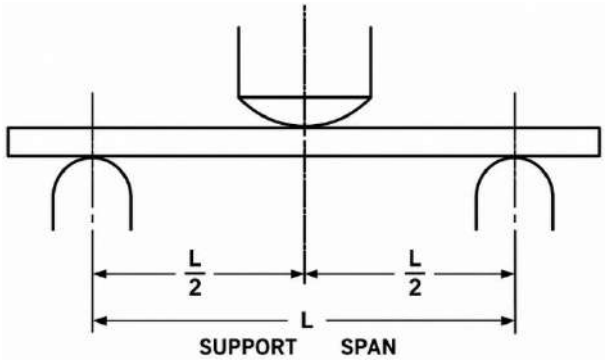
Pengujian bending merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang digunakan untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menerima dan menahan beban lentur. Pada pengujian ini, spesimen diberikan pembebanan secara bertahap hingga mengalami deformasi atau mencapai kondisi kegagalan. Pembebanan lentur menyebabkan spesimen mengalami tegangan tarik pada salah satu sisi dan tegangan tekan pada sisi lainnya. Kemampuan material dalam

menahan pembebanan tersebut dapat digunakan untuk mengetahui sifat mekanik material terhadap beban lentur (Harsi, Sari dan Sinarep, 2015). Pada material komposit, pengujian bending digunakan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban lentur serta mengevaluasi pengaruh matriks, serat penguat, fraksi volume serat, dan proses pembuatan terhadap sifat mekaniknya. Hasil pengujian dapat digunakan untuk menentukan beberapa parameter, antara lain kekuatan lentur (*flexural strength*), regangan lentur (*flexural strain*), dan modulus lentur (*flexural modulus*) (Harsi, Sari dan Sinarep, 2015).

Salah satu metode pengujian bending yang umum digunakan pada material polimer dan komposit adalah metode *three-point bending*. Pada metode ini, spesimen diletakkan pada dua tumpuan dengan jarak tertentu dan diberikan beban terpusat pada bagian tengah spesimen. Ketika beban diberikan, spesimen mengalami deformasi akibat momen lentur yang bekerja. Beban terus diberikan hingga mencapai beban maksimum atau terjadi kegagalan pada spesimen (Harsi, Sari dan Sinarep, 2015).

2.9 ASTM D790

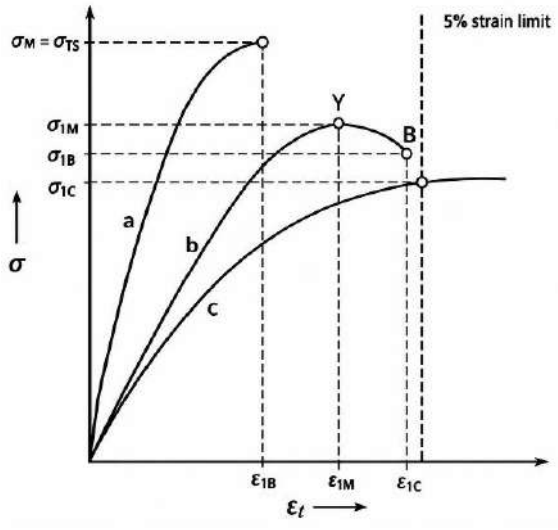
ASTM D790 merupakan standar pengujian yang digunakan untuk menentukan sifat lentur atau *flexural properties* pada material plastik tidak diperkuat maupun diperkuat, termasuk material komposit. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban lentur pada spesimen secara bertahap hingga mencapai kondisi deformasi tertentu atau mengalami kegagalan. Hasil pengujian dapat digunakan untuk menentukan sifat mekanik seperti tegangan lentur (*flexural stress*), regangan lentur (*flexural strain*), dan modulus lentur (*flexural modulus*) (ASTM, 2017).



Gambar 2.12 Uji kelenturan (ASTM, 2017)

Menurut ASTM D790, spesimen berbentuk penampang persegi panjang diletakkan pada dua tumpuan dalam posisi mendatar dan diberi beban menggunakan loading nose yang berada di tengah-tengah jarak tumpuan. Untuk kondisi umum digunakan perbandingan jarak tumpuan terhadap ketebalan spesimen (*support span-to-depth ratio*) sebesar 16:1, sedangkan untuk material laminat tertentu pemilihan rasio dapat disesuaikan dengan karakteristik material. Spesimen dibebani sampai terjadi kerusakan pada permukaan luar atau sampai regangan maksimum 5,0% tercapai, mana yang lebih dahulu terjadi (ASTM, 2017).

Sifat lentur yang diperoleh dari ASTM D790 terutama digunakan untuk pengendalian mutu dan penentuan spesifikasi material. Gambar 2.13 menampilkan tiga jenis bentuk kurva hubungan tegangan-regangan lentur berdasarkan perilaku material saat diuji hingga batas regangan 5%.



Gambar 2.13 Kurva Tegangan-Regangan Lentur (ASTM, 2017)

- Kurva a material getas (*brittle*)

  Kurva ini mewakili material yang getas (*brittle*). Tegangan terus meningkat secara linier seiring bertambahnya regangan hingga mencapai titik tertinggi (σ_{fM}) lalu spesimen langsung patah mendadak di titik B (σ_{fB}) sebelum sempat mengalami pelelehan (*yielding*). Pada kondisi ini, kekuatan lentur maksimum sama dengan tegangan saat patah ($\sigma_{fM} = \sigma_{fB}$).

- Kurva b material dutil (*ductile*)

  Kurva ini mewakili material yang dutil (*ductile*). Material terlebih dahulu mengalami pelelehan pada titik leleh Y (*yield point*), di mana tegangan mencapai puncaknya (σ_{fM}) Setelah melewati titik leleh, tegangan mulai menurun seiring bertambahnya deformasi hingga spesimen akhirnya patah di titik B (σ_{fB}) sebelum menyentuh batas regangan 5% ($\varepsilon_B < 5\%$).

- Kurva c material ulet (*tough/flexibel*)

  Kurva ini mewakili material yang sangat fleksibel atau ulet. Material tidak mengalami pelelehan (*no yield*) dan tidak patah sama sekali hingga pengujian dihentikan pada batas regangan maksimum 5% ($\varepsilon_F = 5\%$). Nilai kekuatan lentur (σ_{fM}) untuk jenis material ini diambil tepat pada titik tegangan di batas regangan 5% tersebut (σ_{fC}).

Tegangan lentur merupakan tegangan pada serat terluar spesimen yang mengalami pembebanan lentur, sedangkan *flexural strength* merupakan tegangan lentur maksimum yang dapat ditahan spesimen selama pengujian. Untuk material yang mengalami titik luluh sebelum patah, kekuatan lentur dapat ditentukan berdasarkan titik luluh tersebut.

ASTM D790 juga mendefinisikan *flexural strain* sebagai perubahan panjang relatif pada permukaan luar spesimen di daerah tengah bentang, tempat regangan maksimum terjadi. Selain itu, sifat yang dapat ditentukan meliputi *modulus elastisitas tangen*, *modulus sekan*, dan *modulus kord*. Nilai sifat lentur dapat dipengaruhi oleh ketebalan spesimen, temperatur, kondisi atmosfer, dan laju regangan. Apabila terdapat spesifikasi ASTM khusus untuk material yang diuji, ketentuan dalam spesifikasi material tersebut harus didahulukan (ASTM, 2017).

2.10 Jenis Patahan

Pada pengujian bending, material komposit serat *fiberglass* dapat mengalami beberapa bentuk kegagalan akibat adanya tegangan tarik, tekan, dan geser yang bekerja secara bersamaan. Bentuk patahan yang terjadi dipengaruhi oleh fraksi volume serat, kualitas ikatan antara serat dan matriks, distribusi serat, keberadaan *void*, serta proses pembuatan spesimen. Pengamatan terhadap permukaan patahan dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme kerusakan yang terjadi pada material komposit (Kumar dkk., 2024).

2.10.1 Patah Total (*Complete Fracture*)

Patah total merupakan kondisi ketika spesimen komposit mengalami kerusakan hingga terpisah menjadi dua bagian atau lebih. Pada kondisi ini, serat penguat dan matriks mengalami kerusakan secara menyeluruh pada daerah patahan. Permukaan patahan biasanya menunjukkan serat fiberglass yang terputus, tercabut, atau tertarik keluar dari matriks.

Patah total umumnya terjadi ketika tegangan yang diterima spesimen telah melebihi kemampuan material dalam menahan beban lentur. Apabila ikatan antara serat dan matriks cukup baik, serat dapat mengalami putus setelah menerima beban yang besar. Sebaliknya, apabila ikatan antarmuka kurang baik, serat dapat terlebih dahulu mengalami *pull-out* sebelum terjadi patah total. (Zheng dkk., 2019)

Ciri visual:

- Spesimen terpisah menjadi dua bagian.
- Serat fiberglass terlihat putus pada daerah patahan.
- Matriks resin mengalami retak atau pecah.
- Permukaan patahan terlihat kasar dan tidak rata.

2.10.2 Patah Sebagian atau Retak (*Partial Fracture/Cracking*)

Patah sebagian terjadi ketika retakan telah berkembang pada spesimen, tetapi spesimen belum terpisah sepenuhnya. Retakan biasanya dimulai pada daerah yang menerima tegangan tarik terbesar, kemudian berkembang menuju bagian dalam spesimen (Suhot dan Chambers, 2014).

Pada pengujian bending tiga titik, daerah bagian bawah spesimen umumnya mengalami tegangan tarik, sehingga retakan dapat dimulai dari bagian tersebut. Retakan kemudian dapat merambat menuju bagian atas akibat peningkatan beban. Kondisi ini menunjukkan bahwa material telah mengalami kerusakan, tetapi masih terdapat serat atau bagian matriks yang mempertahankan kontinuitas spesimen.

Ciri visual:

- Terdapat retakan yang jelas.
- Spesimen belum terpisah menjadi dua.
- Sebagian serat masih menyambungkan kedua bagian spesimen.
- Retakan dapat berkembang dari permukaan bawah menuju bagian atas.

2.10.3 Delaminasi (*Delamination Failure*)

Delaminasi merupakan kegagalan yang terjadi akibat terlepasnya ikatan antara lapisan-lapisan material komposit. Kegagalan ini banyak dipengaruhi oleh kualitas ikatan antara serat dan matriks serta proses laminasi pada saat pembuatan spesimen (Suhot dan Chambers, 2014).

Pada kondisi delaminasi, spesimen dapat mengalami pembengkokan dan pemisahan lapisan tanpa seluruh serat mengalami putus. Permukaan spesimen dapat memperlihatkan lapisan yang terbuka atau terpisah. Delaminasi dapat menjadi tahap awal sebelum terjadi patah yang lebih parah.

Ciri visual:

- Lapisan komposit terlihat terpisah.
- Serat dapat masih terlihat memanjang dan tidak seluruhnya putus.
- Terdapat celah di antara lapisan.
- Patahan tidak selalu menyebabkan spesimen langsung terpisah menjadi dua bagian.

2.10.4 *Fiber Pull-Out*

Fiber pull-out merupakan mekanisme kegagalan ketika serat tertarik keluar dari matriks resin tanpa mengalami putus secara langsung. Kondisi

ini menunjukkan bahwa ikatan antara serat dan matriks tidak cukup kuat untuk menahan gaya yang bekerja (Suhot dan Chambers, 2014).

Pada permukaan patahan, serat dapat terlihat menonjol keluar dari permukaan matriks. Semakin banyak serat yang tercabut, semakin besar kemungkinan terjadi kehilangan transfer beban antara matriks dan serat. Hal tersebut dapat menurunkan kemampuan komposit dalam menerima beban bending.

Ciri visual:

- Serat terlihat keluar atau menonjol dari permukaan patahan.
- Serat relatif masih utuh.
- Terdapat lubang atau bekas tempat serat tercabut dari resin.
- Menunjukkan kegagalan ikatan antara serat dan matriks.

2.10.5 Lentur Tanpa Patah (*Bending/Deflection Failure*)

Lentur tanpa patah merupakan kondisi ketika spesimen mengalami deformasi akibat pembebanan, tetapi belum mengalami pemisahan atau kerusakan yang signifikan. Spesimen hanya mengalami defleksi akibat gaya yang diberikan (Suhot dan Chambers, 2014).

Kondisi ini berbeda dengan patah total karena tidak terdapat bidang patahan yang memisahkan spesimen. Apabila beban masih berada dalam kemampuan elastis material, spesimen dapat kembali mendekati bentuk awal setelah beban dilepaskan. Namun, apabila deformasi telah melewati batas elastis, dapat terjadi deformasi permanen.

Ciri visual:

1. Spesimen masih utuh.
2. Tidak terdapat permukaan patahan.
3. Spesimen mengalami pembengkokan/defleksi.
4. Serat masih berada dalam kondisi relatif kontinu.

2.11 Parameter Yang Diteliti

2.11.1 Volume Cetakan

Perhitungan volume cetakan dilakukan untuk menentukan jumlah material komposit yang dibutuhkan pada proses pembuatan spesimen.

$$V = p\ x\ l\ x\ t \quad (1)$$

Keterangan:

- V: Volume cetakan (cm^3)
- P: Panjang cetakan (mm)
- l: Lebar cetakan (mm)
- t: Tebal cetakan (mm)

(Kurniawan, Hiendro dan Khairi, 2021)

2.11.2 Perhitungan Massa Serat

Massa serat dihitung berdasarkan fraksi volume serat yang digunakan pada setiap variasi spesimen.

$$m_f = V\ x\ V_f\ x\ p_f \quad (2)$$

Keterangan:

- m_f : Massa serat (gram)
- V : Volume cetakan (cm^3)
- V_f: Fraksi volume serat (%)
- p_f: Massa jenis fiberglass (2,55 g/cm^3)

(Kurniawan, Hiendro dan Khairi, 2021)

2.11.3 Perhitungan Massa Resin

Massa resin dihitung berdasarkan fraksi volume matriks, persamaan:

$$m_m = V\ x\ V_m\ x\ p_m \quad (3)$$

Keterangan:

- m_m : Massa resin (gram)
- V : Volume cetakan (cm^3)
- V_m : Fraksi volume resin (%)
- p_m : Massa jenis resin (g/mm^3)

2.11.4 Perhitungan Massa Katalis

Katalis digunakan untuk mempercepat proses pengerasan resin. Pada penelitian ini jumlah katalis yang digunakan adalah 2% dari massa resin. (Kurniawan, Hiendro dan Khairi, 2021)

$$m_k = m_m \; x \; 2\% \tag{4}$$

Keterangan:

- m_k : Massa resin (gram)
- m_m : Fraksi volume resin (gram)

2.11.5 Rasio Jarak Tumpuan (Support Span)

jarak antara kedua tumpuan (*support span*) merupakan salah satu parameter yang perlu ditentukan sebelum pengujian dilakukan (ASTM, 2017).

$$R = \frac{L}{d} \tag{5}$$

Keterangan:

- R: Rasio jarak tumpuan
- L : Jarak Tumpuan (*Support Span)*
- d : Ketebalan (mm)

2.11.6 Kekuatan Lentur (Flexural Stress)

Tegangan lentur didefinisikan sebagai tegangan internal yang timbul pada serat (*fiber*) terluar spesimen uji ketika diberi gaya yang menyebabkan pembengkokan. Tegangan maksimum terjadi pada serat paling luar di titik tengah bentang di mana momen bengkok (*bending moment*) mencapai nilai tertinggi (ASTM, 2017). Persamaan dasar untuk menghitung tegangan lentur pada balok persegi dituliskan sebagai:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \tag{6}$$

Keterangan:

- σ_f: Tegangan serat luar pada bagian tengah (MPa)
- P : Beban titik tertentu pada kurva beban - lentur (N)

- L : Jarak tumpuan (mm)
- B : Lebar spesimen (mm)
- d : Tebal spesimen (mm)

2.11.7 Regangan Lentur (*Flaxural Strain*)

Regangan lentur adalah rasio perubahan panjang nominal pada serat terluar spesimen akibat penekanan. Nilai ini mencerminkan seberapa besar peregangan molekuler yang terjadi pada permukaan terluar material saat melengkung (ASTM, 2017). Regangan lentur dihitung menggunakan rumus:

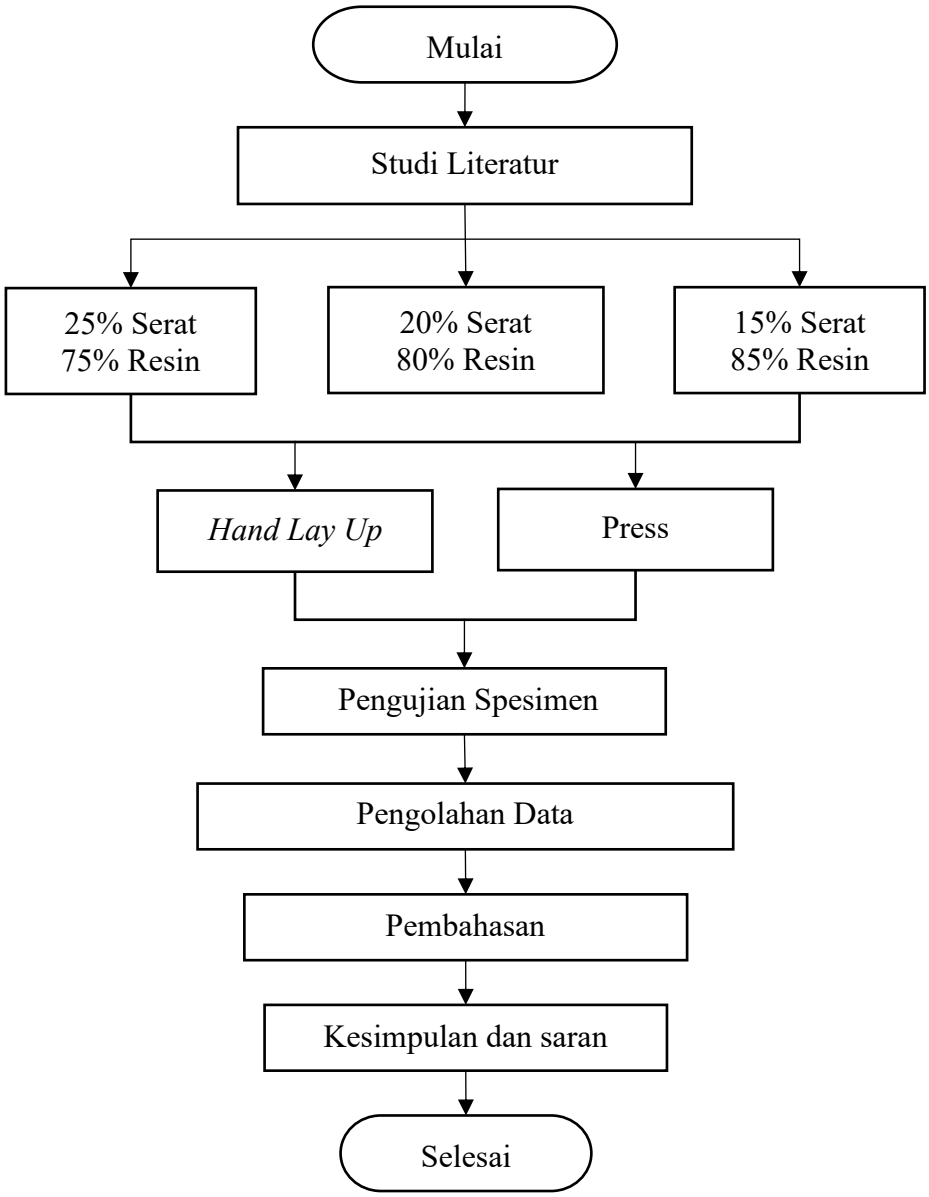
$$\varepsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} x100 \qquad (7)$$

Keterangan:

- ε_f : *flexural strain* (%)
- D : Defleksi pada saat beban maksimum (mm)
- d : Tebal spesimen (mm)
- L : Jarak tumpuan (mm)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat & resin dan variasi metode pembuatan komposit serat kaca terhadap kekuatan bending. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif, dengan data berupa beban maksimum, yang diperoleh dari pengujian laboratorium. Data tersebut dianalisis menggunakan persamaan matematis sesuai standar ASTM D790 untuk mengetahui kekuatan lentur.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Metode pembuatan	Komposisi Serat : Resin	Standar Pengujian	Jumlah Replikasi
Hand Lay Up	25% : 75%	ASTM D790	2
	20% : 80%		
	15% : 85%		
Press	25% : 75%		
	20% : 80%		
	15% : 85%		
TOTAL SPESIMEN			**12**

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

1. Serat Kaca (*fiberglass*)

   Serat kaca (*fiberglass*) adalah serat buatan yang terbuat dari material kaca yang diproses menjadi serat berdiameter kecil dan digunakan sebagai bahan penguat (*reinforcement*) dalam komposit. Serat kaca memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik, ringan, tahan terhadap korosi, serta mampu meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan beban.



Gambar 3.2 Serat Kaca

2. Resin *Polyester*

   Resin adalah bahan yang berfungsi sebagai matriks atau pengikat dalam material komposit. Resin berfungsi mengikat serat, menjaga posisi serat, serta meneruskan beban yang diterima ke serat sehingga menghasilkan struktur komposit yang kuat dan stabil. Dalam penelitian ini, resin digunakan sebagai matriks untuk mengikat serat



Gambar 3.3 Resin *Polyester* (Pencarian Google)

3. Katalis

   Katalis adalah bahan tambahan yang digunakan untuk mempercepat proses pengerasan (*curing*) resin tanpa menjadi bagian utama dari material komposit. Pada pembuatan komposit, katalis membantu resin berubah dari kondisi cair menjadi padat melalui reaksi kimia. Jumlah katalis harus disesuaikan dengan jenis resin dan perbandingan yang ditentukan karena penggunaan katalis yang terlalu banyak atau terlalu sedikit dapat memengaruhi waktu pengerasan dan sifat mekanik komposit.



Gambar 3.4 Katalis

3.3.2 Alat Penelitian

1. Cetakan

   Untuk cetakan yang digunakan berukuran, Panjang 127 mm, lebar 40 mm, dan ketebalan 3,2 mm



Gambar 3. 5 Cetakan spesimen

2. Timbangan digital

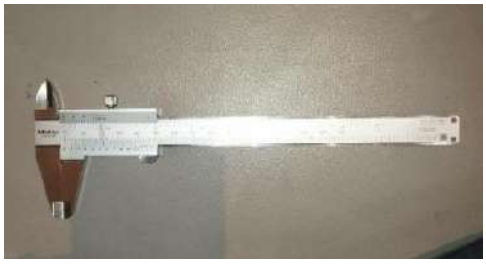
   Timbangan digital adalah alat yang digunakan untuk mengukur massa bahan dengan tingkat ketelitian tertentu. Dalam penelitian komposit, timbangan digital digunakan untuk menimbang serat kaca, resin, dan katalis sesuai dengan komposisi atau fraksi volume yang telah ditentukan sebelum proses pembuatan spesimen.



Gambar 3.6 Timbangan digital

3. Jangka sorong

   Jangka sorong adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur panjang, diameter luar, diameter dalam, dan kedalaman suatu benda dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan penggaris.



Gambar 3.7 Jangka sorong

4. Kuas

   Kuas adalah alat yang digunakan untuk mengoleskan dan meratakan resin pada permukaan serat fiberglass selama proses pembuatan komposit. Kuas membantu memastikan resin tersebar secara merata sehingga serat dapat terikat dengan baik pada matriks.



Gambar 3.8 Kuas (Pencarian Google)

5. Gunting

   Gunting adalah alat yang digunakan untuk memotong serat fiberglass sesuai dengan ukuran dan bentuk yang dibutuhkan dalam proses pembuatan spesimen komposit.



Gambar 3.9 Gunting

6. Gelas ukur dan wadah pencampuran

   Gelas ukur adalah alat yang digunakan untuk mengukur volume cairan, seperti resin dan katalis, dengan satuan mililiter (mL). Dalam penelitian komposit, gelas ukur digunakan untuk memastikan volume bahan yang digunakan sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan.



Gambar 3.10 Gelas ukur

3.4 Rancangan Spesimen

Rancangan spesimen pada penelitian ini menggunakan dua variabel, yaitu fraksi volume serat dan metode pembuatan. Fraksi volume serat terdiri atas tiga variasi, yaitu 15%, 20%, dan 25%, sedangkan metode pembuatan terdiri dari *hand lay up* dan press. Masing-masing kombinasi perlakuan diduplikat sebanyak dua spesimen sehingga total spesimen yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 12 buah. Seluruh spesimen kemudian diuji menggunakan metode *three-point* bending berdasarkan standar ASTM D790 untuk mengetahui pengaruh fraksi volume dan metode pembuatan serat terhadap kekuatan lentur komposit.

1. Metode pembuatan
   - *Hand lay up*
   - Press
2. Persentase komposisi serat
   - 15% Serat : 85% Resin
   - 20% Serat : 80% Resin
   - 25% Serat : 75% Resin

3.5 Perhitungan Komposit

3.5.1 Perhitungan Volume Cetakan

Pada pembuatan material serat yang digunakan adalah serat kaca (*fiberglass*) dengan variassi komposisi serat : resin yaitu, 15% : 85%, 20% : 80%, 25% : 75%. Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variasi faktor material.

1. Volume Cetakan
   - L (Lebar) = 40 mm
   - P (Panjang) = 127 mm
   - T (Tebal) = 3,2 mm

$$V = p\ x\ l\ x\ t$$
$$V = 127\ x\ 40\ x\ 3{,}2 \quad \text{..... (1)}$$
$$V = 16.256\ mm^3 = 16{,}256\ cm^3$$

2. Massa jenis serat kaca = 2,55 g/cm3
3. Massa jenis resin SHCP 2688 = 1,215 g/cm3
4. Massa jenis katalis = 1,25 g/cm3

3.5.2 Perhitungan Massa

1. 15% serat dan 85% resin, yaitu sebagai berikut:
   - m_f = 16,256 x 15% x 2,55 .....(2)
     = 6,21792 ≈ 6,22 gram
   - m_m = 16,256 x 85% x 1,215 .....(3)
     = 16,788384 ≈ 16,79 gram
   - m_k = 16,788384 x 2% .....(4)
     = 0,33576768 ≈ 0,34 gram
2. 20% serat dan 80% Resin, yaitu sebagai berikut:
   - m_f = 16,256 x 20% x 2,55 .....(2)
     = 8,29056 ≈ 8,29 gram
   - m_m = 16,256 x 80% x 1,215 .....(3)

= 15,804864 ≈ 15,80 gram

- m_k = $15{,}804864\ x\ 2\%$ .....(4)
  = 0,31609728 ≈ 0,32 gram

3. 25% serat dan 75% Resin, yaitu sebagai berikut:
   - m_f = 16,256 x 25% x 2,55 .....(2)
     = 10,3632 ≈ 10,36 gram
   - m_m = $16{,}256\ x\ 75\%\ x\ 1{,}215$ .....(3)
     = 14,81706 ≈ 14,82 gram
   - m_k = $14{,}81706\ x\ 2\%$ .....(4)
     = 0,2963412 ≈ 0,30 gram

3.6 Pembuatan Spesimen

Pada penelitian ini, proses pembuatan spesimen komposit serat kaca (*fiberglass*) dengan matriks resin *Polyester* menggunakan metode *Hand Lay Up* dan Press. Metode ini dipilih karena mampu menghasilkan laminasi yang lebih padat, distribusi resin yang merata, serta meminimalkan terbentuknya rongga udara (void) pada material komposit.

1. Pemotongan Serat
   a. Serat kaca dipotong sesuai ukuran cetakan spesimen uji lentur (*three-point bending*).
   b. Jumlah lapisan disesuaikan dengan massa yang didapatkan
   c. Orientasi serat disusun sesuai secara acak sesuai dengan penelitian
2. Pencampuran Resin
   a. Resin Polyester dicampur dengan katalis berdasarkan rasio yang telah dihitung.
   b. Campuran diaduk secara merata hingga homogen untuk memastikan reaksi polimerisasi optimal.
   c. Proses pencampuran dilakukan secara hati-hati untuk meminimalkan terbentuknya gelembung udara.

3. Proses Pembuatan
    a. *Hand Lay Up*
        - Serat yang telah dipotong di susun 1 persatu di dalam cetakan dengan menuangkan resin sedikit demi sedikit, lakukan pengulangan hingga serat mencapai fraksi volume yang telah ditentukan.
        - Lalu setiap penuangan resin ratakan resin menggunakan kuas atau roll untuk menekan setiap lapisan serat yang telah dituangkan resin.
        - Setelah resin dan serat merata dinginkan spesimen hingga kering diruangan terbuka.
    b. Press
        - Serat yang telah dipotong disusun ke dalam cetakan dan tekan serat menggunakan tutup cetakan agar serat lebih merata dan tidak mengembang.
        - Buka penutup cetakan jika serat telah rata lalu tuangkan resin secara merata agar seluruh bagian sudut cetakan terisi resin.
        - Tutup cetakan dengan perlahan agar resin tidak meluber dan tahan menggunakan bata agar proses penekanan merata hingga ke dasar cetakan.
4. Proses Curing
    a. Spesimen dibiarkan mengalami curing pada suhu ruang selama ±24 jam.
    b. Proses ini bertujuan untuk memastikan resin mengeras sempurna dan membentuk struktur komposit yang solid.
5. Finishing dan Pemotongan Spesimen
    a. Setelah curing selesai, spesimen dikeluarkan dari cetakan.
    b. Spesimen dipotong sesuai dimensi standar ASTM D790.
    c. Tepi spesimen dirapikan untuk menghindari konsentrasi tegangan saat pengujian.
    d. Dilakukan inspeksi visual untuk memastikan tidak terdapat cacat seperti void, delaminasi, atau ketidakteraturan permukaan.

3.7 Metodologi Pengujian Bending

Sebelum dilakukan pengujian, setiap spesimen diukur dimensi panjang, lebar, dan ketebalannya menggunakan jangka sorong. Spesimen kemudian ditempatkan pada alat *Universal Testing Machine* (UTM) dengan posisi bagian tengah spesimen berada tepat di bawah *loading nose*. Jarak antara kedua tumpuan ditetapkan sebesar 80 mm. Pembebanan diberikan secara bertahap pada bagian tengah spesimen hingga diperoleh beban maksimum dan kondisi kegagalan.

Jarak tumpuan sebesar 80 mm dipilih dengan mempertimbangkan dimensi spesimen yang digunakan dalam penelitian, yaitu panjang 127 mm dan ketebalan nominal 3,2 mm. Dengan panjang spesimen 127 mm dan support span 80 mm, terdapat bagian spesimen yang berada di luar tumpuan pada kedua ujungnya sehingga spesimen tetap berada pada posisi yang stabil selama pengujian. Pemilihan jarak 80 mm juga digunakan sebagai konfigurasi tetap pada seluruh spesimen sehingga kondisi pembebanan antarvariasi dapat dibuat seragam.

Berdasarkan ketebalan spesimen 3,2 mm, jarak tumpuan 80 mm menghasilkan *support span-to-depth* ratio sebesar:

$$R = \frac{80}{3{,}2} = 25 \qquad \text{..... (5)}$$

sehingga rasio jarak tumpuan terhadap ketebalan spesimen adalah 25:1. ASTM D790 menjelaskan bahwa pemilihan rasio *support span-to-depth* harus mempertimbangkan karakteristik material dan memastikan kegagalan terjadi terutama akibat pembebanan lentur. Untuk material komposit, rasio yang lebih besar dari 16:1 dapat dipertimbangkan apabila karakteristik material membutuhkan kondisi tersebut.

Dalam penelitian ini, jarak tumpuan 80 mm dipertahankan sama pada seluruh spesimen agar perbedaan hasil *flexural strength* dan *flexural strain* terutama dapat dikaitkan dengan variasi fraksi volume serat dan metode pembuatan, bukan akibat perubahan konfigurasi pengujian.

3.7.1 Prosedur Pengujian Bending

Prosedur pengujian bending dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Spesimen hasil proses curing dipersiapkan dan dibersihkan dari bagian yang tidak diperlukan.
2. Panjang, lebar, dan ketebalan spesimen diukur menggunakan jangka sorong.
3. *Universal Testing Machine* disiapkan dan dipastikan dalam kondisi siap digunakan.
4. Jarak kedua tumpuan (*support span*) diatur sebesar 80 mm.
5. Spesimen diletakkan secara horizontal pada kedua tumpuan dengan posisi titik pembebanan berada di tengah spesimen.
6. Beban diberikan secara terpusat pada bagian tengah spesimen.
7. Pembebanan dilakukan secara bertahap sampai spesimen mengalami kegagalan atau mencapai kondisi akhir pengujian.
8. Beban maksimum dan defleksi yang terjadi selama pengujian dicatat.
9. Pengujian dilakukan pada seluruh variasi fraksi volume serat dan metode pembuatan.
10. Data hasil pengujian digunakan untuk menghitung *flexural strength* dan *flexural strain* berdasarkan standar ASTM D790.

BAB IV
PENGOLAHAN DATA

4.1 Hasil Pengujian Bending

Pengujian dilakukan menggunakan metode *three-point* bending dengan variasi fraksi volume serat sebesar 15%, 20%, dan 25% serta menggunakan dua metode pembuatan, yaitu *Hand Lay Up* dan Press. Setelah dilakukan pengujian bending, seluruh spesimen mengalami perubahan bentuk dan kerusakan pada daerah pembebanan hingga mencapai kondisi patah. Hasil kondisi spesimen setelah pengujian bending ditunjukkan pada Gambar 4.1.



(A). Hand Lay Up **(B) Press**

Gambar 4.1 Hasil patahan spesimen

4.2 Validasi Patahan Spesimen

Secara mekanika, pada pengujian *three-point* bending, momen lentur maksimum hanya terjadi tepat di satu titik vertikal di bawah penekan beban (*loading nose*). Terjadinya patahan tegak lurus di area pusat ini membuktikan bahwa permukaan bawah spesimen telah mencapai batas kekuatan tarik maksimumnya (*tension face failure*), yang kemudian merambat dengan cepat ke arah atas hingga spesimen putus total. Tidak adanya pergeseran horizontal pada penampang samping menandakan material tidak mengalami kegagalan geser interlaminar prematur, sehingga data beban maksimum dari variasi ini sah untuk digunakan. Berikut hasil patahan spesimen ditunjukan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2

Tabel 4.1 Validasi Metode *Hand Lay Up*

Sampel	Variabel	Deskripsi Visual	Jenis Patahan	Hasil Spesimen
Replika 1	15%	Material terputus total menjadi dua bagian terpisah secara sempurna dengan permukaan garis patahan yang tajam dan lurus.	Complete Fracture	
Replika 2	15%	Terjadi retakan tajam menembus sebagian besar ketebalan spesimen, namun kedua potongan masih belum terpisah total.	Partial Fracture / Cracking	
Replika 1	20%	Terbentuk retakan lokal dan pita pemutihan (*stress whitening*) di area tengah tanpa ada pemisahan material secara utuh.	Partial Fracture / Cracking	

Replika 2	20%	Terlihat garis retakan mikroskopis di area tumpuan tengah accompanied dengan efek pemutihan akibat pembengkokan.	Partial Fracture / Cracking	
Replika 1	25%	Spesimen tidak patah terputus, melainkan mengalami pembengkokan permanen (deformasi plastis) dengan pita pemutihan lebar di area lengkungan.	Deflection Failure	
Replika 2	25%	Material melengkung menahan beban tanpa retak terpisah, menunjukkan kegagalan akibat penurunan kekakuan (*rigidity loss*).	Deflection Failure	

Tabel 4.2 Validasi Metode Press

Sampel	Variabel	Deskripsi Visual	Jenis Patahan	Hasil Spesimen
Replika 1	15%	Terpisah total menjadi dua bagian (*clean break*) di area tengah, tepi patahan relatif rata tanpa pemutihan.	Complete Fracture	
Replika 2	15%	Terpisah total menjadi dua bagian di area tengah, garis retakan lurus tegak lurus dengan sumbu spesimen.	Complete Fracture	
Replika 1	20%	Retak melintang di bagian tengah namun tidak sampai terpisah total, disertai pita *stress whitening* tipis.	Partial Fracture / Cracking	

Replika 2	20%	Retakan tajam di area tengah dengan sedikit keterikatan material, terdapat efek pemutihan di sekitar titik retak.	Partial Fracture / Cracking	
Replika 1	25%	Spesimen tidak terputus/patah, melainkan bengkok permanen dengan pita pemutihan (*whitening*) lebar di tengah.	Deflection Failure	
Replika 2	25%	Spesimen mengalami pelengkungan elastis-plastis signifikan di area tengah tanpa adanya pemisahan fisik material.	Deflection Failure	

4.3 Perhitungan Hasil Data Pengujian

1. Tegangan Lentur (*Flexural Strengh*)

   Hasil yang dicari adalah nilai *flexural strength* tertinggi dalam pengujian bending, yaitu 218,31 MPa

   - $\sigma_f = \frac{3\ (242{,}176)\ (80)}{2\ (13)\ (3{,}2)^2}$ ..... (6)

     $= \frac{58.122{,}24}{266{,}24}$

     $= 218{,}3074\ N/mm^2 = 218{,}31\ MPa$

2. Regangan Lentur (*Flexural Strain*)

   Hasil yang dicari adalah nilai *zone fiber strain at flexural strength* tertinggi dalam pengujian bending, yaitu 2,55%

   - $\varepsilon_f = \frac{6\ (8{,}501449585)\ (3{,}2)}{(80)^2}$ ..... (7)

     $= \frac{163{,}227832032}{6400} x 100$

     $= 2{,}550434876 \approx 2{,}55\%$

4.4 Hasil Perhitungan Data Pengujian Bending

Pada eksperimen ini spesimen akan diuji menggunakan mesin uji bending *Universal Testing machine* yang dilakukan di universitas teknologi sumatera yang akan digunakan untuk mengetahui kekuatan bending yang dihasilkan. Berikut pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 hasil dari pengujian bending *Three point* bending.

Tabel 4.3 Hasil *Flexural Strength*

Metode Pembuatan	***Fraksi Volume* (%)**		***Flexural Strength* (MPa)**		**Rata-rata**
	Serat	**Resin**	**1**	**2**	
Hand Lay Up	15%	85%	70,5647	69,6246	70,0946
	20%	80%	151,3784	135,9493	143,6639
	25%	75%	218,3074	212,8282	215,5678
Press	15%	85%	56,2942	*error*	56,2942
	20%	80%	88,9589	86,7643	87,8616
	25%	75%	129,2322	119,0689	124,1506

Berdasarkan data pada Tabel 4.3, dapat dianalisis bahwa nilai *flexural strength* dengan metode *Hand Lay Up* dan fraksi volume serat 25% menghasilkan nilai *flexural strength* tertinggi, yaitu 218,3074 MPa pada pengulangan 1 dan 212,8282 MPa pada pengulangan 2. Sementara itu, nilai terendah diperoleh pada metode press dengan fraksi volume serat 15%, yaitu 56,2942 MPa.

Tabel 4.4 Hasil *Zone Fiber Strain*

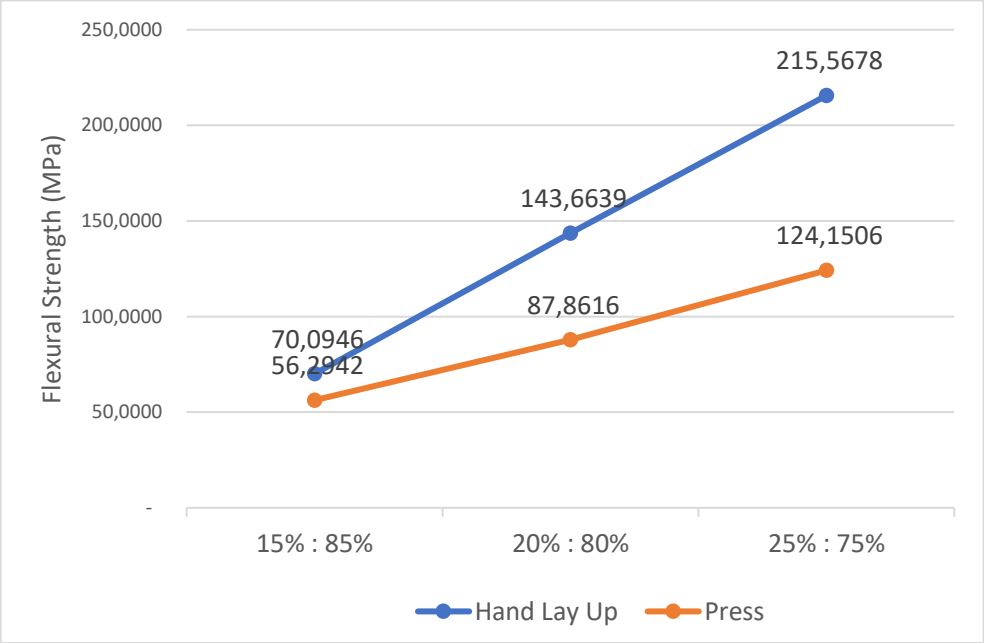
Metode Pembuatan	***Fraksi Volume* (%)**		***Zone Fiber Strain at Flexural Strength* (%)**		**Rata-rata**
	Serat	**Resin**	**1**	**2**	
Hand Lay Up	15%	85%	2,0422	1,9147	1,9785
	20%	80%	2,2452	1,7873	2,0163
	25%	75%	2,5504	2,5121	2,5313
Press	15%	85%	1,4322	*error*	1,4322
	20%	80%	1,5484	1,2737	1,4111
	25%	75%	2,2182	2,1343	2,1763

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4, terlihat bahwa nilai *zone fiber strain at flexural strength* dengan nilai tertinggi diperoleh pada metode *Hand Lay Up* dengan fraksi volume serat 25%, yaitu 2,5504% pada pengulangan 1 Sementara itu, nilai *strain* terendah diperoleh pada metode Press dengan fraksi volume serat 20%, yaitu sebesar 1,2737% pada pengulangan 2.

BAB V
PEMBAHASAN

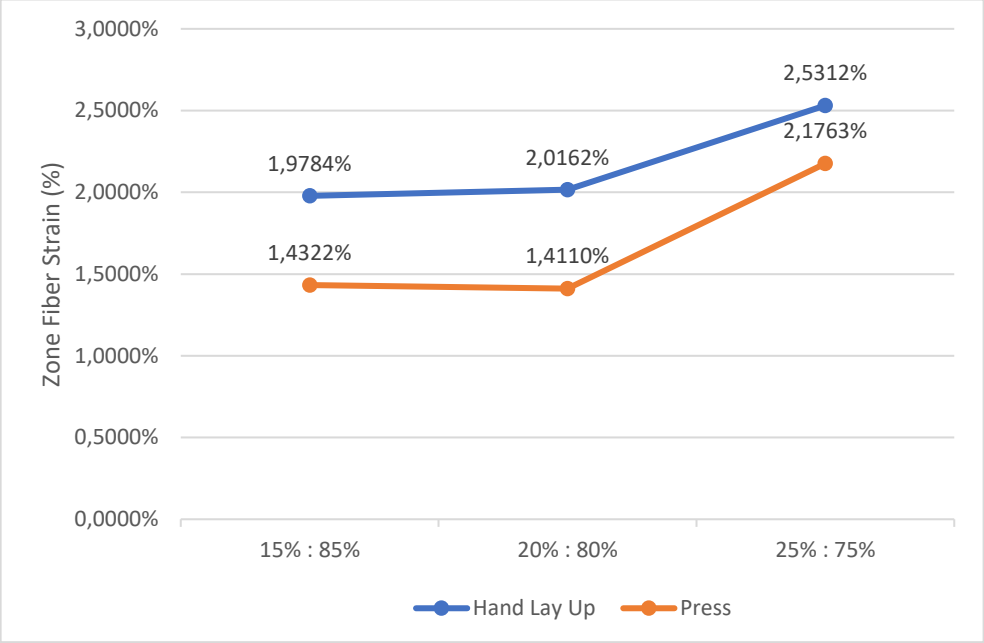
5.1 Pengaruh Fraksi Volume Serat

Dapat dilihat pada gambar 5.1 merupakan grafik nilai rata-rata kekuatan bending (*Flexural Strength*) yang dihasilkan pada ekperimen komposit serat kaca (*fiberglass*) yang didapatkan di ITERA.



Gambar 5.1 Rata-rata *flexural strength*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serat *fiberglass* menunjukkan peningkatan nilai *flexural strength* pada rentang variasi yang digunakan. Pada metode *hand lay up* Nilai rata-rata *flexural strength* meningkat dari 70,0946 MPa pada fraksi serat 15% menjadi 143,6639 MPa pada komposisi serat 20%, kemudian meningkat lagi menjadi 215,5678 MPa pada komposisi serat 25%. Hal yang sama juga terjadi pada metode Press, di mana nilai rata-rata *flexural strength* meningkat dari 56,2942 MPa pada komposisi serat 15% menjadi 87,8616 MPa pada komposisi serat 20%, dan mencapai 124,1506 MPa pada komposisi serat 25%. Pada gambar 5.2 menunjukkan hasil rata rata *zone fiber strain*

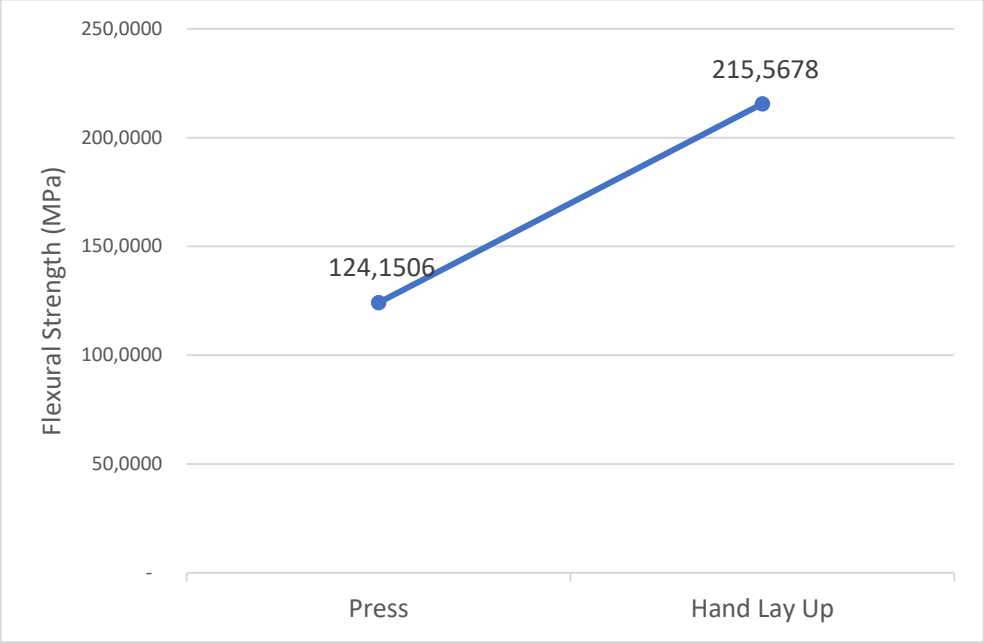


Gambar 5.2 Rata-rata *zone fiber strain*

Terlihat bahwa nilai rata-rata *zone fiber strain* cenderung meningkat seiring bertambahnya fraksi volume serat. Maka spesimen dengan nilai rata-rata *strain* tertinggi diperoleh pada metode *Hand Lay Up* dengan komposisi serat 25%, yaitu sebesar 2,5312%. Nilai ini menunjukkan bahwa spesimen memiliki kemampuan deformasi paling besar sebelum mengalami kegagalan. Sementara itu, nilai rata-rata *strain* terendah diperoleh pada metode Press dengan komposisi serat 20%, yaitu sebesar 1,4110%. Nilai yang rendah menunjukkan bahwa spesimen mengalami patah pada regangan yang lebih kecil. Hal ini dapat disebabkan oleh distribusi serat yang kurang merata, adanya rongga (*void*), atau ikatan antarmuka serat dan resin yang kurang baik sehingga kemampuan deformasi material menjadi terbatas.

5.2 Pengaruh Metode Pembuatan

Berdasarkan hasil data pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.3 merupakan grafik nilai rata-rata perbandingan metode pembuatan *hand lay up* dan press pada pengujian kekuatan bending (*Flexural Strength*).



Gambar 5.3 Perbandingan press dan *hand lay up*

Terlihat bahwa metode *Hand Lay Up* menghasilkan kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan metode Press pada seluruh variasi komposisi serat. Pada fraksi serat 25%, metode *Hand Lay Up* menghasilkan rata-rata *flexural strength* sebesar 215,5678 MPa, sedangkan metode Press hanya sebesar 124,1506 MPa. Selisih tersebut menunjukkan bahwa metode manufaktur memiliki pengaruh yang besar terhadap kualitas komposit yang dihasilkan. Perbedaan ini dipengaruhi oleh kualitas impregnasi resin terhadap serat.

Pada metode *Hand Lay Up*, resin diaplikasikan secara bertahap menggunakan kuas atau roller sehingga seluruh lapisan serat lebih mudah terbasahi oleh resin. Impregnasi yang baik menghasilkan ikatan antarmuka (*fiber–matrix interface*) yang kuat sehingga beban lentur dapat ditransfer secara efektif dari matriks menuju serat. (Kashfi dan Tehrani, 2021). Sebaliknya, pada metode Press terdapat kemungkinan tekanan yang diberikan kurang merata sehingga menyebabkan distribusi resin menjadi tidak homogen. Kondisi tersebut dapat memicu terbentuknya daerah yang kekurangan resin (*resin starvation*), rongga udara (*void*), atau delaminasi antar lapisan. Cacat tersebut menyebabkan konsentrasi tegangan meningkat sehingga kekuatan bending komposit menjadi lebih rendah.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Suhot dan Chambers (2014) yang menyatakan bahwa keberadaan void dan delaminasi merupakan penyebab utama menurunnya kekuatan lentur komposit laminasi (Suhot dan Chambers, 2014).

5.3 Analisa *Error* Pada Spesimen

Pada proses pengujian spesimen *flexural*, ditemukan adanya ketidaksesuaian pada pengaturan jarak tumpuan (*span*) alat uji. Berdasarkan standar dan rancangan pengujian yang digunakan, jarak tumpuan yang seharusnya diterapkan adalah 80 mm. Namun, pada salah satu proses pengujian, alat uji ter-setting dengan jarak tumpuan sebesar 100 mm. Kondisi tersebut menyebabkan parameter pengujian tidak sepenuhnya sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Dapat dilihat pada gambar 5.4

	σ_{fc}	σ_{fM}	ε_{fM}	Lv	h	b
	MPa	MPa	%	mm	mm	mm
S20 R80 1		88,95894	1,548385	80	3,5	15
S20 R80 2		86,7643	1,273714	80	3	20,4
S25 R75 1		129,2322	2,218169	80	4	16
S25 R75 2		119,0689	2,134345	80	3	16,4
S15 R85 1		56,29422	1,432198	80	3,4	20
S15 R85 2 error				100	3,4	15
S25 R75 1 HL		218,3074	2,550435	80	3,2	13
S25 R75 2 HL		212,8282	2,512057	80	3,5	13,4
S15 R85 1 HL		70,56472	1,914662	80	4,2	18,2
S15 R85 2 HL		69,62456	2,042207	80	4,5	20
S20 R80 1 HL		151,3784	2,24516	80	3	14,5
S20 R80 2 HL		135,9493	1,787334	80	3,2	14,7

Gambar 5.4 Hasil data pengujian

Perbedaan jarak tumpuan tersebut perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi distribusi beban dan momen lentur yang bekerja pada spesimen selama pengujian. Jarak tumpuan yang lebih besar menyebabkan perubahan kondisi pembebanan dibandingkan dengan konfigurasi yang direncanakan, sehingga hasil pengujian pada spesimen tersebut berpotensi mengalami perbedaan apabila dibandingkan dengan spesimen yang diuji menggunakan jarak tumpuan 80 mm. Oleh karena itu, data dari pengujian dengan *span* 100 mm perlu diberikan

keterangan khusus dan tidak dapat secara langsung dianggap memiliki kondisi pengujian yang sama dengan spesimen yang menggunakan *span* 80 mm.

Ketidaksesuaian ini dicatat sebagai *error* atau penyimpangan prosedur pengujian. Untuk menjaga keakuratan dan konsistensi data penelitian, hasil pengujian tersebut perlu dipertimbangkan kembali dalam analisis. Apabila data tetap digunakan, maka kondisi pengujian harus dicantumkan secara jelas agar interpretasi hasil penelitian tetap objektif dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademis.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai analisa kekuatan bending pada komposit *fiberglass* dengan variasi fraksi volume serat dan metode pembuatan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi fraksi volume serat *fiberglass* berpengaruh terhadap kekuatan bending komposit dengan matriks resin polyester. Peningkatan fraksi volume serat dari 15%, 20%, hingga 25% menunjukkan peningkatan nilai rata-rata *flexural strength* pada kedua metode pembuatan.
2. Nilai *flexural strength* dan *flexural strain* tertinggi diperoleh pada komposit dengan metode *hand lay up* dan fraksi volume serat 25%. Nilai *flexural strength* tertinggi yang diperoleh adalah sebesar 218,3074 Mpa pada pengulangan pertama, sedangkan nilai *flexural strain* sebesar 2,5504% pada pengulangan pertama. Hasil tersebut menunjukkan bahwa spesimen tersebut memiliki kemampuan menahan beban lentur sekaligus mengalami deformasi paling besar sebelum mengalami kegagalan dibandingkan variasi lainnya.
3. Fraksi volume serat 25% merupakan fraksi volume yang menghasilkan kekuatan bending terbaik dalam penelitian ini. Pada fraksi tersebut, metode *hand lay up* menghasilkan rata-rata *flexural strength* sebesar 215,5678 MPa, sedangkan metode Press menghasilkan 124,1506 MPa. Dengan demikian, berdasarkan variasi fraksi volume 15%, 20%, dan 25% yang digunakan dalam penelitian ini, fraksi volume serat 25% memberikan hasil kekuatan bending paling tinggi.
4. Metode *hand lay up* menghasilkan kekuatan bending yang lebih baik dibandingkan metode Press pada seluruh variasi fraksi volume serat yang diteliti. Performa terbaik diperoleh pada kombinasi metode *hand lay up* dengan fraksi volume serat 25%, dengan rata-rata *flexural strength* sebesar 215,5678 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah spesimen yang lebih banyak pada setiap variasi agar hasil pengujian memiliki tingkat kepercayaan dan validitas yang lebih tinggi.
2. Perlu dilakukan pengendalian proses manufaktur yang lebih baik, terutama pada metode Press, agar distribusi resin lebih merata dan terbentuknya void maupun delaminasi dapat diminimalkan.
3. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengamatan struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) atau mikroskop optik untuk mengidentifikasi mekanisme patahan, seperti fiber pull-out, matrix cracking, fiber breakage, dan delaminasi, sehingga penyebab kegagalan komposit dapat dianalisis secara lebih mendalam.
4. Variasi fraksi volume serat dapat diperluas, misalnya 30%, 35%, atau 40%, untuk mengetahui batas optimum kandungan serat terhadap peningkatan kekuatan bending komposit *fiberglass*.
5. Selain pengujian bending, penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian sifat mekanik lainnya seperti uji tarik (ASTM D3039), uji impak (ASTM D256 atau ASTM D6110), uji kekerasan, maupun uji kelelahan (*fatigue test*) agar karakteristik komposit dapat diketahui secara lebih menyeluruh.
6. Untuk memperoleh kualitas komposit yang lebih baik, metode manufaktur lain seperti *Vacuum Bagging*, *Vacuum Infusion*, atau *Compression Molding* dapat digunakan sebagai pembanding terhadap metode Hand Lay Up dan Press.
7. Apabila komposit *fiberglass* akan diaplikasikan sebagai material struktural, diperlukan penelitian lanjutan mengenai ketahanan terhadap lingkungan, seperti penyerapan air (*water absorption*), ketahanan terhadap temperatur, dan ketahanan terhadap pembebanan berulang, sehingga kinerja material pada kondisi operasi yang sebenarnya dapat dievaluasi dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Andaru, A.A. (2017) "Pengaruh Komposisi Epoksi Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Termal Pada Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi Sebagai Kandidat Material Anti Peluru (Body Armor)." Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. ASTM, I. (2017) "Standard Test Methods for Flexural Propertis of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Innsulating Materials." American National Standards Institute (ANSI): Akron University Of. Tersedia pada: https://doi.org/DOI: 10.1520/D0790-17.
3. Feriyanto, R. dkk. (2022) "Pengaruh Susunan Serat pada Komposit Serat Hibrid Laminat Berpenguat Serat Kaca dan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Kekuatan Bending," *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, hal. 1–8.
4. Fucheng, G. (2020) "Evaluation of the E ff ect of Fiber Type , Length , and."
5. Ghofur, M.A. dkk. (2026) "Blast resistance of sandwich composite structures and natural fibers: A systematic literature review," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, hal. 14644207261460992.
6. Gundara, G. dan Rahman, M.B.N. (2019) "Sifat Tarik, Bending dan Impak Komposit Serat Sabut Kelapa-Polyester dengan Variasi Fraksi Volume," *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 3(1 SE-Articles), hal. 10–19. Tersedia pada: https://doi.org/10.18196/jmpm.3132.
7. Hagstrand, P.-O., Bonjour, F. dan Månson, J.-A.E. (2005) "The influence of void content on the structural flexural performance of unidirectional glass fibre reinforced polypropylene composites," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(5), hal. 705–714. Tersedia pada: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.03.007.
8. Harsi, H., Sari, N.H. dan Sinarep, S. (2015) "Karakteristik Kekuatan Bending Dan Kekuatan Tekan Komposit Serat Hybrid Kapas/Gelas Sebagai Pengganti Produk Kayu," *Dinamika Teknik Mesin*, 5(2), hal. 59–65. Tersedia pada: https://doi.org/10.29303/d.v5i2.30.
9. Hussain, S.Z. dkk. (2026) "Glass fibers for advanced composites:

Manufacturing, surface engineering, performance-driven selection and future direction," *Materials Today Communications*, 54(June). Tersedia pada: https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2026.115479.

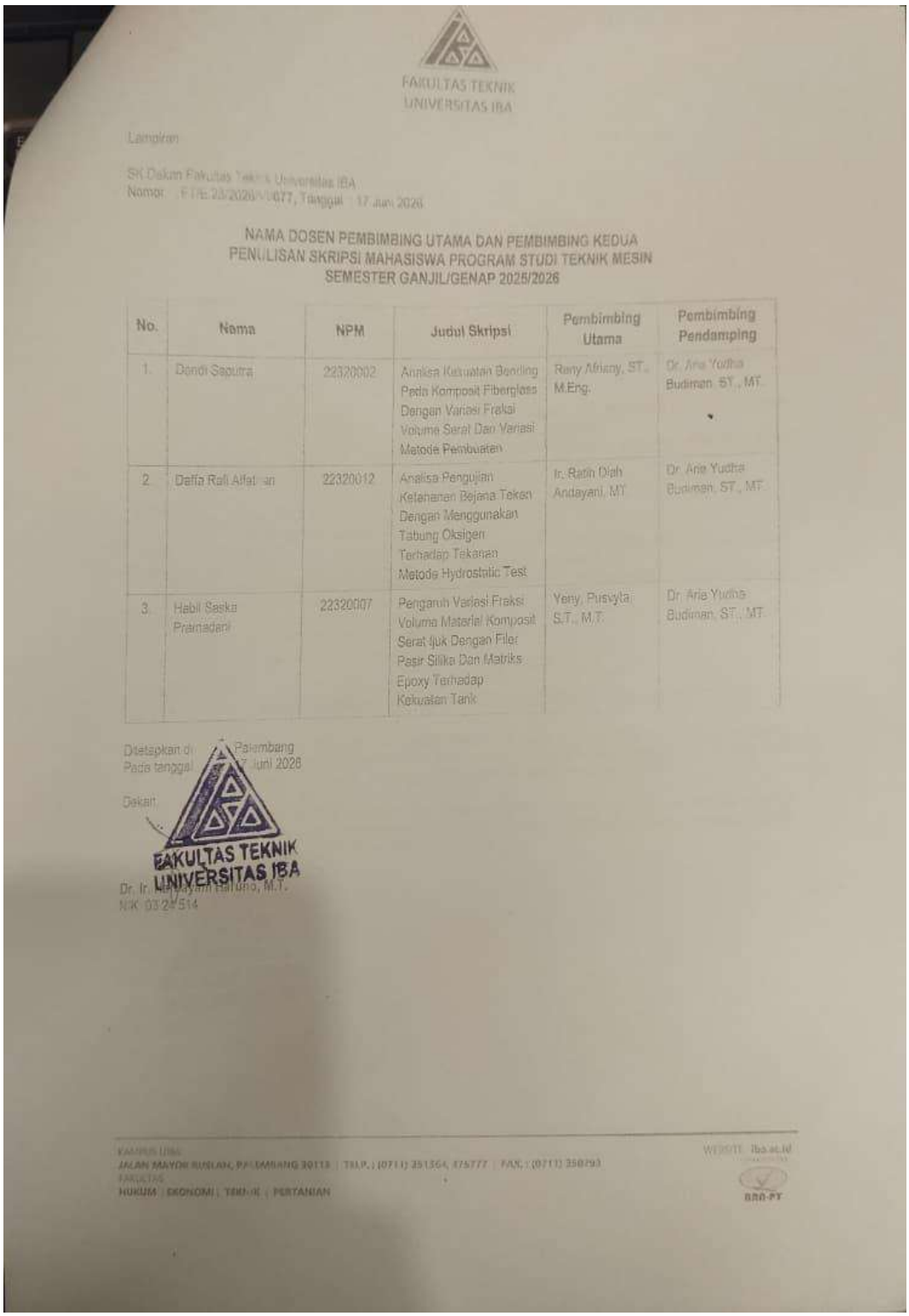
10. Kashfi, M. dan Tehrani, M. (2021) "Effects of void content on flexural properties of additively manufactured polymer composites," *Composites Part C: Open Access*, 6(July), hal. 100173. Tersedia pada: https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100173.
11. Kumar, K. dkk. (2024) "Exploration of stacking effects of carbon/glass fabric in polymer hybrid composites: analysis of mechanical properties," *Discover Applied Sciences*, 6(12). Tersedia pada: https://doi.org/10.1007/s42452-024-06348-5.
12. Kurniawan, J., Hiendro, A. dan Khairi, S. (2021) "Studi Karakteristik Sifat Mekanik Biokomposit Berpenguat Serat Acak dan Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit-Polyester Menggunakan Perlakuan Alkali dan Hidrogen Peroksida," *Hiendro & Khairi*, 2(2), hal. 123–128.
13. Matsuzaki, R. dkk. (2016) "Three-dimensional printing of continuous-fiber composites by in-nozzle impregnation," *Scientific reports*, 6(1), hal. 23058.
14. Nasution, J.D. dkk. (2023) "Effect of temperature post curing on impact strength polyester composite - Coconut coir fiber," *AIP Conference Proceedings*, 2689(1), hal. 70015. Tersedia pada: https://doi.org/10.1063/5.0115840.
15. Palanisamy, S. (2024) "Selection and Processing of Natural Fibers and Nanocellulose for Biocomposite Applications: A Brief Review," 19(1), hal. 1789–1813.
16. Patel, A., Kravchenko, O. dan Manas-Zloczower, I. (2018) "Effect of curing rate on the microstructure and macroscopic properties of epoxy fiberglass composites," *Polymers*, 10(2), hal. 125.
17. Rajesh, M. dan Pitchaimani, J. (2017) "Mechanical properties of natural fiber braided yarn woven composite: comparison with conventional yarn woven composite," *Journal of Bionic Engineering*, 14(1), hal. 141–150.
18. Riyanto, A. dan Arif Irfa'I, M. (2018) "PENGARUH FRAKSI VOLUME

SERAT KOMPOSIT HYBRID BERPENGUAT SERAT BAMBU ACAK DAN SERAT E-GLASS ANYAM DENGAN RESIN POLYESTER TERHADAP KEKUATAN BENDING Adetya Riyanto Mochamad Arif Irfa ' I," 06.

19. Shams, M. (2026) "Determination of Mechanical Properties of Single and Double-Layer Intraply Hybrid Composites Manufactured by Hand Lay-Up Method," hal. 1–33.
20. Siagian, D.E.N. dan Putra, M.H.S. (2024) "Serat alam sebagai bahan komposit ramah lingkungan," *CIVeng: Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(1), hal. 55–60.
21. Suhot, M.A. dan Chambers, A.R. (2014) "The effects of voids on the flexural properties and failure mechanisms of carbon/epoxy composites," *Jurnal Teknologi*, 71(2), hal. 151–157. Tersedia pada: https://doi.org/10.11113/jt.v71.3736.
22. Suteja, S. dkk. (2019) "Perilaku tarik komposit laminat serat kulit waru-aluminium," *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10(1), hal. 17–24.
23. Tjahjanti, P.H. (2018) "Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer," *Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer* [Preprint]. Tersedia pada: https://doi.org/10.21070/2019/978-602-5914-27-0.
24. Widodo, E. dan Iswanto (2022) *Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit*. Diedit oleh M. tanzi. Multazam.
25. Zheng, B. dkk. (2019) "Flexural behavior and fracture mechanisms of short carbon fiber reinforced polyether-ether-ketone composites at various ambient temperatures," *Polymers*, 11(1), hal. 10–12. Tersedia pada: https://doi.org/10.3390/polym11010018.

LAMPIRAN

1. SK Skripsi Fakultas Teknik UIBA



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

Lampiran

SK Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA
Nomor : F.TE/.23/2026/VI/077, Tanggal : 17 Juni 2026

NAMA DOSEN PEMBIMBING UTAMA DAN PEMBIMBING KEDUA
PENULISAN SKRIPSI MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
SEMESTER GANJIL/GENAP 2025/2026

No.	Nama	NPM	Judul Skripsi	Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
1.	Dondi Saputra	22320002	Analisa Kekuatan Bending Pada Komposit Fiberglass Dengan Variasi Fraksi Volume Serat Dan Variasi Metode Pembuatan	Reny Mirsny, ST., M.Eng.	Dr. Aris Yudha Budiman, ST., MT.
2.	Daffa Rafi Alfat ian	22320012	Analisa Pengujian Ketahanan Bejana Tekan Dengan Menggunakan Tabung Oksigen Terhadap Tekanan Metode Hydrostatic Test	Ir. Ratih Dian Andayani, MT	Dr. Aris Yudha Budiman, ST., MT.
3.	Habil Saska Pramadani	22320007	Pengaruh Variasi Fraksi Volume Material Komposit Serat Ijuk Dengan Filler Pasir Silika Dan Matriks Epoxy Terhadap Kekuatan Tarik	Yeny, Pusvyta S.T., M.T.	Dr. Aris Yudha Budiman, ST., MT.

Ditetapkan di : Palembang
Pada tanggal : 17 Juni 2026

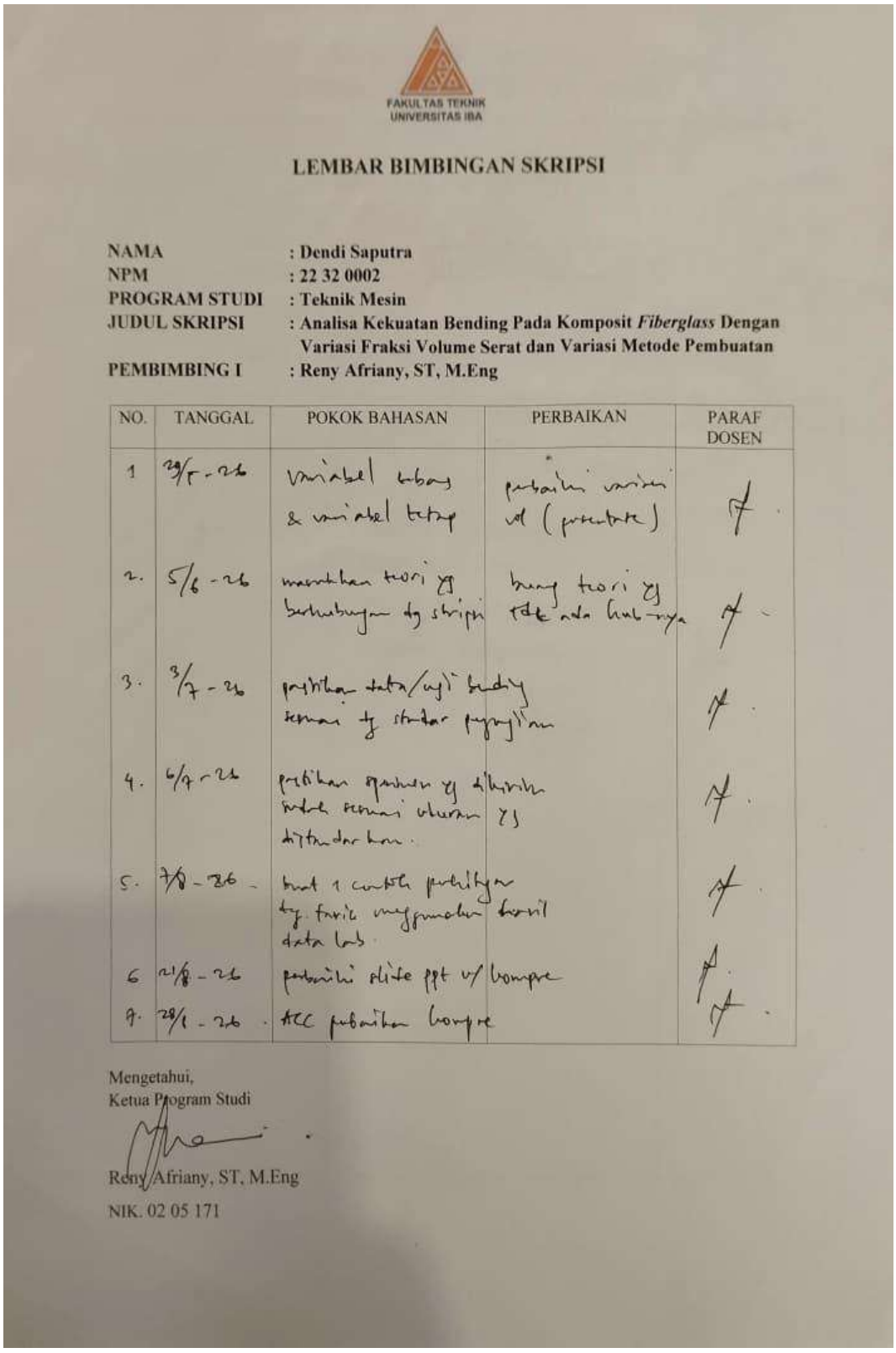
Dekan,

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

Dr. Ir. [illegible], M.T.
NIK. 03 24 514

KAMPUS UNIV.
JALAN MAYOR RUSLAN, PALEMBANG 30113 | TELP.: (0711) 351354, 376777 | FAX.: (0711) 350793
FAKULTAS
HUKUM | EKONOMI | TEKNIK | PERTANIAN
WEBSITE : iba.ac.id
BAN-PT

2. Lembar Konsultasi Dosen Pembimbing



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

NAMA : **Dendi Saputra**
NPM : **22 32 0002**
PROGRAM STUDI : **Teknik Mesin**
JUDUL SKRIPSI : **Analisa Kekuatan Bending Pada Komposit *Fiberglass* Dengan Variasi Fraksi Volume Serat dan Variasi Metode Pembuatan**
PEMBIMBING I : **Reny Afriany, ST, M.Eng**

NO.	TANGGAL	POKOK BAHASAN	PERBAIKAN	PARAF DOSEN
1	29/5 - 26	variabel bebas & variabel terikat	perbaiki variabel (presentase)	
2.	5/6 - 26	menambah teori yg berhubungan dg skripsi	hapus teori yg tdk ada hub-nya	
3.	3/7 - 26	perbaikan data/uji bending sesuai dg standar pengujian		
4.	6/7 - 26	perbaikan gambar yg diberikan untuk ukuran yg ditandai kan.		
5.	7/8 - 26	buat 1 contoh perhitungan dg. rumus menggunakan hasil data lab.		
6	21/8 - 26	perbaiki slide ppt u/ kompre		
7.	28/1 - 26	ACC perbaikan kompre		

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Reny Afriany, ST, M.Eng
NIK. 02 05 171

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

NAMA : **Dendi Saputra**
NPM : **22 32 0002**
PROGRAM STUDI : **Teknik Mesin**
JUDUL SKRIPSI : **Analisa Kekuatan Bending Pada Komposit *Fiberglass* Dengan Variasi Fraksi Volume Serat dan Variasi Metode Pembuatan**
PEMBIMBING II : **Dr. Arie Yudha Budiman , ST., MT.**

NO.	TANGGAL	POKOK BAHASAN	PERBAIKAN	PARAF DOSEN
1	15/5 - 26	Studi literatur harus di perjelas	Tambah artikel pendukung	
2	17/6 - 26	Metodologi Penelitian	Variabel Harus di perjelas	
3	10/7 26	Persiapan Spesimen untuk pengujian bending	Pastikan ukuran sesuai standar	
4	31/7 - 26	Pengiriman sampel	—	
5	7/8 - 26	Pengalasan hasil uji bending	—	
6	26/8 - 26	Revisi hasil ujian kompre		
7	2/9 - 26	konsultasi ke prodi untuk jilid		

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Reny Afriany, ST, M.Eng
NIK. 02 05 171

3. Lembar Hasil Pengujian

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA UPA
LABORATORIUM TERPADU
Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan 35365 Telepon: (021) 8030188
Email: upt.labterpadu@itera.ac.id, Website : www.lab.itera.ac.id

Sertifikat Hasil Pengujian

Certificate of Analysis

Nomor Pengujian : 640-650/LTSM_ITERA/VII/2026
Tanggal Penerbitan Sertifikat : 28 Juli 2026

Nama Pelanggan : Dendi Saputra
Alamat : Universitas IBA Palembang
Nomor Telpon : 0895350433461

Tanggal Penerimaan sampel : 24 Juli 2026
Pengiriman sampel : melalui ekspedisi
Jumlah Sampel : 11 Buah
Bentuk Sampel : Persegi Panjang
Wadah Sampel : Plastik Klip
Merk Alat/Seri : *Universal Testing Machine ZWICK ROELL 250 kN All Round*

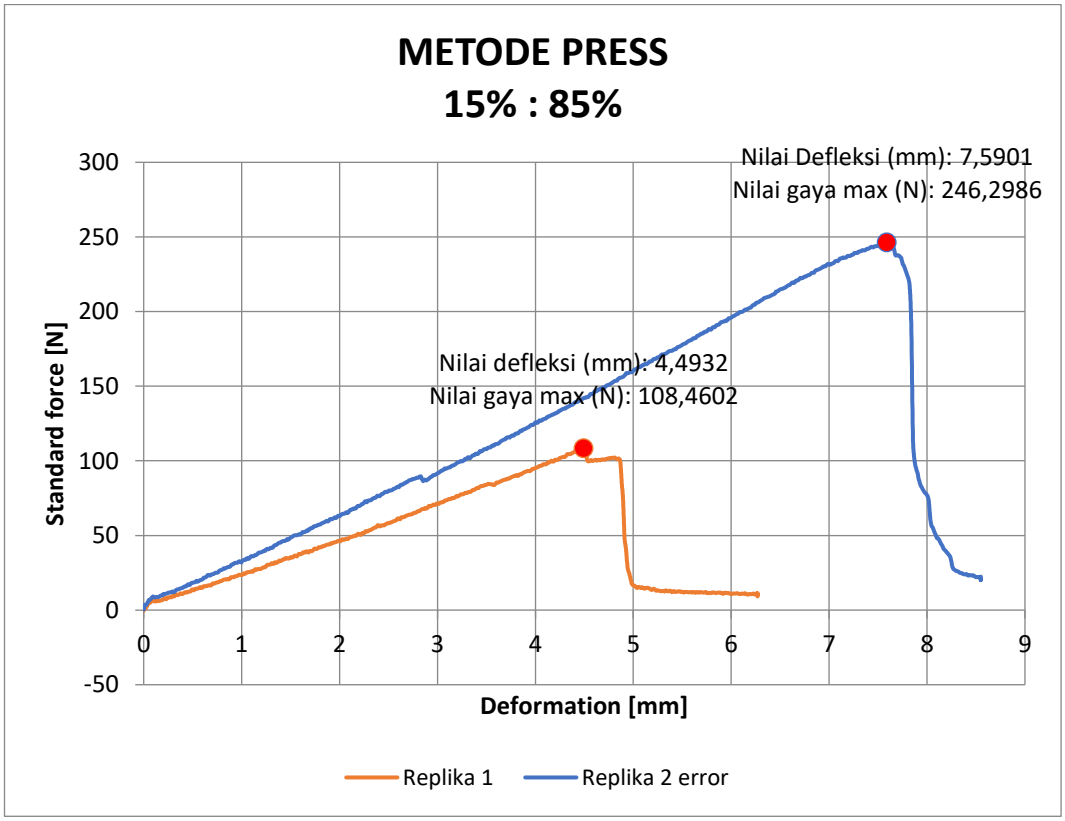
Hasil Pengujian :

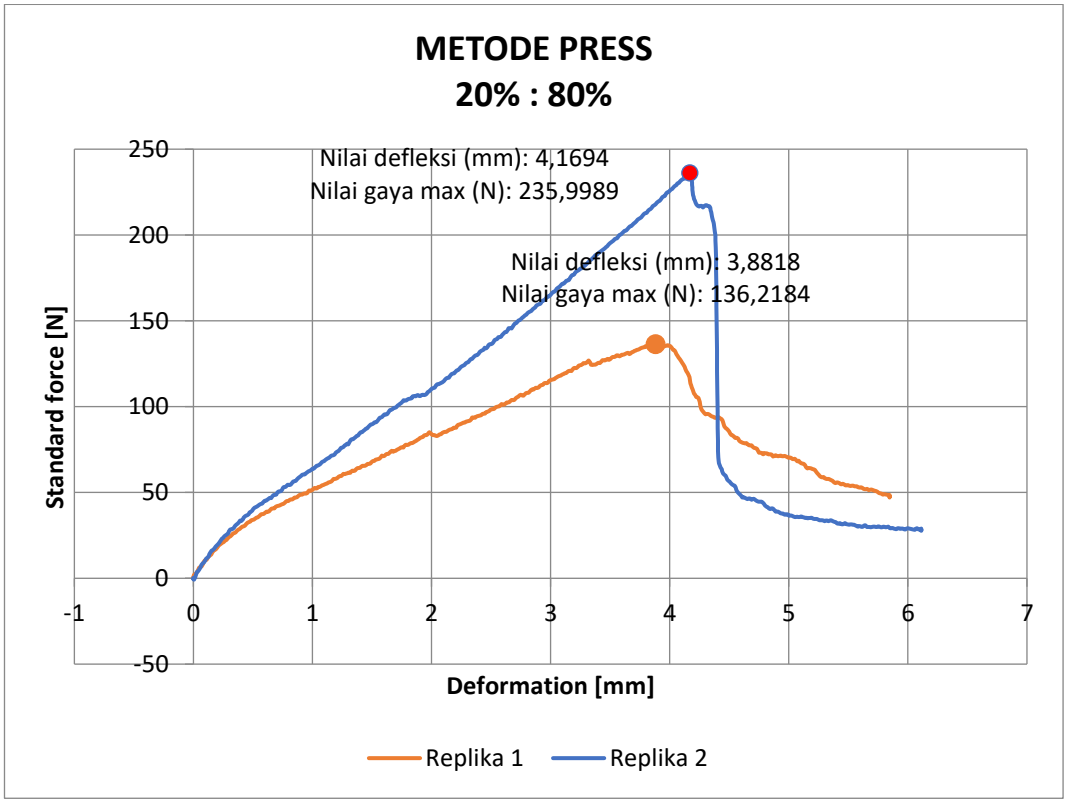
Kode Sampel	Nama Sampel	*Flexural Stress* (MPa)	*Zone Fiber Strain at Flexural Strength* (%)	*Specimen thickness* (mm)	*Specimen width* (mm)
640/LTSM ITERA/V11/2026	S15 R85 1 PR	56,2942	1,4322	3,4	20
641/LTSM ITERA/V11/2026	S20 R80 1 PR	88,9589	1,2737	3,5	15
642/LTSM ITERA/V11/2026	S20 R80 2 PR	86,7643	1,5635	4	20,4
643/LTSM ITERA/V11/2026	S25 R75 1 PR	129,2322	2,2182	4	16
644/LTSM ITERA/V11/2026	S25 R75 2 PR	119,0689	2,1343	3	16,4
645/LTSM ITERA/V11/2026	S15 R85 1 HL	70,5647	1,9147	4,5	18,2
646/LTSM ITERA/V11/2026	S15 R85 2 HL	69,6246	2,0422	4,5	20
647/LTSM ITERA/V11/2026	S20 R80 1 HL	151,3784	2,2452	3	14,5
648/LTSM ITERA/V11/2026	S20 R80 2 HL	135,9493	1,7873	3,2	14,7
649/LTSM ITERA/V11/2026	S25 R75 1 HL	218,3074	2,5504	3,2	13
650/LTSM ITERA/V11/2026	S25 R70 2 HL	212,8282	2,5121	3,5	13,4

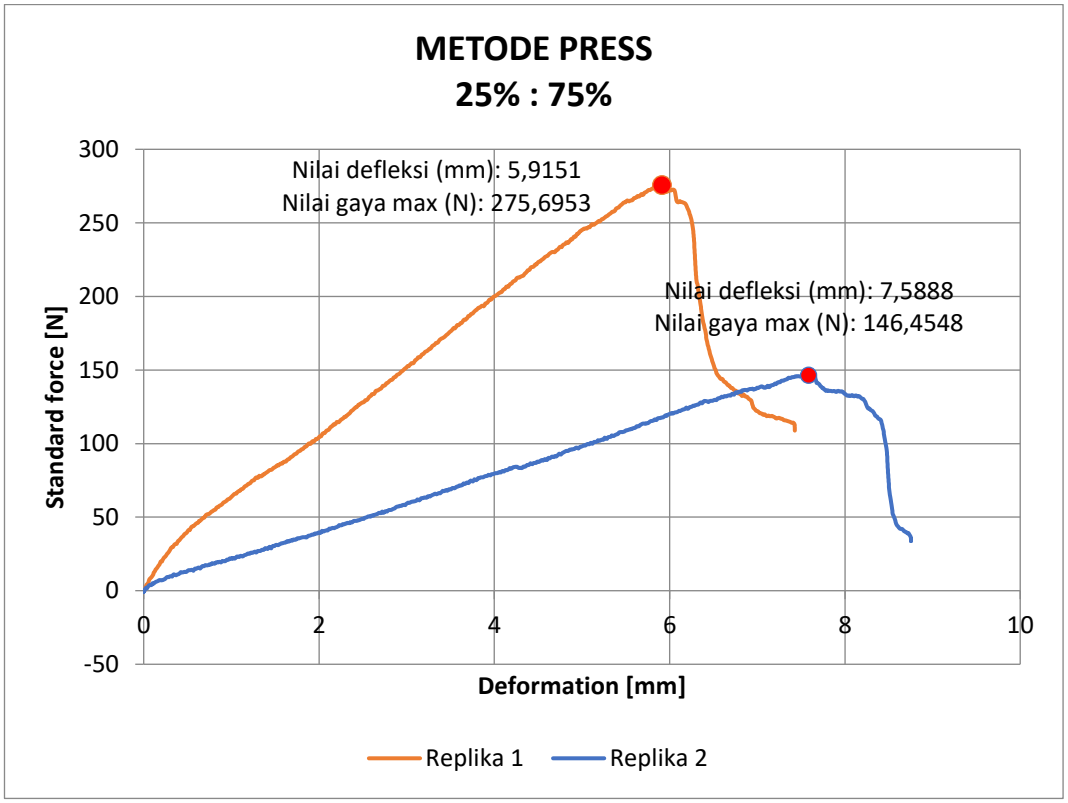
Keterangan
Hasil yang didapatkan adalah terhadap sampel uji yang ada

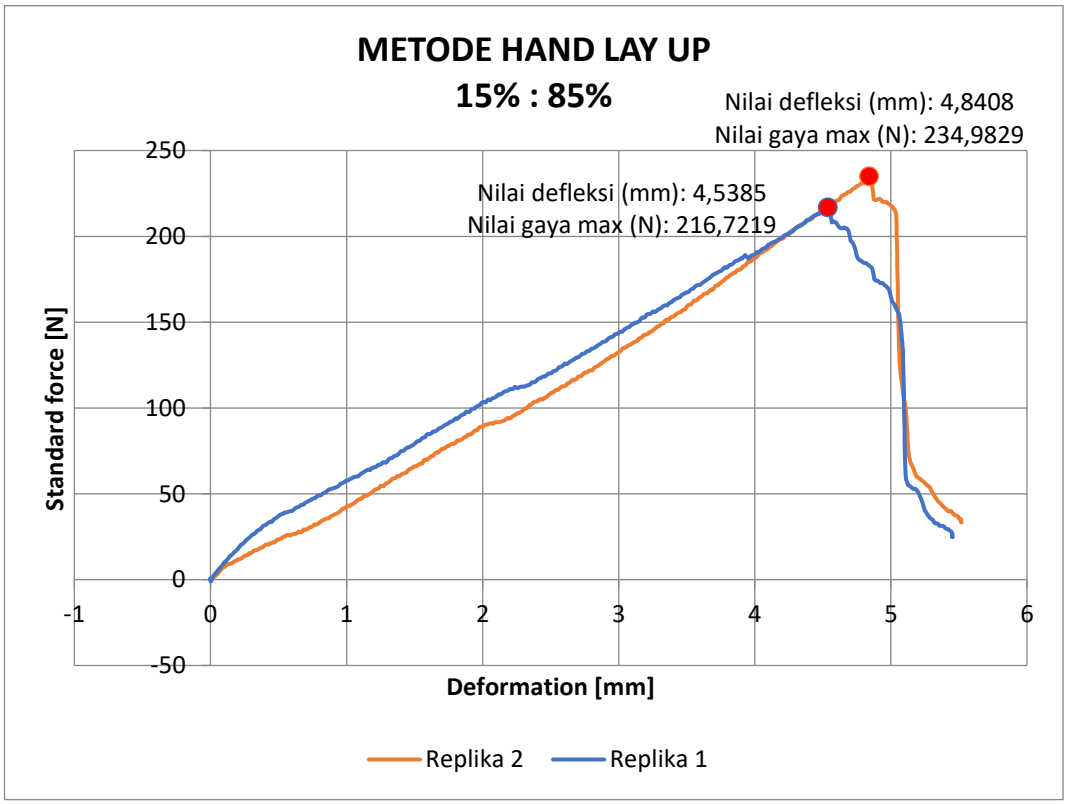
Mengetahui,
Kepala UPA Laboratorium Terpadu

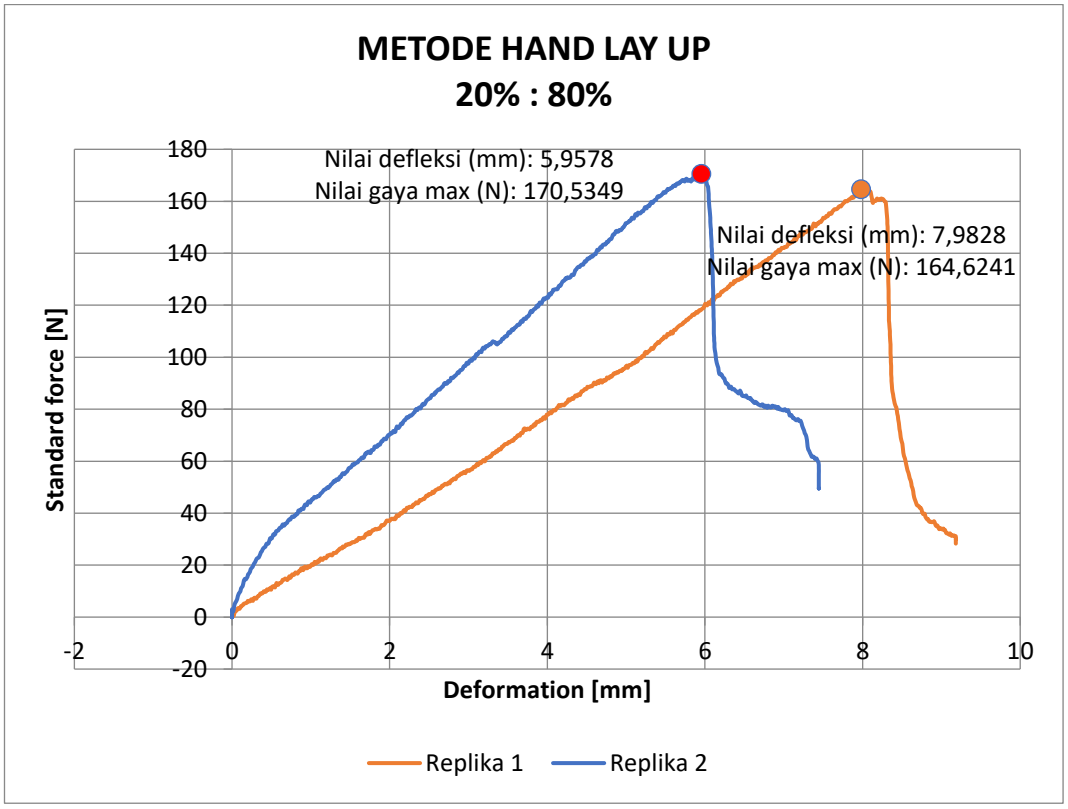
Agel Vidian Krama, S.Pd., M.Si.

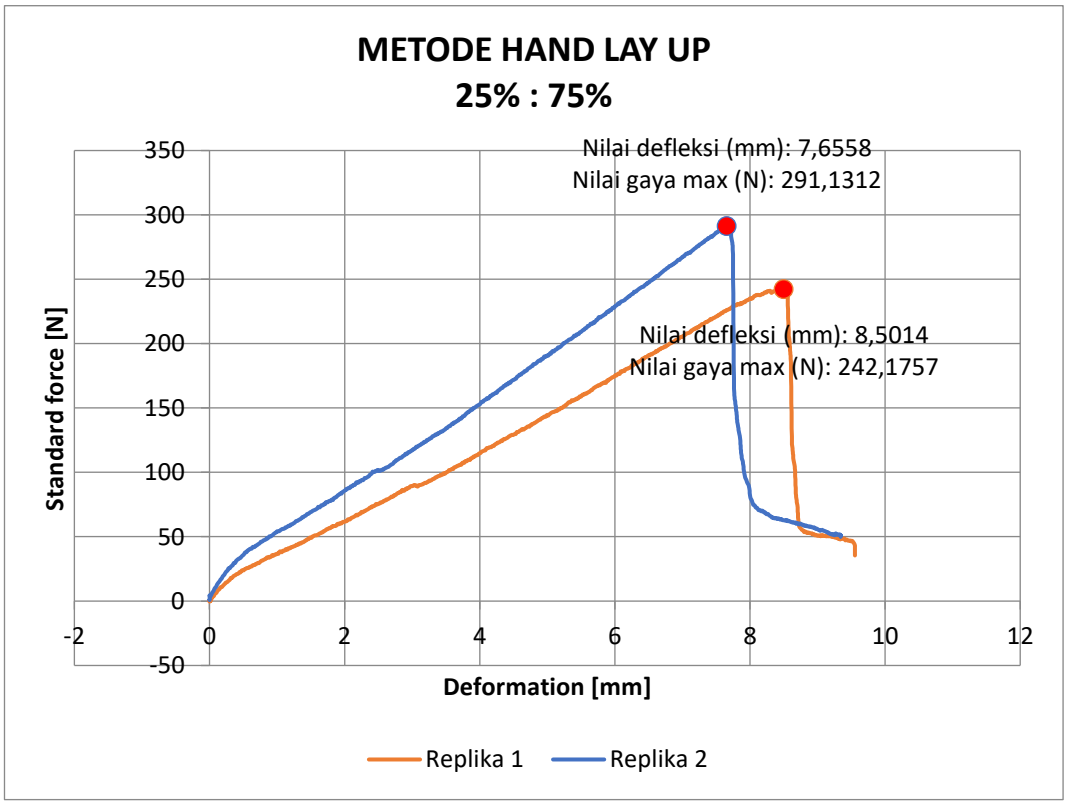

METODE PRESS
15% : 85%
Nilai Defleksi (mm): 7,5901
Nilai gaya max (N): 246,2986
Nilai defleksi (mm): 4,4932
Nilai gaya max (N): 108,4602
Standard force [N]
Deformation [mm]
Replika 1
Replika 2 error


METODE PRESS
20% : 80%
Nilai defleksi (mm): 4,1694
Nilai gaya max (N): 235,9989
Nilai defleksi (mm): 3,8818
Nilai gaya max (N): 136,2184
Standard force [N]
Deformation [mm]
Replika 1
Replika 2

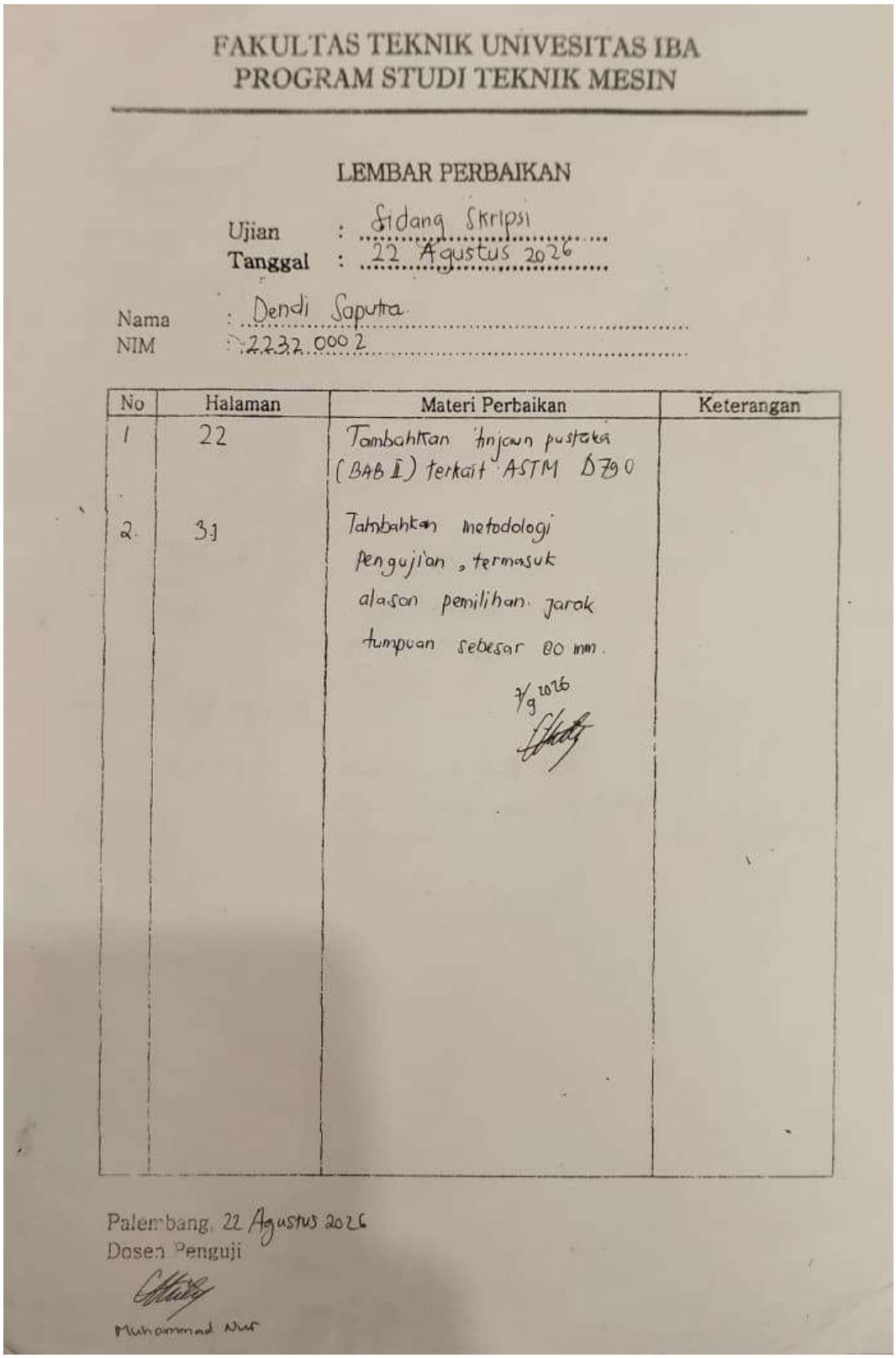

METODE PRESS
25% : 75%
Nilai defleksi (mm): 5,9151
Nilai gaya max (N): 275,6953
Nilai defleksi (mm): 7,5888
Nilai gaya max (N): 146,4548
Standard force [N]
Deformation [mm]
Replika 1
Replika 2


METODE HAND LAY UP
15% : 85%
Nilai defleksi (mm): 4,8408
Nilai gaya max (N): 234,9829
Nilai defleksi (mm): 4,5385
Nilai gaya max (N): 216,7219
Standard force [N]
Deformation [mm]
Replika 2
Replika 1


METODE HAND LAY UP
20% : 80%
Nilai defleksi (mm): 5,9578
Nilai gaya max (N): 170,5349
Nilai defleksi (mm): 7,9828
Nilai gaya max (N): 164,6241
Standard force [N]
Deformation [mm]
Replika 1
Replika 2


METODE HAND LAY UP
25% : 75%
Nilai defleksi (mm): 7,6558
Nilai gaya max (N): 291,1312
Nilai defleksi (mm): 8,5014
Nilai gaya max (N): 242,1757
Standard force [N]
Deformation [mm]
Replika 1
Replika 2

4. Lembar Perbaikan



FAKULTAS TEKNIK UNIVESITAS IBA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

LEMBAR PERBAIKAN

Ujian : Sidang Skripsi
Tanggal : 22 Agustus 2026

Nama : Dendi Saputra
NIM : 2232.0002

No	Halaman	Materi Perbaikan	Keterangan
1	22	Tambahkan tinjauan pustaka (BAB II) terkait ASTM D790	
2.	3.1	Tambahkan metodologi pengujian, termasuk alasan pemilihan jarak tumpuan sebesar 80 mm. 7/9 2026	

Palembang, 22 Agustus 2026
Dosen Penguji

Muhammad Nur

SURAT KETERANGAN
PERBAIKAN SEMINAR KOMPREHENSIF SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Nur S.T, M.Log.

Jabatan : Dosen penguji seminar Komprehensif Skripsi

Menyatakan bahwa mahasiswa sebagai berikut :

Nama : Dendi Saputra

NPM : 22 32 0002

KBK : Pembentukan & Material

Judul Skripsi : **Analisa Kekuatan Bending Pada Material Komposit Fiberglass Dengan Variasi Fraksi Volume dan Metode Pembuatan**

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

Demikianlah surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang , September 2026
Dosen penguji Seminar Komprehensif

Muhammad Nur S.T, M.Log.

5. Dokumentasi Penulis



