

**PENGARUH METODE FABRIKASI DAN JENIS RESIN
TERMOSET TERHADAP KEKUATAN KOMPOSIT
BERPENGUAT SERAT NANAS**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Bagus Prasetya
3334200041

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH METODE FABRIKASI DAN JENIS RESIN
TERMOSET TERHADAP KEKUATAN KOMPOSIT
BERPENGUAT SERAT NANAS**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Tri Partuti, S.Si., M.Si.
NIP. 198011282012122003

Pembimbing II



Prof. Dr. Dra. Erlina Yustanti, M.Si.
NIP. 196803262002122001

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH METODE FABRIKASI DAN JENIS RESIN
TERMOSET TERHADAP KEKUATAN KOMPOSIT
BERPENGUAT SERAT NANAS**

SKRIPSI

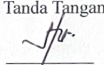
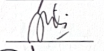
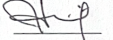
Disusun dan diajukan oleh :

Bagus Prasetya

3334200041

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal

10 Juli 2024

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Prof. Dr. Dra. Erlina Yustanti, M.Si.	
Penguji II	: Tri Partuti, S.Si., M.Si.	
Penguji III	: Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Metalurgi


Abdul Aziz, ST., MT., Ph.D.
NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pengaruh Metode Fabrikasi dan Jenis Resin Termoset
Terhadap Kekuatan Komposit Berpenguat Serat Nanas

Nama Mahasiswa : Bagus Prasetya

NIM : 3334200041

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 10 Juli 2024



Bagus Prasetya

3334200041

ABSTRAK

Pada saat ini rata-rata penggunaan *dashboard* mobil masih menggunakan plastik untuk bahan baku pembuatannya. Guna mengatasi hal tersebut, dilakukanlah penelitian terhadap pemanfaatan limbah serat daun nanas sebagai penguat pada komposit polimer bermatriks resin termoset. Pengembangan teknologi komposit dengan memanfaatkan serat alam dan limbah pertanian perkebunan akan membantu mengatasi kelangkaan bahan baku industri otomotif, sekaligus turut mencegah kerusakan lingkungan. Serat daun nanas merupakan bahan baku alternatif yang dapat digunakan sebagai penguat pada komposit polimer. Serat daun nanas dipilih karena memiliki sifat mekanik yang cukup baik dibandingkan dengan beberapa serat alam yang lain, keberadaannya cukup melimpah, dan minimnya pemanfaatan dari limbah tersebut. Penelitian ini ditargetkan untuk dapat menggantikan plastik pada penggunaan *dashboard* mobil. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan material komposit dengan dua metode fabrikasi yaitu *vacuum bag* dan *hand lay-up*, serta dengan variasi jenis resin termoset (poliester, epoksi, dan vinil ester). Komposit yang telah mengalami *curing* selanjutnya diteliti sifat mekanik (kuat tarik dan kuat lentur) dan diamati karakterisasi material hasil dari patahan uji tarik, lalu dikomparasi dengan standar *dashboard* mobil yaitu SAE J 1717. Berdasarkan hasil pengujian mekanik, didapatkan hasil kekuatan tarik dengan menggunakan metode *vacuum bag* vinil ester (58,37), epoksi (46,12 MPa), poliester (28,18 MPa), sedangkan dengan menggunakan metode *hand lay-up* didapatkan nilai kuat tarik vinil ester (51,38 MPa), epoksi (38,00 MPa), poliester (24,04 MPa). Untuk hasil pengujian lentur dengan metode *vacuum bag* didapatkan hasil vinil ester (58,64 MPa), epoksi (61,81 MPa), poliester (55,09 MPa), Sedangkan dengan menggunakan metode *hand lay-up* didapatkan nilai kuat lentur vinil ester (55,82 MPa), epoksi (45,19 MPa), poliester (29,28 MPa). Terlihat bahwa metode *vacuum bag* memiliki performa sifat mekanik yang baik dibandingkan dengan metode *hand lay-up*. Hasil pengamatan pada jenis resin, vinil ester merupakan resin yang paling stabil dan optimal pada seluruh sampel yang diteliti. Standar untuk pengujian tarik SAE J 1717 yaitu 20-100 MPa, dan untuk pengujian lentur yaitu 50-200 MPa.

Kata Kunci: komposit, resin termoset, *vacuum bag*, serat daun nanas

ABSTRACT

Currently, the average car dashboard still uses plastic as the primary material. To address this issue, research has been conducted on utilizing pineapple leaf fibers as reinforcements in thermoset resin matrix polymer composites. The development of composite technology using natural fibers and agricultural waste will help address the scarcity of raw materials in the automotive industry while also contributing to environmental protection. Pineapple leaf fibers are an alternative raw material that can be used as reinforcements in polymer composites. They are chosen due to their relatively good mechanical properties compared to other natural fibers, their abundant availability, and the minimal utilization of this waste. This research aims to replace plastic in car dashboards. The study involves the production of composite materials using two fabrication methods: vacuum bag and hand lay-up, and with variations of thermoset resins (polyester, epoxy, and vinyl ester). The composites that have undergone curing are then tested for mechanical properties (tensile strength and flexural strength) and characterized through fracture analysis from tensile tests, then compared with the car dashboard standard SAE J 1717. Based on the mechanical testing results, tensile strength values obtained using the vacuum bag method were vinyl ester (58.37 MPa), epoxy (46.12 MPa), polyester (28.18 MPa), while using the hand lay-up method, the tensile strength values were vinyl ester (51.38 MPa), epoxy (38.00 MPa), polyester (24.04 MPa). For flexural testing, using the vacuum bag method, the results were vinyl ester (58.64 MPa), epoxy (61.81 MPa), polyester (55.09 MPa), while using the hand lay-up method, the flexural strength values were vinyl ester (55.82 MPa), epoxy (45.19 MPa), polyester (29.28 MPa). It is observed that the vacuum bag method has better mechanical performance compared to the hand lay-up method. Among the resin types, vinyl ester is the most stable and optimal across all samples tested. The standard for tensile testing according to SAE J 1717 is 20-100 MPa, and for flexural testing, it is 50-200 MPa.

Keywords: composite, thermoset resin, vacuum bag, pineapple leaf fiber

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “**Pengaruh Metode Fabrikasi dan Jenis Resin Termoset Terhadap Kekuatan Komposit Berpenguat Serat Nanas**”. Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat mengerjakan tugas akhir pada program sarjana di Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Proses pengerjaan laporan skripsi ini banyak dibantu oleh beberapa pihak, maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih dengan tulus kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Abdul Aziz, S.T., M. T. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Rahman Faiz Suwandana, S.T., M.S. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Ibu Tri Partuti, S.Si., M.Si. selaku pembimbing pertama serta dosen akademik yang telah membimbing dengan memberikan kritik, masukan, dan motivasi dalam penyusunan laporan skripsi ini.
4. Ibu Prof. Dr. Erlina Yustanti, S.Si., M.Si. selaku pembimbing kedua serta kepala Laboratorium Uji Material FT. Untirta yang telah membimbing serta meminjamkan fasilitas laboratorium.
5. Orang tua penulis yaitu Bapak Eko Setiawan dan Ibu Ida Rasni serta keluarga yang telah memberikan bantuan baik moral maupun moril kepada penulis dalam penyusunan laporan skripsi ini.

6. Teman-teman yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan laporan skripsi ini.
7. Untuk Vanisha Cahya Kamila yang telah menemani dan memberikan motivasi kepada penulis.
8. Untuk diri saya sendiri yang telah mampu menyelesaikan skripsi ini dengan banyak sekali perjalanan yang dilewati, dengan perasaan yang bahagia dan sedih.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran penulis nantikan. Besar harapan penulis dengan menyusun proposal skripsi ini dapat membantu penulis menjadi sebuah acuan penelitian dan bermanfaat bagi teman-teman ataupun pihak lain yang memerlukannya. Atas perhatiannya, penulis ucapkan terima kasih.

Cilegon, 10 Juli 2024

Bagus Prasetia

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Komposit.....	8
2.2 Serat Alami.....	10

2.3	Serat Daun Nanas.....	12
2.4	Polimer Termoset	14
2.4.1	Poliester.....	15
2.4.2	Vinil Ester.....	16
2.4.3	Epoksi.....	18
2.5	<i>Hand Lay Up</i>	19
2.5.1	<i>Vacuum Bagging</i>	21
2.6	Pengujian dan Karakterisasi Sampel.....	24
2.6.1	Uji Tarik	24
2.6.2	Uji Lentur.....	25
2.6.3	Karakterisasi SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	26
BAB III METODE PERCOBAAN		28
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	28
3.2	Alat dan Bahan.....	29
3.2.1	Alat-alat yang Digunakan	29
3.2.2	Bahan-bahan yang Digunakan	30
3.3	Prosedur Percobaan.....	31
3.3.1	Preparasi Serat.....	31
3.3.2	Proses Pembuatan Komposit.....	31
3.3.3	Uji Tarik	32

3.3.4 Uji Lentur.....	32
3.3.5 Karakterisasi SEM	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Preparasi Serat Daun Nanas	33
4.2 Pengaruh Metode Fabrikasi terhadap Sifat Mekanik.....	34
4.3 Pengaruh Jenis Resin terhadap Sifat Mekanis	37
4.3.1 Hasil Uji Tarik.....	38
4.3.2 Hasil Uji Lentur.....	39
4.4 Pengamatan Mikrostruktur dengan SEM	42
4.5 Perbandingan Uji Mekanik Terhadap Standar <i>Dashboard</i> Mobil.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A PERHITUNGAN	
LAMPIRAN B GAMBAR ALAT DAN BAHAN	
LAMPURAN C DATA DAN HASIL PENELITIAN	

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Sifat Mekanik dari Beberapa Jenis Serat.....	11
2.2	Sifat Mekanik Serat Daun Nanas.....	13
4.1	Data Hasil Uji Tarik Komposit dengan Variasi Metode Fabrikasi dan Variasi Jenis Resin.....	35
4.2	Data Hasil Uji Tarik Tertinggi Komposit dengan Variasi Jenis Resin untuk Satu Kali Pengujukan.....	38
4.3	Data Hasil Uji Lentur Komposit dengan Variasi Metode Fabrikasi dan Variasi Jenis Resin.....	40

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Definisi Komposit.....	9
2.2	Klasifikasi Komposit Berdasarkan Bentuk dari Matriksnya	10
2.3	Skema <i>Crosslinking</i> pada Resin Poliester.....	16
2.4	Skema Reaksi dari Sintesis Vinil Ester.....	18
2.5	Struktur Molekul Resin Epoksi.....	19
2.6	Proses <i>Hand Lay-Up</i>	21
2.7	Proses <i>Vacuum Bagging</i>	23
2.8	Sampel Uji Tarik Komposit Sesuai ASTM D3039.....	25
2.9	Sampel Uji Lentur Komposit Sesuai ASTM D790	26
2.10	Mikrograf SEM Perbesaran 500x Polimer Blend (a) Epoksi (100), (b) Vinil Ester (100).....	27
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2	Alat <i>Vacuum Bag</i>	30
4.1	Hasil Sampel Komposit (a) HLU Poliester, (b) HLU Epoksi, (c) HLU Vinil Ester, (d) VB Poliester, (e) VB Epoksi, (f) VB Vinil Ester.....	36
4.2	Grafik Hasil Uji Tarik Tertinggi Komposit dengan Variasi Jenis Resin.....	39
4.3	Diagram Pengaruh Jenis Resin terhadap Kuat Lentur.....	40
4.4	Hasil Pengamatan SEM pada Patahan Sampel HLU Bermatriks Epoksi (a) Perbesaran 50x, (b) Perbesaran 500x.....	42
4.5	Hasil Pengamatan SEM pada Patahan Sampel VB Bermatriks Epoksi (a) Perbesaran 50x, (b) Perbesaran 500x.....	43
B.1	Alas Cetakan.....	61

B.2	Alat Pengaduk.....	61
B.3	<i>Bagging Film</i>	61
B.4	Baki.....	61
B.5	Cetakan.....	61
B.6	Gunting.....	61
B.7	Penggaris.....	62
B.8	Pompa Vakum.....	62
B.9	Sarung Tangan.....	62
B.10	Selang.....	62
B.11	<i>Silent Tape</i>	62
B.12	Wadah.....	62
B.13	Tabung <i>Reservior</i>	63
B.14	Serat Nanas.....	63
B.15	Timbangan Digital.....	63
B.16	Alat SEM.....	63
B.17	Resin Poliester.....	63
B.18	Resin Epoksi.....	63
B.19	Resin Vinil Ester.....	64
B.20	Larutan NaOH 5%.....	64
C.1	Hasil Uji Tarik <i>Hand Lay-up</i> Poliester.....	66
C.2	Hasil Uji Tarik <i>Hand Lay-up</i> Epoksi.....	66
C.3	Hasil Uji Tarik <i>Hand Lay-up</i> Vinil Ester.....	67
C.4	Hasil Uji Lentur <i>Hand Lay-up</i> Poliester.....	67

C.5	Hasil Uji Lentur <i>Hand Lay-up</i> Epoksi.....	68
C.6	Hasil Uji Lentur <i>Hand Lay-up</i> Vinil Ester.....	68
C.7	Hasil Uji Tarik <i>Vacuum Bag</i> Poliester	69
C.8	Hasil Uji Tarik <i>Vacuum Bag</i> Epoksi	69
C.9	Hasil Uji Tarik <i>Vacuum Bag</i> Vinil Ester	70
C.10	Hasil Uji Lentur <i>Vacuum Bag</i> Poliester	70
C.11	Hasil Uji Lentur <i>Vacuum Bag</i> Epoksi	71
C.12	Hasil Uji Lentur <i>Vacuum Bag</i> Vinil Ester	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki kekayaan yang melimpah dalam hal sumber daya alam, termasuk serat alam yang tersebar di seluruh negeri. Namun, potensi besar dari bahan baku ini belum sepenuhnya dimanfaatkan. Serat alam memiliki karakteristik unik yang berbeda dari material lain, sehingga membutuhkan penelitian dan pengembangan yang menyeluruh. Proses ini mencakup mulai dari penyiapan bahan dasar, teknologi pengolahan, hingga tahap-tahap manufaktur yang komprehensif. Untuk memanfaatkan potensi serat alam, teknologi komposit berbasis serat alam dan limbah dari sektor pertanian serta perkebunan menjadi solusi yang penting. Pengembangan teknologi ini tidak hanya akan mengatasi tantangan kelangkaan bahan baku yang dihadapi oleh industri, seperti industri otomotif, tetapi juga berkontribusi dalam upaya pelestarian lingkungan. Produk komposit yang dihasilkan dari serat alam ini dapat digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai sektor, termasuk konstruksi bangunan, industri manufaktur, dan sektor otomotif. [1] Komposit adalah material hibrida yang terbentuk dari resin polimer yang diperkuat dengan serat atau fiber, menjadikannya salah satu material yang banyak digunakan saat ini. [2] Salah satu alasan utama popularitas material komposit adalah sifatnya yang ringan namun kokoh. Selain itu, penggunaan serat alam dalam pembuatan komposit memberikan sejumlah keunggulan tambahan. Di antaranya adalah biaya

produksi yang lebih rendah, kekuatan spesifik dan modulus yang tinggi, densitas yang rendah, serta emisi polusi yang lebih rendah. Tidak hanya itu, komposit berbasis serat alam juga memiliki keuntungan lain, yaitu kemampuan untuk didaur ulang, yang menjadikannya pilihan material yang lebih ramah lingkungan. Secara keseluruhan, komposit polimer yang diperkuat serat nabati memiliki potensi besar untuk menggantikan bahan yang berasal dari sumber daya tidak terbarukan [3].

Umumnya, dalam pembuatan komposit terdapat beberapa metode. Diantaranya adalah metode *hand lay-up* dan *vacuum bag* yang mana keduanya tidak berbeda jauh. Teknik *hand lay-up* adalah salah satu metode tertua dalam pembuatan komposit. Proses *hand lay-up* merupakan proses laminasi serat secara manual dengan memberi penekanan pada lapisan dengan menggunakan *roller*. Proses *hand lay-up* memiliki beberapa kelebihan yaitu *hand lay-up* memungkinkan pembuatan produk dengan berbagai aplikasi dan geometri dengan biaya yang murah dan tidak memerlukan pelatihan khusus [4]. Metode *vacuum bag* merupakan pengembangan lebih lanjut dari metode *hand lay-up* yang sering digunakan dalam proses pembuatan material komposit. *Vacuum bag* adalah teknik yang bertujuan untuk menciptakan tekanan mekanis pada laminasi selama proses impregnasi resin. Proses ini dimulai dengan menempatkan laminasi yang telah disusun di dalam cetakan, kemudian menutupnya dengan lembaran plastik yang kuat dan kedap udara. Setelah laminasi disegel rapat, tekanan udara di dalam dan di luar cetakan setara dengan tekanan atmosfer, yaitu sekitar 14,7 Psi[5]. Dengan berkurangnya tekanan di dalam cetakan, tercipta perbedaan tekanan yang menyebabkan lembaran plastik *vacuum bag* menekan laminasi dengan kuat. Tekanan ini memastikan resin

tersebar merata ke seluruh permukaan serat, dan secara bersamaan, udara yang terperangkap di dalam laminasi akan tersedot keluar. Metode vacuum bag dianggap lebih unggul dibandingkan metode hand lay-up tradisional karena memberikan hasil yang lebih baik dalam proses curing. Pada tahap curing, tekanan yang diterapkan oleh vacuum bag membantu menekan serat dan matriks dengan lebih efektif, sehingga memastikan bahwa resin mengisi seluruh ruang di antara serat dengan sempurna dan menghindari porositas [6].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Azissyukhron & Hidayat pada tahun 2018, ditemukan perbedaan signifikan antara metode hand lay-up dan vacuum bag ketika digunakan untuk membuat komposit berbahan dasar Styrofoam atau gabus. Bahan ini berfungsi sebagai pengganti material honeycomb, dengan tambahan fiberglass atau serat kaca, wax, serta resin dan pengeras epoxy dalam proses pembuatannya. Penelitian tersebut mengungkapkan bahwa komposit yang dihasilkan melalui metode hand lay-up menunjukkan modulus elastisitas sebesar 170.848 MPa, yang menunjukkan tingkat elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit yang dibuat menggunakan metode vacuum bag. Komposit hasil metode vacuum bag memiliki modulus elastisitas sebesar 463.810 MPa, yang berarti material ini lebih kaku dibandingkan dengan hasil metode hand lay-up.. Sedangkan untuk ketahanan kedua material tersebut, untuk material metode *vacuum bag* lebih baik ketahanannya. Lalu dari segi berat, material hasil metode *hand lay-up* jauh lebih berat dibandingkan dengan material metode *vacuum bag* [7]. Maka dari itu, pembeda dari penelitian sebelumnya dengan apa yang ingin dilakukan peneliti sekarang ialah terletak pada jenis penguat yang akan digunakan.

Pada penelitian sebelumnya penguat yang digunakan yaitu *fiberglass* atau serat kaca, sedangkan pada penelitian ini penguat yang akan digunakan yaitu jenis serat alam (serat daun nanas) dengan menggunakan dua metode fabrikasi *vacuum bag* dan *hand lay-up* untuk mendapatkan perbandingan sifat mekanik antara kedua metode tersebut.

Salah satu contoh nyata dari penerapan teknologi komposit yang sering kita temui dalam kehidupan sehari-hari adalah pada bagian interior mobil, khususnya pada dashboard. Dashboard adalah panel yang terletak di bagian depan interior mobil, yang biasanya dilengkapi dengan berbagai fasilitas seperti panel instrumentasi, laci penyimpanan, radio atau tape, serta sistem pendingin udara (AC) [8]. Penggunaan material komposit berbasis polimer yang diperkuat dengan serat alam dalam industri otomotif saat ini semakin berkembang pesat. Material ini mulai banyak digunakan untuk menggantikan komposit polimer sintetis yang sebelumnya umum digunakan sebagai bahan penguat dalam komposit, seperti e-glass, karbon, dan silikon karbida. Pengembangan ini didorong oleh berbagai keuntungan yang ditawarkan oleh serat alam, termasuk sifatnya yang lebih ramah lingkungan dan biokompatibel. Dalam produksi komponen-komponen mobil, penggunaan komposit polimer berbasis serat alam telah terbukti mampu memberikan sejumlah keunggulan. Salah satu manfaat utama adalah kemampuannya dalam mengurangi berat keseluruhan kendaraan, yang secara langsung berkontribusi pada efisiensi bahan bakar dan penurunan emisi gas buang. Selain itu, material ini juga dirancang untuk tetap menjaga standar keselamatan penumpang, memastikan bahwa

meskipun ringan, komponen yang dihasilkan tetap kuat dan mampu melindungi penumpang dalam berbagai situasi [9].

Pemanfaatan serat daun nanas sebagai serat penguat dalam material komposit memiliki potensi yang sangat signifikan, terutama dalam konteks pengelolaan limbah industri. Industri saat ini umumnya mengandalkan serat sintetis seperti fiberglass untuk memperkuat material komposit, seperti yang digunakan dalam Fiberglass Reinforced Plastic (FRP). Namun, penggunaan serat daun nanas sebagai alternatif baru menjanjikan keberlanjutan yang lebih baik dalam proses manufaktur. Serat daun nanas menawarkan berbagai keunggulan, termasuk biodegradabilitas yang tinggi dan sumber daya yang melimpah. Hal ini berarti penggunaannya tidak hanya mengurangi ketergantungan pada serat sintetis yang bersifat tidak terbarukan, tetapi juga membantu mengurangi jumlah limbah industri yang biasanya sulit untuk didaur ulang. Dengan memanfaatkan limbah organik ini untuk produksi komposit, dapat tercipta lingkungan produksi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Pengembangan komposit berbasis serat daun nanas juga membuka potensi untuk menjadi bahan alternatif dalam pembuatan komponen-komponen mobil [10]. Serat nanas adalah salah satu jenis serat alami yang berasal dari tanaman nanas dan termasuk dalam kategori serat tumbuhan (vegetable fibre). Serat ini diambil dari daun tanaman nanas, yang memiliki struktur serat yang kuat dan tahan lama. Penggunaan serat nanas sebagai bahan penguat dalam material komposit menjadi alternatif yang menarik dalam pengembangan komposit berbasis ilmiah. Serat nanas telah lama dikenal karena kekuatannya yang luar biasa, yang bahkan sebanding dengan kekuatan logam seperti aluminium. Berdasarkan hasil penelitian

yang telah dilakukan terkait dengan serat nanas, diketahui bahwa serat ini memiliki kekuatan tarik yang hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan dengan fiberglass. Serat nanas menunjukkan kekuatan tarik sebesar 42,33 kg/mm², sementara fiberglass hanya mencapai 21,65 kg/mm². Perbandingan ini menyoroti superioritas mekanik serat nanas dalam hal kekuatan tarik, yang merupakan indikator kritis dalam performa material untuk aplikasi teknik [1].

Pada material komposit, selain penguat juga diperlukan matriks. Matriks memiliki fungsi utama sebagai pengikat dan pelindung penguat, sedangkan penguat adalah bagian yang berfungsi sebagai penerima beban utama yang di alami oleh komposit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Maulana mengenai komposit serat karbon dengan variasi resin thermoset didapatkan kekuatan tarik untuk resin *vynil ester* sebesar 165,53 MPa, kekuatan tarik resin *epoxy* sebesar 155,23 MPa, dan kekuatan tarik resin *polyester* sebesar 123,95 Mpa. Sehingga jika dibandingkan dengan *dashboard* mobil dengan standar SAE J 1717 maka nilai yang didapatkan sudah memenuhi standar uji tarik yaitu senilai 20-100 Mpa, sedangkan untuk standar uji lentur yaitu senilai 50-200 MPa [11]. Pada penelitian sebelumnya menggunakan penguat jenis serat karbon dengan variasi sudut *filler* 45°, 60°, dan 90°. Pada penelitian ini akan dilakukan menggunakan penguat jenis serat nanas dengan arah serat *unidirectional*.

Berdasarkan hal tersebut, maka akan dilakukan penelitian pembuatan komposit dengan memanfaatkan limbah serat alami menggunakan jenis resin termoset dan dengan menggunakan dua metode fabrikasi untuk mengetahui kekuatan tarik dan kekuatan lentur material komposit tersebut. Serat alam yang

digunakan adalah serat nanas dengan variasi fraksi volume 15 % menggunakan matriks termoset *epoxy*, *vinil ester* dan *polyester* menggunakan metode fabrikasi *Hand Lay Up* dan *Vacuum Bag* untuk mengetahui parameter optimum yang memenuhi standar SAE J 1717.

1.2 Identifikasi Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan dasar masalah yang timbul sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jenis resin *epoxy*, *vinil ester*, dan *polyester* terhadap nilai kuat tarik komposit dengan metode *hand lay-up* dan *vacuum bag*?
2. Bagaimana pengaruh jenis resin *epoxy*, *vinil ester*, dan *polyester* terhadap nilai kuat lentur komposit dengan metode *hand lay-up* dan *vacuum bag*?

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh resin termoset terhadap peningkatan kuat tarik komposit dan kuat lentur berpenguat serat nanas sebagai aplikasi *dashboard* mobil. Secara khusus, tujuan dilakukannya penelitian ini, yaitu:

1. Menganalisis pengaruh jenis resin termoset terhadap kuat tarik dan lentur pada komposit berpenguat serat nanas.
2. Menganalisis perbandingan proses dengan menggunakan metode *hand lay up* dan *vacuum bag*.
3. Mengetahui parameter optimum yang memenuhi syarat standar SAE J 1717.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Komposit dibuat menggunakan beberapa bahan baku, yaitu serat daun nanas yang telah direndam dalam NaOH 5% selama dua jam dan tiga jenis resin termoset (poliester, epoksi, dan vinil ester) beserta katalis.
2. Variabel tetap pada penelitian ini adalah sebagai berikut.
 - a. Konsentrasi NaOH 5%.
 - b. Perbandingan tiap-tiap resin dengan katalisnya: epoksi (3:1), vinil ester (100:3:1), dan poliester (100:1).
 - c. Waktu *pre-treatment* serat daun nanas selama dua jam pada NaOH 5%.
 - d. *Curing time* 3 jam.
 - e. Orientasi susunan serat searah (*unidirect*).
3. Variabel bebas pada penelitian ini adalah sebagai berikut.
 - a. Jenis resin termoset: poliester, vinil ester, dan epoksi.
 - b. Metode fabrikasi: *vacuum bag* dan *hand lay-up*
4. Jenis pengujian yang dilakukan terhadap komposit adalah sebagai berikut.
 - a. Uji tarik (ASTM D3039)
 - b. Uji lentur (ASTM D790)
 - c. Karakterisasi patahan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)
5. Penelitian dilakukan di Laboratorium Nanomaterial & Teknologi Proses *Centre of Excellence* Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan skripsi ini terdiri dari lima bab. Bab I merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, identifikasi masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan. Bab II adalah tinjauan pustaka yang berisi teori-teori dasar penunjang penelitian juga sebagai acuan pada proses analisis dan pembahasan. Bab III menjelaskan tentang metode penelitian, meliputi diagram alir, alat dan bahan, hingga prosedur penelitian. Bab IV berisi hasil penelitian beserta pembahasan mengenai pengaruh susunan serat dan jenis resin terhadap sifat mekanik dan sifat fisik komposit. Bab V ialah penutup yang terdiri dari kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan. Selain lima bab tersebut, dicantumkan pula referensi, daftar pustaka, hingga lampiran pada bagian akhir.

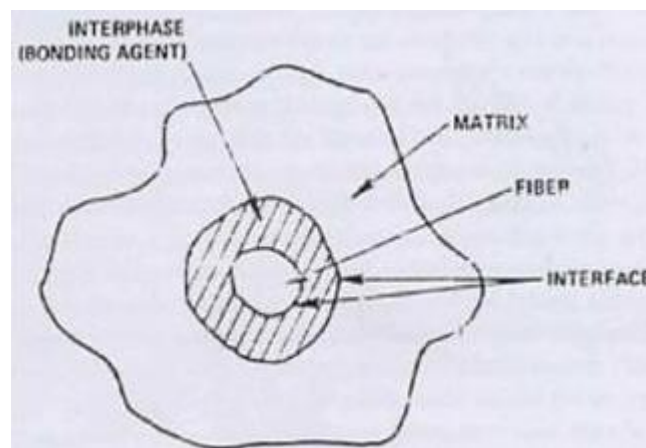
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit merupakan teknologi material yang dirancang melalui rekayasa untuk menggabungkan dua komponen utama, yaitu matriks dan penguat (fiber). Teknologi ini memungkinkan penciptaan material dengan sifat-sifat baru yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan desain yang spesifik. Komposit dibentuk dengan cara menggabungkan dua jenis material yang memiliki sifat berbeda, sehingga menghasilkan kombinasi sifat yang tidak dimiliki oleh bahan-bahan penyusunnya secara individual. Para ilmuwan mendefinisikan komposit sebagai kombinasi antara serat-serat dan resin yang dapat disusun dengan berbagai metode. Misalnya, serat dapat diatur secara memanjang dalam satu arah (unidirectional composites), dipotong menjadi bagian-bagian kecil dan diacak (random fibers), atau dianyam secara silang sebelum dimasukkan ke dalam resin (cross-ply laminate). Selain itu, beberapa pandangan menyatakan bahwa komposit terdiri dari kombinasi pengisi yang dapat berbentuk serat, butiran seperti serbuk, atau serat yang terbuat dari material seperti kaca, karbon, aramid (kevlar), dan keramik. Dengan kata lain, komposit adalah material heterogen yang tersusun dari dua komponen utama: penguat dan pengikat (matriks). Penggabungan kedua komponen ini bertujuan untuk menciptakan material baru yang memiliki karakteristik dan sifat mekanis yang unggul, yang tidak dimiliki oleh masing-masing komponen secara

terpisah [12]. Matriks adalah bagian terbesar dalam komposit yang memiliki fungsi utama sebagai pengikat dan pelindung penguat, sedangkan penguat adalah bagian yang berfungsi sebagai penerima beban utama yang di alami oleh komposit. Penguat yang digunakan biasanya berupa serat [13]. Bahan komposit menawarkan sejumlah keunggulan yang signifikan jika dibandingkan dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan ini dapat dilihat dari berbagai aspek penting, termasuk sifat-sifat mekanik dan fisik, keandalan (reliability), kemampuan untuk diproses (prosesabilitas), serta efisiensi biaya [14].

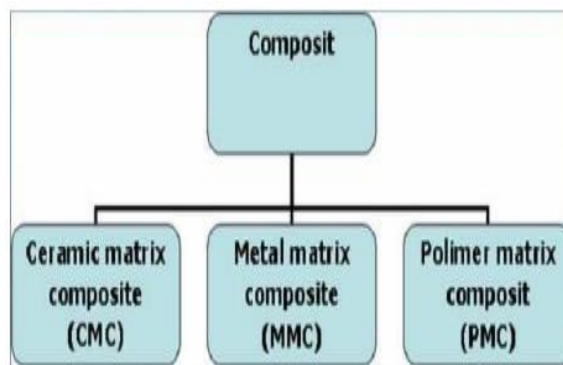


Gambar 2.1 Definisi Komposit [14]

Berdasarkan dari matriknya, komposit dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu [13]:

1. *Metal matrix composite* (MMC) adalah komposit yang menjadikan logam sebagai matriknya. MMC memiliki sifat mekanik yang tinggi sehingga sering digunakan pada industri otomotif. Contoh dari MMC adalah matriks aluminium berpenguat partikel SiC.

2. *Ceramic matrix composite* (CMC) adalah komposit yang menjadikan keramik sebagai matriknya. Umumnya CMC memiliki ketahanan panas yang tinggi sehingga digunakan pada komponen *furnace*. Contoh dari CMC adalah matrik SiC berpenguat serat karbon.
3. *Polymer matrix composite* (PMC) adalah komposit yang menjadikan polimer sebagai matriknya. Pembuatan PMC umumnya sederhana dan murah sehingga banyak di aplikasikan di berbagai bidang. Contoh PMC adalah resin poliester berpenguat serat nanas.



Gambar 2.2 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Bentuk dari Matriksnya [13]

Proses pembuatan komposit yang paling sederhana yaitu dengan PMC sehingga banyak mendapat perhatian oleh para peneliti. PMC sendiri memiliki keuntungan yaitu *high specific stiffness*, *high specific strength*, ringan, ketahanan korosi yang baik, ketahanan impak yang baik, ketahanan *fatigue* yang baik, dan ketahanan patah yang tinggi. Selain dari keuntungan yang dimiliki, PMC juga memiliki kekurangan yaitu ketahanan panas yang rendah [13]

2.2 Serat Alami

Serat adalah filamen kecil yang berasal dari bahan alami atau buatan (sintetik) yang memiliki perbandingan panjang terhadap diameter (aspek rasio) minimal 100 kali lipat. Serat ini dikenal karena sifatnya yang fleksibel dan kuat, menjadikannya bahan yang penting dalam berbagai aplikasi industri. Secara umum, serat dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama berdasarkan asal dan proses pembuatannya, yaitu serat alam, serat semisintetik, dan serat sintetik [15]. Dalam beberapa dekade terakhir, penggunaan serat alam telah meluas di berbagai bidang. Sebagai contoh, serat pisang, goni, hingga rami telah menggantikan beberapa serat sintesis seperti karbon, kaca, dan boron. Kelimpahannya yang tinggi, kemudahannya untuk diproses, dan keramahlingkungannya merupakan beberapa hal yang menarik perhatian pelaku industri untuk memanfaatkan jenis serat alam pada pembuatan produk komposit [16]. Serat alami memiliki keunggulan selama proses produksi, salah satunya adalah tidak menghasilkan gas berbahaya dan tidak merusak peralatan pemrosesan karena sifatnya yang tidak abrasif. Namun, serat alami juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan, terutama terkait dengan sifat hidrofiliknya dan kecenderungannya untuk mudah terbakar. Sifat hidrofilik ini menyebabkan serat alami memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi, yang pada gilirannya dapat menyebabkan masalah seperti adhesi antar-muka yang buruk antara matriks polimer dan serat, serta dispersi serat yang tidak merata dalam matriks. Masalah-masalah ini dapat mengurangi efektivitas serat alami sebagai bahan penguat dalam komposit polimer. Untuk mengatasi tantangan ini, berbagai penelitian telah dilakukan untuk memodifikasi permukaan serat alami

[17].

Tabel 2.1 Sifat Mekanik dari Beberapa Jenis Serat [18]

		<i>Cotton</i>	<i>flax</i>	<i>Jute</i>	<i>Kenaf</i>	<i>Ramie</i>	<i>Sisal</i>
Diameter	mm	-	11-33	200	200	40-80	50-200
Panjang	mm	10-60	10-40	1-5	2-6	60-260	1-5
Kekuatan tarik	MPa	330-585	345-1035	393-773	930	400-1050	511-635
Modulus elastisitas	GPa	4,5-12,6	27,6-45,0	26,5	53,0	61,5	9,4-15,8
Massa jenis	g/cm ²	1,5-1,54	1,43-1,52	1,44-1,50	1,5	1,5-1,6	1,16-1,5
Regangan maksimum	%	7,0-8,0	2,7-3,2	1,5-1,8	1,6	3,6-3,8	2,0-2,5
		<i>Cotton</i>	<i>Flax</i>	<i>Jute</i>	<i>Kenaf</i>	<i>Ramie</i>	<i>Sisal</i>
Spesifik kekuatan tarik	Km	39,2	73,8	52,5	63,2	71,4	43,2
Spesifik kekuatan	Km	0,85	3,21	1,80	3,60	4,18	1,07

Struktur serat alami terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, dan zat lilin memungkinkan mengatasi penyerapan air dari lingkungan yang menyebabkan ikatan yang lemah antara serat dan polimer. Ikatan antara serat alami dan polimer dianggap sebagai tantangan karena struktur kimia dari serat dan matrik berbeda. Sehingga perlu dilakukan modifikasi serat untuk mengurangi penyerapan air serat alami untuk meningkatkan kompatibilitas komposit [19].

2.3 Serat Daun Nanas

Tanaman nanas (*Ananas cosmosus*), yang termasuk dalam famili Bromeliaceae, adalah tumbuhan yang tumbuh subur di wilayah tropis dan subtropis. Tanaman ini tersebar luas di berbagai negara, seperti Filipina, Brasil, Hawaii, India, dan Indonesia. Di Indonesia sendiri, tanaman nanas banyak ditemukan di beberapa daerah, termasuk Subang, Majalengka, Purwakarta, Purbalingga, Bengkulu, Lampung, dan Palembang. Daerah-daerah ini menjadikan nanas sebagai salah satu sumber daya alam yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan. Dalam budidayanya, daun nanas biasanya dikembalikan ke tanah sebagai pupuk organik, membantu menjaga kesuburan tanah dan mendukung keberlanjutan pertanian. Tanaman nanas dewasa mampu menghasilkan sekitar 70 hingga 80 lembar daun per tanaman, dengan berat berkisar antara 3 hingga 5 kilogram. Kandungan air dalam daun nanas cukup tinggi, mencapai sekitar 85%, yang menjadikan daun ini sebagai bahan yang kaya akan kelembaban. Setelah panen, tanaman nanas meninggalkan sejumlah besar limbah, dengan 90% dari total limbah berupa daun, 9% tunas batang, dan 1% batang [20].

Hingga saat ini, pemanfaatan serat dari daun nanas sebagian besar terbatas pada kerajinan rumah tangga, seperti anyaman, dan belum banyak dimanfaatkan secara luas dalam industri. Padahal, serat daun nanas mengandung sekitar 70-80% selulosa, yang memberikan sifat modulus elastisitas dan kekuatan yang cukup tinggi. Karakteristik ini menunjukkan bahwa serat daun nanas memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan penguat komposit serat alam yang efisien dan kuat. Sayangnya, nilai jual daun nanas saat ini hampir tidak ada, karena daun-daun tersebut lebih sering dibuang daripada dimanfaatkan. Banyak petani yang tidak melihat potensi ekonomis dari limbah daun nanas ini, sehingga mereka cenderung mengabaikannya. Mengingat kelimpahan daun nanas yang tersedia, sangat penting untuk mengembangkan inovasi baru yang dapat memanfaatkan limbah ini secara lebih efektif. Salah satu solusi yang bisa dikembangkan adalah menggunakan serat daun nanas sebagai bahan penguat dalam pembuatan komposit serat alam yang murah dan ramah lingkungan. Penggunaan ini tidak hanya dapat mengurangi limbah yang terbuang, tetapi juga berpotensi meningkatkan nilai ekonomi dari daun nanas itu sendiri [21].

Menurut data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi nanas di Indonesia mencapai rata-rata 1,5 juta ton per hari. Dengan volume produksi yang begitu besar setiap tahunnya, tentunya daun nanas yang dihasilkan juga dalam jumlah yang sangat banyak. Hal ini menunjukkan bahwa daun nanas memiliki potensi yang signifikan untuk menjadi limbah yang cukup besar. Seiring dengan tingginya produksi nanas, jumlah daun yang tidak dimanfaatkan akan terus bertambah, dan jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat menimbulkan

masalah lingkungan [22].

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Serat Daun Nanas [23]

Sifat Mekanik	Nilai
Densitas (g/cm ³)	1,07
Kuat tarik (Mpa)	126,60
Elongasi (%)	2,2
Modulus Young (Mpa)	4405

2.4 Polimer Termoset

Polimer termoset yang juga dikenal sebagai termoset atau plastik termoset adalah polimer yang terdiri dari struktur ikatan silang (*crosslink*) atau molekul bercabang banyak. Polimer termoset, resin, atau plastik, sering disebut termoset, adalah polimer yang dikeraskan secara *irreversibel* dengan melakukan proses *curing* pada resin. Termoset adalah polimer yang tidak dapat diubah menjadi kaku ketika dipanaskan. Awalnya, polimer termoset adalah cairan atau padatan lunak. Namun ketika dilakukan proses *curing*, polimer akan memadat [24].

Plastik termoset atau termosetting dikenal karena sifatnya yang keras dan kaku, yang disebabkan oleh adanya ikatan-ikatan silang di antara rantai polimernya. Sifat ini membuat plastik termoset menjadi semakin keras saat dipanaskan, karena panas memfasilitasi pembentukan ikatan-ikatan silang tersebut dengan lebih mudah. Beberapa contoh umum dari plastik termoset termasuk Bakelit, poli (melamin formaldehida), dan poli (urea formaldehida). Meskipun polimer termoset

ini lebih sulit untuk didaur ulang dibandingkan dengan termoplastik, mereka memiliki keunggulan dalam hal ketahanan dan daya tahan. Struktur ikatan silang yang terbentuk secara permanen setelah proses pemanasan membuat plastik termoset sangat stabil dan mampu mempertahankan bentuk serta kekuatannya meskipun terkena panas yang tinggi. Karena sifat ini, plastik termoset sering digunakan dalam pembuatan berbagai peralatan rumah tangga yang memerlukan ketahanan terhadap panas, seperti cangkir dan piring tahan panas, komponen elektronik, dan berbagai produk lainnya yang membutuhkan daya tahan terhadap suhu tinggi [25].

Sifat-sifat dari polimer termoset antara lain yaitu memiliki kombinasi mulai dari stabilitas termal, ketahanan kimia, hingga integritas struktural. Termoset memiliki kemampuan untuk mempertahankan stabilitasnya dalam berbagai kondisi lingkungan dan suhu secara signifikan lebih baik daripada polimer termoplastik. Oleh karena itu polimer termoset sering dimanfaatkan sebagai matrik pada pembuatan komposit. Penggunaan termoset sebagai matrik komposit memungkinkan pengaplikasian berbagai jenis mulai dari yang sederhana hingga rumit [26]. Berikut ini merupakan contoh polimer termoset.

2.4.1 Poliester

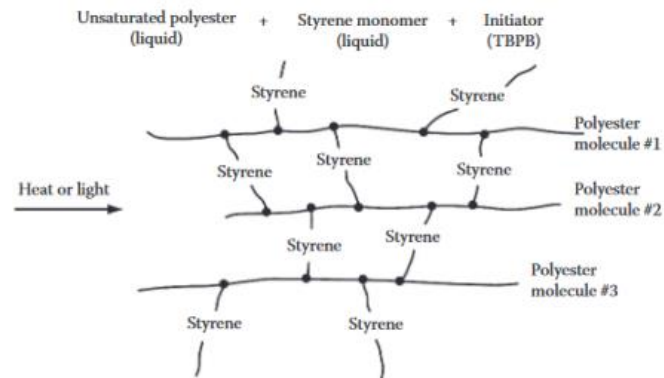
Unsaturated Polyester Resin (UPR) adalah senyawa kimia yang berbentuk resin cair dengan viskositas yang relatif rendah. Sifat viskositas rendah ini memungkinkan UPR untuk diolah dan diaktivasi menggunakan katalis pada suhu kamar, tanpa menimbulkan efek samping yang berbahaya. UPR adalah salah satu jenis polimer termoset yang sangat dikenal dalam

berbagai aplikasi industri. Proses pembentukan UPR terjadi melalui reaksi polimerisasi, di mana molekul glikol dan asam dikarboksilat digabungkan untuk membentuk rantai polimer. Selanjutnya, polimer ini dilarutkan dalam monomer reaktif, menciptakan cairan dengan viskositas rendah. Ketika monomer ini mulai mengering, ia bereaksi dengan ikatan tak jenuh pada polimer, menghasilkan struktur termoset yang padat dan kuat [27]. Poliester tak jenuh (*unsaturated*) adalah jenis resin yang penggunaannya mencapai 75% atau yang tertinggi di dunia [28]. Dholakiya menyebutkan bahwa penggunaan poliester tak jenuh ini telah masif sejak tahun 1930 [29]

Prapolimer awal untuk poliester adalah poliester tak jenuh yang mengandung sejumlah ikatan rangkap karbon-karbon tak jenuh pada molekulnya. Ikatan rangkap tersebut merupakan situs *cross-linking* selama *curing*. Molekul poliester tak jenuh sendiri dihasilkan oleh reaksi asam organik tak jenuh, seperti maleat anhidrida atau ftalat anhidrida, dengan glikol, seperti etilen glikol, dietilen glikol, dan propilen glikol [26]

Reaksi *curing* resin poliester dengan monomer stirena dimulai dengan menambahkan sejumlah kecil katalis, seperti benzoil peroksida (BP) untuk pengawetan suhu tinggi dan metil etil keton peroksida (MEKP) untuk pengawetan suhu kamar. Jika BP digunakan sebagai katalis, aplikasi panas dengan cepat menguraikan katalis menjadi radikal bebas yang bereaksi dengan ikatan C=C dalam stirena serta molekul poliester. Radikal bebas stirena bergabung satu sama lain dan bergabung dengan molekul poliester

pada titik ketidakebihannya, akhirnya membentuk cross link antara molekul poliester (Gambar 2.3) [26].



Gambar 2.3 Skema *Crosslinking* pada Resin Poliester [26]

2.4.2 Vinil Ester

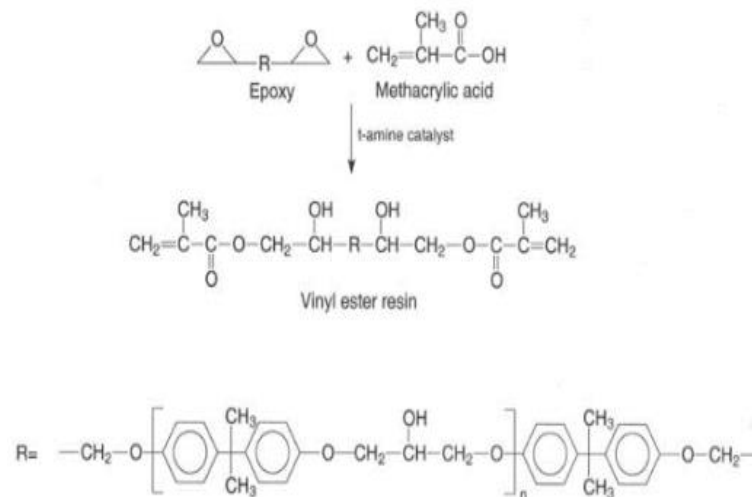
Vinil ester adalah hasil dari proses polimerisasi yang melibatkan berbagai jenis resin dan asam monokarboksilat etilenik tak jenuh. Resin ini termasuk dalam kategori resin termoset tak jenuh, yang sangat populer dan banyak digunakan dalam berbagai industri. Popularitas vinil ester disebabkan oleh sifat-sifat unggul yang dimilikinya, seperti bobot yang ringan, kekuatan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta kemampuan memberikan sifat mekanik yang sangat baik. Salah satu alasan utama mengapa vinil ester memiliki performa yang begitu baik adalah karena adanya kandungan bisphenol A diepoksida dalam strukturnya. Kandungan ini berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kekuatan tarik dan kelenturan resin, sehingga membuat vinil ester mampu menahan beban mekanik yang cukup besar tanpa mengalami kerusakan atau deformasi. [30]. Kelebihan lain dari vinil ester ini

yaitu resin vinil ester mempunyai sifat yang spesifik seperti resisten terhadap sejumlah besar bahan kimia, memiliki stabilitas termal yang baik, dan memiliki ketahanan lelah yang sangat baik [31].

Salah satu penggunaan utama resin vinil ester dalam industri adalah dalam pembuatan laminasi struktural, yang membutuhkan material dengan kekuatan dan ketahanan tinggi. Dalam proses polimerisasi resin ini, diperlukan penambahan serangkaian katalis dan promotor dengan komposisi yang tepat dan seimbang. Penambahan ini sangat penting karena paket katalis dan promotor tersebut memainkan peran krusial dalam memfasilitasi reaksi cross-link atau pembentukan ikatan silang di dalam resin. Reaksi cross-link ini adalah proses yang menentukan kekuatan dan kestabilan akhir dari komposit yang dihasilkan. Oleh karena itu, rasio kombinasi antara katalis dan promotor harus diatur secara optimal untuk mencapai kualitas laminasi struktural terbaik. Rasio yang tepat memastikan bahwa ikatan antar molekul resin terbentuk dengan kuat, menghasilkan komposit yang memiliki kekuatan mekanik dan ketahanan yang tinggi. Selain penggunaan paket katalis dan promotor, ada juga teknik tambahan yang bisa diterapkan untuk meningkatkan kekuatan ikatan interlock dalam resin, yaitu melalui pengaturan waktu curing dan pasca-curing [31]. Selama hampir tiga dekade terakhir, berbagai paten telah dikembangkan yang menunjukkan bahwa dalam reaksi pembentukan oligomer vinil ester, katalis yang umum digunakan meliputi senyawa seperti amina tersier, fosfin, serta garam-garam onmium atau alkil. Di antara berbagai katalis tersebut, penelitian yang telah dilakukan

menunjukkan bahwa triphenylphosphine terbukti menjadi yang paling efektif dalam memfasilitasi proses reaksi ini dibandingkan dengan katalis lainnya. Proses reaksi pembentukan oligomer vinil ester biasanya berlangsung selama sekitar 4 hingga 5 jam pada suhu sekitar 120°C [30].

Vinil ester memiliki struktur yang mirip dengan poliester karena terdiri dari gugus yang serupa, yakni ester. Hal yang membedakan hanyalah posisi dari gugus aktif tersebut. Pada vinil ester, posisinya berada pada bagian terminal saja [32]. Bentuk paling sederhana dari vinil ester adalah produk dari reaksi antara satu mol diglisidil eter BPA dan 2 mol asam metasilat (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Skema Reaksi dari Sintesis Vinil Ester [26]

2.4.3 Epoksi

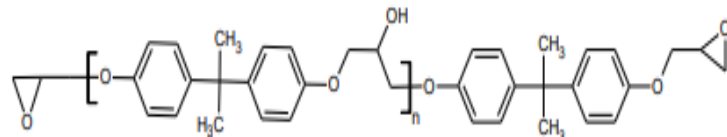
DGEBA, atau diglycidyl ether of bisphenol A, yang lebih dikenal dengan nama epoksi, adalah jenis polimer termoset yang terbentuk dari reaksi antara senyawa epiklorohidrin dan bisphenol A. Resin epoksi pertama kali

ditemukan pada tahun 1938 oleh Pierre Castan, seorang ahli kimia asal Swiss. Sejak penemuan tersebut, resin epoksi telah mengalami perkembangan yang signifikan. Pada tahun 1989, produksi resin epoksi di Jepang mencapai sekitar 137.000 ton, menandakan betapa luasnya penggunaan dan penerimaan material ini di berbagai sektor industri. Resin epoksi digunakan secara luas dalam berbagai bidang, termasuk cat, listrik, teknik sipil, dan pengikatan bahan. Keunggulan utama resin epoksi terletak pada kemampuannya untuk memberikan ikatan yang sangat baik antara permukaan yang berbeda. Setelah proses curing, resin epoksi menunjukkan karakteristik yang sangat menguntungkan, seperti kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan terhadap bahan kimia, serta kemampuan isolasi listrik yang superior. Keunggulan lainnya dari resin epoksi adalah kemampuannya untuk dikombinasikan dengan berbagai bahan lain, yang memungkinkan penyesuaian sifat-sifatnya sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu. [33]. Resin epoksi memiliki struktur kimia yang terdiri dari gugus epoxy atau oxirene. Biasanya, resin ini berada dalam bentuk cair yang kental atau hampir padat sebelum proses pengerasan. Resin epoksi ini dirancang khusus untuk digunakan dalam aplikasi yang memerlukan pengerasan atau pembentukan material keras setelah aplikasi. Ketika resin epoksi direaksikan dengan bahan tambahan seperti hardener atau katalis, proses tersebut menghasilkan polimer crosslink. Crosslinking adalah proses di mana rantai-rantai polimer terhubung secara kimiawi melalui ikatan silang, yang mengarah pada pembentukan material yang lebih kuat dan lebih stabil. Proses ini penting karena meningkatkan

kekuatan mekanik dan ketahanan resin epoksi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Untuk sistem curing pada suhu ruang, hardener yang umum digunakan dengan resin epoksi adalah senyawa poliamida. Poliamida ini mengandung dua atau lebih grup amina dalam strukturnya, yang berfungsi sebagai agen pengaktif dalam proses curing [34].

Resin epoksi sering kali terdiri dari molekul yang memiliki lebih dari satu gugus epoksi. Jumlah gugus epoksi yang terdapat dalam setiap molekul resin epoksi dapat bervariasi, tergantung pada jenis dan komposisi spesifik resin yang digunakan. Resin epoksi ini dirancang untuk memenuhi berbagai kebutuhan industri dengan mengadaptasi jumlah gugus epoksi yang sesuai. Secara umum, berat ekuivalen rata-rata dari resin epoksi adalah sekitar 185, sedangkan berat molekulnya berkisar antara 900 hingga 3000 gram per mol [35]. Gugus epoksi memiliki kemampuan untuk bereaksi dengan agen pengeras yang sesuai atau katalis dalam proses yang dikenal sebagai homopolimerisasi. Reaksi ini menghasilkan polimer dengan berat molekul yang tinggi. Selama proses curing, yaitu proses pengerasan resin, gugus epoksi berikatan silang dengan gugus-gugus lain, membentuk jaringan polimer termoset yang sangat stabil. Struktur termoset ini memiliki sifat kekuatan kohesif dan adhesif yang sangat baik, yang memberikan daya rekat dan ketahanan yang tinggi pada material akhir. Setelah proses curing selesai, polimer epoksi yang terbentuk memiliki karakteristik yang kuat dan stabil secara kimiawi, membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi industri yang membutuhkan material dengan ketahanan dan kekuatan tinggi. Namun, istilah

"epoksi" juga dapat merujuk pada resin epoksi yang digunakan dalam konteks yang berbeda, seperti dalam material termoplastik atau resin yang belum menjalani proses curing (Gambar 2.5) [33].



Gambar 2.5 Struktur Molekul Resin Epoksi [36]

2.5 Metode Sintesis

Pada pembuatan komposit terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, yaitu:

2.5.1 *Hand Lay-Up*

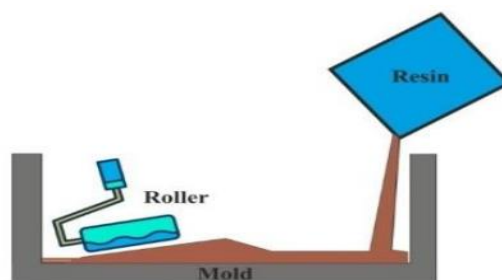
Metode ini berprinsip pada pelapisan serat penguat menggunakan matriks polimer dari golongan termoset dengan bantuan rol yang dioperasikan secara manual. Salah satu keunggulan utama dari metode ini adalah penggunaan peralatan yang sangat minim, jika dibandingkan dengan metode lain yang mungkin memerlukan peralatan yang lebih kompleks dan mahal. Selain itu, proses pelapisan ini juga berlangsung relatif singkat, yang membuatnya efisien dari segi waktu. Namun, meskipun memiliki beberapa kelebihan, metode ini juga memiliki sejumlah kelemahan. Salah satu kelemahan utamanya adalah rendahnya konsistensi dan kualitas hasil akhir dibandingkan dengan metode lain. Hal ini disebabkan oleh tantangan dalam mempertahankan tekanan yang konsisten selama proses pelapisan. Ketidakmampuan untuk memberikan tekanan yang merata dapat

menyebabkan impregnasi serat penguat dengan matriks polimer tidak terjadi secara homogen, sehingga menghasilkan komposit dengan kualitas yang bervariasi. Masalah lain yang mungkin muncul adalah tingginya jumlah voids atau rongga udara dalam komposit. Selama proses pengerolan, udara seringkali terjebak dalam matriks polimer, yang dapat memperburuk masalah konsistensi dan kekuatan akhir dari komposit [37].

Komposit berkinerja tinggi terdiri dari bahan matriks yang diperkuat oleh lapisan serat yang disejajarkan. Serat-serat inilah yang memberikan komposit sifat struktural yang sangat baik, tetapi juga membuatnya secara inheren rumit untuk diproduksi karena harus dibangun lapis demi lapis. Proses pembuatan yang dikenal sebagai "*hand lay-up*" melibatkan peletakan secara manual lapisan individu atau "lapisan" dari suatu bentuk penguatan yang dikenal sebagai "*prepreg*". Ini terdiri dari ribuan serat, yang sebelumnya diresapi dengan resin dan dibundel menjadi *tows* dan disusun baik dalam satu lapis searah atau ditenun bersama. Proses *lay-up* melibatkan memanipulasi setiap lapisan menjadi bentuk dengan tangan dan kemudian menempel kuat pada lapisan sebelumnya atau permukaan cetakan tanpa meninggalkan udara terjebak di antara lapisan [38]. Proses *hand lay-up* dilakukan peletakan manual. Tekanan tangan atau rol menghilangkan udara yang terperangkap.

Langkah pertama dalam proses ini adalah meratakan resin yang berfungsi sebagai matriks di dinding cetakan. Setelah resin merata, langkah berikutnya adalah menempatkan lapisan penguat atau reinforce ke dalam cetakan. Setelah lapisan penguat ditempatkan, lapisan tersebut kemudian

ditutup kembali dengan resin termoset atau resin serupa, yang kemudian diratakan menggunakan kuas. Proses ini memastikan bahwa penguat sepenuhnya terlapisi dan terbenam dalam resin, membentuk komposit yang kokoh. Pada tahap berikutnya, lapisan kedua dari resin dioleskan dengan cara yang sama. Namun, untuk lapisan kedua ini, perlu ada sedikit tekanan saat meratakan resin menggunakan kuas untuk memastikan bahwa udara yang terperangkap dapat dihindari. Terperangkapnya udara dapat menyebabkan rongga dalam komposit, yang pada akhirnya dapat mengurangi kekuatan dan integritas struktural dari material. Oleh karena itu, menghindari terjebaknya udara sangat penting untuk memastikan kekuatan dan kualitas komposit yang dihasilkan. Setelah mencapai ketebalan yang diinginkan, komposit dibiarkan mengering pada suhu ruang atau suhu tertentu yang telah ditetapkan. Proses pengeringan ini memungkinkan resin untuk mengeras dan membentuk struktur akhir yang diperlukan. Setelah proses pengerasan selesai, komposit kemudian dikeluarkan dari cetakan dan dapat diproses lebih lanjut sesuai kebutuhan aplikasi. Dalam metode hand lay-up, rasio komposit yang digunakan biasanya adalah sekitar 61% serat dan 39% resin berdasarkan fraksi massa, atau 46% serat dan 54% resin berdasarkan fraksi volume [39].



Gambar 2.6 Proses *Hand Lay-Up* [40]

2.5.2 Vacuum Bag

Metode vacuum bag merupakan salah satu teknik manufaktur yang sangat populer dan sering digunakan, selain metode hand lay-up. Metode ini diterapkan karena menawarkan beberapa keuntungan signifikan dalam proses pembuatan komposit. Salah satu manfaat utama dari penggunaan metode vacuum bag adalah kemampuannya untuk mengurangi waktu manufaktur secara keseluruhan. Dengan mengoptimalkan proses pengeringan dan pengerasan, metode ini memungkinkan produksi yang lebih efisien dan cepat. Selain pengurangan waktu manufaktur, metode vacuum bag juga efektif dalam mengatasi masalah umum seperti gelembung udara dan kerutan yang dapat muncul pada hasil akhir. Proses vakum yang diterapkan dalam metode ini bekerja untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam lapisan komposit, yang membantu mengurangi pembentukan gelembung dan menghindari kerutan yang dapat merusak tampilan dan kualitas material akhir. Lebih jauh lagi, metode vacuum bag meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit secara signifikan jika dibandingkan dengan metode hand lay-up. [41]. Metode vacuum bag adalah sebuah teknik pembuatan komposit yang melibatkan penggunaan tekanan atmosfer untuk menekan lapisan-lapisan material yang digunakan dalam proses tersebut. Dalam teknik ini, lapisan-lapisan komposit ditempatkan di dalam kantong plastik yang sepenuhnya kedap udara. Proses dimulai dengan menutup kantong plastik secara rapat untuk memastikan tidak ada udara yang dapat masuk. Setelah

kantong plastik tertutup, langkah selanjutnya adalah melakukan proses vakum di dalam kantong tersebut. Proses vakum ini bertujuan untuk mengurangi tekanan di dalam kantong plastik sehingga tekanan atmosfer di luar kantong menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan di dalam kantong. Perbedaan tekanan ini menyebabkan lapisan-lapisan komposit yang ada di dalam kantong terdorong atau ditekan secara merata oleh tekanan atmosfer [42].

Penekanan laminasi komposit memiliki beberapa fungsi penting yang berkontribusi pada kualitas dan performa akhir dari material komposit. Pertama, salah satu fungsi utama dari penekanan ini adalah untuk menghilangkan udara yang terjebak di antara lapisan-lapisan komposit. Udara yang terperangkap dapat menyebabkan cacat seperti gelembung atau rongga yang dapat mempengaruhi kekuatan dan integritas material, sehingga menghilangkannya sangat penting untuk mendapatkan hasil akhir yang berkualitas tinggi. Kedua, penekanan laminasi berfungsi untuk memadatkan lapisan serat, yang penting untuk memastikan transmisi gaya yang efisien di antara bundel serat. Dengan memadatkan lapisan serat, penekanan ini membantu mencegah pergeseran orientasi serat selama proses penyembuhan, yang dapat mempengaruhi kekuatan dan stabilitas komposit. Penekanan yang merata memastikan bahwa serat tetap pada posisi yang diinginkan, sehingga meningkatkan performa mekanik dari komposit. Ketiga, penekanan ini juga membantu mengurangi kelembaban yang mungkin ada di dalam lapisan komposit. Kelembaban yang terperangkap dapat mengurangi kekuatan dan

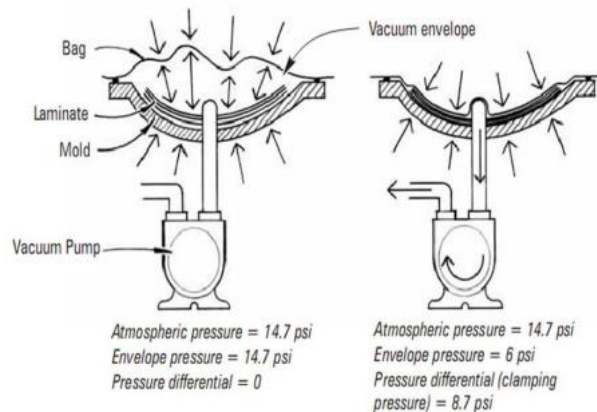
ketahanan material, sehingga pengurangan kelembaban adalah langkah penting dalam proses pembuatan komposit. Teknik vacuum bag, yang merupakan metode yang digunakan untuk penekanan ini, mengoptimalkan rasio serat ke resin dalam komposit. Saat laminasi disegel dalam kantong plastik, tekanan udara di dalam cetakan dan di luar cetakan adalah sama, sekitar 14,7 psi, yang merupakan tekanan atmosfer. Setelah kantong plastik tertutup rapat, pompa vakum diaktifkan untuk mengurangi tekanan di dalam cetakan, sementara tekanan di luar cetakan tetap pada 14,7 psi. Perbedaan tekanan ini menciptakan gaya dorong yang mendorong lapisan komposit ke arah yang merata, sehingga menghasilkan pepadatan yang konsisten dan berkualitas tinggi [5].

Tekanan atmosfer memiliki peran penting dalam proses penekanan laminasi komposit, karena ia bekerja secara seragam di seluruh sisi cetakan, termasuk di atas permukaan cetakan. Ketika cetakan disiapkan, perbedaan tekanan antara bagian dalam cetakan dan tekanan atmosfer di luar cetakan menciptakan gaya yang diperlukan untuk menekan laminasi dengan efektif. Selama proses ini, vakum berfungsi untuk mengurangi tekanan di dalam cetakan. Jika sistem vakum berfungsi dengan optimal, udara yang terperangkap di dalam cetakan akan dihilangkan, dan tekanan di dalam cetakan dapat turun secara signifikan. Dengan demikian, seluruh sisi cetakan mengalami tekanan yang konsisten, yakni sekitar 14,7 psi, yang merupakan tekanan atmosfer. Namun, selama proses vakum, perbedaan antara tekanan di dalam cetakan dan tekanan atmosfer di luar cetakan menciptakan gaya

penekanan yang dapat bervariasi. Biasanya, perbedaan tekanan ini berkisar antara 6 hingga 12,5 psi [5].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode *vacuum bag* dinilai dapat meningkatkan efektifitas dari segi waktu pembuatan dibandingkan dari metode *hand lay-up* dengan didapatkan waktu 35,2% lebih cepat [43]. Berdasarkan penelitian sebelumnya juga, tegangan tarik spesimen komposit dengan metode fabrikasi *vacuum bag* lebih tinggi dari spesimen dengan metode fabrikasi *had lay-up*. Kenaikan nilai tegangan tarik tersebut mencapai 29,41%. Regangan tarik menggunakan metode *vacuum bag* juga menunjukkan angka yang lebih tinggi dari spesimen *hand lay-up* dengan persentasi kenaikan sebesar 8.47%. Modulus elastisitas atau modulus young menggunakan *vacuum bag* menunjukkan nilai yang lebih besar dari material spesimen *hand lay-up* dengan kenaikan sebesar 19.30%. Berdasarkan data yang telah disebutkan, persentasi kekuatan mekanik spesimen komposit hasil cetak metode *vacuum bag* lebih kuat dari spesimen komposit dengan metode cetak *hand lay-up* [44].

Parameter kunci yang perlu dipertimbangkan ketika menggunakan *vacuum bag* yaitu tekanan vakum, kapasitas pompa vakum, *gauge vacuum*, material kantong, material *breather* dan *bleeder*, waktu dan suhu pengerasan, dan pita *sealant* [45]. Contoh proses *vacuum bag* dapat dilihat pada (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Proses *Vacuum Bag* [46]

2.6 Pengujian dan Karakterisasi Sampel

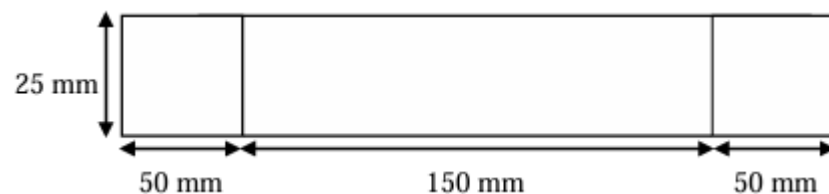
Pada penelitian ini, jenis pengujian yang dilakukan yaitu uji tarik dan uji lentur. Sedangkan karakterisasi yang dilakukan yaitu SEM (*Scanning Electron Microscope*).

2.6.1 Uji Tarik

Pengujian tarik memiliki tujuan untuk mengetahui sifat atau nilai kekuatan tarik pada suatu material. Prinsip dasar dari pengujian tarik melibatkan pemberian beban tarik uniaxial pada spesimen, di mana beban ini secara bertahap ditingkatkan secara kontinu selama pengujian berlangsung. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk mengamati bagaimana spesimen mengalami deformasi seiring dengan peningkatan beban. Selama pengujian, deformasi yang dialami oleh material dapat dipantau dan dianalisis melalui kurva tegangan-regangan (*stress-strain curve*), yang menggambarkan hubungan antara tegangan yang diterima material dan regangan yang terjadi pada material tersebut. Kurva tegangan-regangan memberikan informasi yang

sangat penting tentang perilaku mekanik material saat dikenai beban tarik. Melalui kurva ini, berbagai karakteristik mekanik material dapat diidentifikasi, termasuk kekuatan tarik maksimum atau Ultimate Tensile Strength (UTS). Kekuatan tarik maksimum adalah salah satu parameter utama yang diukur dalam pengujian tarik, dan ini merujuk pada tingkat tegangan tertinggi yang dapat diterima oleh material sebelum mengalami kegagalan atau perpatahan [2,47].

Setiap pengujian tarik yang dilakukan harus mengacu pada standar tertentu. Untuk jenis komposit PMC, standar yang digunakan yaitu ASTM D3039 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*). Adapun bentuk sampel uji tarik dengan standar ASTM D3039 ialah persegi panjang dengan dimensi 250 mm (panjang) dan 25 mm (lebar) yang dapat dilihat pada (Gambar 2.8).

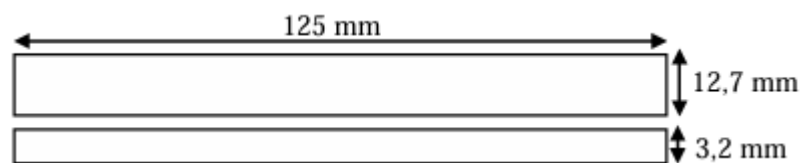


Gambar 2.8 Sampel Uji Tarik Komposit Sesuai ASTM D3039 [48]

Pengujian tarik diawali dengan menempatkan sampel pada penjepit atau *grip* mesin uji tarik. Jarak antarkedua *grip* dengan ujung permukaan penjepit harus disesuaikan. Selanjutnya pemegang sampel dikencangkan agar tidak terjadi selip selama pengujian. Setelah itu kecepatan alat uji diatur, lalu dilakukan pencatatan terhadap beban dan perpanjangan sampel pada titik luluh maupun patah.

2.6.2 Uji Lentur

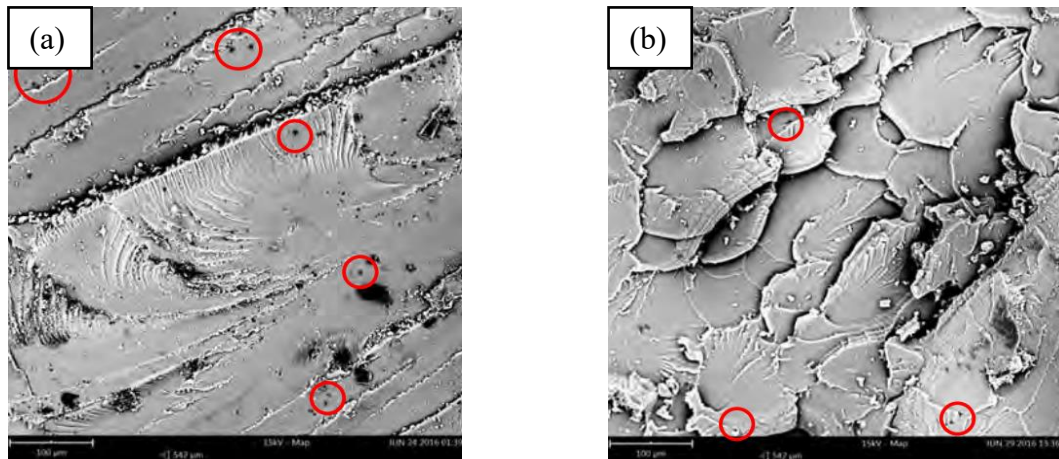
Uji lentur adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengukur kemampuan suatu benda uji dalam menahan gaya yang diterapkan secara tegak lurus terhadap sumbu benda tersebut. Dalam uji ini, benda uji diletakkan pada dua titik tumpuan atau perletakan yang strategis, dan gaya dikenakan pada benda uji dalam arah yang tegak lurus terhadap panjang sumbu benda tersebut. Selama pengujian, gaya tersebut terus ditingkatkan hingga benda uji mencapai titik di mana materialnya mengalami patah atau kerusakan. Salah satu parameter penting yang diukur dalam uji lentur adalah kuat lentur, yang juga dikenal sebagai Modulus of Rupture (MOR). MOR merujuk pada kemampuan material untuk menahan deformasi atau perubahan bentuk ketika berada di bawah beban yang diterapkan. Ini menggambarkan seberapa baik material dapat menahan gaya lentur sebelum akhirnya patah atau hancur [49]. Pengujian lentur yang akan dilakukan terhadap sampel komposit menggunakan standar ASTM D790. Pada standar ini, spesimen uji yang dibuat berdimensi 125 x 12,7 x 3,2 mm (Gambar 2.9).



Gambar 2.9 Sampel Uji Lentur Komposit Sesuai ASTM D790 [48]

2.6.3 Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Karakterisasi material menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah teknik yang sangat berguna untuk menganalisis berbagai aspek struktural dan komposisional dari material. Metode ini memungkinkan pengamatan rinci mengenai bentuk dan struktur topografi permukaan material, cacat atau kerusakan dalam struktur, serta bentuk dan ukuran butiran material. Selain itu, SEM juga dapat digunakan untuk mendeteksi komposisi unsur serta adanya kontaminan atau cemaran dalam material tersebut. Hasil dari proses karakterisasi menggunakan SEM berupa Scanning Electron Micrograph, yaitu gambar yang menampilkan struktur permukaan material dalam bentuk tiga dimensi. Gambar ini memungkinkan analisis dengan perbesaran yang sangat tinggi, mulai dari 1.000 hingga 40.000 kali lipat dari ukuran aslinya. Dengan kemampuan perbesaran yang sangat besar, SEM dapat menunjukkan detail-detail halus dari permukaan material yang mungkin tidak terlihat dengan mikroskop optik biasa. Selain itu, untuk analisis komposisi kimia, teknik Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) sering digunakan bersamaan dengan SEM [50]. Pada penelitian ini, karakterisasi SEM dilakukan untuk melihat struktur mikro pada patahan sampel yang telah dilakukan uji tarik (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 Mikrograf SEM Perbesaran 500x Polimer Blend (a) Epoksi (100), (b) Vinil Ester (100) [30]

Patahan hasil uji tarik di atas terlihat adanya beberapa *void* yang terbentuk dikarenakan oleh adanya gelembung udara atau *bubble* yang terjebak pada saat proses pencampuran antara matriks dengan penguat. Hasilnya bahwa pada resin epoksi terlihat lebih banyak *void* yang tercipta dibandingkan dengan resin vinil ester. Dengan adanya *void* tersebut menyebabkan adanya penurunan pada sifat mekanik [30]

2.7 Analisa Kegagalan

Analisis kegagalan adalah sebuah metode investigasi yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab dari terjadinya kegagalan dalam suatu sistem atau material. Proses ini dimulai dengan pengumpulan fakta-fakta dan data terkait dari kejadian kegagalan, yang kemudian dianalisis untuk menemukan akar permasalahan yang menyebabkan kegagalan tersebut. Secara umum, kegagalan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, di antaranya adalah kesalahan dalam pemilihan bahan, kekurangan pada desain, cacat dalam proses pembuatan, serta

masalah yang muncul selama operasional, perbaikan, dan pemeliharaan. Masing-masing faktor ini dapat berkontribusi pada terjadinya kegagalan dan perlu diperiksa dengan cermat untuk memahami sepenuhnya penyebabnya. Dalam analisis kegagalan, mekanisme patahan atau retak merupakan aspek fundamental yang sering dijadikan dasar untuk menilai kerusakan material. Analisis ini sering digunakan untuk menentukan ukuran dan karakteristik dari retak atau kerusakan yang muncul, serta untuk menilai dampaknya terhadap kinerja komponen atau sistem. Selain itu, analisis kegagalan juga berperan dalam menentukan kondisi kritis di mana kerusakan dapat terjadi, baik di bawah kondisi normal maupun dalam situasi yang ekstrem [51].

Patahan pada material dapat dikategorikan berdasarkan dua kriteria utama, yaitu patahan ductile dan patahan brittle, masing-masing dengan karakteristik dan penyebab yang berbeda. Patahan ductile biasanya terjadi pada kondisi suhu tinggi. Pada jenis patahan ini, proses kegagalan sering kali melibatkan fenomena yang disebut sebagai "microvoid coalescence" atau penggabungan microvoid. Selama proses kegagalan ductile, material mengalami deformasi plastis yang menyebabkan terbentuknya microvoids (rongga mikro) yang kemudian bergabung satu sama lain. Akumulasi dan penggabungan rongga-rongga kecil ini akhirnya menyebabkan material patah, tetapi dengan terlebih dahulu mengalami deformasi yang signifikan. Di sisi lain, patahan brittle cenderung terjadi pada suhu rendah. Patahan brittle ditandai dengan mekanisme kegagalan yang dikenal sebagai "transgranular cleavage" atau pembelahan kristal intragranular. Dalam kasus ini, material mengalami pecah yang lebih kaku dan retak terjadi sepanjang batas-batas kristal

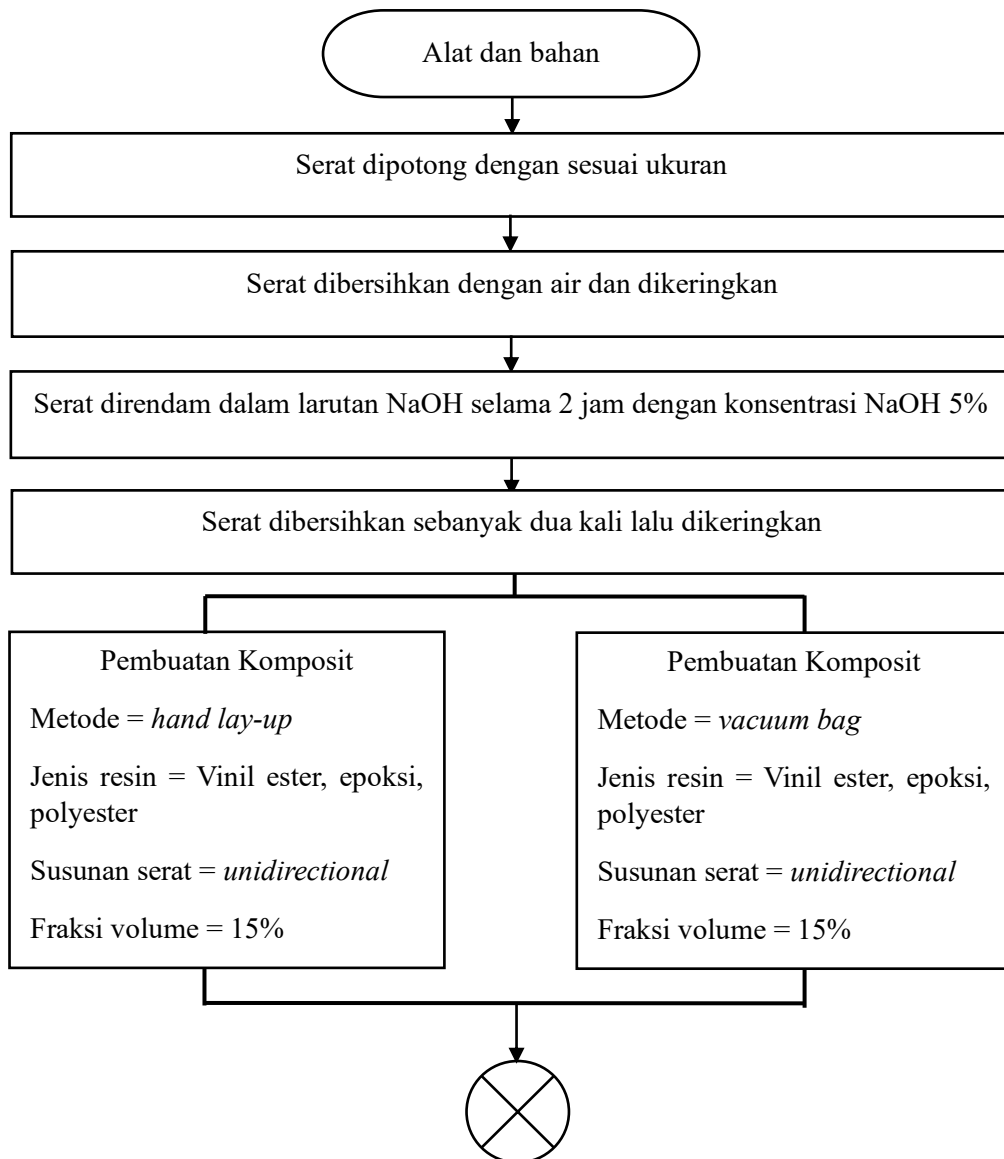
tanpa mengalami deformasi plastis yang berarti. Jika ada pembelahan transgranular, retakan akan mengikuti garis batas kristal, menghasilkan garis-garis atau retakan awal sepanjang batas tersebut, dan kemudian perambatan retakan akan membentuk pola crack propagation baru yang memperluas kerusakan di material. [52].

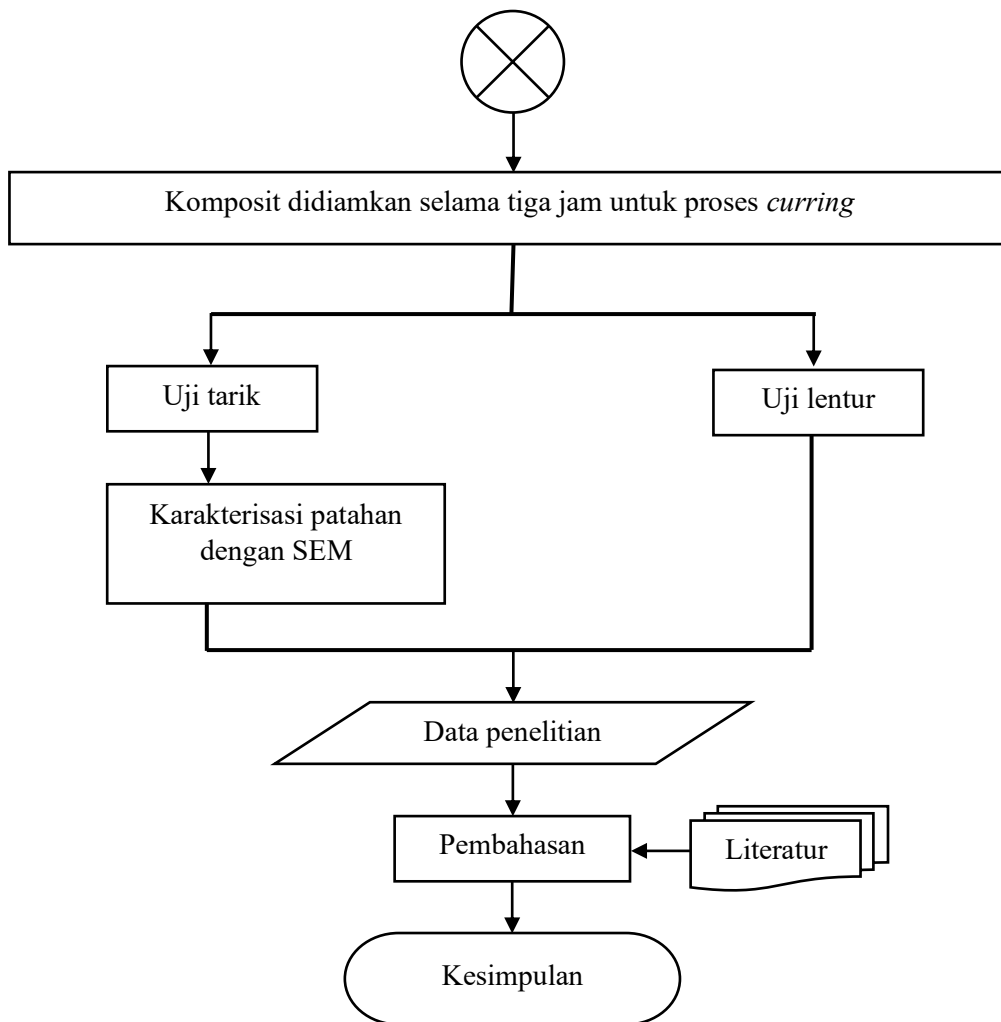
BAB III

METODE PERCOBAAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan dijelaskan menggunakan diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-alat yang Digunakan

Alat-alat pada penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Alas Cetakan
- b. Alat SEM (Zeiss EVO 10 Scanning Electron Microscope)
- c. Alat pengaduk
- d. Alat uji tarik (5980 Series Floor Model Universal Testing System)

- e. Alat uji lentur (5980 Series Floor Model Universal Testing System)
- f. *Bagging film*
- g. Baki
- h. Cetakan
- i. Gunting
- j. Penggaris
- k. Pompa vakum
- l. Sarung tangan
- m. Selang
- n. *Silent tape*
- o. Tabung *reservior*
- p. Timbangan digital
- q. Wadah



Gambar 3.2 Alat *Vacuum Bag*



Gambar 3.3 Perendaman NaOH 5%

3.2.2 Bahan-bahan yang Digunakan

Bahan-bahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Katalis
- b. Larutan NaOH 5% Pro Analisis
- c. Resin Epoksi
- d. Resin poliester
- e. Resin vinil ester
- f. Serat nanas

3.3 Prosedur Percobaan

3.3.1 Preparasi Serat

Sebelum digunakan dalam pembuatan spesimen komposit serat dilakukan preparasi terlebih dahulu dengan tahapan sebagai berikut.

1. Serat dipotong sesuai ukuran.
2. Serat dibersihkan menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran yang menempel kemudian dikeringkan.
3. Larutan NaOH dibuat dengan variasi konsentrasi 5%.
4. Serat direndam pada NaOH selama 2 jam untuk membuka rantai selulosa pada serat nanas agar kontak antara serat nanas dan resin menjadi optimal, kemudian dikeringkan.

3.3.2 Proses Pembuatan Komposit

Proses pembuatan komposit adalah sebagai berikut.

1. Resin poliester, vinil ester, epoksi dan katalis disiapkan.
2. Serat daun nanas hasil perendaman pada NaOH 5% disiapkan.

3. Komposit dibuat pada cetakan kaca untuk tiga jenis resin berbeda dengan arah penyusunan *unidirectional* dan fraksi volume 15%.
4. Tiap resin dicampurkan dengan katalis, lalu diaduk hingga homogen. Adapun ketentuan pencampuran keduanya yaitu; 100:1 untuk poliester dan MEKP, 3:1 untuk epoksi dan *hardener*, serta 100:3:1 untuk vinil ester, MEKP, dan *cobalt naphthenate*.
5. Komposit didiamkan selama tiga jam agar proses *curing* terjadi.

3.3.3 Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik dengan standar dimensi spesimen sesuai ASTM D3039 agar dapat mengetahui nilai kuat tarik dari material kompositnya.

3.3.4 Uji Lentur

Pengujian lentur dilakukan dengan menggunakan alat uji lentur dengan standar ASTM D790 untuk mengetahui nilai kelenturan spesimen

3.3.5 Karakterisasi SEM

Karakterisasi SEM dilakukan pada sampel komposit untuk mengetahui pengaruh morfologi serat terhadap struktur mikro patahan dari komposit setelah uji tarik dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan polimer komposit berpenguat serat ijuk ini bertujuan untuk menggantikan peran *dashboard* mobil berbahan dasar plastik. Sampel komposit polimer ditargetkan mampu mensubstitusi plastik sebagai bahan baku *dashboard* mobil. Dua macam variabel dipilih pada proses pembuatan sampel, yakni jenis resin dan metode fabrikasi. Komposit polimer yang dihasilkan selanjutnya diuji sifat mekaniknya dengan pengujian kuat tarik dan kuat lentur untuk dibandingkan dengan standar *dashboard* mobil SAE J 1717. Selain itu, pada patahan sampel juga dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) guna mengetahui visualisasi ikatan antara serat dengan matriks.

4.1 Preparasi Serat Daun Nanas

Serat daun nanas yang digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) komposit polimer terlebih dahulu direndam dalam larutan NaOH 5%. Perlakuan alkali ini dilakukan untuk memperbaiki beberapa sifat dari serat daun nanas yang akan digunakan, yaitu untuk membersihkan dan memodifikasi permukaan serat sehingga memiliki tekanan permukaan lebih rendah dan memperbaiki ikatan adhesi antara serat alam dan matriks. Selain itu, perlakuan alkali ini dapat membersihkan permukaan serat sehingga akan meningkatkan kadar selulosa seiring dengan berkurangnya kandungan lignin dan hemiselulosa [53]. Jika tidak dilakukan

perlakuan alkali, maka hal tersebut dapat mempengaruhi kekuatan mekanik dari komposit yang akan dihasilkan. Oleh karena itu perlakuan alkali perlu dilakukan guna meningkatkan kompatibilitas antara serat dan matriks.

Pada penelitian ini, serat daun nanas mengalami perlakuan alkali pada larutan NaOH 5% selama dua jam. Variasi tersebut dipilih karena didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Firman dkk. (2018). Merujuk pada penelitian tersebut, hasil kuat tarik serat daun nanas pada persentase NaOH 5% selama dua jam menunjukkan nilai kuat tarik tertinggi dibandingkan dengan perlakuan serat dengan matahari dan udara. Peningkatan nilai kuat tarik pada serat dapat terjadi sebagai hasil dari perlakuan dengan natrium hidroksida (NaOH). Perlakuan ini bertujuan untuk melarutkan lapisan seperti lilin yang menempel di permukaan serat, termasuk komponen seperti lignin, hemiselulosa, serta kotoran lainnya yang mungkin ada. Lapisan lilin ini dapat menghambat ikatan antar serat, dan dengan menghilangkannya, ikatan yang terbentuk antara serat menjadi lebih kuat, yang pada gilirannya meningkatkan kekuatan tarik material. Lebih lanjut lagi, peningkatan kuat tarik serat daun nanas setelah perlakuan NaOH juga disebabkan oleh peningkatan kekakuan serat. Kekakuan serat mengalami peningkatan signifikan karena perlakuan ini menyebabkan peningkatan kandungan selulosa, yang merupakan senyawa yang tidak mudah larut dan memberikan kekuatan struktural pada serat. Di sisi lain, kandungan senyawa lain seperti hemiselulosa dan lignin mengalami penurunan [54].

4.2 Pengaruh Metode Fabrikasi terhadap Sifat Mekanik

Metode fabrikasi yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu metode *hand lay-up* dan metode *vacuum bag*. Metode *hand lay-up* merupakan metode yang paling sering digunakan dalam pembuatan komposit, karena metode tersebut memiliki tingkat kesulitan yang rendah. Meskipun metode ini menawarkan kemudahan dalam proses pembuatan komposit, ada beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Salah satu masalah utama adalah potensi terbentuknya rongga-rongga di dalam komposit. Rongga ini dapat terjadi karena adanya udara yang terperangkap di antara matriks dan serat selama proses pembuatan. Ketika udara terjebak di dalam komposit, itu dapat mengakibatkan adanya bagian yang berongga atau bergelembung. Kehadiran rongga-rongga ini bisa mempengaruhi kualitas dan kekuatan akhir dari komposit [7].

Selain metode *hand lay-up*, salah satu metode lain yang sering digunakan dalam pembuatan komposit adalah metode *vacuum bag*. Metode *vacuum bag* ini dapat dianggap sebagai penyempurnaan dari metode *hand lay-up*. Berbeda dengan metode *hand lay-up* yang hanya melibatkan proses laminasi, metode *vacuum bag* mencakup tahapan tambahan yang penting untuk meningkatkan kualitas komposit. Dalam metode *vacuum bag*, setelah proses laminasi dilakukan, tahap berikutnya adalah penerapan teknik vakum pada laminasi tersebut. Proses ini melibatkan penempatan laminasi di dalam kantong plastik yang kedap udara, yang kemudian dihisap dengan pompa vakum untuk mengurangi tekanan di dalam kantong. Tujuan utama dari proses vakum ini adalah untuk menghilangkan kelebihan resin yang mungkin ada dan juga untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam laminasi [55]. Dari pengujian tarik yang telah dilakukan, didapatkan data kuat tarik

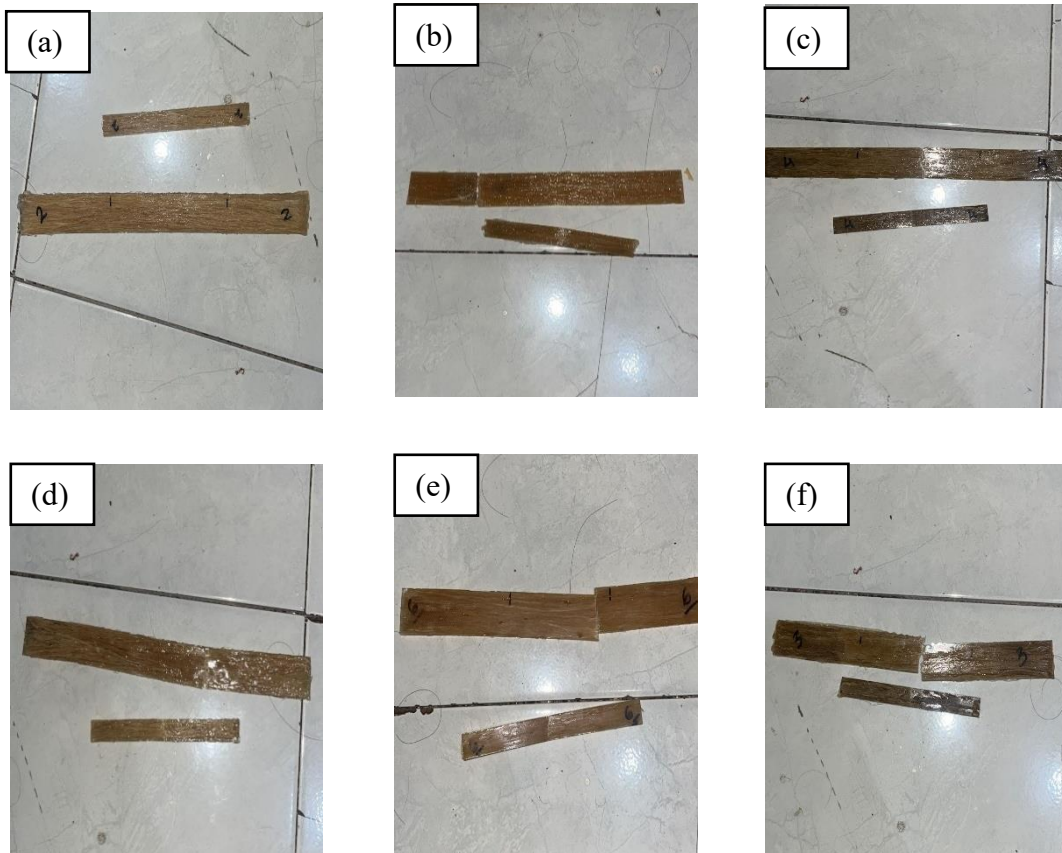
dari metode *vacuum bag* dan *hand lay-up* yang dapat di lihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Tarik Komposit dengan Variasi Metode Fabrikasi dan Variasi Jenis Resin

Metode Fabrikasi	Jenis Resin	Kuat Tarik (MPa)
<i>Vacuum Bag</i>	Poliester	28,18
	Epoksi	46,12
	Vinil Ester	58,37
<i>Hand Lay-up</i>	Poliester	24,04
	Epoksi	38,00
	Vinil Ester	51,38

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kuat tarik pada metode *vacuum bag* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan metode *hand lay-up* disetiap jenis resin yang digunakan. Pada komposit menggunakan metode *hand lay-up* dengan jenis resin poliester didapatkan nilai kuat tarik sebesar 24,04 MPa dan meningkat pada penggunaan metode *vacuum bag* dengan nilai kuat tarik 28,18 MPa. Selanjutnya untuk resin epoksi dengan menggunakan metode *hand lay-up* didapatkan nilai kuat tarik sebesar 38,00 MPa dan meningkat pada penggunaan metode *vacuum bag* dengan nilai kuat tarik 46,12 MPa. Setelah itu, pada resin vinil ester dengan menggunakan metode *hand lay-up* didapatkan nilai kuat tarik sebesar 51,38 MPa dan meningkat pada penggunaan metode *vacuum bag* dengan nilai kuat tarik 58,37 MPa. Hal tersebut dapat terjadi karena pada penggunaan metode *vacuum*

bag matriks dan penguat lebih mengikat dan menghasilkan lebih sedikit *void* pada sampel yang dihasilkan.



Gambar 4.1 Hasil Sampel Komposit (a) HLU Poliester, (b) HLU Epoksi, (c) HLU Vinil Ester, (d) VB Poliester, (e) VB Epoksi, (f) VB Vinil Ester

Hal ini selaras dengan penelitian Nugroho & Wantogia (2019), yang mendapatkan nilai kuat tarik pada metode *vacuum bag* lebih besar dengan nilai 515 MPa dibandingkan dengan metode *hand lay-up* dengan nilai 329 MPa. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa selama proses curing, gaya yang dihasilkan dari pengisapan udara di dalam *vacuum bag* memberikan tekanan yang merata pada serat dan matriks. Tekanan ini membantu memastikan bahwa matriks resin tersebar secara seragam di seluruh area komposit, sehingga mengurangi kemungkinan adanya porositas.

Pada penelitian Azissyukhron & Hidayat (2018) juga menyatakan bahwa sampel hasil *vacuum bag* secara fisik tidak terlihat adanya rongga udara yang dapat dikatakan sampel tersebut tidak mendapatkan udara yang terjebak saat proses laminasi yang kemudian dilakukan proses penyedotan/*vacuum*. Pada penelitian ini, metode *hand lay-up* mendapatkan nilai hasil uji tarik rata-rata sebesar 3,429 MPa, sedangkan metode *vacuum bag* mendapatkan nilai hasil uji tarik rata-rata sebesar 7,507 MPa. Hasilnya yaitu sampel dengan menggunakan metode *vacuum bag* memiliki ketahanan material yang lebih baik daripada sampel dengan menggunakan metode *hand lay-up*. Dari segi berat juga, sampel dengan metode *vacuum bag* memiliki berat lebih ringan dibandingkan dengan sampel dengan metode *hand lay-up*. Hal tersebut dikarenakan pada metode *vacuum bag* resin yang berlebih dapat dikeluarkan dari laminasi, berbeda dengan metode *hand lay-up* resin yang berlebih tidak dapat dikeluarkan dari cetakan [7].

4.3 Pengaruh Jenis Resin terhadap Sifat Mekanis

Dalam penerapannya, matriks dalam komposit memainkan peran yang sangat penting karena berbagai fungsi yang dimilikinya. Matriks bertanggung jawab untuk memberikan stabilitas struktural pada komposit, serta berperan dalam mendistribusikan tegangan lokal yang terjadi di dalam material. Dengan demikian, matriks membantu memastikan bahwa beban atau gaya yang diterima oleh komposit tidak hanya terpusat pada satu area, melainkan didistribusikan secara merata di seluruh material [56]. Setiap jenis resin memiliki komposisi penyusun yang berbeda. Dalam penelitian ini jenis resin yang digunakan adalah resin

poliester, resin vinil ester, dan resin epoksi. Untuk menentukan seberapa besar pengaruh jenis resin terhadap sifat mekanis material komposit maka dilakukan beberapa pengujian seperti pengujian tarik dan bending.

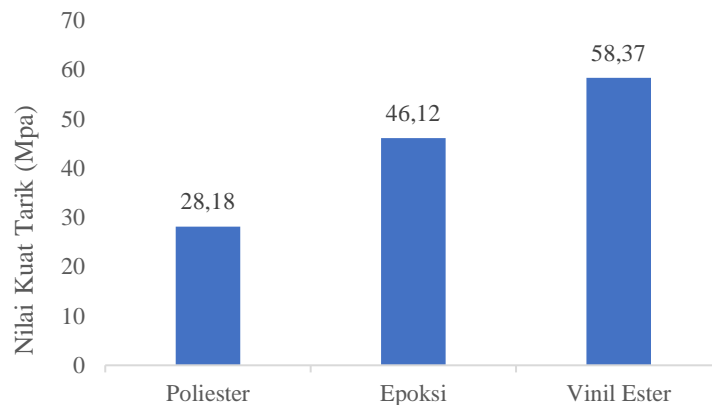
4.3.1 Hasil Uji Tarik

Pengaruh variasi jenis resin terhadap kuat tarik diambil dari nilai tertinggi pada setiap resin. Pada resin poliester nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada penggunaan metode *vacuum bag*. Pada resin epoksi nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada penggunaan metode *vacuum bag*. Pada resin vinil ester nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada penggunaan metode *vacuum bag*.

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Tarik Tertinggi Komposit dengan Variasi Jenis Resin untuk Satu Kali Pengukuran

Jenis Resin	Kuat Tarik (MPa)
Poliester	28,18
Epoksi	46,12
Vinil Ester	58,37

Pada Tabel 4.2 menunjukkan nilai kuat tarik masing - masing resin poliester, epoksi, dan vinil ester yaitu 28,18 MPa, 46,12 MPa dan 58,37 MPa. Nilai kuat tarik tertinggi didapatkan oleh resin vinil ester, kemudian disusul oleh resin epoksi dan yang terendah didapatkan oleh resin poliester.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji Tarik Tertinggi Komposit dengan Variasi Jenis Resin

Pada Gambar 4.2 menunjukkan grafik hasil uji tarik tertinggi komposit pada masing-masing resin. Komposit berpenguat resin vinil ester memiliki nilai tarik tertinggi yang kemudian diikuti oleh resin epoksi dan poliester. Hal tersebut dikarenakan panjangnya rantai molekul dan banyaknya ikatan *crosslink* pada vinil ester sehingga mampu menahan beban yang berikan [57]. Penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Damaru dkk (2021) yang menyatakan bahwa nilai kuat tarik dengan resin vinil ester adalah yang tertinggi dengan diikuti oleh resin epoksi dan resin poliester. Nilai kuat tarik tersebut telah memenuhi standar kuat tarik bahan komposit untuk industri di bidang otomotif seperti *dashboard*.

4.3.2 Hasil Uji Lentur

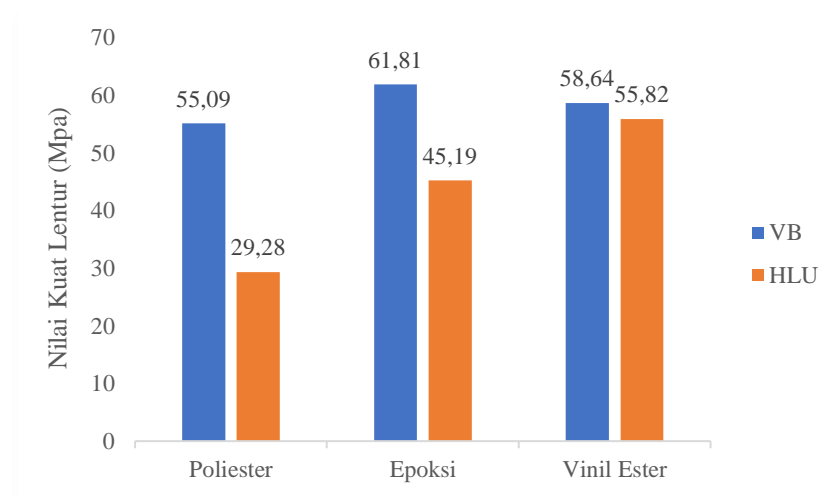
Pengujian lentur pada penelitian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur dari spesimen komposit dengan variasi jenis resin dan variasi metode fabrikasi. Pengujian lentur dilakukan menggunakan alat dengan metode tiga

titik tegangan yang sesuai dengan standar ASTM D790. Hasil uji lentur dari komposit serat daun nanas dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Lentur Komposit dengan Variasi Metode Fabrikasi dan Variasi Jenis Resin

Metode Fabrikasi	Jenis Resin	Kuat Lentur (MPa)
<i>Vacuum Bag</i>	Poliester	55,09
	Epoksi	61,81
	Vinil Ester	58,64
<i>Hand Lay-up</i>	Poliester	29,28
	Epoksi	45,19
	Vinil Ester	55,82

Berdasarkan data hasil pengujian lentur komposit serat nanas pada Tabel 4.3 didapatkan diagram pengaruh jenis resin terhadap kuat lentur. Pengaruh jenis resin terhadap kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.3 Diagram Pengaruh Jenis Resin terhadap Kuat Lentur

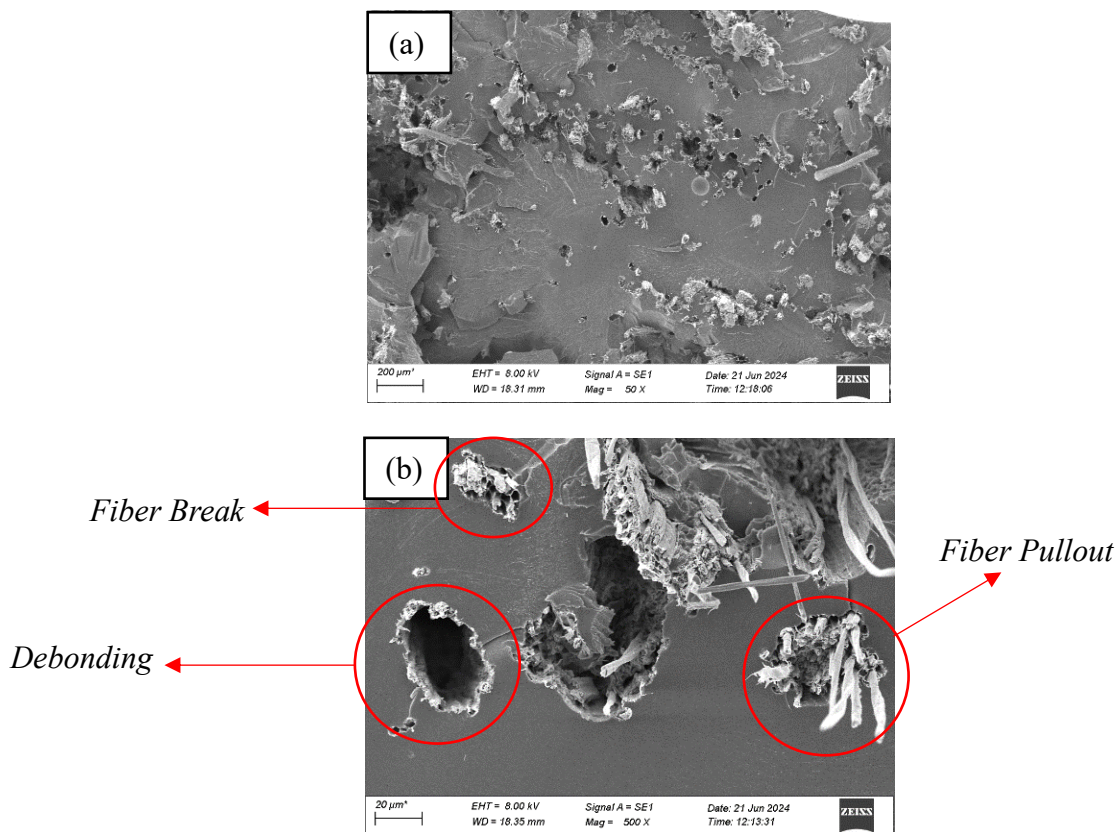
Berdasarkan grafik nilai kekuatan lentur menunjukkan bahwa nilai kuat lentur tertinggi pada setiap resin didapatkan dengan penggunaan metode VB (*vacuum bag*) kemudian disusul oleh metode HLU (*hand lay-up*). Nilai kuat lentur tertinggi didapatkan oleh resin epoksi dengan nilai kuat lentur 61,81 MPa, kemudian diikuti dengan resin vinil ester dengan nilai kuat lentur 58,64 MPa, dan yang terakhir yaitu resin poliester dengan nilai kuat lentur sebesar 55,09 MPa. Dilihat dari densitasnya, resin epoksi memiliki densitas yang lebih besar dari pada vinil ester dan poliester. Densitas untuk resin epoksi yaitu 1,1-1,4 g/cm³, kemudian densitas untuk resin vinil ester yaitu 1,2 g/cm³, dan densitas untuk poliester yaitu 1,15 g/cm³. Pada umumnya, semakin tinggi nilai densitas maka nilai kuat lentur yang didapatkan juga akan semakin tinggi [58].

Pengujian lentur merupakan salah satu aspek yang diperlukan untuk pembuatan *dashboard* mobil. Hal tersebut dikarenakan uji lentur berpengaruh pada keamanan, ketahanan terhadap cuaca, dan kualitas material [59]. Dalam segi keamanan, *dashboard* mobil dengan kuat lentur yang sesuai dengan standar SAE J 1717 akan memberikan perlindungan yang baik dalam kecelakaan. Dalam segi ketahanan terhadap cuaca, *dashboard* mobil dengan kuat lentur yang sesuai dengan standar SAE J 1717 akan memberikan kualitas yang baik dari perubahan suhu yang ekstrim dan tidak akan retak atau rapuh akibat perubahan suhu yang ekstrim. Dalam segi kualitas material, *dashboard* mobil dengan kuat lentur yang sesuai dengan standar SAE J 1717 akan mampu untuk menahan tekanan dan tahan terhadap deformasi serta cukup

keras dalam memberikan dukungan struktural.

4.4 Pengamatan Mikrostruktur dengan SEM

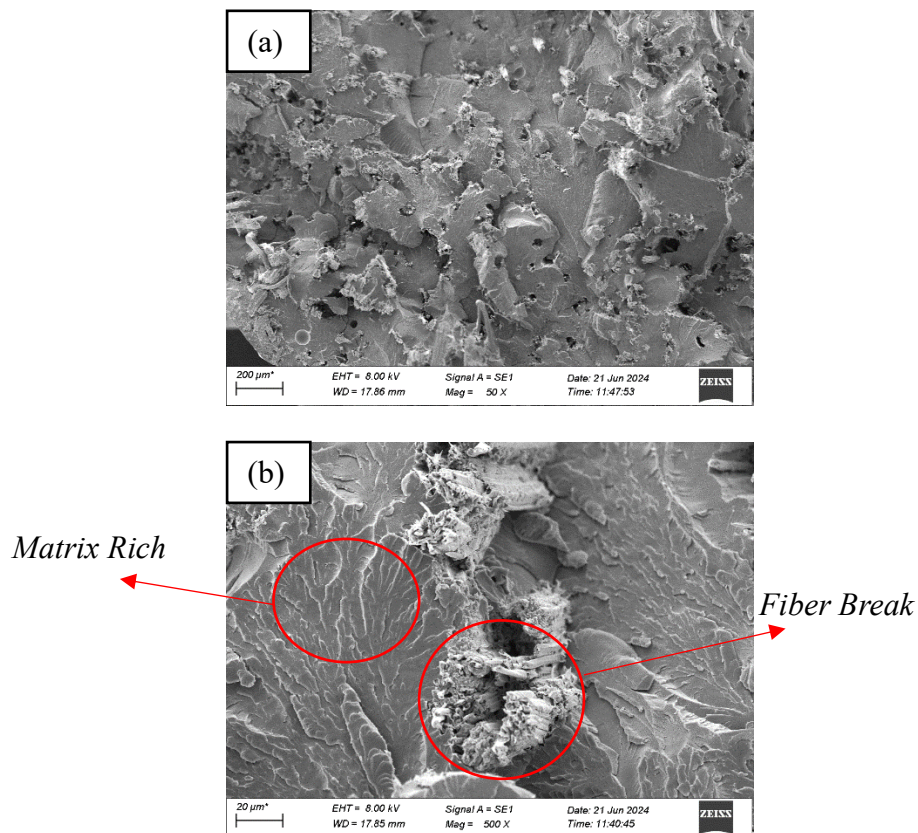
Pengamatan dengan SEM dilakukan untuk melihat pengaruh metode fabrikasi terhadap patahan komposit. Dengan perbedaan metode fabrikasi tentu menghasilkan ketangguhan hasil sampel komposit yang berbeda. Ketangguhan hasil sampel komposit akan mempengaruhi morfologi patahan yang dihasilkan.



Gambar 4.4 Hasil Pengamatan SEM pada Patahan Sampel HLU Bermatriks Epoksi (a) Perbesaran 50x, (b) Perbesaran 500x

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat hasil pengamatan SEM pada patahan sampel HLU bermatriks epoksi dengan perbesaran 50x dan 500x terdapat *fiber break* yang merupakan peristiwa patahnya serat sehingga mengakibatkan serat tersebut

kehilangan konektivitasnya dengan matriks [60]. Selain itu juga teramati adanya *bonding* dan *fiber pullout*. *Bonding* terjadi karena terlepasnya serat dari matriks yang menyebabkan terbentuknya lubang pada matriks. *Fiber pullout* merupakan peristiwa lemahnya ikatan antara matriks dan serat sehingga menyebabkan banyaknya serat mengalami *pullout* pada saat ditarik. Peristiwa ini terjadi karena distribusi serat dan resin tidak merata sempurna sehingga terdapat beberapa rongga udara yang mengakibatkan ikatan menjadi lemah antara matriks dengan serat, serta terdapat celah pada *interface* akibat kegagalan matriks mengikat serat [61].



Gambar 4.5 Hasil Pengamatan SEM pada Patahan Sampel VB Bermatriks Epoksi
(a) Perbesaran 50x, (b) Perbesaran 500x

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat hasil pengamatan SEM pada patahan sampel VB bermatriks epoksi dengan perbesaran 50x dan 500x terdapat *matrix rich* yang merupakan kejadian matriks menyebar secara merata serta mengikat serat secara kuat sehingga tidak menyebabkan serat mengalami *fiber pullout*, serta tegangan merata ke matriks dan serat sebelum terjadinya patahan [61]. Selain itu terdapat juga peristiwa *fiber break* yang merupakan peristiwa patahnya serat sehingga mengakibatkan serat tersebut kehilangan konektivitasnya dengan matriks. *Fiber break* terjadi karena penguat dan matriks menahan beban secara bersamaan saat dilakukan penarikan [60] Pada sampel dengan metode fabrikasi *vacuum bag* tidak terdapat *void* dan *fiber pullout* yang menyebabkan sampel dengan metode ini memiliki nilai kuat tarik lebih tinggi dibandingkan dengan sampel dengan menggunakan metode fabrikasi *hand lay up*.

4.5 Perbandingan Hasil Uji Mekanik Terhadap Standar *Dashboard* Mobil

Dari hasil pengujian kekutan tarik dan kekuatan lentur komposit serat nanas maka didapatkan nilai uji tertinggi pada masing masing jenis resin dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a) Poliester dengan metode fabrikasi *vacuum bag* mendapatkan nilai kuat tarik sebesar 28,18 MPa dan mendapatkan nilai kuat lentur sebesar 55,09 MPa. Kuat tarik tersebut mengacu pada standar SAE J 1717 dan kuat lentur tersebut mengacu pada standar ASTM D 790.
- b) Epoksi dengan metode fabrikasi *vacuum bag* mendapatkan nilai kuat tarik sebesar 46,12 MPa dan mendapatkan nilai kuat lentur sebesar 61,81 MPa.

Kuat tarik tersebut mengacu pada standar SAE J 1717 dan kuat lentur tersebut mengacu pada standar ASTM D 790.

- c) Vinil Ester dengan metode fabrikasi *vacuum bag* mendapatkan nilai kuat tarik sebesar 58,37 MPa dan mendapatkan nilai kuat lentur sebesar 58,64 MPa. Kuat tarik tersebut mengacu pada standar SAE J 1717 dan kuat lentur tersebut mengacu pada standar ASTM D 790.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Setiap jenis resin memberikan hasil yang berbeda terhadap sifat mekanik dan fisik komposit berpenguat serat nanas. Teramati untuk vinil ester mendapatkan nilai kuat tarik tertinggi dengan nilai 58,37 MPa, kemudian disusul oleh epoksi dengan nilai kuat tarik sebesar 46,12 MPa, dan yang terendah didapatkan oleh resin poliester dengan nilai kuat tarik sebesar 28,18 MPa. Untuk kuat lentur teramati bahwa hasil dengan kekuatan lentur tertinggi didapatkan oleh epoksi dengan nilai sebesar 61,81 MPa, lalu disusul oleh vinil ester dengan nilai kuat lentur sebesar 58,64 MPa, dan yang terendah didapatkan oleh poliester dengan nilai kuat lentur sebesar 55,09 MPa. Hal ini berbanding terbalik antara sifat kuat tarik dengan sifat kuat lentur.
2. Metode fabrikasi jelas sangat mempengaruhi sifat mekanik dan fisik dari sampel komposit yang dihasilkan. Metode *vacuum bag* lebih sulit untuk dilakukan dibandingkan dengan metode *hand lay-up* namun hasil yang dihasilkan lebih baik. Hal ini terbukti dengan didapaknya nilai tertinggi pada setiap pengujian disetiap jenis resin yaitu dengan menggunakan

metode *vacuum bag*. Metode *vacuum bag* menjadi pilihan terbaik terkait sifat mekanik komposit yang dihasilkan, karena metode ini melakukan vakum pada laminasi sehingga menghilangkan udara yang terperangkap saat proses laminasi dan menghilangkan resin yang berlebih.

3. Setelah dilakukan pengujian mekanik uji tarik dan uji lentur, parameter yang optimum untuk memenuhi standar SAE J 1717 pada uji tarik yaitu 20-100 MPa dan untuk uji lentur yaitu 50-200 MPa. Pada pengujian tarik hasil yang didapatkan yaitu 100% pada semua metode yang memenuhi standar SAE J 1717. Pada pengujian lentur hasil yang didapatkan yaitu 100% untuk metode *vacuum bag* dan 33,3% untuk metode *hand lay-up* yang memenuhi standar SAE J 1717.

5.2 Saran

Demi adanya pengembangan dan inovasi baru pada topik penelitian yang serupa, maka penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Melakukan *pre-treatment* serat dengan larutan NaOH menggunakan konsentrasi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Supriyatna, Y. M. Solihin, C. V Tri, and U. Jaya, “Pengembangan Komposit Epoxy Berpenguat Serat Nanas Untuk Aplikasi Interior Mobil,” 2018.
- [2] M. T. Marantika, I. Sujana, and M. Ivanto, “Analisa Uji Tarik Komposit Berpenguat Serat Daun Nanas Dengan Variasi Susunan Menggunakan Perlakuan Alkali,” 2022.
- [3] D. N. Susanti, “Pengaruh Variasi Panjang Serat Nanas Terhadap Kekuatan Tarik dan Impact Komposit Polyester-Serat Nanas,” 2018. [Online]. Available: <http://repository.unimus.ac.id>
- [4] R. R. P. Kuppusamy, S. Rout, and K. Kumar, “Advanced manufacturing techniques for composite structures used in aerospace industries,” in *Modern Manufacturing Processes*, Elsevier, 2020, pp. 3–12. doi: 10.1016/B978-0-12-819496-6.00001-4.
- [5] Triyono, “Perancangan dan Pembuatan Cetakan Komposit Untuk Metode Vacuum Infusion Menggunakan Penekan Elastomer Bag,” 2019.
- [6] G. Nugroho and M. S. R. R. Wantogia, “Proses Fabrikasi dan Sifat Mekanik Komposit Polimer dengan Metode Bladder Compression Moulding,” *Journal of Mechanical Design and Testing*, vol. 1, no. 2, pp. 95–104, 2019, doi: 10.22146/jmdt.v1i2.53047.
- [7] M. Azissyukhron and S. Hidayat, “Perbandingan Kekuatan Material Hasil Metode Hand Lay-up dan Metode Vacuum Bag Pada Material Sandwich Composite,” 2018.
- [8] N. Madinah and I. M. L. Batan, “Perancangan Dashboard Mobil Pedesaan Multiguna,” vol. 2, No. 2, 2013.
- [9] M. Sulaiman, M. H. Rahmat, and S. Pengajar, “Kajian Potensi Pengembangan Material Komposit Polimer Dengan Serat Alam Untuk Produk Otomotif,” 2018.
- [10] L. Januari, “Potensi Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pengganti Fiberglass Pada Pembuatan Lambung Kapal,” 2017.
- [11] M. Habib Maulana and V. A. Setyowati, “Pengaruh Variasi Matriks dan Orientasi Sudut Filler Karbon pada Polymer Matrix Composite terhadap Kekuatan Tarik dan Impact,” 2021.
- [12] A. Arliansyah, “Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Industri Mebel Untuk Komposit Serbuk Kayu Dengan Matrik Polivinil Asetat,” 2024.

- [13] N. Nayiroh, “Teknologi Material Komposit,” 2013.
- [14] S. Hariyadi and B. Junipitoyo, “Pelatihan Basic Wet Lay Up Composite Repair System Pelatihan Basic Wet Lay Up Composite Repair System Untuk Sekolah Vokasi Penerbangan,” 2021.
- [15] O. Suparno, “Potensi Dan Masa Depan Serat Alam Indonesia Sebagai Bahan Baku Aneka Industri,” *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, pp. 221–227, Sep. 2020, doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.2.221.
- [16] M. Jawaid, A. Hamdan, and M. T. Hameed, “Structural Health Monitoring System for Synthetic, Hybrid and Natural Fiber Composites,” 2021. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/16333>
- [17] S. Habibie *et al.*, “Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan, Suatu Kajian Pustaka Natural Fiber as A Friendly Environmental Composite Material, A Literature Review,” 2021.
- [18] Asroni and Sulis Dri Handono, “Variasi Jenis Serat Batang Pisang Untuk Bahan Komposit Terhadap Kekuatan Tarik ,” pp. 110–112, Nov. 2018.
- [19] S. S. Ray and M. Bousmina, “Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world,” *Progress in Materials Science*, vol. 50, no. 8. pp. 962–1079, Nov. 2005. doi: 10.1016/j.pmatsci.2005.05.002.
- [20] W. W. Dharosno and A. Pundu, “Analisa Kuat Tarik Pada Kertas Berbahan Dasar Serat Daun Nanas,” 2020.
- [21] B. T. Mulyo and H. Yudiono, “Analisis kekuatan impak pada komposit serat daun nanas untuk bahan dasar pembuatan helm SNI,” 2018.
- [22] S. Hastuti Firman and dan Subaer Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Makassar Jalan Daeng Tata Raya, “Studi Sifat Mekanik Dan Morfologi Komposit Serat Daun Nanas-Epoxy Ditinjau Dari Fraksi Massa Dengan Orientasi Serat Acak,” 2015.
- [23] R. M. N. Arib, S. M. Sapuan, M. M. H. M. Ahmad, M. T. Paridah, and H. M. D. Khairul Zaman, “Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites,” *Mater Des*, vol. 27, no. 5, pp. 391–396, 2006, doi: 10.1016/j.matdes.2004.11.009.
- [24] H. Madhav, N. Singh, and G. Jaiswar, “Thermoset, bioactive, metal-polymer composites for medical applications,” in *Materials for Biomedical Engineering: Thermoset and Thermoplastic Polymers*, Elsevier, 2019, pp. 105–143. doi: 10.1016/B978-0-12-816874-5.00004-9.
- [25] O. Bambang, A. H. Dan I, and W. Arnata, “TEKNOLOGI POLIMER,” 2015.

- [26] P. K. Mallick, "Processing of Polymer Matrix Composites," 2017. [Online]. Available: <http://taylorandfrancis.com>
- [27] F. M. Akbar, "Analisa Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Filler Dalam Komposit Resin Polyester Untuk Meningkatkan Nilai Koefisien Absorpsi Suara Sebagai Alternatif Peredam," 2023.
- [28] S. Bagherpour, "Fibre Reinforced Polyester Composites," in *Polyester*, InTech, 2012. doi: 10.5772/48697.
- [29] B. Dholakiya, "Unsaturated Polyester Resin for Specialty Applications," in *Polyester*, InTech, 2012. doi: 10.5772/48479.
- [30] D. Safirah, "The Effect Of Vinyl Ester On Mechanical Properties And Thermal Resistance Polymer Blend Epoxy/Vinyl Ester As A Candidate Materials Printed Circuit Board (Pcb)," 2016.
- [31] L. Rusita Isna, A. Nugroho, and B. Sulistiyo, "CPT (Cure Ply Thickness) Komposit Karbon Unidirectional (UD)/ Vinyl Ester dengan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) untuk Pengembangan Float," 2020.
- [32] A. A. Athawale and J. A. Pandit, "Unsaturated polyester resins, blends, interpenetrating polymer networks, composites, and nanocomposites: State of the art and new challenges," in *Unsaturated Polyester Resins: Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications*, Elsevier, 2019, pp. 1–42. doi: 10.1016/B978-0-12-816129-6.00001-6.
- [33] E. H. Ardhyanta, S. T. Sigit, T. Wicaksono, S. Si, and M. Si, "Synthesis And Characterization Of Thermoset Epoxy Modified Rtv (Room Temperature Vulcanization) Silicone Rubber Dan Phthalic Anhydride," 2016.
- [34] A. I. Tauvana, "Pengaruh matrik resin-epoxy terhadap kekuatan impak dan sifat fisis komposit serat nanas," 2020.
- [35] F. W. Billmeyer, *Textbook of polymer science*. Wiley, 1984.
- [36] J.-P. Pascault and R. J. J. Williams, "General Concepts about Epoxy Polymers ," in *Epoxy Polymers*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010, pp. 1–12.
- [37] A. S. Soekoco, "Studi Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit Berbahan Chopped Strand Mat Metode Hand Lay-Up Dan Vacuum Assisted Resin Infusion," *Texere*, vol. 16, no. 1, Aug. 2020, doi: 10.53298/texere.v16i1.4.
- [38] M. Elkington, D. Bloom, C. Ward, A. Chatzimichali, and K. Potter, "Hand layup: understanding the manual process," *Advanced Manufacturing:*

Polymer and Composites Science, vol. 1, no. 3, pp. 138–151, Jul. 2015, doi: 10.1080/20550340.2015.1114801.

- [39] K. Abdurohman, T. Satrio, and Teten, “A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method toward e-glass EW 185/lycal composites,” 2018.
- [40] D. K. Rajak, D. D. Pagar, P. L. Menezes, and E. Linul, “Fiber-reinforced polymer composites: Manufacturing, properties, and applications,” *Polymers*, vol. 11, no. 10. MDPI AG, Oct. 01, 2019. doi: 10.3390/polym11101667.
- [41] I. Rizki Putra, F. Setiawan, dan Angger Bagus Prasetyo, P. Studi Teknik Mesin, and S. Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, “Analisis Pengaruh Metode Vacuum Bag Terhadap Geometri Sayap Uav Skywalker Analysis Of Vacuum Bagging Method On Geometry Of Skywalker Uav Wing,” vol. 8, no. 1, pp. 36–43, 2023, doi: 10.20527/sjmekinematika.v8i.
- [42] F. Hazhari, F. Setiawan, T. Dirgantara, and S. Yogyakarta, “Pengaruh Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Bending Komposit Hybrid Dan Non-Hybrid Menggunakan Metode Vacuum Bagging,” *Indonesian Journal of Mechanical Engineering*, vol. 2, 2022, [Online]. Available: <https://politap.ac.id/journal/index.php/injection>
- [43] F. Lufti, “Pembuatan Model Papan Selancar Komposit Serat Bambu Menggunakan Metode Vacuum Bagging,” 2018.
- [44] Y. O. Bani, D. P. Mangesa, J. S. Bale, and J. T. Mesin, “Pembuatan Dan Pengujian Alat Fabrikasi Komposit Vacuum Bag Dengan Menggunakan Metode VDI 2221,” 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-fst-unc.com/index.php/LJTMU>
- [45] A. Rahadiyanto, “Perbaikan Proses Pembuatan Produk Komposit Dengan Metode Vacuum Bagging,” 2018.
- [46] R. F. Gibson, “Principle Of Composite Material Mechanic,” 1994.
- [47] A. Rahmatika *et al.*, “Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX,” *JVTI*, vol. 3, No 1, 2021.
- [48] M. Martijanti, S. Sutarno, R. Sukwadi, and M. B. Wahyu, “Komparasi Sifat Mekanik antara Komposit Epoksi Berpenguat Abu dan Sekam Padi,” *Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, vol. 13, No. 2, pp. 145–156, 2023.
- [49] U. Chasanah, S. Kiswati, and Soehartono, “Pengujian Kuat Lentur Dan Kuat Tekan Semen Mortarmaterial Konstruksi (Pengujian Pada Laboratorium Pt. Nusantara Building Industries),” *MIJI*, vol. 2, No. 2, 2022.

- [50] U. Mardiyah, S. Nur, A. Jamil, and L. Sandra, “Karakterisasi Mikrostruktur Dan Komposisi Unsur Gelatin Kepala Ikan Kurisi (*Nemipterus Bathybius*) Menggunakan Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray(Sem-Edx),” 2022. [Online]. Available: <http://jfmr.ub.ac.id>
- [51] M. I. Mul’alim, “Pengaruh Variasi Waktu Perendaman Dengan Natrium Hidroksida Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Daun Nanas,” 2024.
- [52] Firman, M. Hasbi, and P. Aksar, “Studi Eksperimen Kekuatan Mekanik Daun Nanas Hutan Dengan Metode Pengujian Tarik,” vol. 3, no. 1, 2018.
- [53] Vacuum Bagging Techniques, “A guide to the principles and practical application of vacuum bagging for laminating composite materials with WEST SYSTEM ® Epoxy,” 2014.
- [54] A. Nayan and T. Hafli, “Analisa Stuktur Mikro Material Komposit Polimer Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang,” vol. 6, no. 1, pp. 15–24, 2022.
- [55] R. Orozco, “Effects Of Toughened Matrix Resins On Composite Materials For Wind Turbine Blades,” 1999.
- [56] W. Ouarhim, N. Zari, R. Bouhfid, and A. E. K. Qaiss, “Mechanical performance of natural fibers-based thermosetting composites,” in *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, Elsevier, 2018, pp. 43–60. doi: 10.1016/B978-0-08-102292-4.00003-5.
- [57] J. U. W. N. Saptanno, “Desain Interior (Dashboard) Pada Mobil Listrik Di Universitas Dinamika,” 2022.
- [58] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufacturing engineering and technology*. 2020.
- [59] Zulkifli, H. Hermansyah, and S. Mulyanto, “Analisa Kekuatan Tarik dan Bentuk Patahan Komposit Serat Sabuk Kelapa Bermatriks Epoxy terhadap Variasi Fraksi Volume Serat,” *Teknologi Terpadu*, vol. Vol. 6 No. 21, 2018.

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN

Lampiran A. Perhitungan

A.1 Perhitungan Fraksi Volume Serat

- Uji Tarik

Diketahui :

$$\begin{aligned}\text{Volume sampel uji tarik} &= p \times l \times t \\ &= 25\text{cm} \times 2,5\text{cm} \times 0,3\text{cm} \\ &= 18,75 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\rho \text{ serat daun nanas} = 1,5 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho \text{ resin vinil ester} = 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho \text{ resin epoksi} = 1,19 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho \text{ resin polyester} = 1,13 \text{ g/cm}^3$$

$$\% \text{Volume serat} = 15\%$$

$$\begin{aligned}\text{Berat serat yang digunakan} &= V_{\text{serat}} \times \rho_{\text{serat}} \\ &= (\%V_{\text{serat}} \times V_{\text{sampel}}) \times \rho_{\text{serat}} \\ &= 15\% \times 18,75 \text{ cm}^3 \times 1,5 \text{ g/cm}^3 \\ &= 4,2 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat total resin vinil ester} &= V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{resin}} \\ &= (\%V_{\text{resin}} \times V_{\text{sampel}}) \times \rho_{\text{resin}} \\ &= 100\% - \%V_{\text{serat}} (V_{\text{sampel}} \times \rho_{\text{resin}}) \\ &= 85\% \times 18,75 \text{ cm}^3 \times 1,12 \text{ g/cm}^3 \\ &= 17,85 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Persentase katalis} = \text{resin} : \text{katalis 1} : \text{katalis 2} = 100 : 3 : 1$$

$$\text{Berat resin} = \frac{100}{104} \times 17,85 \text{ g}$$

$$= 17,16 \text{ g}$$

$$\text{Berat katalis 1} = \frac{3}{104} \times 17,85 \text{ g}$$

$$= 0,51 \text{ g}$$

$$\text{Berat katalis 2} = \frac{1}{104} \times 17,85 \text{ g}$$

$$= 0,17 \text{ g}$$

$$\text{Berat total resin epoksi} = V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{resin}}$$

$$= (\%V_{\text{resin}} \times V_{\text{sampel}}) \times \rho_{\text{resin}}$$

$$= 100\% - \%V_{\text{serat}} (V_{\text{sampel}} \times \rho_{\text{resin}})$$

$$= 85\% \times 18,75 \text{ cm}^3 \times 1,19 \text{ g/cm}^3$$

$$= 18,96 \text{ gram}$$

$$\text{Persentase katalis} = \text{resin} : \text{katalis} = 3 : 1$$

$$\text{Berat resin} = \frac{3}{4} \times 18,96 \text{ g}$$

$$= 14,22 \text{ g}$$

$$\text{Berat katalis} = \frac{1}{4} \times 18,96 \text{ g}$$

$$= 4,74 \text{ g}$$

$$\text{Berat total resin polyester} = V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{resin}}$$

$$= (\%V_{\text{resin}} \times V_{\text{sampel}}) \times \rho_{\text{resin}}$$

$$= 100\% - \%V_{\text{serat}} (V_{\text{sampel}} \times \rho_{\text{resin}})$$

$$= 85\% \times 18,75 \text{ cm}^3 \times 1,13 \text{ g/cm}^3$$

$$= 17,91 \text{ gram}$$

$$\text{Persentase katalis} = \text{resin} : \text{katalis} = 100 : 1$$

$$\text{Berat resin} = \frac{100}{101} \times 17,91 \text{ g}$$

$$= 17,73 \text{ g}$$

$$\text{Berat katalis} = \frac{1}{101} \times 17,91 \text{ g}$$

$$= 0,18 \text{ g}$$

- Uji Lentur

Diketahui :

$$\text{Volume sampel uji tarik} = p \times l \times t$$

$$= 12,5\text{cm} \times 1,27\text{cm} \times 0,32\text{cm}$$

$$= 5,08 \text{ cm}^3$$

$$\rho \text{ serat daun nanas} = 1,5 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho \text{ resin vinil ester} = 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho \text{ resin epoksi} = 1,19 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho \text{ resin polyester} = 1,13 \text{ g/cm}^3$$

$$\% \text{Volume serat} = 15\%$$

$$\text{Berat serat yang digunakan} = V_{\text{serat}} \times \rho_{\text{serat}}$$

$$= (\%V_{\text{serat}} \times V_{\text{sampel}}) \times \rho_{\text{serat}}$$

$$= 15\% \times 5,08 \text{ cm}^3 \times 1,5 \text{ g/cm}^3$$

$$= 1,14 \text{ gram}$$

$$\text{Berat total resin vinil ester} = V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{resin}}$$

$$= (\%V_{\text{resin}} \times V_{\text{sampel}}) \times \rho_{\text{resin}}$$

$$\begin{aligned}
&= 100\% - \%V_{\text{serat}} (V_{\text{sampel}} \times \rho_{\text{resin}}) \\
&= 85\% \times 5,08 \text{ cm}^3 \times 1,12 \text{ g/cm}^3 \\
&= 4,8 \text{ gram} \\
\text{Persentase katalis} &= \text{resin} : \text{katalis 1} : \text{katalis 2} = 100 : 3 : 1 \\
\text{Berat resin} &= \frac{100}{104} \times 4,8 \text{ g} \\
&= 4,61 \text{ g} \\
\text{Berat katalis 1} &= \frac{3}{104} \times 4,8 \text{ g} \\
&= 0,14 \text{ g} \\
\text{Berat katalis 2} &= \frac{1}{104} \times 4,8 \text{ g} \\
&= 0,05 \text{ g} \\
\text{Berat total resin epoksi} &= V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{resin}} \\
&= (\%V_{\text{resin}} \times V_{\text{sampel}}) \times \rho_{\text{resin}} \\
&= 100\% - \%V_{\text{serat}} (V_{\text{sampel}} \times \rho_{\text{resin}}) \\
&= 85\% \times 5,08 \text{ cm}^3 \times 1,19 \text{ g/cm}^3 \\
&= 5,1 \text{ gram} \\
\text{Persentase katalis} &= \text{resin} : \text{katalis} = 3 : 1 \\
\text{Berat resin} &= \frac{3}{4} \times 5,1 \text{ g} \\
&= 3,83 \text{ g} \\
\text{Berat katalis} &= \frac{1}{4} \times 5,1 \text{ g} \\
&= 1,27 \text{ g} \\
\text{Berat total resin polyester} &= V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{resin}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (\%V_{\text{resin}} \times V_{\text{sampel}}) \times \rho_{\text{resin}} \\
&= 100\% - \%V_{\text{serat}} (V_{\text{sampel}} \times \rho_{\text{resin}}) \\
&= 85\% \times 5,08 \text{ cm}^3 \times 1,13 \text{ g/cm}^3 \\
&= 4,9 \text{ gram}
\end{aligned}$$

Persentase katalis $= \text{resin} : \text{katalis} = 100 : 1$

Berat resin $= \frac{100}{101} \times 4,9 \text{ g}$

$$= 4,85 \text{ g}$$

Berat katalis $= \frac{1}{101} \times 4,9 \text{ g}$

$$= 0,05 \text{ g}$$

LAMPIRAN B
GAMBAR ALAT DAN BAHAN

Lampiran B. Gambar Alat dan Bahan



Gambar B.1 Alas Cetakan



Gambar B.2 Alat Pengaduk



Gambar B.3 Bagging Film



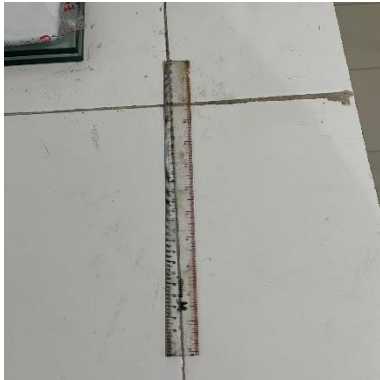
Gambar B.4 Baki



Gambar B.5 Cetakan



Gambar B.6 Gunting



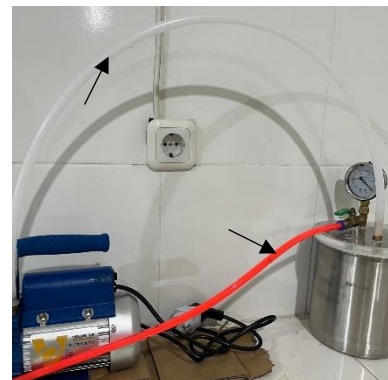
Gambar B.7 Penggaris



Gambar B.8 Pompa Vakum



Gambar B.9 Sarung Tangan



Gambar B.10 Selang



Gambar B.11 *Silent Tape*



Gambar B.12 Wadah



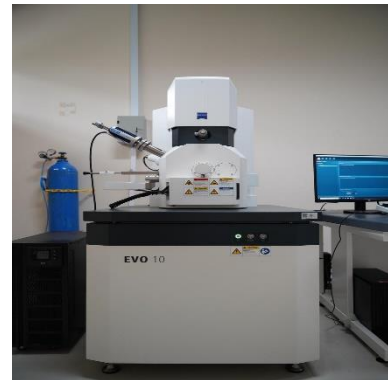
Gambar B.13 Tabung *Reservior*



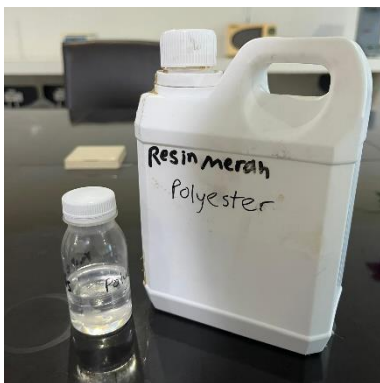
Gambar B.14 Serat Nanas



Gambar B.15 Timbangan Digital



Gambar B.16 Alat SEM



Gambar B.17 Resin Poliester



Gambar B.18 Resin Epoksi



Gambar B.18 Resin Vinyl Ester



Gambar B.20 Larutan NaOH 5%

LAMPIRAN C
DATA DAN HASIL PENELITIAN

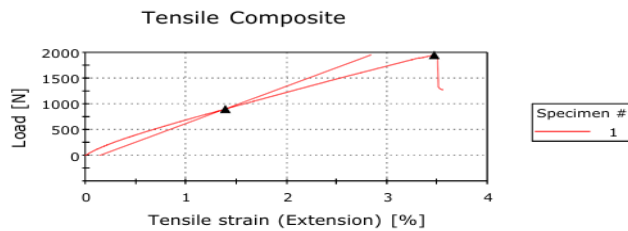
Lampiran C. Data dan Hasil Penelitian


INSTRON
 LAPORAN PENGUJIAN

Report Number	026/EXT/UNT/06/24
Operator Name	AF
Material	Composite
Test Method	ASTM D3039
Humidity	67. %
Temperature	26. C
Rate	2.00 mm/min

Last test date: Wednesday, June 05, 2024

Graph 1



	Width [mm]	Thickness [mm]	Max Load [N]	Tensile stress [MPa]	Tensile stress at Yield [MPa]	Tensile strain (Extension) at Break (Automatic load drop) [%]	Modulus (Automatic Young's) [GPa]	Code
1	25.00	3.00	1949.31	24.03	11.16	3.55	0.89	Polyester HLU
Mean	25.00	3.00	1949.31	24.03	11.16	3.55	0.89	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	25.00	3.00	1949.31	24.03	11.16	3.55	0.89	

Note: The result just for this test

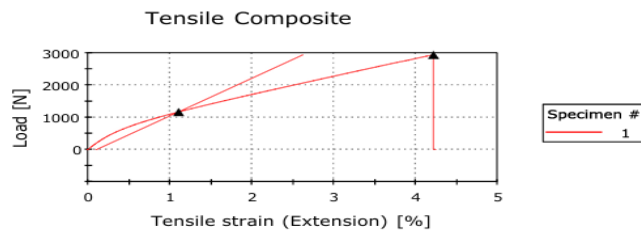
Gambar C.1 Hasil Uji Tarik *Hand Lay-up* Poliester


INSTRON
 LAPORAN PENGUJIAN

Report Number	030/EXT/UNT/06/24
Operator Name	AF
Material	Composite
Test Method	ASTM D3039
Humidity	67. %
Temperature	26. C
Rate	2.00 mm/min

Last test date: Wednesday, June 05, 2024

Graph 1



	Width [mm]	Thickness [mm]	Max Load [N]	Tensile stress [MPa]	Tensile stress at Yield [MPa]	Tensile strain (Extension) at Break (Automatic load drop) [%]	Modulus (Automatic Young's) [GPa]	Code
1	25.00	3.00	2941.06	38.00	15.16	4.21	1.51	Epoxy HLU
Mean	25.00	3.00	2941.06	38.00	15.16	4.21	1.51	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	25.00	3.00	2941.06	38.00	15.16	4.21	1.51	

Note: The result just for this test

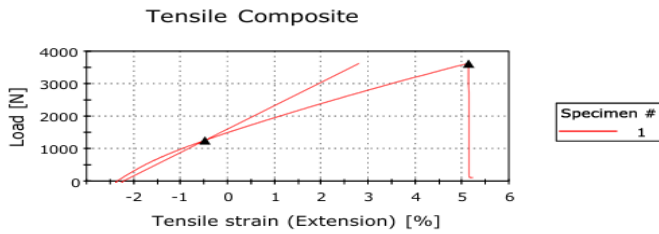
Gambar C.2 Hasil Uji Tarik *Hand Lay-up* Epoksi


INSTRON
LAPORAN PENGUJIAN

Report Number	027/EXT/UNT/06/24
Operator Name	AF
Material	Composite
Test Method	ASTM D3039
Humidity	67. %
Temperature	26. C
Rate	2.00 mm/min

Last test date: Wednesday, June 05, 2024

Graph 1



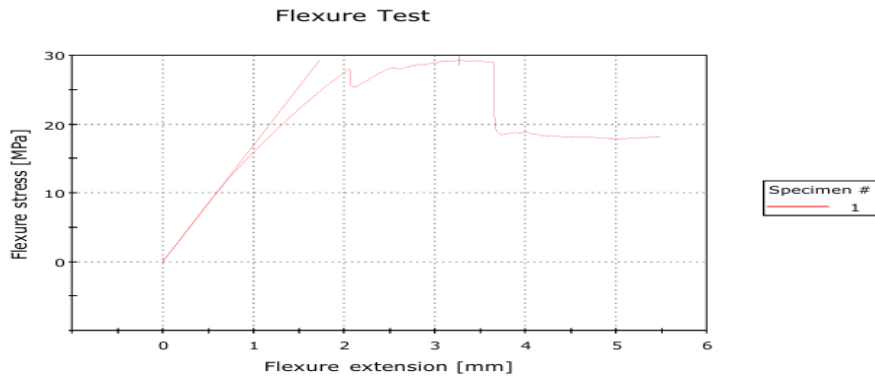
	Width [mm]	Thickness [mm]	Max Load [N]	Tensile stress [MPa]	Tensile stress at Yield [MPa]	Tensile strain (Extension) at Break (Automatic load drop) [%]	Modulus (Automatic Young's) [GPa]	Code
1	25.00	3.00	3624.47	51.38	18.02	5.12	1.02	HLU Vinyl
Mean	25.00	3.00	3624.47	51.38	18.02	5.12	1.02	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	25.00	3.00	3624.47	51.38	18.02	5.12	1.02	

Note: The result just for this test

Gambar C.3 Hasil Uji Tarik *Hand Lay-up* Vinyl Ester


INSTRON
LAPORAN PENGUJIAN

Report No	042/EXT/UNT/06/24
Material	Komposit
Material specification	Polyester HLU
Test Method	ASTM D790
Rate	5.00 mm/min



	Width [mm]	Thickness [mm]	Support span [mm]	Maximum Load [N]	Maximum Flexure stress [MPa]	Flexure strain (Extension) gauge length [mm]	Modulus of elasticity E [GPa]	Code
1	12.7	3.2	20.00	150.18	29.28	18.89	0.0293	Polyester HLU
Mean	12.7	3.2	20.00	150.18	29.28	18.89	0.0293	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	12.7	3.2	20.00	150.18	29.28	18.89	0.0293	

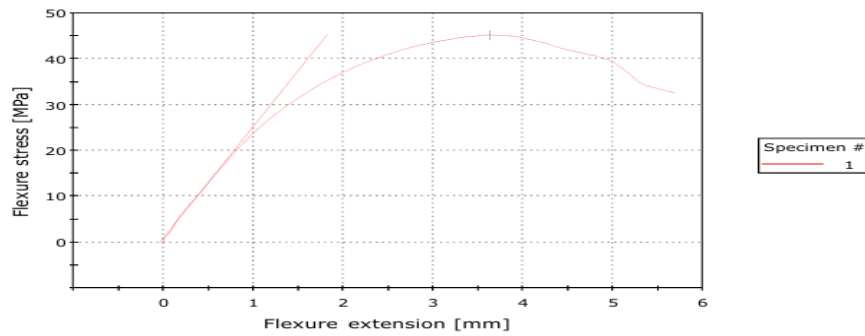
Gambar C.4 Hasil Uji Lentur *Hand Lay-up* Poliester



LAPORAN PENGUJIAN

Report No	045/EXT/UNT/06/24
Material	Komposit
Material specification	Polyester Epoxy HLU
Test Method	ASTM D790
Rate	5.00 mm/min

Flexure Test



	Width [mm]	Thickness s [mm]	Support span [mm]	Maximum Load [N]	Maximum Flexure stress [MPa]	Flexure strain (Extension) gauge length [mm]	Modulus of elasticity E [GPa]	Code
1	12.7	3.2	20.00	158.76	45.19	22.83	0.0452	Vacuum HLU
Mean	12.7	3.2	20.00	158.76	45.19	22.83	0.0452	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	12.7	3.2	20.00	158.76	45.19	22.83	0.0452	

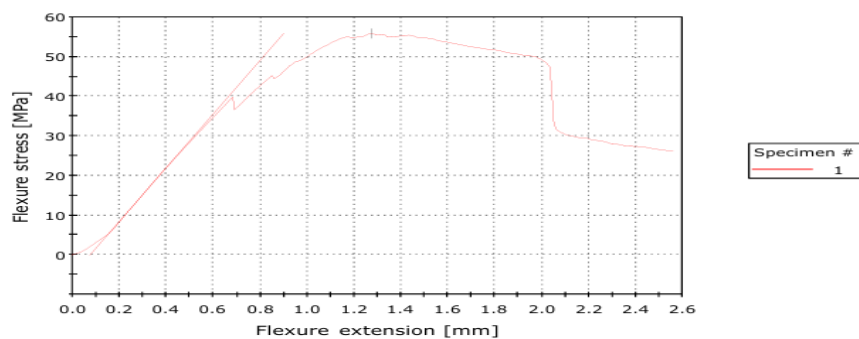
Gambar C.5 Hasil Uji Lentur *Hand Lay-up* Epoksi



LAPORAN PENGUJIAN

Report No	044/EXT/UNT/06/24
Material	Komposit
Material specification	Polyester HLU Vynil
Test Method	ASTM D790
Rate	5.00 mm/min

Flexure Test



	Width [mm]	Thickness s [mm]	Support span [mm]	Maximum Load [N]	Maximum Flexure stress [MPa]	Flexure strain (Extension) gauge length [mm]	Modulus of elasticity E [GPa]	Code
1	12.29	3.2	20.00	169.17	55.82	24.51	0.0558	HLU Vynil
Mean	12.29	3.2	20.00	169.17	55.82	24.51	0.0558	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	12.29	3.2	20.00	169.17	55.82	24.51	0.0558	

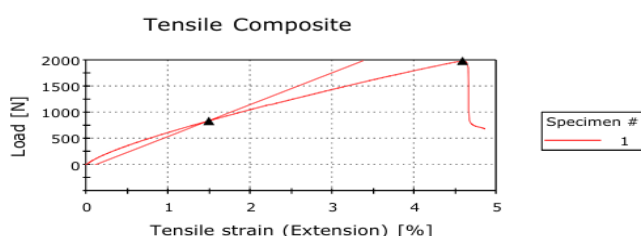
Gambar C.6 Hasil Uji Lentur *Hand Lay-up* Vinil Ester


INSTRON
LAPORAN PENGUJIAN

Report Number	025/EXT/UNT/06/24
Operator Name	AF
Material	Composite
Test Method	ASTM D3039
Humidity	67. %
Temperature	26. C
Rate	2.00 mm/min

Last test date: Wednesday, June 05, 2024

Graph 1



	Width [mm]	Thickness [mm]	Max Load [N]	Tensile stress [MPa]	Tensile stress at Yield [MPa]	Tensile strain (Extension) at Break (Automatic load drop) [%]	Modulus (Automatic Young's) [GPa]	Code
1	25.00	3.00	1980.74	28.18	11.94	4.85	0.86	Polyester Vacuum
Mean	25.00	3.00	1980.74	28.18	11.94	4.85	0.86	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	25.00	3.00	1980.74	28.18	11.94	4.85	0.86	

Note: The result just for this test

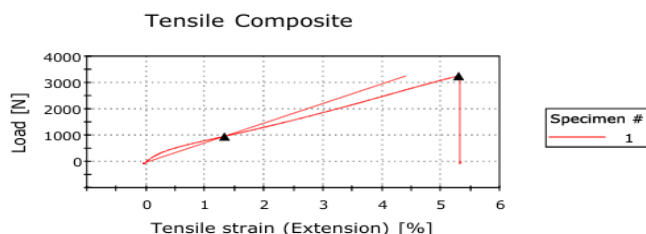
Gambar C.7 Hasil Uji Tarik Vacuum Bag Poliester


INSTRON
LAPORAN PENGUJIAN

Report Number	029/EXT/UNT/06/24
Operator Name	AF
Material	Composite
Test Method	ASTM D3039
Humidity	67. %
Temperature	26. C
Rate	2.00 mm/min

Last test date: Wednesday, June 05, 2024

Graph 1



	Width [mm]	Thickness [mm]	Max Load [N]	Tensile stress [MPa]	Tensile stress at Yield [MPa]	Tensile strain (Extension) at Break (Automatic load drop) [%]	Modulus (Automatic Young's) [GPa]	Code
1	25.00	3.00	3246.24	46.12	13.78	5.31	1.05	Vacuum Epoxy
Mean	25.00	3.00	3246.24	46.12	13.78	5.31	1.05	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	25.00	3.00	3246.24	46.12	13.78	5.31	1.05	

Note: The result just for this test

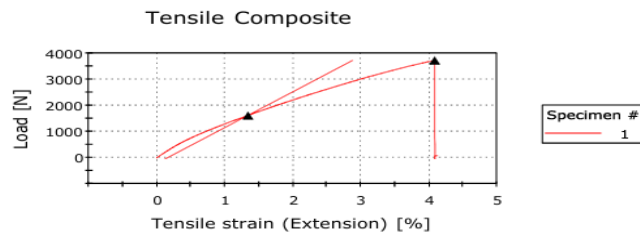
Gambar C.8 Hasil Uji Tarik Vacuum Bag Epoksi


INSTRON
LAPORAN PENGUJIAN

Report Number	028/EXT/UNT/06/24
Operator Name	AF
Material	Composite
Test Method	ASTM D3039
Humidity	67. %
Temperature	26. C
Rate	2.00 mm/min

Last test date: Wednesday, June 05, 2024

Graph 1



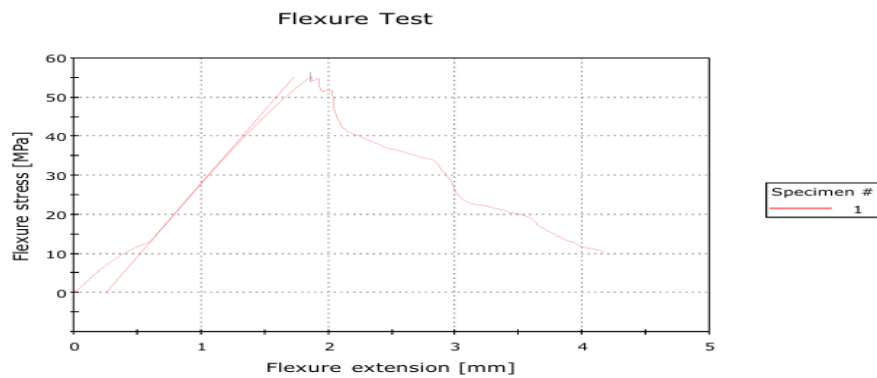
	Width [mm]	Thickness [mm]	Max Load [N]	Tensile stress [MPa]	Tensile stress at Yield [MPa]	Tensile strain (Extension) at Break (Automatic load drop) (%)	Modulus (Automatic Young's) [GPa]	Code
1	25.00	3.00	3710.59	58.37	25.50	4.08	2.15	Vacuum Vinyl
Mean	25.00	3.00	3710.59	58.37	25.50	4.08	2.15	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	25.00	3.00	3710.59	58.37	25.50	4.08	2.15	

Note: The result just for this test

Gambar C.9 Hasil Uji Tarik Vacuum Bag Vinyl Ester


INSTRON
LAPORAN PENGUJIAN

Report No	041/EXT/UNT/06/24
Material specification	Polyester Vacuum
Test Method	ASTM D790
Rate	5.00 mm/min

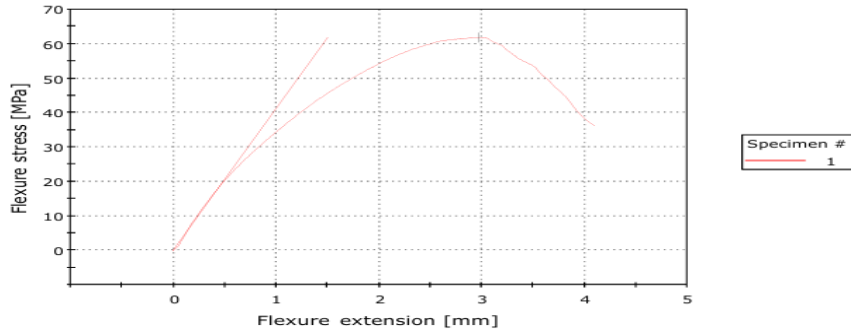


	Width [mm]	Thickness [mm]	Support span [mm]	Maximum Load [N]	Maximum Flexure stress [MPa]	Flexure strain (Extension) gauge length [mm]	Modulus of elasticity E [GPa]	Code
1	12.7	3.2	20.00	265.36	55.09	19.61	0.0551	Polyester Vacuum
Mean	12.7	3.2	20.00	265.36	55.09	19.61	0.0551	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	12.7	3.2	20.00	265.36	55.09	19.61	0.0551	

Gambar C.10 Hasil Uji Lentur Vacuum Bag Poliester

Report No	046/EXT/UNT/06/24
Material	Komposit
Material specification	Polyester Epoxy Vacuum
Test Method	ASTM D790
Rate	5.00 mm/min

Flexure Test

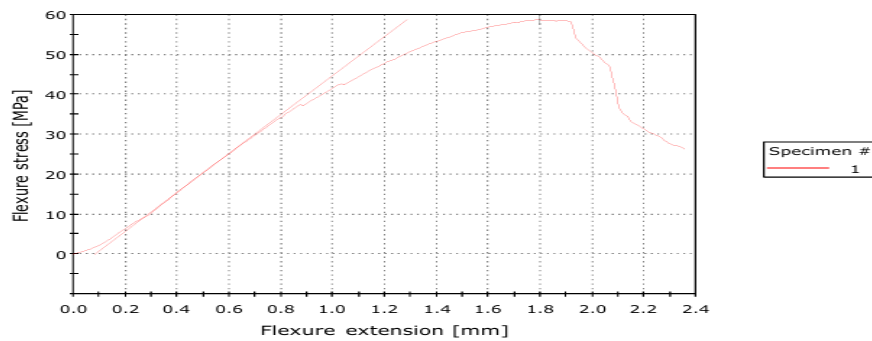


	Width [mm]	Thickness [mm]	Support span [mm]	Maximum Load [N]	Maximum Flexure stress [MPa]	Flexure strain (Extension) gauge length [mm]	Modulus of elasticity E [GPa]	Code
1	12.7	3.2	20.00	203.46	61.81	23.56	0.0618	Epoxy Vacuum
Mean	12.7	3.2	20.00	203.46	61.81	23.56	0.0618	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	12.7	3.2	20.00	203.46	61.81	23.56	0.0618	

Gambar C.11 Hasil Uji Lentur *Vacuum Bag* Epoksi

Report No	043/EXT/UNT/06/24
Material	Komposit
Material specification	Polyester Vacuum Vynil
Test Method	ASTM D790
Rate	5.00 mm/min

Flexure Test



	Width [mm]	Thickness [mm]	Support span [mm]	Maximum Load [N]	Maximum Flexure stress [MPa]	Flexure strain (Extension) gauge length [mm]	Modulus of elasticity E [GPa]	Code
1	12.7	3.2	20.00	177.22	58.64	24.78	0.0586	Vacuum Vinyl
Mean	12.7	3.2	20.00	177.22	58.64	24.78	0.0586	
Standard deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Minimum	12.7	3.2	20.00	177.22	58.64	24.78	0.0586	

Gambar C.12 Hasil Uji Lentur *Vacuum Bag* Vinil Ester