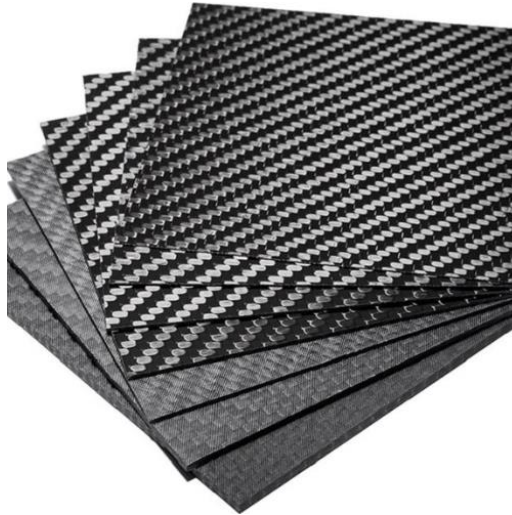


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Material Komposit



Gambar 2. 1 Material Komposit

Material komposit merupakan material hasil rekayasa yang tersusun dari dua atau lebih jenis material berbeda yang digabungkan secara makroskopis untuk menghasilkan sifat mekanik, fisik, maupun kimia yang lebih unggul dibandingkan material penyusunnya apabila digunakan secara terpisah. Penggabungan tersebut dilakukan dengan tujuan memperoleh kombinasi kelebihan dari masing-masing komponen, seperti kekuatan tinggi, massa jenis rendah, kekakuan baik, ketahanan korosi, serta umur pakai yang lebih panjang. Oleh karena itu, material komposit banyak digunakan pada bidang teknik yang membutuhkan performa tinggi namun tetap ringan, seperti industri otomotif, penerbangan, konstruksi, dan perkapalan (Gibson, 2016).

Secara umum, material komposit terdiri atas dua komponen utama, yaitu matriks dan bahan penguat (*reinforcement*). Matriks berfungsi sebagai media pengikat yang menyatukan seluruh komponen, menjaga bentuk material, melindungi serat dari kerusakan akibat lingkungan, serta mendistribusikan beban yang diterima menuju bahan penguat. Sementara itu, bahan penguat berfungsi sebagai komponen utama penahan beban sehingga sangat menentukan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan retak material komposit. Bahan penguat dapat berupa serat, partikel, maupun lapisan (*laminate*), namun serat merupakan jenis penguat yang paling banyak digunakan karena memiliki kemampuan mekanik yang tinggi (Mallick, 2007).

Berdasarkan jenis matriksnya, material komposit dibedakan menjadi tiga kelompok utama, yaitu komposit matriks polimer (*polymer matrix composites*), komposit matriks logam (*metal matrix composites*), dan komposit matriks keramik (*ceramic matrix composites*). Pada penelitian ini digunakan komposit matriks polimer, karena memiliki keunggulan berupa proses manufaktur yang relatif mudah, biaya produksi lebih ekonomis, densitas rendah, serta memiliki ketahanan korosi yang baik. Jenis matriks polimer yang umum digunakan antara lain resin polyester, vinyl ester, dan epoxy (Callister & Rethwisch, 2020).

Sifat mekanik material komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis matriks, jenis bahan penguat, fraksi volume serat, panjang serat, orientasi serat, kualitas ikatan antar muka serat dan matriks, serta metode pembuatan. Semakin baik ikatan antara matriks dan penguat, maka proses transfer beban akan semakin efektif sehingga kekuatan komposit meningkat. Oleh sebab itu, pemilihan material penyusun dan desain struktur komposit menjadi faktor penting dalam menghasilkan material dengan performa optimal.

Dalam bidang perkapalan, material komposit semakin banyak digunakan sebagai alternatif pengganti baja maupun kayu karena memiliki keunggulan berupa bobot ringan, tahan terhadap korosi air laut, kebutuhan perawatan rendah, serta fleksibilitas desain yang tinggi. Penggunaan komposit juga mampu meningkatkan efisiensi bahan bakar kapal akibat berkurangnya berat struktur. Dengan perkembangan teknologi material, komposit berbasis serat alam kini menjadi salah satu inovasi yang menjanjikan karena lebih ramah lingkungan dan memanfaatkan sumber daya terbarukan.

2.1.2 Serat Pisang (Banana Fiber)



Gambar 2. 2 Serat Pisang
(Sumber: Penulis)

Serat batang pisang (*Musa paradisiaca*) merupakan salah satu jenis serat alam yang berasal dari bagian batang semu tanaman pisang yang tersusun dari pelepah daun berlapis-lapis. Setelah tanaman pisang dipanen, bagian batang umumnya tidak dimanfaatkan secara maksimal dan sering menjadi limbah pertanian. Padahal, bagian tersebut mengandung serat alami yang memiliki potensi cukup besar sebagai bahan baku industri, khususnya sebagai material penguat pada komposit. Pemanfaatan serat batang pisang juga sejalan dengan konsep material berkelanjutan karena berasal dari sumber daya terbarukan dan tersedia melimpah di negara tropis seperti Indonesia (Cahyono et al., 2023)

Secara kimia, serat batang pisang memiliki kandungan selulosa yang relatif tinggi, disertai hemiselulosa dan lignin. Kandungan selulosa berperan penting dalam memberikan kekuatan tarik dan kekakuan pada serat, sedangkan lignin berfungsi menjaga kekuatan struktur alami serat. Dengan komposisi tersebut, serat batang pisang memiliki karakteristik mekanik yang cukup baik untuk digunakan sebagai penguat komposit berbasis polimer. Selain itu, serat ini memiliki densitas yang rendah sehingga

mampu menghasilkan material komposit yang ringan namun tetap memiliki kekuatan yang memadai (Elanthikkal et al., 2010).

Dibandingkan serat sintesis seperti fiberglass, serat batang pisang memiliki beberapa keunggulan, antara lain bobot lebih ringan, harga lebih ekonomis, mudah diperoleh, tidak menyebabkan iritasi saat penanganan, serta ramah lingkungan karena bersifat biodegradable. Sifat biodegradable menunjukkan bahwa serat dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme sehingga lebih aman terhadap lingkungan setelah masa pakai berakhir. Oleh sebab itu, penggunaan serat alam saat ini semakin berkembang sebagai alternatif pengganti serat sintesis pada berbagai aplikasi teknik (Edbert et al., 2024).

Dalam pembuatan material komposit, serat batang pisang berfungsi sebagai elemen penguat yang menahan beban utama, sedangkan matriks berfungsi mengikat serat dan mendistribusikan tegangan. Kinerja komposit yang menggunakan serat batang pisang dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti panjang serat, orientasi serat, fraksi volume serat, kadar air, serta kualitas ikatan antara serat dan matriks. Untuk meningkatkan daya rekat terhadap resin, serat biasanya diberi perlakuan awal seperti pencucian, pengeringan, atau perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH guna menghilangkan kotoran dan lapisan lilin pada permukaan serat (Joseph et al., 2002).

Pada bidang teknik dan transportasi, serat batang pisang telah diteliti sebagai bahan penguat panel interior, papan komposit, komponen otomotif, hingga struktur ringan. Dalam bidang perkapalan, penggunaan serat batang pisang berpotensi diterapkan sebagai material alternatif untuk komponen non-struktural maupun semi-struktural, termasuk panel lambung kapal ikan skala kecil. Hal ini karena serat batang pisang mampu memberikan kombinasi sifat ringan, cukup kuat, tahan korosi, dan bernilai ekonomis. Dengan pengolahan yang tepat, serat batang pisang dapat menjadi salah satu solusi material komposit ramah lingkungan untuk mendukung industri maritim yang berkelanjutan.

2.1.3 Resin Epoxy



Gambar 2. 3Resin dan Hardener
(Sumber: Penulis)

Resin epoxy merupakan salah satu jenis resin termoset yang banyak digunakan sebagai matriks pada material komposit karena memiliki kombinasi sifat mekanik, kimia, dan ketahanan lingkungan yang sangat baik. Resin termoset adalah polimer yang setelah mengalami proses pengerasan (*curing*) tidak dapat dilelehkan kembali dengan

pemanasan. Hal ini berbeda dengan termoplastik yang masih dapat dibentuk ulang. Resin epoxy terbentuk melalui reaksi kimia antara gugus epoksida pada resin dasar dengan bahan pengeras (*hardener*), seperti amina atau anhidrida, sehingga menghasilkan struktur polimer tiga dimensi yang rapat dan stabil. Struktur ikatan silang (*crosslinking*) tersebut memberikan kekuatan tinggi, kekakuan baik, serta ketahanan deformasi yang sangat baik setelah proses curing selesai (Mallick, 2007).

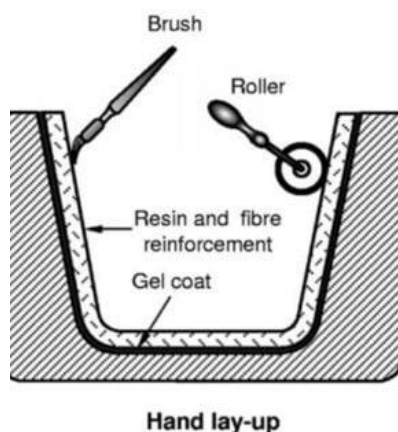
Dalam bidang material komposit, resin epoxy berfungsi sebagai matriks yang mengikat serat penguat menjadi satu kesatuan struktur. Matriks memiliki peran penting dalam menjaga bentuk komposit, melindungi serat dari pengaruh lingkungan, serta mendistribusikan beban dari luar menuju serat penguat. Pada komposit berpenguat serat alam, kualitas ikatan antara matriks dan serat sangat menentukan kekuatan material. Resin epoxy dikenal memiliki kemampuan adhesi yang sangat baik terhadap berbagai jenis material, termasuk logam, kayu, beton, dan serat alam. Daya rekat yang tinggi ini menyebabkan transfer tegangan dari matriks ke serat berlangsung lebih efektif, sehingga sifat mekanik komposit dapat meningkat secara signifikan (Gibson, 2016).

Keunggulan lain dari resin epoxy adalah ketahanan yang sangat baik terhadap air, kelembaban, bahan kimia, minyak, serta lingkungan laut yang korosif. Pada aplikasi maritim, material sering terpapar air asin, perubahan temperatur, radiasi matahari, dan beban dinamis akibat gelombang. Dalam kondisi tersebut, resin epoxy mampu mempertahankan sifat mekaniknya lebih baik dibanding beberapa resin lainnya. Oleh karena itu, epoxy banyak digunakan pada pelapisan anti-korosi, perekat struktural, laminasi kapal, tangki, pipa, serta komponen kelautan lainnya (Shenoi & Wellicome, 1993).

Dibandingkan resin poliester yang juga umum digunakan pada komposit, resin epoxy memiliki beberapa kelebihan penting. Epoxy umumnya memiliki penyusutan volume yang lebih kecil saat curing, sehingga risiko retak atau perubahan dimensi produk menjadi lebih rendah. Selain itu, epoxy memiliki ketangguhan (*toughness*) dan kekuatan tarik yang lebih tinggi, serta ketahanan kelelahan material (*fatigue resistance*) yang lebih baik. Kemampuan ini menjadikan epoxy cocok digunakan untuk komponen yang menerima beban berulang atau beban kejutan. Namun demikian, biaya resin epoxy relatif lebih tinggi dibanding resin poliester, sehingga penggunaannya biasanya dipilih untuk aplikasi yang membutuhkan performa lebih tinggi (Callister & Rethwisch, 2020).

Pada penelitian ini, resin epoxy dipilih sebagai matriks untuk komposit serat batang pisang karena mampu memberikan ikatan antar muka yang baik dengan serat alam, meningkatkan kekuatan tarik material, serta memiliki ketahanan terhadap lingkungan laut. Kombinasi antara resin epoxy dan serat batang pisang diharapkan menghasilkan material komposit yang ringan, cukup kuat, tahan korosi, dan berpotensi digunakan sebagai material alternatif lambung kapal ikan maupun komponen maritim lainnya.

2.1.4 Metode Hand Lay-Up



Gambar 2. 4 Metode Hand-Lay Up
(Sumber: ResearchGate, 2022)

Pembuatan material komposit pada penelitian ini menggunakan metode hand lay-up karena prosesnya relatif sederhana, ekonomis, dan sesuai untuk pembuatan komposit berbasis serat alam. Bahan penguat yang digunakan adalah serat pisang, sedangkan matriks yang digunakan berupa resin polimer.

Tahap awal penelitian dilakukan dengan menyiapkan serat pisang yang telah dibersihkan dari kotoran dan pengotor lainnya. Serat kemudian dikeringkan hingga mencapai kadar air yang rendah untuk meningkatkan daya ikat antara serat dan matriks. Setelah proses pengeringan, serat dipotong sesuai ukuran yang telah ditentukan dan disusun pada cetakan berdasarkan orientasi serat yang direncanakan (Khotimah & Soeprianto, 2014).

Sebelum proses pencetakan, permukaan cetakan dibersihkan dan dilapisi release agent untuk memudahkan pelepasan produk komposit setelah proses curing. Resin dicampur dengan katalis sesuai perbandingan yang direkomendasikan oleh produsen hingga diperoleh campuran yang homogen. Selanjutnya, lapisan tipis resin diaplikasikan pada permukaan cetakan, kemudian serat pisang diletakkan secara merata di atas lapisan resin tersebut.

Proses impregnasi dilakukan dengan mengoleskan resin menggunakan kuas hingga seluruh bagian serat terbasahi secara sempurna. Roller digunakan untuk menekan lapisan komposit guna mengurangi terbentuknya rongga udara (void) dan meningkatkan ikatan antara serat dan matriks. Tahapan ini dilakukan secara berulang hingga jumlah lapisan dan ketebalan komposit yang diinginkan tercapai (Prayogo et al., 2013).

Setelah proses laminasi selesai, komposit dibiarkan mengalami curing pada suhu ruang selama waktu yang telah ditentukan hingga resin mengeras sempurna. Selanjutnya, komposit dilepaskan dari cetakan dan dilakukan proses finishing berupa pemotongan spesimen sesuai dimensi standar pengujian. Produk komposit yang dihasilkan kemudian digunakan untuk pengujian tarik.

Metode hand lay-up dipilih karena mampu menghasilkan komposit serat pisang dengan proses manufaktur yang mudah dilakukan serta memungkinkan variasi fraksi volume serat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat mekanik material komposit yang dihasilkan (Umar, 2019). Metode *hand lay-up* memiliki beberapa perbedaan dengan metode *vacuum infusion* dalam proses fabrikasi komposit. Pada metode *hand lay-up*, resin diaplikasikan secara langsung pada serat menggunakan kuas dan roller,

sehingga proses fabrikasi relatif sederhana dan tidak membutuhkan peralatan khusus. Sementara itu, metode *vacuum infusion* menggunakan tekanan vakum untuk membantu mengalirkan resin ke dalam susunan serat. Penggunaan tekanan vakum memungkinkan proses impregnasi resin menjadi lebih terkontrol serta dapat membantu mengurangi terbentuknya rongga udara (*void*) pada laminasi. Meskipun metode *vacuum infusion* memiliki keunggulan dalam pengendalian distribusi resin dan konsistensi kualitas laminasi, metode tersebut membutuhkan peralatan dan tahapan fabrikasi yang lebih kompleks dibandingkan *hand lay-up*. Dalam penelitian ini, metode *hand lay-up* dipilih karena tujuan utama penelitian adalah menganalisis pengaruh variasi orientasi serat batang pisang terhadap sifat tarik komposit, sehingga diperlukan metode fabrikasi yang sederhana dan memungkinkan penyusunan serat pada orientasi horizontal, diagonal, dan vertikal secara mudah dan konsisten.(Williams et al., 1996)

2.1.5 Pengaruh Orientasi Serat

Orientasi serat merupakan arah atau sudut penyusunan serat di dalam matriks komposit terhadap arah gaya atau beban yang bekerja pada material. Dalam komposit berpenguat serat, orientasi serat menjadi salah satu parameter paling penting karena sangat memengaruhi sifat mekanik, terutama kekuatan tarik, kekakuan, kekuatan lentur, ketahanan impak, serta pola kerusakan saat material menerima pembebanan. Hal ini terjadi karena serat merupakan komponen utama penahan beban, sedangkan matriks berfungsi sebagai pengikat serat, pelindung permukaan serat, dan media transfer tegangan antar serat. Oleh sebab itu, arah penyusunan serat akan menentukan seberapa efektif gaya dari luar dapat diteruskan dan ditahan oleh serat penguat (Gibson, 2016).

Pada material komposit dengan serat kontinu atau serat panjang, sifat mekanik cenderung bersifat anisotropik, yaitu nilai kekuatan dan kekakuannya berbeda tergantung arah pembebanan. Jika arah gaya sejajar dengan orientasi serat, maka serat akan bekerja secara optimal dalam menahan beban tarik(Iquilio et al., 2024). Sebaliknya, jika arah gaya tidak sejajar, maka sebagian tegangan akan diterima matriks dan antarmuka serat-matriks, sehingga kemampuan menahan beban menjadi lebih rendah. Karena itu, desain orientasi serat harus disesuaikan dengan arah beban dominan pada aplikasi struktur yang direncanakan(Tsai, 1965)

Apabila serat disusun sejajar dengan arah pembebanan horizontal, maka gaya tarik akan diteruskan sepanjang sumbu serat sehingga menghasilkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas tertinggi. Pada kondisi ini, serat menerima sebagian besar tegangan, sedangkan matriks membantu menjaga posisi serat tetap stabil. Orientasi horizontal umumnya digunakan pada komponen struktural yang menerima beban tarik utama dalam satu arah, karena memberikan efisiensi kekuatan paling baik(Moraras et al., 2023)

Jika serat disusun pada sudut diagonal terhadap arah pembebanan, maka beban yang diterima material akan terbagi menjadi komponen tarik dan geser. Kondisi ini menyebabkan kekuatan tarik biasanya lebih rendah dibanding orientasi 0°, namun kemampuan menyerap energi, ketangguhan, dan ketahanan terhadap retak geser dapat meningkat. Oleh sebab itu, orientasi diagonal sering digunakan pada struktur yang menerima kombinasi beban tarik, torsi, atau beban dinamis dari berbagai arah. Susunan diagonal juga banyak digunakan dalam sistem laminasi berlapis untuk meningkatkan kestabilan struktur komposit (Moraras et al., 2023).

Sementara itu, apabila serat disusun tegak lurus terhadap arah beban vertikal, maka serat tidak mampu menahan gaya tarik secara maksimal karena arah gaya bekerja

melintang terhadap sumbu serat. Pada kondisi ini, sebagian besar tegangan akan ditanggung oleh matriks(Moraras et al., 2023). Karena matriks umumnya memiliki kekuatan tarik lebih rendah dibanding serat, maka kekuatan tarik total komposit pada orientasi vertikal biasanya menjadi yang paling rendah. Kerusakan juga cenderung terjadi dalam bentuk retak matriks, delaminasi, atau terlepasnya ikatan antara serat dan matriks (debonding)(Chen et al., 2025).

Selain memengaruhi kekuatan tarik, orientasi serat juga berpengaruh terhadap pola patahan spesimen saat pengujian. Orientasi Horizontal cenderung mengalami patah serat dominan, orientasi diagonal menunjukkan kombinasi patah serat dan geser matriks, sedangkan orientasi vertikal lebih sering mengalami retak matriks dan kegagalan antarmuka. Oleh karena itu, pengamatan terhadap bentuk patahan dapat digunakan untuk mengevaluasi mekanisme kegagalan komposit.(Talreja & Singh, 2012)(Garret, 2016)

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi orientasi serat, yaitu horizontal, diagonal, dan vertikal, untuk mengetahui pengaruh arah susunan serat batang pisang terhadap sifat tarik komposit berbasis resin epoxy. Hasil pengujian akan menunjukkan orientasi mana yang memberikan kekuatan tarik tertinggi dan paling sesuai untuk diaplikasikan sebagai material alternatif lambung kapal ikan. Dengan demikian, orientasi serat merupakan faktor penting dalam desain komposit agar diperoleh performa mekanik yang optimal sesuai kebutuhan struktur(Garret, 2016)(Talreja & Singh, 2012).

2.1.6 Faktor yang Mempengaruhi Hasil Uji Tarik

Lambung kapal ikan merupakan bagian utama dari struktur kapal yang berfungsi sebagai badan kapal, penopang seluruh beban konstruksi, pelindung ruang muat, ruang mesin, serta tempat awak kapal selama beroperasi di laut. Lambung kapal juga menjadi komponen yang secara langsung berinteraksi dengan air laut, gelombang, arus, serta beban dinamis selama pelayaran maupun saat proses penangkapan ikan. Oleh karena itu, kualitas material lambung sangat menentukan kekuatan struktur, keselamatan operasi, stabilitas kapal, efisiensi bahan bakar, dan umur pakai kapal secara keseluruhan(IMO, 2012).

Sebagai struktur utama, material lambung kapal ikan harus memenuhi berbagai persyaratan teknis. Material harus memiliki kekuatan tarik, tekan, dan lentur yang memadai agar mampu menahan beban statis maupun dinamis selama beroperasi. Selain itu, material juga harus tahan terhadap benturan, getaran mesin, kelelahan material (fatigue), serta beban gelombang yang terjadi secara berulang(Zubaydi et al., 2017). Dalam lingkungan laut, lambung kapal selalu terpapar air asin yang bersifat korosif, sehingga material harus memiliki ketahanan korosi yang baik agar tidak cepat mengalami kerusakan. Massa jenis material juga menjadi faktor penting karena semakin ringan lambung kapal, maka displacement kapal dapat berkurang dan efisiensi bahan bakar meningkat. Di samping itu, material harus mudah dibentuk, mudah diperbaiki saat terjadi kerusakan, serta ekonomis agar sesuai dengan kebutuhan nelayan dan pelaku usaha perikanan skala kecil hingga menengah (Prayogo et al., 2013).

Material konvensional yang umum digunakan untuk lambung kapal ikan antara lain kayu, baja, aluminium, dan fiberglass. Kayu telah lama digunakan karena mudah dikerjakan dan tersedia di berbagai daerah, namun saat ini penggunaannya menghadapi kendala berupa ketersediaan bahan baku yang semakin terbatas, harga yang meningkat, serta kerentanan terhadap pelapukan, serangan jamur, rayap laut, dan perubahan dimensi akibat kelembaban(Zubaydi et al., 2017). Baja memiliki keunggulan berupa kekuatan

struktur tinggi dan cocok untuk kapal berukuran besar, namun memiliki kelemahan utama yaitu mudah mengalami korosi sehingga memerlukan pelapisan dan perawatan rutin. Selain itu, bobot baja yang besar dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar kapal. Aluminium memiliki bobot lebih ringan dan tahan korosi lebih baik dibanding baja, namun harga material dan biaya fabrikasinya relatif mahal. Sementara itu, fiberglass cukup populer pada kapal kecil karena ringan dan tahan korosi, tetapi berbasis serat sintetis yang kurang ramah lingkungan dan sulit terurai setelah masa pakai berakhir (Prayogo et al., 2013).

Seiring perkembangan teknologi material, komposit menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan untuk material lambung kapal ikan. Material komposit memiliki keunggulan berupa rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, tahan korosi, mudah dibentuk sesuai desain lambung, serta kebutuhan perawatan yang relatif rendah. Penggunaan komposit juga memungkinkan proses manufaktur dengan metode cetak yang lebih fleksibel dibanding logam, sehingga cocok untuk produksi kapal ikan skala kecil maupun menengah. Selain itu, bobot kapal yang lebih ringan dapat meningkatkan kecepatan operasi dan menurunkan konsumsi bahan bakar, sehingga biaya operasional menjadi lebih efisien (Prayogo et al., 2013).

Dengan pengembangan desain, metode manufaktur, dan pengujian mekanik yang tepat, komposit serat alam berpotensi diaplikasikan pada kapal ikan modern, terutama untuk kapal berukuran kecil hingga menengah. Aplikasi tersebut dapat berupa panel lambung, dek, sekat, penutup ruang, maupun komponen semi-struktural lainnya. Oleh karena itu, penelitian mengenai material komposit serat batang pisang sangat penting dilakukan untuk mendukung inovasi material lambung kapal ikan yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan (Prayogo et al., 2013). Pada penelitian ini digunakan serat batang pisang sebagai bahan penguat (reinforcement) dan resin epoxy sebagai matriks. Komposisi material ditentukan berdasarkan perbandingan massa serat dan resin, yaitu 80 gram serat batang pisang dan 200 gram resin epoxy, sehingga diperoleh perbandingan serat terhadap resin sebesar 2:5. Berdasarkan massa total campuran sebesar 280 gram, komposisi tersebut setara dengan 28,57% serat dan 71,43% resin berdasarkan berat (weight fraction).

Pemilihan komposisi tersebut didukung oleh penelitian terdahulu mengenai komposit serat pisang dan epoxy yang menggunakan perbandingan berat serat dan matriks 30:70 serta menunjukkan bahwa komposisi tersebut dapat menghasilkan sifat mekanik yang baik pada komposit serat pisang. Rasio serat terhadap matriks sebesar 30:70 menghasilkan kekuatan optimum pada komposit serat pisang berbasis epoxy. Komposisi penelitian ini, yaitu 28,57% serat dan 71,43% resin, memiliki komposisi yang mendekati rasio 30:70 tersebut. Oleh karena itu, rasio 2:5 dipilih sebagai komposisi tetap dalam penelitian ini, sedangkan variabel utama yang dikaji adalah variasi arah serat (N et al., 2019). Penggunaan serat batang pisang sebagai bahan penguat pada matriks resin epoxy bertujuan untuk meningkatkan kemampuan mekanik material, khususnya dalam menerima beban tarik. Resin epoxy tanpa penguat memiliki kemampuan menahan beban yang berbeda dengan komposit yang diperkuat serat karena serat berfungsi sebagai elemen penguat yang membantu menahan dan meneruskan beban melalui matriks. Penelitian mengenai komposit epoxy dengan serat pisang menunjukkan bahwa penambahan serat dapat meningkatkan kekuatan tarik dibandingkan resin tanpa penguat. Komposit epoxy dengan serat pisang mencapai kekuatan tarik maksimum sebesar 65,6 MPa pada kandungan serat 30 wt%. Sementara itu, penelitian mengenai short banana fibre-reinforced polymer composites menunjukkan bahwa resin tanpa serat memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 48,95

MPa, sedangkan komposit dengan serat pisang memiliki kekuatan tarik sebesar 60,31–61,74 MPa, tergantung pada panjang serat yang digunakan (Subramanya et al., 2020).

2.1.7 Tensile Test



Gambar 2. 5 Mesin Uji Tarik
(Sumber Penulis)

Pengujian sifat mekanik komposit dalam penelitian ini dilakukan menggunakan peralatan uji standar laboratorium untuk memperoleh data yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Pengujian yang dilakukan meliputi uji tarik, yang menggunakan mesin uji universal (*Universal Testing Machine/UTM*) dengan konfigurasi yang berbeda sesuai standar pengujian komposit yaitu ASTM D3039.

Prinsip Kerja pada pengujian tarik, spesimen komposit dijepit pada dua bagian penjepit (*grip*), yaitu *grip* atas dan *grip* bawah. Salah satu grip bersifat tetap, sedangkan grip lainnya bergerak secara vertikal dengan kecepatan tertentu sesuai standar pengujian. Ketika mesin dioperasikan, gaya tarik diberikan secara bertahap hingga spesimen mengalami regangan, deformasi plastis, dan akhirnya patah.

Selama proses pengujian, *load cell* akan mengukur besar gaya tarik yang diberikan, sedangkan alat ukur regangan seperti extensometer atau sensor displacement akan mencatat perubahan panjang spesimen. Data ini kemudian digunakan untuk menghasilkan kurva tegangan-regangan (*stress-strain curve*) yang menggambarkan perilaku mekanik material.

Parameter yang Dihasilkan dari hasil pengujian tarik, diperoleh beberapa parameter penting, antara lain:

1. Tegangan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength/UTS*) menunjukkan kekuatan maksimum material sebelum patah
2. Modulus elastisitas (*Young's Modulus*) → menunjukkan kekakuan material pada daerah elastis
3. Titik luluh (jika ada) → batas antara deformasi elastis dan plastis
 - Standar Pengujian
 - Pengujian tarik dilakukan mengacu pada standar

2.1.8 ASTM D3039/D3039M

Pengujian tarik pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D3039/D3039M, yaitu Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. Standar ini digunakan secara luas untuk menentukan sifat

mekanik material komposit bermatriks polimer yang diperkuat serat, seperti komposit serat alam dan resin epoxy.

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan material komposit dalam menahan beban tarik hingga mengalami kegagalan. Parameter yang diperoleh dari pengujian ini meliputi kekuatan tarik (*tensile strength*), modulus elastisitas (modulus of elasticity), regangan (strain), dan karakteristik patahan material.

Pada pengujian ASTM D3039, spesimen komposit dibuat dalam bentuk pelat datar (*flat specimen*) dengan dimensi yang disesuaikan dengan ketentuan standar. Spesimen kemudian dijepit pada mesin uji tarik (*Universal Testing Machine/UTM*) dan diberi beban tarik secara kontinu hingga mengalami patah. Selama proses pengujian, beban maksimum dan perubahan panjang spesimen dicatat untuk menghitung sifat mekanik material.

Standar ASTM D3039 dipilih karena mampu memberikan hasil pengujian yang konsisten dan dapat digunakan untuk mengevaluasi pengaruh orientasi serat terhadap kekuatan tarik komposit serat batang pisang bermatriks epoxy. Hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk membandingkan performa mekanik komposit dengan variasi orientasi serat horizontal, diagonal, dan vertikal, sehingga dapat ditentukan konfigurasi serat yang menghasilkan sifat tarik terbaik.

Tabel 2. 1 Ketentuan Standar ASTM D3039

Parameter	Nilai standar	Keterangan
Panjang total spesimen	250 mm	Standar utama
Panjang daerah ukur	150 mm	Standar utama
Lebar spesimen	25 mm	Standar utama
Tebal spesimen	10 mm	Opsional
Jumlah spesimen	3 spesimen	Untuk 1 variasi uji
Kecepatan crosshead	2 mm/menit	Umumnya untuk komposit

rumus yang umum digunakan pada uji tarik ASTM D3039 untuk menghitung kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas

1. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

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

Keterangan:

- σ = kekuatan tarik (MPa atau N/mm²)
- P = beban maksimum saat spesimen patah (N)
- A = luas penampang awal spesimen (mm²)

Luas penampang:

$$A = b \times t$$

Keterangan:

- b = lebar spesimen (mm)
- t = tebal spesimen (mm)

2. Regangan (Strain)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Keterangan:

- ε = regangan
- ΔL = pertambahan panjang (mm)
- L_0 = panjang awal daerah ukur (*gauge length*) (mm)

Jika dalam persen:

$$\varepsilon(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

3. Modulus Elastisitas (Young's Modulus)

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon}$$

Keterangan:

- E = modulus elastisitas (MPa atau GPa)
- $\Delta \sigma$ = perubahan tegangan pada daerah elastis
- $\Delta \varepsilon$ = perubahan regangan pada daerah elastis

2.1.9 Research Gap Penelitian

Berdasarkan penelitian terdahulu, pemanfaatan komposit serat pisang sebagai material alternatif pada bidang maritim telah banyak dikaji dengan berbagai pendekatan. Penelitian yang dilakukan oleh Sharma (2021) menunjukkan bahwa komposit serat pisang bermatriks epoxy mampu meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur dibandingkan resin murni. Namun, penelitian tersebut belum mengkaji pengaruh variasi orientasi serat terhadap sifat mekanik komposit, khususnya untuk aplikasi lambung kapal ikan.

Selanjutnya, penelitian oleh Rahman dan Putra (2021) melalui studi literatur dan komparasi material menunjukkan bahwa komposit serat alam memiliki potensi sebagai pengganti fiberglass pada kapal ikan berukuran kecil karena memiliki bobot yang ringan serta ketahanan korosi yang baik. Meskipun demikian, penelitian tersebut belum melakukan pengujian eksperimental secara spesifik pada komposit serat batang pisang dengan matriks epoxy.

Penelitian yang dilakukan oleh Kumar (2022) memfokuskan kajian pada pengaruh perlakuan alkali (NaOH) terhadap serat pisang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan alkali mampu meningkatkan adhesi antara serat dan matriks sehingga kekuatan tarik komposit meningkat. Akan tetapi, penelitian tersebut belum mengevaluasi pengaruh orientasi serat seperti horizontal, diagonal, dan vertikal terhadap performa mekanik komposit.

Pada tahun yang sama, Hasan (2022) mengembangkan panel komposit ramah lingkungan berbasis serat pisang untuk struktur kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel komposit memiliki bobot ringan serta ketahanan terhadap penyerapan air yang cukup baik. Namun demikian, penelitian tersebut belum menganalisis kemampuan material secara struktural untuk diaplikasikan sebagai lambung kapal ikan.

Penelitian lain dilakukan oleh Lee (2023) dengan mengembangkan komposit hibrida serat pisang dan fiberglass untuk aplikasi maritim. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fiberglass dapat meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan impak komposit. Meskipun demikian, penggunaan serat sintesis masih

mendominasi sehingga aspek keberlanjutan material belum sepenuhnya tercapai.

Sementara itu, penelitian oleh Siregar (2023) menunjukkan bahwa komposit serat alam berpotensi digunakan pada komponen sekunder kapal nelayan tradisional. Akan tetapi, penelitian tersebut belum secara khusus menggunakan serat batang pisang dan belum mengkaji pengaruh orientasi serat terhadap sifat mekanik material.

Kajian yang lebih luas dilakukan oleh Chen dan Yusuf (2024) melalui metode tinjauan pustaka terhadap berbagai penelitian internasional. Hasil kajian menunjukkan bahwa serat pisang memiliki potensi besar sebagai material ramah lingkungan untuk industri maritim. Namun, implementasi langsung pada struktur kapal perikanan di Indonesia masih sangat terbatas sehingga diperlukan penelitian lanjutan yang bersifat aplikatif.

Selanjutnya, penelitian oleh Nugroho (2025) menunjukkan bahwa komposit serat pisang–epoxy memiliki kekuatan tarik dan ketahanan air yang cukup baik untuk diaplikasikan pada kapal berukuran kecil. Akan tetapi, penelitian tersebut belum membandingkan secara rinci pengaruh orientasi serat vertikal, diagonal, dan horizontal terhadap karakteristik mekanik komposit.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Wijaya (2025) menggunakan metode Taguchi untuk menentukan kombinasi fraksi volume serat dan resin yang optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serat pada kondisi tertentu dapat meningkatkan kekuatan komposit secara signifikan. Namun demikian, variabel orientasi serat belum menjadi fokus kajian dalam penelitian tersebut.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa komposit serat pisang memiliki potensi yang besar sebagai material alternatif untuk aplikasi maritim, khususnya pada konstruksi kapal berukuran kecil. Akan tetapi, masih terdapat celah penelitian (*research gap*) yang belum banyak dikaji, yaitu pengaruh orientasi serat batang pisang dengan susunan horizontal, diagonal, dan vertikal terhadap sifat mekanik komposit bermatriks epoxy serta potensi penerapannya sebagai material lambung kapal ikan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi orientasi serat batang pisang terhadap kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas komposit epoxy sehingga dapat diperoleh konfigurasi orientasi serat yang paling optimal untuk mendukung pengembangan material lambung kapal ikan yang ringan, kuat, dan ramah lingkungan.