

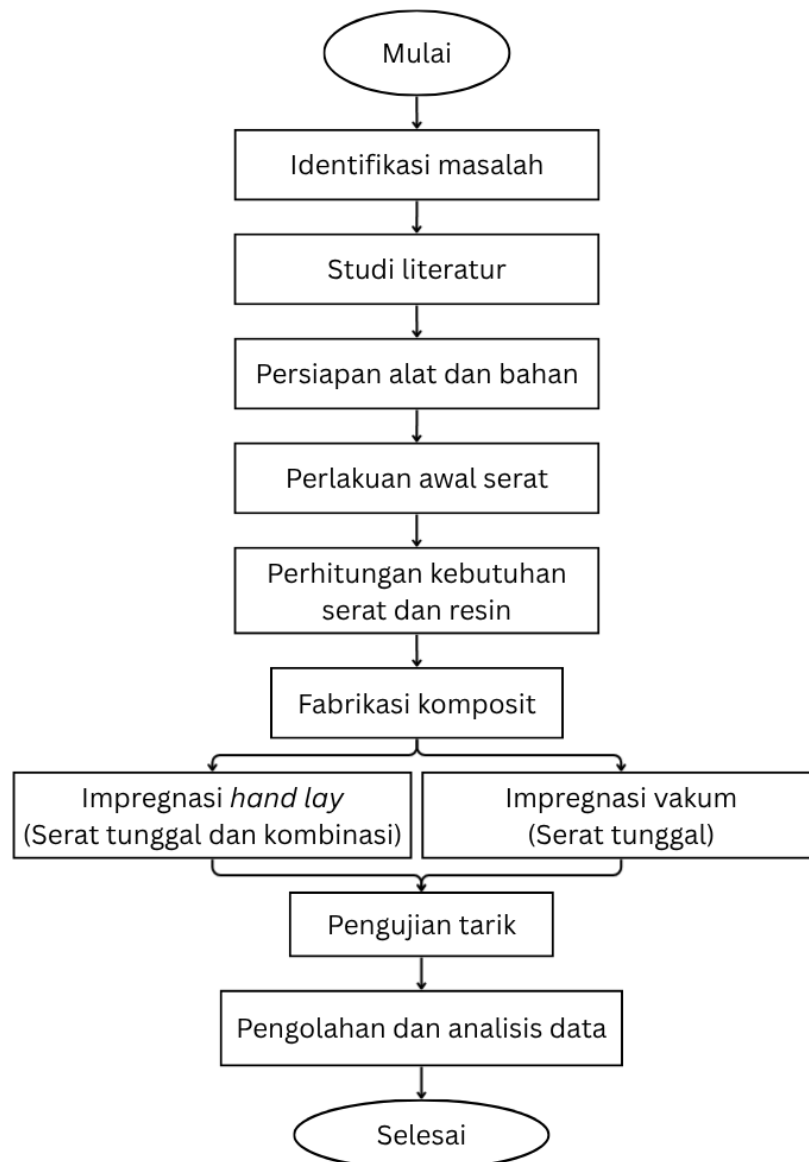
BAB III

METODOLOGI

Bab ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian, meliputi tahap studi literatur, persiapan alat dan bahan, proses fabrikasi komposit, pembuatan spesimen, pengujian tarik, hingga analisis data. Metodologi penelitian disusun secara sistematis untuk memastikan setiap tahapan dilaksanakan secara terstruktur sesuai dengan tujuan penelitian. Alur pelaksanaan penelitian secara keseluruhan disajikan dalam bentuk diagram alir sebagai gambaran urutan kegiatan yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

3.1 Skema Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental kuantitatif untuk menganalisis pengaruh variasi metode impregnasi, yaitu metode *hand lay* dan impregnasi vakum, serta penggunaan kombinasi serat non-alam dan serat alam terhadap kekuatan tarik komposit. Skema penelitian yang diusulkan, mulai dari tahap persiapan hingga analisis data, disajikan secara sistematis dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir skema penelitian

3.1.1 Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah dilakukan untuk menentukan permasalahan yang menjadi dasar penelitian. Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap faktor-faktor yang memengaruhi kualitas komposit, khususnya pengaruh metode impregnasi dan penggunaan kombinasi serat terhadap kekuatan tarik material komposit.

3.1.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari berbagai referensi berupa buku, jurnal ilmiah, standar pengujian, serta sumber ilmiah lainnya yang berkaitan dengan material komposit, metode fabrikasi, metode impregnasi, dan pengujian tarik sebagai landasan teori dalam penelitian.

3.1.3 Persiapan Alat dan Bahan

Tahap ini meliputi persiapan seluruh peralatan dan bahan yang digunakan selama penelitian. Persiapan dilakukan untuk memastikan seluruh material dan peralatan tersedia serta memenuhi kebutuhan proses fabrikasi dan pengujian komposit.

3.1.4 Perlakuan Awal Serat

Perlakuan awal serat dilakukan pada serat alam sebelum proses fabrikasi komposit. Tahap ini bertujuan untuk membersihkan permukaan serat dari kotoran maupun komponen pengotor lainnya sehingga diharapkan dapat meningkatkan ikatan antara serat dan matriks selama proses pembentukan komposit.

3.1.5 Perhitungan Kebutuhan Serat dan Resin

Tahap ini dilakukan untuk menentukan kebutuhan serat dan resin yang digunakan pada setiap spesimen berdasarkan dimensi panel, konfigurasi laminasi, serta fraksi volume yang telah ditetapkan. Perhitungan dilakukan agar komposisi material yang digunakan pada setiap spesimen tetap konsisten.

3.1.6 Fabrikasi Komposit

Fabrikasi komposit dilakukan menggunakan metode *vacuum bagging* dengan dua variasi metode impregnasi, yaitu impregnasi vakum (*vacuum infusion*) dan impregnasi *hand lay*. Proses ini meliputi penyusunan lapisan serat, impregnasi resin, proses vakum, *curing*, hingga pelepasan panel komposit dari cetakan.

3.1.7 Pengujian Tarik

Panel komposit yang telah difabrikasi dipotong menjadi spesimen uji sesuai standar ASTM D638-14. Selanjutnya, spesimen diuji menggunakan mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) untuk memperoleh data kekuatan tarik sebagai parameter utama penelitian.

3.1.8 Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil pengujian tarik diolah dan dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi metode impregnasi serta kombinasi serat terhadap kekuatan tarik komposit. Hasil analisis kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan kesimpulan dan saran penelitian.

3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum melakukan penelitian, alat dan bahan yang dipergunakan untuk pembuatan spesimen komposit dipersiapkan terlebih dahulu agar dapat mempermudah pada proses jalanya penelitian sehingga dapat berjalan dengan lancar dan sesuai dengan rencana.

3.2.1 Alat

Alat-alat yang akan dipergunakan pada pembuatan spesimen uji tarik komposit dengan variasi impregnasi vakum dan impregnasi *hand-lay* dengan berpenguat serat tunggal dan serat kombinasi. Alat yang digunakan untuk pembuatan komposit dan pengambilan data meliputi kaca, *peel ply*, *bagging mesh*, *film plastic bagging*, selang, gunting, *masking tape*, *sealant tape*, timbangan digital, gelas plastik, penggaris, skrap, kuas, *heatpad*, mesin uji tarik, dan mesin vakum.

3.2.1.1 Kaca

Kaca berukuran 35×35 cm digunakan sebagai alas sekaligus cetakan (*mould*) pada proses fabrikasi panel komposit. Kaca dipilih karena memiliki permukaan yang rata, halus, dan tidak berpori sehingga membantu menghasilkan permukaan komposit yang lebih baik serta memudahkan proses pelepasan spesimen setelah proses *curing* dengan bantuan release agent berupa *polyvinyl alcohol* (PVA).



Gambar 3.2 Kaca

3.2.1.2 Peel Ply

Kain *Peel ply* merupakan kain lapisan tipis berbahan dasar *nylon* atau *polyester* dengan densitas anyaman sekitar $85\text{--}120\text{ g/m}^2$ yang berfungsi sebagai lapisan pemisah

sementara antara komposit dan lapisan pendukung. Setelah proses *curing*, lapisan ini dapat dilepas dengan mudah serta menghasilkan permukaan komposit yang bersih dan siap untuk proses lanjutan.

Selain itu, *peel ply* membantu mengontrol distribusi resin dengan menyerap kelebihan resin pada permukaan, sehingga rasio serat dan matriks menjadi lebih merata serta meningkatkan homogenitas struktur komposit.



Gambar 3.3 *Peel ply*

3.2.1.3 *Bagging Mesh*

Bagging mesh merupakan material berupa jaring plastik berpori tinggi yang berfungsi utama untuk menyerap kelebihan resin selama proses impregnasi, sehingga mencegah penumpukan resin pada permukaan komposit. Material ini ditempatkan di atas lapisan *peel ply* dan juga membantu mendistribusikan aliran resin secara merata di seluruh permukaan serat.

Dengan adanya *bagging mesh*, kelebihan resin dapat terkontrol sehingga rasio serat dan matriks menjadi lebih konsisten, mengurangi potensi cacat seperti *void*, serta meningkatkan homogenitas dan kualitas hasil laminasi komposit.



Gambar 3.4 *Bagging mesh*

3.2.1.4 *Film Plastic Bagging*

Film plastic bagging merupakan lapisan kedap udara yang berfungsi menutupi seluruh susunan komposit selama proses vakum. Material ini umumnya berbahan *nylon* atau polietilen dengan ketebalan sekitar 50–75 μm , memiliki elastisitas tinggi, serta mampu menahan tekanan negatif hingga ± 76 cmHg sehingga dapat mengikuti kontur cetakan tanpa mengalami kerusakan.

Kualitas *film plastic bagging* sangat menentukan keberhasilan proses vakum, karena kebocoran udara dapat menurunkan tekanan dan menyebabkan cacat seperti *void* atau laminasi yang tidak sempurna. Oleh karena itu, digunakan material dengan kekuatan tarik dan elongasi yang memadai untuk menjaga sistem tetap kedap udara selama proses berlangsung. *Sealant tape*

Sealant tape merupakan perekat elastis berbahan dasar *butyl rubber* yang digunakan untuk menyegel pertemuan antara *film plastic bagging*, cetakan, dan selang vakum agar sistem tetap kedap udara. Material ini mampu menahan tekanan vakum hingga $\pm 0,95$ bar, dengan ketebalan sekitar 3–4 mm dan lebar 10–12 mm.

Fungsi utama *sealant tape* adalah mencegah kebocoran udara selama proses vakum, sehingga tekanan tetap stabil dan risiko cacat seperti *void* dapat diminimalkan.

Pemasangan dilakukan secara merata agar diperoleh penyegelan yang optimal.



Gambar 3.5 *Film plastic bagging*

3.2.1.5 Selang

Selang PU (*Polyurethane*) digunakan sebagai saluran masuk (*inlet*) dan saluran keluar (*outlet*) resin serta udara pada sistem vacuum bagging. Selang ini berfungsi menghubungkan panel komposit dengan pompa vakum dan wadah resin sehingga proses aliran resin serta pembentukan tekanan vakum dapat berlangsung dengan baik. Selang PU dipilih karena memiliki sifat fleksibel, kedap udara, serta tahan terhadap tekanan vakum, sehingga mampu meminimalkan potensi kebocoran selama proses fabrikasi komposit.



Gambar 3.6 Selang

3.2.1.6 Gunting

Gunting digunakan sebagai alat bantu untuk memotong berbagai material yang

digunakan selama proses fabrikasi komposit. Material yang dipotong meliputi serat penguat, *peel ply*, *bagging mesh*, *film plastic bagging*, *sealant tape*, dan selang PU sesuai dengan ukuran dan konfigurasi laminasi yang telah direncanakan. Penggunaan gunting bertujuan untuk memperoleh dimensi material yang presisi sehingga memudahkan proses penyusunan lapisan (*lay-up*) dan pemasangan sistem vacuum bagging.



Gambar 3.7 Gunting

3.2.1.7 Masking Tape

Solasi kertas (*masking tape*) digunakan sebagai alat bantu untuk menandai garis pemotongan pada serat penguat sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan. Selain itu, *masking tape* juga berfungsi menahan anyaman serat selama proses pemotongan sehingga helai-helai serat tidak mudah terlepas atau terurai. Penggunaan masking tape membantu menjaga bentuk, kerapian, dan stabilitas struktur anyaman serat sebelum dilakukan proses penyusunan lapisan (*lay-up*).



Gambar 3.8 *Masking tape*

3.2.1.8 *Sealant Tape*

Sealant tape merupakan bahan perekat khusus yang digunakan untuk menutup dan menyegel bagian tepi *film plastic bagging* pada proses fabrikasi komposit dengan metode impregnasi vakum. Material ini berfungsi membentuk kondisi kedap udara antara *film plastic bagging* dan permukaan *mould* sehingga tekanan vakum dapat dipertahankan selama proses impregnasi dan pemadatan laminasi. *Sealant tape* memiliki sifat lentur dan mampu mengikuti kontur permukaan *mould*, sehingga dapat membantu mencegah terjadinya kebocoran udara pada sistem vakum. Dalam penelitian ini, *sealant tape* digunakan pada bagian tepi *mould* untuk memastikan sistem tetap kedap udara selama proses impregnasi vakum berlangsung.



Gambar 3.9 *Sealant tape*

3.2.1.9 Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa material secara akurat selama proses fabrikasi komposit. Alat ini digunakan untuk menimbang serat penguat, resin epoksi, dan hardener sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan. Penggunaan timbangan digital bertujuan untuk memastikan perbandingan campuran resin dan *hardener* serta fraksi material yang digunakan sesuai dengan rancangan penelitian, sehingga proses fabrikasi dapat menghasilkan komposit dengan karakteristik yang konsisten.



Gambar 3.10 Timbangan digital

3.2.1.10 Gelas Plastik

Gelas plastik digunakan sebagai wadah untuk mencampurkan resin epoksi dan *hardener* sebelum proses impregnasi dilakukan. Wadah ini memudahkan proses penimbangan, pencampuran, dan pengadukan hingga campuran resin menjadi homogen. Selain itu, gelas plastik dipilih karena bersifat praktis, ringan, serta mudah diganti untuk setiap proses pencampuran sehingga dapat mengurangi risiko kontaminasi antar campuran resin.



Gambar 3.11 Gelas plastik

3.2.1.10 Penggaris

Penggaris digunakan sebagai alat ukur untuk menentukan dimensi material sebelum proses pemotongan dilakukan. Alat ini membantu mengukur ukuran serat penguat, *peel ply*, *bagging mesh*, *film plastic bagging*, dan material pendukung lainnya agar sesuai dengan ukuran yang telah direncanakan. Penggunaan penggaris bertujuan untuk memperoleh hasil pemotongan yang presisi sehingga penyusunan lapisan (*lay-up*) dapat dilakukan dengan baik dan sesuai dengan desain panel komposit.



Gambar 3.12 Penggaris

3.2.1.11 Skrap

Skrap digunakan sebagai alat bantu pada proses pelepasan (*demoulding*) panel komposit dari permukaan cetakan kaca setelah proses curing selesai. Alat ini membantu melepaskan panel komposit secara perlahan dari tepi cetakan tanpa merusak bentuk maupun permukaan komposit. Penggunaan skrap memudahkan proses *demoulding*, terutama apabila masih terdapat ikatan antara komposit dan cetakan

meskipun telah digunakan release agent berupa *Polyvinyl Alcohol* (PVA).



Gambar 3.13 Skrap

3.2.1.12 Kuas

Kuas digunakan sebagai alat bantu untuk mengaplikasikan dan meratakan resin epoksi pada permukaan serat selama proses impregnasi menggunakan *metode hand lay*. Pengolesan dilakukan secara bertahap pada setiap lapisan serat untuk memastikan resin meresap secara merata ke seluruh bagian serat. Penggunaan kuas bertujuan untuk membantu proses impregnasi, mengurangi terbentuknya area yang tidak terbasahi resin (*dry spot*), serta menghasilkan distribusi resin yang lebih merata pada laminasi komposit.



Gambar 3.14 Kuas

3.2.1.13 Heatpad

Heatpad digunakan sebagai alat bantu pemanas dalam proses fabrikasi komposit

berbasis metode vakum untuk membantu proses *curing* resin. *Heatpad* berupa elemen pemanas fleksibel berbentuk lembaran (*silicone heating pad*) yang ditempatkan di bagian atas *plastic bagging* selama proses berlangsung tanpa direkatkan secara permanen.

Penggunaan *heatpad* bertujuan memberikan pemanasan tambahan secara tidak langsung pada sistem laminasi, sehingga membantu proses pengerasan resin dan meningkatkan kualitas hasil komposit.



Gambar 3.15 *Heatpad*

3.2.1.14 Mesin Uji Tarik Universal

Mesin uji tarik yang digunakan pada penelitian ini adalah *Universal Testing Machine* (UTM) dengan kapasitas beban maksimum 500 N. Perangkat terdiri atas sel beban (*load cell*) untuk pengukuran gaya, penjepit (*grip*) untuk menahan spesimen pada sumbu tarik, dan pengukur perpindahan (mistar digital) untuk merekam perubahan panjang selama pengujian. Sistem pembacaan terhubung ke unit indikator sehingga nilai gaya dan perpindahan dapat dimonitor secara langsung.

Sebelum pengujian dimulai, dilakukan kalibrasi awal berupa penyetelan nol (*zeroing*) pada pembacaan gaya dan pemeriksaan kesejajaran sumbu penjepit untuk meminimalkan eksentrisitas. Pengaturan kecepatan penarikan ditetapkan mengikuti rekomendasi ASTM D638-14 untuk material kaku, sehingga waktu patah berada

dalam rentang 0,5–5 menit. Komponen fungsional utama dari mesin ini meliputi:



Gambar 3.16 Mesin uji tarik

1) Katrol gaya

Berfungsi untuk memberikan beban tarik manual dan terkontrol pada spesimen.

2) *Force gauge*

Sensor digital yang berfungsi untuk mengukur dan merekam gaya tarik (N) yang diterima spesimen secara *real-time*.

3) Mistar digital

Terintegrasi dengan sistem untuk mengukur pertambahan panjang (elongasi) spesimen (mm) selama pengujian.

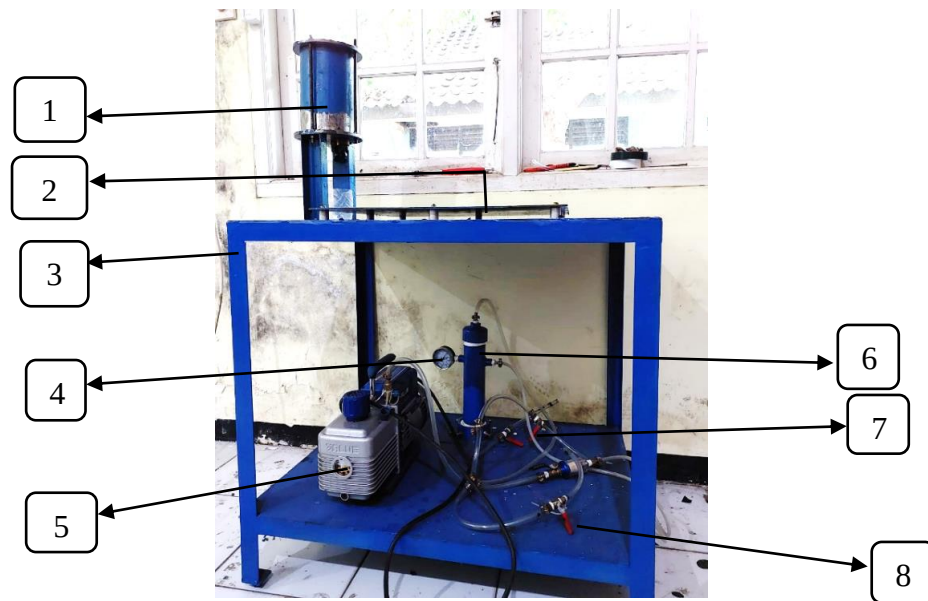
4) Penjepit

Sepasang penjepit yang berfungsi untuk memegang kedua ujung spesimen secara kuat dan simetris selama proses penarikan.

3.2.1.15 Mesin Vakum

Bahan Mesin vakum yang digunakan pada penelitian ini dirancang untuk

mendukung proses pencetakan komposit dengan metode vakum. Prinsip kerjanya adalah menghisap udara dari area cetakan sehingga tercipta tekanan negatif. Kondisi ini memudahkan resin mengisi rongga cetakan secara merata dan mengurangi terbentuknya gelembung udara yang dapat menurunkan kualitas komposit. Mesin ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung dan bekerja terpadu. Berikut adalah keterangan komponen mesin vakum:



Gambar 3.17 Mesin vakum

1) Tabung resin

Komponen pengaman yang dipasang di jalur vakum sebelum pompa. Fungsinya adalah untuk menangkap atau menyaring resin yang mungkin terhisap secara tidak sengaja, sehingga mencegah kerusakan pada pompa vakum.

2) Tatakan spesimen

Merupakan landasan kerja datar berukuran 500 mm x 500 mm yang menjadi tempat proses pencetakan komposit. Tatakan ini diperkuat dengan baut M8x1 untuk memastikan kekakuan struktur.

3) Rangka besi

Berfungsi sebagai struktur penyangga utama komponen sistem mesin vakum. Rangka ini memiliki tinggi 740 mm dan lebar 600 mm, dirancang untuk menopang sistem vakum di bagian bawah serta sistem resin dan area kerja di bagian atas.

4) Manometer

Berfungsi sebagai alat ukur vital untuk memantau *level* tekanan vakum secara *real-time* dan memastikan tekanan di dalam sistem telah mencapai target yang diinginkan.

5) Pompa

Komponen inti yang berfungsi untuk menghisap udara dan menciptakan tekanan negatif di dalam sistem. Spesifikasi pompa yang digunakan adalah VALUE VE2100N (2-Tahap, 1 HP) dengan kemampuan vakum ultimate hingga 15 micron.

6) Tabung filter (*resin trap*)

Komponen pengaman yang dipasang di jalur vakum sebelum pompa. Fungsinya adalah untuk menangkap atau menyaring resin yang mungkin terhisap secara tidak sengaja, sehingga mencegah kerusakan pada pompa vakum.

7) Selang 3/8 Inci

Berfungsi sebagai jalur penghubung multifungsi untuk evakuasi udara dari cetakan ke pompa, serta untuk mengalirkan resin dari tabung resin ke dalam cetakan.

8) Kran 3/8 Inci

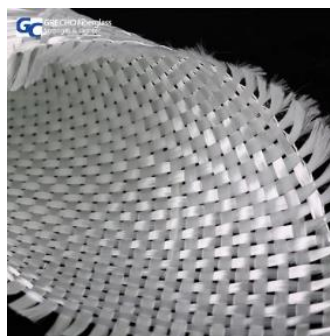
Berfungsi sebagai katup kontrol utama untuk membuka atau menutup aliran vakum dan resin, sehingga memungkinkan pengaturan proses secara presisi.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk membuat spesimen uji komposit meliputi serat *fiberglass*, serat karbon, serat kevlar, serat rami, serat serabut kelapa, serat pelepah pisang, resin epoksi, *hardener*, *polyvinyl alcohol*, dan *spray adhesive*.

3.2.2.1 Serat *Fiberglass*

Serat *fiberglass* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan serat non-alam yang berfungsi sebagai material penguat (reinforcement) pada komposit. Serat *fiberglass* digunakan pada pembuatan spesimen komposit serat tunggal serta sebagai salah satu material penguat pada komposit hibrida. Pemilihan *fiberglass* didasarkan pada karakteristiknya yang memiliki kekuatan tarik tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta kompatibilitas yang baik dengan matriks resin epoksi, sehingga banyak digunakan sebagai material penguat pada berbagai aplikasi komposit.



Gambar 3.18 *Fiberglass*

3.2.2.2 Serat Rami

Serat rami yang digunakan dalam penelitian ini merupakan serat alam yang berfungsi sebagai material penguat (*reinforcement*) pada komposit hibrida. Serat rami dikombinasikan dengan serat non-alam untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan serat alam terhadap sifat mekanik komposit. Pemilihan serat rami didasarkan pada karakteristiknya yang memiliki kekuatan tarik yang baik, massa jenis yang relatif rendah, serta merupakan serat alam yang berpotensi digunakan sebagai alternatif material penguat yang lebih ramah lingkungan.



Gambar 3.19 Serat rami

3.2.2.3 Resin Epoksi

Matriks yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin epoksi merk Fusion, yaitu resin termoset dua komponen yang terdiri dari resin dan *hardener* dengan perbandingan pencampuran 2:1 sesuai rekomendasi produsen. Resin epoksi dipilih karena memiliki kemampuan adhesi yang baik terhadap serat serta mampu membentuk ikatan matriks–serat yang kuat pada komposit.

Secara umum, resin epoksi memiliki densitas sekitar 1,20–1,15 g/cm³ pada suhu 25 °C dengan viskositas relatif rendah (± 600 –900 cP), sehingga mendukung proses impregnasi serat secara optimal. Resin ini juga memiliki waktu gel berkisar 20–40 menit pada suhu ruang, kekuatan tarik sekitar 60–85 MPa, serta penyusutan curing

yang rendah (<2%), sehingga sesuai digunakan dalam proses fabrikasi komposit berbasis metode vakum.



Gambar 3.20 Resin dan *hardener*

3.2.2.4 *Polyvinyl Alcohol (PVA)*

Polyvinyl Alcohol (PVA) digunakan sebagai release agent pada proses fabrikasi komposit. PVA diaplikasikan secara merata pada permukaan cetakan kaca sebelum proses penyusunan lapisan serat (*lay-up*) untuk membentuk lapisan pemisah antara cetakan dan komposit. Penggunaan PVA bertujuan untuk mempermudah proses pelepasan (*demoulding*) panel komposit setelah proses curing selesai serta menjaga kualitas permukaan komposit agar tetap halus dan meminimalkan risiko kerusakan saat dilepaskan dari cetakan.



Gambar 3.21 PVA

3.2.2.5 *Spray adhesive*

Spray adhesive digunakan sebagai perekat sementara pada proses penyusunan lapisan (*lay-up*) komposit. Perekat ini diaplikasikan dalam jumlah tipis pada permukaan serat untuk membantu merekatkan antar lapisan sehingga susunan laminasi tetap pada posisinya dan tidak bergeser selama proses impregnasi maupun pemasangan sistem *vacuum bagging*. Penggunaan *spray adhesive* bertujuan untuk menjaga kestabilan konfigurasi lapisan tanpa mempengaruhi proses impregnasi resin secara signifikan.



Gambar 3.22 *Spray adhesive*

3.3 Persiapan Awal Serat

Perlakuan awal serat dilakukan untuk memastikan kondisi serat penguat optimal sebelum proses fabrikasi komposit. Pada penelitian ini digunakan serat alam dan serat sintetis sebagai bahan penguat. Untuk meningkatkan kualitas ikatan antara serat dan matriks, serat alam diberi perlakuan alkali melalui perendaman dalam larutan NaOH 5% selama 3 jam, kemudian dibilas hingga pH netral dan dikeringkan pada suhu ruang hingga kadar kelembapannya berkurang.

Perlakuan ini bertujuan untuk membersihkan permukaan serat dari kotoran serta mengurangi kandungan hemiselulosa dan lignin, sehingga meningkatkan adhesi antara

serat dan matriks serta menghasilkan kualitas komposit yang lebih baik.

3.4 Perhitungan Kebutuhan Serat dan Resin

Pada tahap ini dilakukan perhitungan teoritis untuk menentukan kebutuhan material komposit yang digunakan dalam proses fabrikasi, meliputi massa serat sebagai material penguat dan massa resin epoksi sebagai matriks. Perhitungan didasarkan pada dimensi panel komposit dan densitas masing-masing material.

Material penguat serta lapisan pendukung seperti *peel ply* dan *bagging mesh* dipotong dengan ukuran 25 cm × 25 cm sesuai dimensi cetakan, sedangkan *plastic bagging* dipotong lebih besar yaitu 31 cm × 31 cm agar seluruh area komposit tertutup dengan baik selama proses vakum.

Volume panel komposit dihitung menggunakan persamaan:

$$V = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tebal} \quad (3.1)$$

Dengan dimensi panel 25 cm × 25 cm × 0,15 cm, maka diperoleh *volume* panel komposit sebagai berikut:

$$V = 25 \times 25 \times 0,15 = 93,75 \text{ cm}^3$$

Pada tahap ini dilakukan perhitungan teoritis kebutuhan material komposit berdasarkan fraksi volume serat dan matriks serta densitas material. Massa teoritis material kemudian dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$m_f = V \times \phi_f \times \rho_f \quad (3.2)$$

$$m_m = V \times (1 - \phi_f) \times \rho_m \quad (3.3)$$

Adapun tahapan perhitungan kebutuhan material disajikan sebagai berikut:

1. Resin epoksi

$$m_{resin} = V \times (1 - \phi_f) \times \rho_m$$

$$m_{resin} = 93,75 \times (1 - 15\%) \times 1,2 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{resin} = 95,6 \text{ g}$$

2. Serat *fiberglass*

$$m_{fiberglass} = V \times \phi_f \times \rho_f$$

$$m_{fiberglass} = 93,75 \times 15\% \times 2,55 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{fiberglass} = 35,8 \text{ g}$$

3. Kombinasi serat *fiberglass* dan rami

$$m_{fiberglass} = (V \times 50\%) \times \phi_f \times \rho_f$$

$$m_{fiberglass} = (93,75 \times 50\%) \times 15\% \times 2,55 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{fiberglass} = 17,9 \text{ g}$$

$$m_{rami} = (V \times 50\%) \times \phi_f \times \rho_f$$

$$m_{rami} = (93,75 \times 50\%) \times 15\% \times 1,52 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{rami} = 10,6 \text{ g}$$

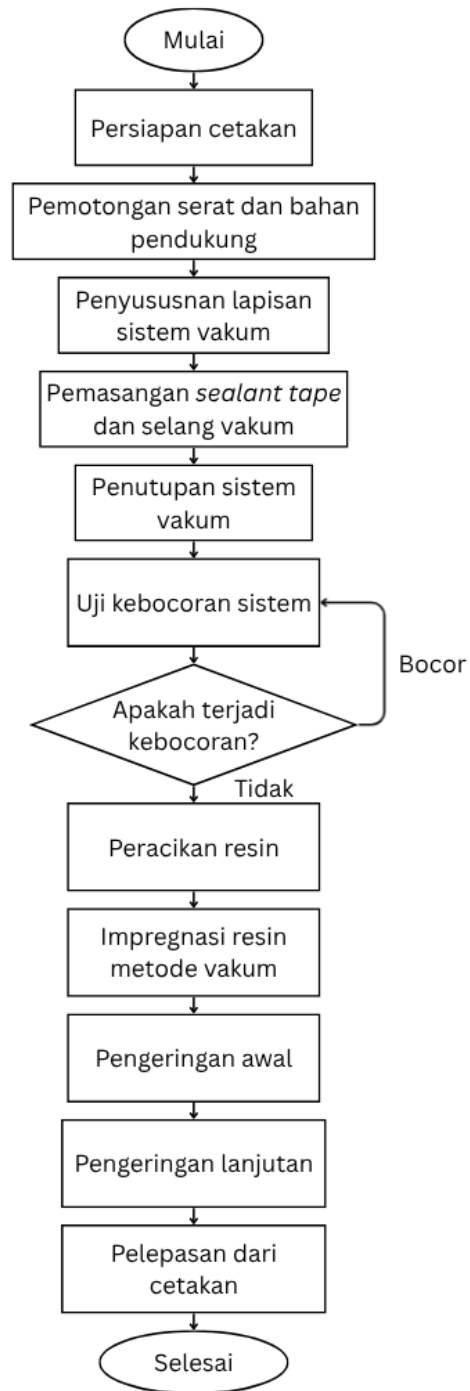
3.5 Fabrikasi Komposit

Fabrikasi komposit merupakan tahapan utama dalam penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan panel komposit sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan. Pada penelitian ini, proses fabrikasi dilakukan menggunakan metode *vacuum bagging* dengan dua variasi metode impregnasi, yaitu impregnasi vakum

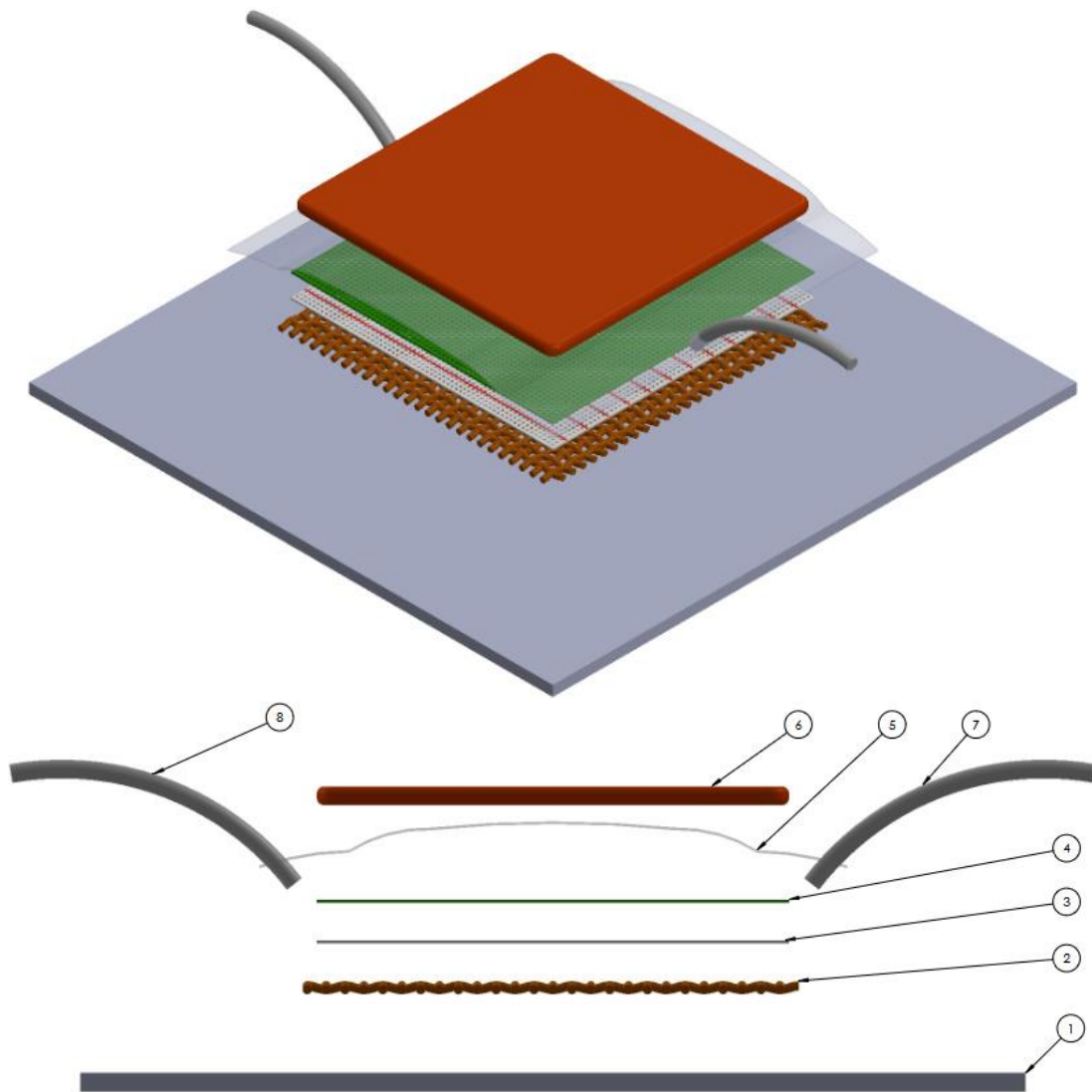
(*vacuum infusion*) dan impregnasi *hand lay*. Kedua metode menggunakan material, konfigurasi laminasi, fraksi volume, serta tahapan curing yang sama, namun berbeda pada mekanisme impregnasi resin ke dalam serat penguat. Perbedaan metode impregnasi tersebut digunakan untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kualitas laminasi dan sifat mekanik komposit yang dihasilkan. Tahapan fabrikasi untuk masing-masing metode impregnasi dijelaskan pada subbab berikut.

3.5.1 Metode Impregnasi Vakum

Pada metode impregnasi vakum, impregnasi resin dilakukan dengan bantuan sistem vakum yang menarik resin ke dalam susunan serat melalui selang *inlet*, sementara udara dikeluarkan melalui selang yang terhubung ke pompa vakum. Perbedaan tekanan ini menyebabkan resin mengalir dan meresap ke seluruh lapisan serat. Metode ini relatif mudah diterapkan dan mampu menjangkau area laminasi.



Gambar 3.23 Diagram alir proses fabrikasi impregnasi vakum



Gambar 3.24 Susunan lapisan pada proses fabrikasi impregnasi vakum

Keterangan per lapisan:

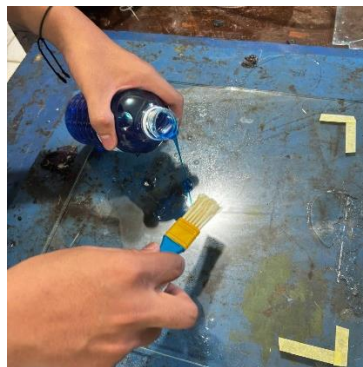
- 1) cetakan kaca
- 2) serat
- 3) *peel ply*
- 4) *bagging mesh*
- 5) *plastic bagging*
- 6) *heatpad*

- 7) selang masuk resin
- 8) selang keluar udara

Langkah-Langkah Metode Impregnasi Vakum (*Vacuum Infusion*) meliputi persiapan cetakan, pemotongan serat dan bahan pendukung, penyusunan lapisan serat dan bahan pendukung, pemasangan *sealant tape* dan selang vakum, penutupan sistem vakum, uji kebocoran sistem vakum, peracikan resin dan *hardener*, proses impregnasi resin dengan metode vakum, pengeringan awal, pengeringan lanjutan, dan pelepasan dari cetakan.

3.5.1.1 Persiapan Cetakan

Permukaan cetakan berupa kaca berukuran 35×35 cm dibersihkan dari debu, minyak, dan kotoran menggunakan kain bersih. Selanjutnya, permukaan cetakan dilapisi *Polyvinyl Alcohol* (PVA) secara merata sebagai release agent dan didiamkan selama 30 menit hingga lapisan mengering sebelum proses penyusunan material dilakukan.



Gambar 3.25 Pengolesan PVA

3.5.1.2 Pemotongan Serat dan Bahan Pendukung

Serat penguat, *peel ply*, *bagging mesh*, dan *film plastic bagging* dipotong sesuai ukuran panel komposit yang direncanakan. Pemotongan dilakukan menggunakan penggaris dan gunting agar diperoleh dimensi yang presisi, sedangkan *masking tape* digunakan untuk menahan anyaman serat agar tidak terurai selama proses pemotongan.



Gambar 3.26 Pemotongan serat

3.5.1.3 Penyusunan Lapisan Serat dan Bahan Pendukung

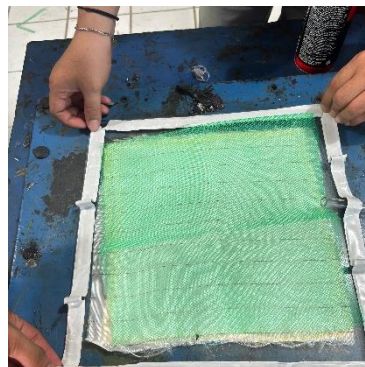
Material disusun di atas cetakan sesuai urutan laminasi yang telah dirancang. Penyusunan dilakukan mulai dari serat penguat, kemudian ditutup dengan *peel ply* dan *bagging mesh*. Untuk menjaga posisi setiap lapisan agar tidak bergeser selama proses pemasangan sistem vakum, *spray adhesive* diaplikasikan secara tipis pada antarpermukaan lapisan sesuai kebutuhan. Seluruh lapisan dipastikan berada pada posisi yang sesuai serta tidak mengalami lipatan maupun pergeseran.



Gambar 3.27 Penyemprotan *spray adhesive*

3.5.1.4 Pemasangan *Sealant Tape* dan Selang Vakum

Sealant tape dipasang mengelilingi area laminasi pada permukaan cetakan sebagai perekat *film plastic bagging*. Selanjutnya dipasang selang masuk (*inlet*) sebagai jalur aliran resin dan selang keluar (*outlet*) sebagai jalur menuju pompa vakum. Posisi kedua selang disesuaikan agar aliran resin dapat mengimpregnasi seluruh area laminasi secara merata.

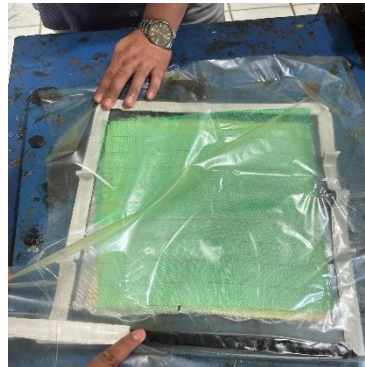


Gambar 3.28 Pemasangan *sealant tape*

3.5.1.5 Penutupan Sistem Vakum

Film plastic bagging dipasang menutupi seluruh susunan laminasi kemudian direkatkan pada *sealant tape* hingga membentuk sistem yang kedap udara. Pemasangan

dilakukan dengan memberikan kelonggaran pada *film (slack)* agar mampu mengikuti perubahan bentuk selama proses vakum tanpa menyebabkan robekan atau kebocoran.



Gambar 3.29 Penutupan sistem vakum

3.5.1.6 Uji Kebocoran Sistem Vakum

Selang outlet dihubungkan dengan pompa vakum, sedangkan jalur *inlet* ditutup sementara. Pompa vakum kemudian dioperasikan hingga tekanan mencapai sekitar -76 cmHg. Sistem diamati untuk memastikan tidak terjadi penurunan tekanan maupun kebocoran pada sambungan *sealant tape*, selang, maupun *vacuum bagging film*. Apabila ditemukan kebocoran, dilakukan perbaikan dan pengujian kembali hingga sistem benar-benar kedap udara.



Gambar 3.30 Pressure gauge menunjukan angka 76 cmHg

3.5.1.7 Peracikan Resin dan *Hardener*

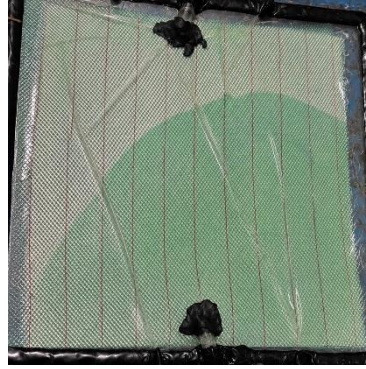
Resin epoksi dan *hardener* ditimbang menggunakan timbangan digital sesuai perbandingan 2 : 1 (resin : *hardener*). Kedua bahan kemudian dicampurkan di dalam gelas plastik dan diaduk secara perlahan hingga homogen. Proses pengadukan dilakukan secara hati-hati untuk meminimalkan terbentuknya gelembung udara pada campuran resin.



Gambar 3.31 Peracikan resin dan *hardener*

3.5.1.8 Proses Impregnasi Resin dengan Metode Vakum

Setelah sistem dipastikan kedap udara, selang inlet dimasukkan ke dalam wadah resin dan katup dibuka sehingga resin tertarik ke dalam sistem akibat tekanan vakum. Resin mengalir melalui media laminasi hingga membasahi seluruh lapisan serat secara merata. Setelah seluruh lapisan serat terimpregnasi dan resin pada wadah telah habis, selang *inlet* ditutup, pompa vakum dimatikan, kemudian selang *outlet* juga ditutup sehingga kondisi vakum di dalam sistem tetap terjaga selama proses *curing* awal.



Gambar 3.32 Impregnasi resin dengan metode vakum

3.5.1.9 Pengeringan Awal

Setelah pompa vakum dimatikan dan kedua jalur selang ditutup, dilakukan proses initial *curing* menggunakan *heatpad*. *Heatpad* dipasang di atas sistem vakum dengan suhu 50 °C dan dipertahankan selama 2 jam untuk mempercepat proses pengerasan awal resin serta membantu mempertahankan kualitas laminasi komposit.



Gambar 3.33 Bantuan pengeringan dengan *heatpad*

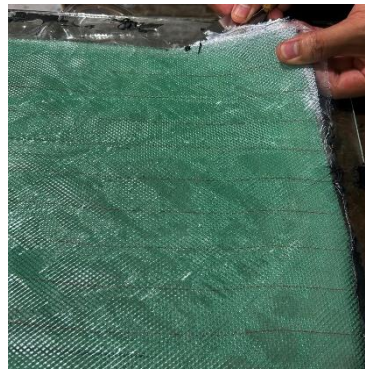
3.5.1.10 Pengeringan lanjutan

Setelah proses initial *curing* selesai, *heatpad* dilepas dari sistem vakum. Panel komposit kemudian dibiarkan mengalami proses *final curing* pada suhu ruang selama 24 jam hingga resin mengeras secara sempurna sesuai karakteristik resin epoksi yang

digunakan.

3.5.1.11 Pelepasan dari Cetakan

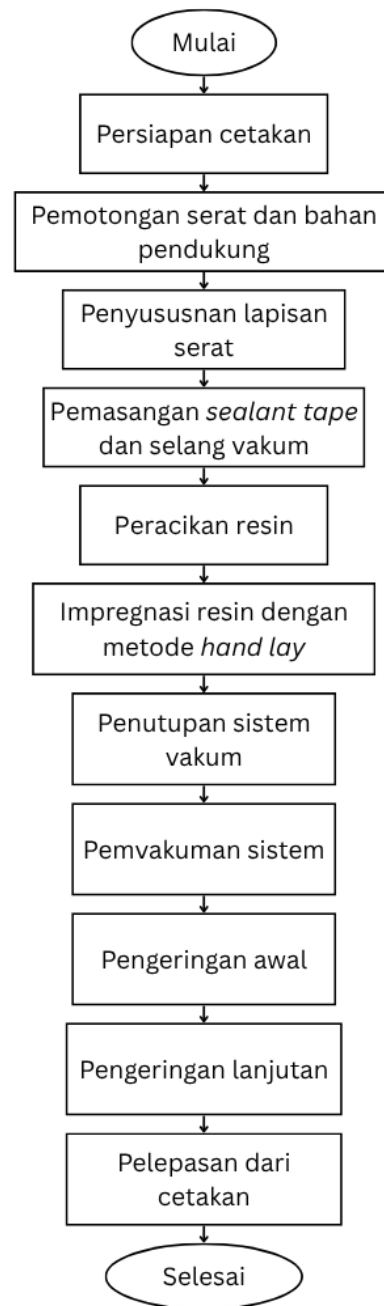
Setelah proses *curing* selesai, *film plastic bagging* dilepaskan terlebih dahulu dari sistem vakum. Selanjutnya panel komposit beserta lapisan *bagging mesh* dan *peel ply* dipisahkan dari permukaan cetakan menggunakan bantuan skrap secara hati-hati. Setelah panel berhasil dilepaskan dari cetakan, *bagging mesh* dan *peel ply* dikupas secara bertahap hingga diperoleh panel komposit yang siap untuk proses pemotongan spesimen dan pengujian.



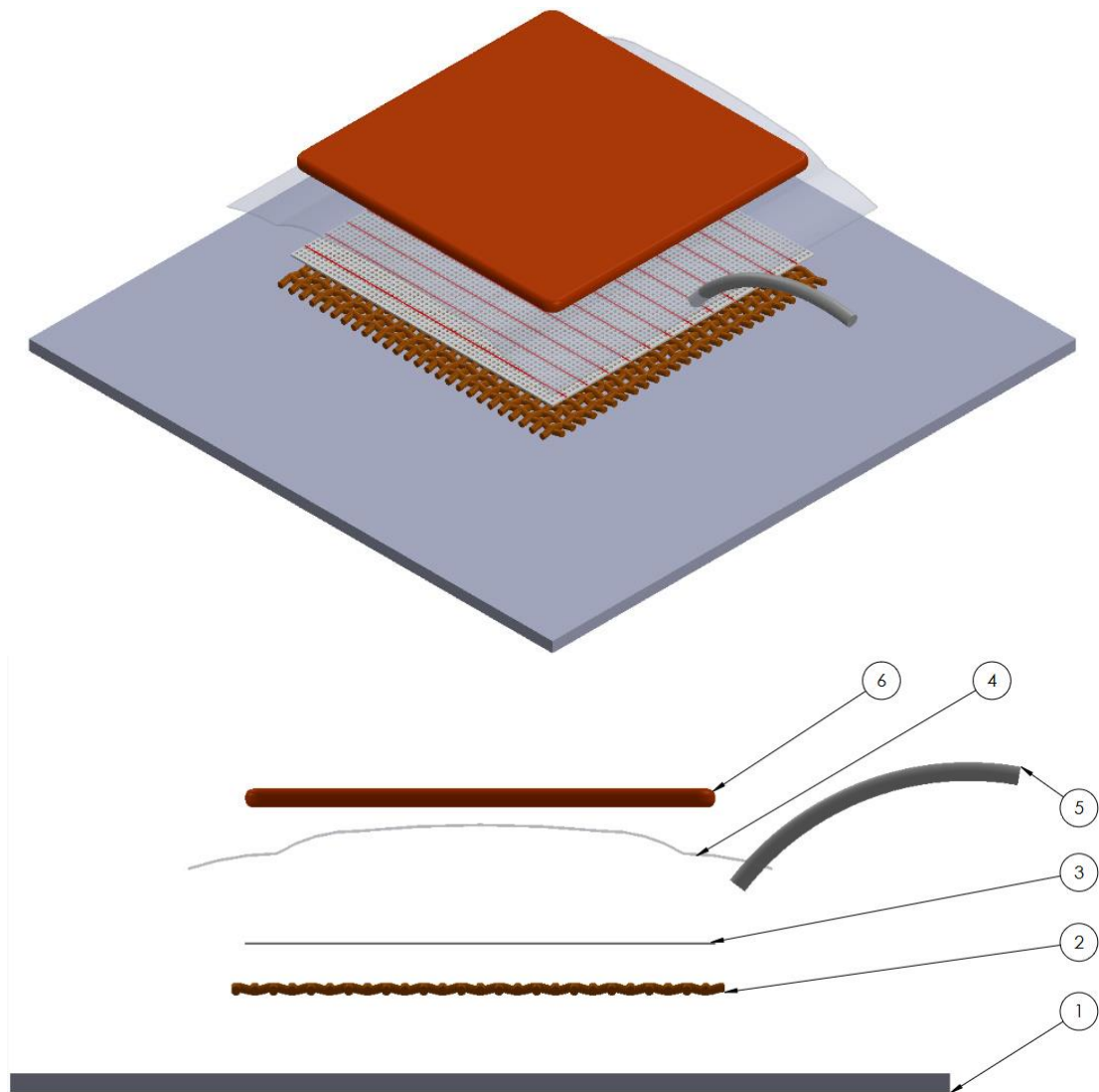
Gambar 3.34 Pelepasan komposit dari lapisan pendukung

3.5.2 Metode Impregnasi *Hand Lay*

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi proses melalui metode impregnasi *hand lay*, di mana resin diaplikasikan terlebih dahulu secara langsung pada serat variasi tunggal maupun kombinasi sebelum proses vakum. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan kontrol terhadap pemerataan resin serta menghasilkan kualitas laminasi yang lebih homogen.



Gambar 3.35 Diagram alir proses fabrikasi impregnasi *hand lay*



Gambar 3.36 Susunan lapisan pada proses fabrikasi impregnasi *hand lay*

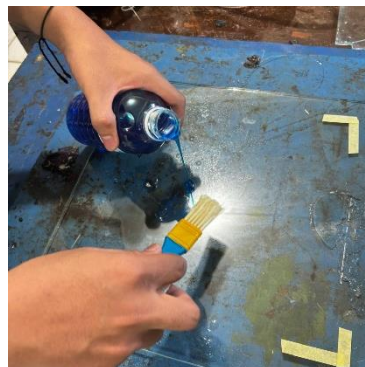
Keterangan per lapisan:

- 1) cetakan kaca
- 2) serat yang sudah diberi resin
- 3) *peel ply*
- 4) *plastic bagging*
- 5) selang keluar udara
- 6) *heatpad*

Langkah-langkah metode impregnasi *hand lay* meliputi persiapan cetakan, pemotongan serat dan bahan pendukung, penyusunan lapisan serat, pemasangan *sealant tape* dan selang vakum, peracikan resin dan *hardener*, proses impregnasi resin dengan metode *hand lay*, penutupan sistem vakum, proses pemavakuman sistem, pengeringan awal, pengeringan lanjutan, dan pelepasan dari cetakan.

3.5.2.1 Persiapan Cetakan

Permukaan cetakan berupa kaca berukuran 35×35 cm dibersihkan dari debu, minyak, dan kotoran menggunakan kain bersih. Selanjutnya, permukaan cetakan dilapisi *polyvinyl alcohol* (PVA) secara merata sebagai release agent dan didiamkan selama 30 menit hingga lapisan mengering sebelum proses fabrikasi dilakukan.



Gambar 3.37 Pengolesan PVA

3.5.2.2 Pemotongan Serat dan Bahan Pendukung

Serat penguat, *peel ply*, dan *film plastic bagging* dipotong sesuai ukuran panel komposit yang direncanakan. Pemotongan dilakukan menggunakan penggaris dan gunting agar diperoleh dimensi yang presisi, sedangkan masking tape digunakan untuk

menjaga anyaman serat agar tidak terurai selama proses pemotongan.



Gambar 3.38 Pemotongan serat

3.5.2.3 Penyusunan Lapisan Serat

Serat penguat disusun di atas permukaan cetakan sesuai konfigurasi laminasi yang telah dirancang. Untuk menjaga posisi setiap lapisan agar tidak bergeser selama proses impregnasi, *spray adhesive* diaplikasikan secara tipis pada antarpermukaan lapisan sesuai kebutuhan.



Gambar 3.39 Penyusunan lapisan serat

3.5.2.4 Pemasangan *Sealant Tape* dan Selang Vakum

Sealant tape dipasang mengelilingi area laminasi pada permukaan cetakan sebagai perekat *film plastic bagging*. Selanjutnya dipasang selang outlet sebagai jalur

yang akan dihubungkan dengan pompa vakum pada proses pemvakuman setelah impregnasi selesai dilakukan.



Gambar 3.40 Pemasangan *sealant tape*

3.5.2.5 Peracikan Resin dan *Hardener*

Resin epoksi dan *hardener* ditimbang menggunakan timbangan digital dengan perbandingan 2 : 1 (resin : *hardener*). Kedua bahan kemudian dicampurkan di dalam gelas plastik dan diaduk secara perlahan hingga homogen untuk meminimalkan terbentuknya gelembung udara.



Gambar 3.41 Peracikan resin dan *hardener*

3.5.2.6 Proses Impregnasi Resin dengan Metode *Hand Lay*

Campuran resin diaplikasikan secara bertahap ke permukaan serat menggunakan kuas hingga seluruh lapisan serat terimpregnasi secara merata. Pengolesan dilakukan dari bagian tengah menuju tepi sambil memastikan tidak terdapat bagian serat yang kering (*dry spot*) maupun penumpukan resin yang berlebihan.



Gambar 3.42 Impregnasi resin dengan metode *hand lay*

3.5.2.7 Penutupan Sistem Vakum

Setelah seluruh lapisan serat terimpregnasi, bagian atas laminasi ditutup menggunakan *peel ply*. Selanjutnya vacuum bagging film dipasang menutupi seluruh susunan laminasi dan direkatkan pada sealant tape hingga membentuk sistem yang kedap udara. Pemasangan dilakukan dengan memberikan kelonggaran pada film (*slack*) agar dapat mengikuti perubahan bentuk selama proses vakum.



Gambar 3.43 Penutupan sistem vakum

3.5.2.8 Proses Pemvakuman Sistem

Selang *outlet* dihubungkan dengan pompa vakum, kemudian pompa dioperasikan hingga tekanan mencapai sekitar -76 cmHg. Proses vakum dilakukan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam laminasi, memadatkan susunan lapisan, serta membantu meratakan distribusi resin. Setelah tekanan vakum tercapai dan kondisi laminasi stabil, selang *outlet* ditutup kemudian pompa vakum dimatikan sehingga kondisi vakum di dalam sistem tetap terjaga.

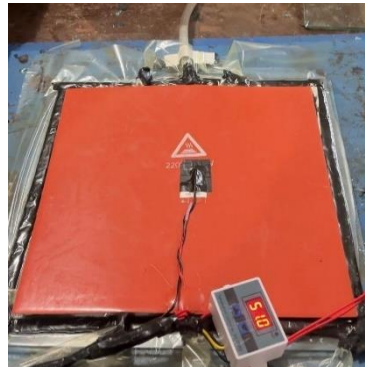


Gambar 3.44 Proses pemvakuman

3.5.2.9 Pengeringan Awal

Setelah pompa vakum dimatikan, dilakukan proses *initial curing* menggunakan

heatpad. *Heatpad* dipasang di atas sistem vakum dengan suhu 50 °C selama 2 jam untuk mempercepat proses pengerasan awal resin.



Gambar 3.45 Pengeringan awal dengan bantuan *heatpad*

3.5.2.10 Pengeringan Lanjutan

Setelah proses *initial curing* selesai, *heatpad* dilepas dan panel komposit dibiarkan mengalami proses *final curing* pada suhu ruang selama 24 jam hingga resin mengeras secara sempurna.

3.5.2.11 Pelepasan dari Cetakan

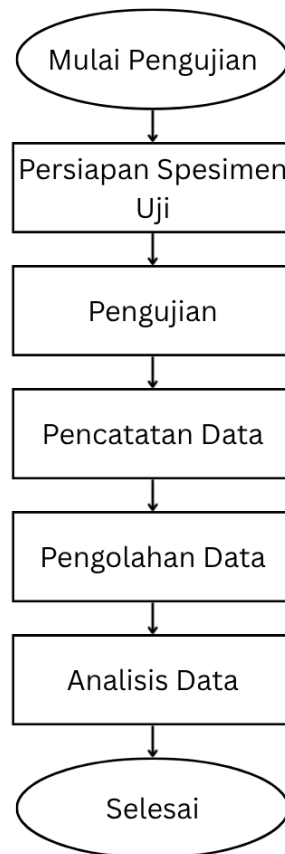
Setelah proses curing selesai, *film plastic bagging* dilepaskan terlebih dahulu. Panel komposit kemudian dipisahkan dari permukaan cetakan menggunakan bantuan skrap secara hati-hati. Setelah panel berhasil dilepaskan, lapisan *peel ply* dikupas hingga diperoleh panel komposit yang siap untuk proses pemotongan spesimen dan pengujian.



Gambar 3.46 Pelepasan komposit dari cetakan

3.6 Pengujian Tarik

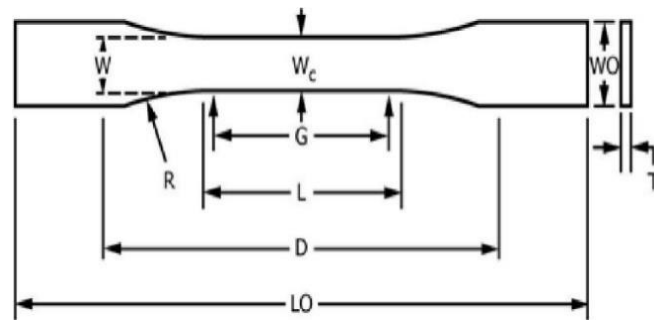
Pengujian tarik dilakukan untuk memperoleh nilai kekuatan tarik maksimum (σ_{max}), regangan (ϵ), dan modulus elastisitas (E) komposit. Prosedur pengujian mengacu pada standar ASTM D638-14, meliputi persiapan peralatan, verifikasi dimensi spesimen, pelaksanaan uji dengan laju penarikan terkontrol, serta pengambilan data untuk diolah menjadi nilai rata-rata dan simpangan baku pada setiap variasi metode. Diagram alir prosedur ditunjukkan pada Gambar 3.51.



Gambar 3.47 Diagram alir prosedur pengujian tarik

3.6.1 Persiapan Spesimen Uji

Spesimen uji tarik dibuat sesuai dengan standar D638-14 Tipe I. Standar ini mendefinisikan bentuk spesimen menyerupai tulang anjing (*dog-bone*) untuk memastikan bahwa kegagalan (patahan) terkonsentrasi di area tengah spesimen (*gauge section*). Dimensi spesifik dari spesimen mengacu pada diagram dan tabel berikut.



Gambar 3.48 Ukuran acuan spesimen uji tarik ASTM D638-14

Sumber: ASTM Internasional (2014)

Tabel 3.1 Dimensi ukuran spesimen ASTM D638-14 tipe I

Simbol	Dimensi (mm)	Keterangan
L_0	$165 \pm 6,5$	Panjang total
D	$115 \pm 4,5$	Jarak antar pegangan
L	$57 \pm 2,25$	Panjang bagian sempit
G	50 ± 2	Area ukur
W	$13 \pm 0,5$	Lebar bagian sempit
W_0	$19 \pm 0,75$	Lebar total
R	76 ± 3	Radius <i>fillet</i>

Sumber: ASTM Internasional (2014)

Verifikasi dimensi dan pencatatan dengan cara berikut:

1. Tandai area ukur untuk memudahkan pengukuran L_0 .
2. Ukur lebar dan tebal pada beberapa titik di area ukur; hitung rata-rata untuk memperoleh luas penampang awal A_0 .
3. Catat kode spesimen dan variasi pada tabel data.

3.6.2 Langkah-langkah Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah sistematis

berikut:

1. Pemasangan Spesimen.

Memasang spesimen pada penjepit atas dan bawah mesin uji, serta memastikan spesimen terpasang secara vertikal, lurus, dan kencang untuk menghindari selip.

2. Pengaturan Parameter

Tetapkan laju penarikan sesuai ASTM D638-14 untuk material kaku sehingga waktu patah 0,5–5 menit.

3. Pelaksanaan Uji.

Memberikan beban tarik dengan laju penarikan konstan sesuai ASTM. Pembebanan dilakukan secara terus-menerus hingga spesimen mengalami kegagalan (patah).

4. Pencatatan Data.

Mencatat nilai gaya maksimum (F) dalam satuan Newton (N) yang terbaca pada *force gauge* tepat saat spesimen patah.

5. Pengulangan.

Mengulangi prosedur untuk tiga spesimen per variasi ($n = 3$) guna memperoleh data representatif.

3.7 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan setelah seluruh spesimen selesai menjalani pengujian tarik. Data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa beban maksimum (*maximum load*), pertambahan panjang (*elongation*), serta data pendukung lainnya yang dihasilkan oleh mesin *Universal Testing Machine* (UTM). Data tersebut

kemudian diolah menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada Bab II untuk memperoleh nilai kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas setiap spesimen.

Hasil perhitungan selanjutnya dikelompokkan berdasarkan variasi metode impregnasi dan jenis kombinasi serat yang digunakan. Untuk setiap variasi dilakukan perhitungan nilai rata-rata hasil pengujian sebagai dasar perbandingan karakteristik mekanik komposit. Data hasil pengolahan kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar memudahkan proses analisis serta interpretasi hasil penelitian.

Analisis data dilakukan secara deskriptif komparatif dengan membandingkan nilai kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas pada setiap variasi metode impregnasi, yaitu impregnasi vakum (*vacuum infusion*) dan impregnasi *hand lay*, serta pada setiap variasi kombinasi serat alam dan non-alam. Perbedaan hasil yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui pengaruh metode impregnasi dan kombinasi serat terhadap sifat mekanik komposit.

Selanjutnya, hasil analisis dibandingkan dengan teori yang telah diuraikan pada Bab II serta penelitian terdahulu yang relevan. Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesesuaian maupun perbedaan hasil penelitian, sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai metode impregnasi yang memberikan kualitas laminasi dan sifat mekanik terbaik pada komposit yang diteliti.