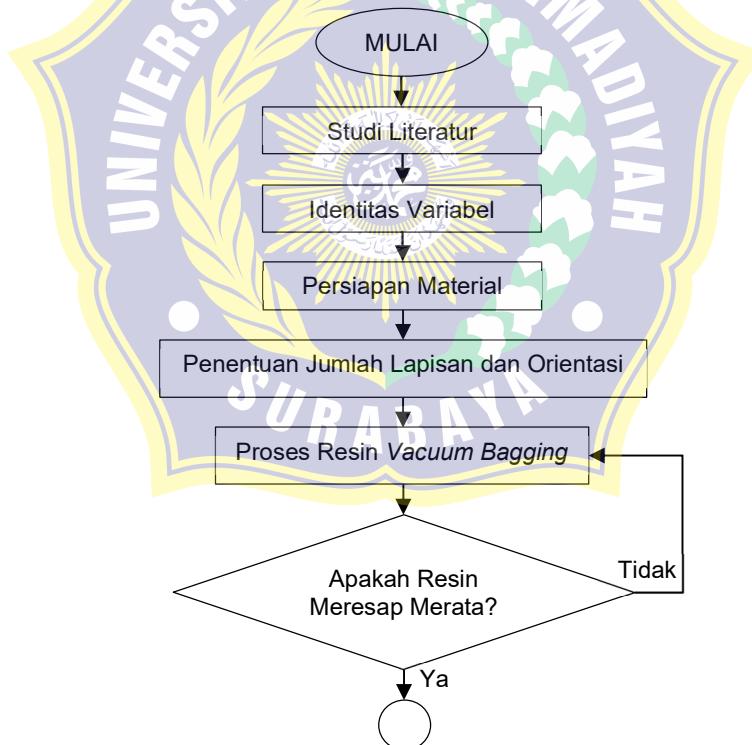


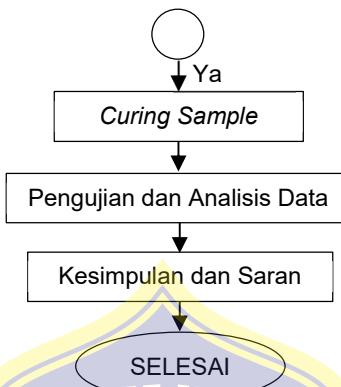
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan tahapan penelitian yang dilakukan terhadap material komposit dengan menggunakan alat uji berbasis data kuantitatif. Data yang diperoleh berupa hasil pengukuran numerik dari parameter-parameter material, yang selanjutnya dianalisis melalui perhitungan dan interpretasi ilmiah. Hasil analisis tersebut diharapkan dapat memberikan kesimpulan yang objektif sebagai dasar evaluasi performa material serta menjadi pertimbangan bagi penelitian lanjutan.

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metodologi Pelaksanaan

Diagram alir di atas pada Gambar 3.1 peneliti menjelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap awal penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teoritis yang relevan. Kegiatan ini mencakup pengumpulan referensi dari buku, jurnal, dan dokumen ilmiah yang berkaitan dengan material komposit, sifat mekanik kekerasan dan kelenturan, serta metode fabrikasi menggunakan teknik *vacuum bagging*. Studi literatur berfungsi sebagai acuan konseptual dalam merancang prosedur penelitian sekaligus membandingkan hasil yang diperoleh dengan penelitian terdahulu.

2. Identifikasi Variabel

Setelah memperoleh dasar teori yang memadai, dilakukan identifikasi variabel penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah lapisan (*ply*) serat karbon dalam laminasi serta orientasi serat, sedangkan variabel terikat adalah nilai kekerasan dan Kelenturan hasil pengujian. Variabel kontrol meliputi jenis matriks yang digunakan (resin epoksi) dan metode *vacuum bagging*.

3. Persiapan Material

Tahap berikutnya adalah menyiapkan material yang meliputi serat karbon sebagai penguat dan resin epoksi sebagai matriks. Proses persiapan ini mencakup pemotongan serat sesuai ukuran spesimen (Standar ASTM), penimbangan resin dan hardener sesuai rasio perbandingan, serta persiapan alat pendukung seperti *vacuum pump*, plastik vakum dan cetakan laminasi.

4. Penentuan Jumlah Lapisan dan Orientasi

Laminasi disusun berdasarkan jumlah lapisan yang telah ditentukan, yaitu 2, 4, 6 dan 8 lapisan, serta dengan orientasi sudut serat pemotongan, yaitu $0^\circ/90^\circ$ dan $45^\circ/45^\circ$. Penyusunan laminasi dilakukan dengan memperhatikan keseragaman arah serat dan distribusi resin agar menghasilkan spesimen uji yang representatif.

5. Proses Resin *Vacuum Bagging*

Pada tahap ini, serat karbon yang telah disusun dalam laminasi dilapisi resin epoksi, kemudian dibungkus dalam sistem *vacuum bagging*. Udara di dalam sistem dikeluarkan menggunakan *vacuum pump* untuk memastikan resin meresap secara merata ke dalam serat sekaligus meminimalkan adanya porositas.

6. Verifikasi Peresapan Resin

Setelah proses *vacuum bagging*, dilakukan pengecekan apakah resin telah meresap merata ke dalam seluruh lapisan serat yang dapat dilihat secara kasat mata. Jika resin belum meresap dengan baik, maka proses *vacuum bagging* diulang hingga diperoleh kualitas laminasi yang merata.

7. *Curing Sample*

Spesimen yang telah melalui proses peresapan resin selanjutnya dilakukan *curing* secara alami (*room temperature curing*) agar resin dapat mengeras sempurna. Proses *curing* ini berpengaruh terhadap kekuatan mekanik material komposit.

8. Pengujian dan Analisis Data

Setelah *curing*, spesimen diuji menggunakan metode uji kekerasan *Hardness Vickers Test* dan uji kelenturan *Three-*

Point Bending Test. Data hasil pengujian berupa nilai numerik kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara jumlah lapisan serat, orientasi serat, dan sifat mekanik komposit yang dihasilkan.

9. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis, disusun kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian, yaitu menganalisis pengaruh jumlah lapisan dan orientasi serat terhadap kekerasan dan kelenturan material komposit. Selanjutnya diberikan saran untuk penelitian lanjutan, misalnya dengan variasi metode fabrikasi lain atau penambahan parameter uji untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai performa material komposit.

3.3 Peralatan dan Bahan

Persiapan yang diperlukan sebelum melaksanakan penelitian yaitu peralatan dan bahan. Alat dan bahan ini digunakan untuk membuat spesimen uji serta alat uji yang akan digunakan dalam penelitian ini. Berikut penjelasan alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan maupun proses pengujian spesimen uji komposit pada penelitian ini.

1. Vacuum Pump

Vacuum Pump yang digunakan bermerk "Value" dengan tenaga sebesar 1 HP, berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses vakum komposit. Seperti pada gambar 3.2 di bawah ini, alat ini juga digunakan dalam pembelajaran laboratorium komposit oleh mahasiswa di Politeknik Penerbangan Surabaya.



Gambar 3.2 Vacuum Pump Value

2. Vacuum Catch Trap

Gambar 3.3 menunjukkan salah satu alat yang digunakan, yakni *vacuum catch trap*. Alat ini berfungsi untuk menyerap resin agar tidak masuk ke dalam *vacuum pump* ketika proses penghisapan dan juga membantu mengontrol tekanan vakum yang diberikan.



Gambar 3.3 Vacuum Catch Trap

3. Katup Vacuum

Seperti pada gambar 3.4 di bawah merupakan alat yang berfungsi untuk membantu pengaturan udara dari *vacuum pump* dan saluran udara pada bagian *input* resin.



Gambar 3.4 Katup Vacuum

4. Plastik Vacuum

Seperti pada gambar 3.5 di bawah merupakan plastik yang digunakan pada saat proses vakum dalam menjaga perbedaan tekanan antara di dalam dan di luar cetakan.



Gambar 3.5 Plastik Vacuum

5. Kain Strimin

Seperti pada gambar 3.6 di bawah ini menunjukkan bahan yang bernama kain strimin. Kain strimin ini digunakan sebagai media pembatas agar plastik tidak merekat secara permanen pada permukaan produk hasil komposit setelah proses vakum.



Gambar 3.6 Kain Strimin

6. Kain *Peel Ply*

Seperti pada gambar 3.7 di bawah ini, kain *peel ply* digunakan juga untuk membatasi/pemisah antara kain strimin dengan produk. Hal ini ditujukan agar pada saat proses pelepasan produk tidak terdapat garis serat yang disebabkan oleh kain strimin.



Gambar 3.7 Kain *Peel Ply*

7. Selang Spiral

Seperti pada gambar 3.8 di bawah ini, selang spiral digunakan untuk menyalurkan aliran tekanan dari *vacuum pump*.



Gambar 3.8 Selang Spiral

8. Selang Pneumatik

Seperti pada gambar 3.9 di bawah ini, selang pneumatik digunakan sebagai penyalur aliran tekanan udara dari *vacuum pump* dan sebagai saluran infus resin pada saat proses vakum.



Gambar 3.9 Selang Pneumatik

9. Sealent Tape

Pada gambar 3.10 merupakan salah satu bahan yang diperlukan dalam proses komposit, yaitu *sealent tape*. Bahan ini berfungsi untuk merekatkan *vacuum bag* di setiap sisi agar tidak terjadi kebocoran udara.



Gambar 3.10 Sealant Tape

10. *Release Wax*

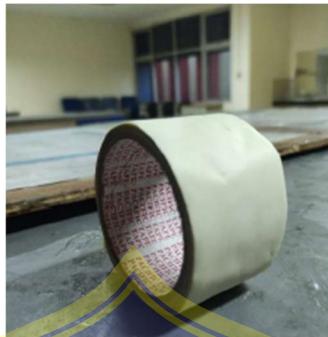
Gambar 3.11 merupakan salah satu bahan yang diperlukan pada proses komposit, yaitu *release wax*. Bahan ini berfungsi untuk melapisi media agar mudah dilepas saat setelah selesainya proses vakum.



Gambar 3.11 *Release Wax*

11. *Selotip Kertas*

Selotip kertas ini digunakan untuk menutupi pola spesimen agar resin tidak masuk ke dalam pola pada saat proses vakum.



Gambar 3.12 Selotip Kertas

12. *Carbon Fiber*

Serat karbon yang digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai bahan pengikat (*reinforcement*) dalam produk komposit yang akan dihasilkan sehingga resin dan serat dapat saling berikatan. Serat karbon yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jenis *twill carbon fiber* 3K 240 gsm dengan ketebalan 0,4 mm seperti pada gambar 3.13 di bawah ini.

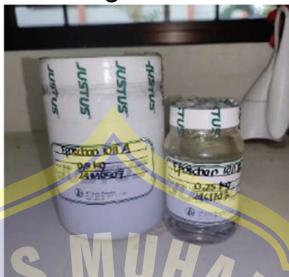


Gambar 3.13 *Twill Carbon Fiber*

13. Resin dan *Hardener*

Resin dan *hardener* merupakan senyawa kimiawi yang berfungsi sebagai pengikat antara *layer* dan *carbon fiber*. Resin membutuhkan *hardener* untuk mempercepat terjadinya reaksi

pengerasan. Jenis resin dan *hardener* yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu epoksi (*Eposchon*). Dengan fabrikasi 2:1, yaitu A sebagai epoksi dengan perbandingan 2 dan B sebagai *hardener* dengan perbandingan 1.



Gambar 3.14 Resin dan *Hardener*

14. Timbangan Digital

Timbangan digital berfungsi untuk mengukur berat spesimen sebelum dan sesudah dilakukan proses vakum dan juga digunakan untuk mengukur rasio berat resin dan *hardener*.



Gambar 3.15 Timbangan Digital

15. Cetakan Akrilik

Cetakan akrilik digunakan untuk membentuk spesimen uji, bentuk cetakan disesuaikan dengan bentuk standar yang diatur pada standar ASTM sesuai dengan pengujian yang akan dilakukan.



Gambar 3.16 Cetakan Akrilik Pembuatan Spesimen Uji

16. Gelas Ukur

Gelas ukur seperti pada gambar 3.17 di bawah ini sering digunakan pada suatu kegiatan yang memerlukan pengukuran volume cairan. Gelas ukur secara umum lebih akurat dan presisi dibandingkan dengan labu laboratorium dan gelas kimia. Pada penelitian ini gelas ukur akan digunakan untuk mengukur resin dan hardener, sehingga akan didapatkan ukuran campuran resin yang tepat sesuai takaran yang diperlukan.



Gambar 3.17 Gelas Ukur

17. Thermometer

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu yang bekerja berdasarkan perubahan sifat fisik zat, seperti pemuaian cairan atau perubahan hambatan listrik. Dengan satuan umum

Celcius, Fahrenheit dan Kelvin. Pada penelitian ini digunakan untuk mengukur suhu ruang laboratorium *composite* yang akan digunakan dalam pembuatan spesimen uji pada siang dan malam hari.



(a)

(b)

Gambar 3.18 Suhu Ruang Laboratorium *Composite*
(a) Saat Siang Hari dan (b) Saat Malam Hari

18. Alat Uji Kekerasan

Pada penelitian ini akan menggunakan uji kekerasan *hardness vickers*. Alat uji ini menggunakan indenter berbentuk piramida sehingga akan menciptakan lekukan pada material uji. Kemudian dalam pengukurannya dilakukan pengukuran panjang diagonal lekukan (D_1) dan (D_2) untuk menghitung angka kekerasan *vickers*. Pengujian ini menggunakan standar ASTM E92.



Gambar 3.19 Alat Uji Kekerasan Vickers

Dengan spesifikasi alat sebagai berikut:

Model	: HV-1DT
Kekuatan Uji	: 10gf - 1Kgf
Standarisasi	: ASTM E92
Satuan Pengukuran Min.	: 10µm
Rentang Pengukuran	: 8 - 2900 HV
Metode Pengujian	: Otomatis (<i>Loading, Dwelling, Unloading</i>)
Mikroskop Uji	: 40x (Pengukuran), 10x (Pengamatan)
Uji Kekuatan	
Waktu Tinggal	: 0 - 60 detik
Dimensi	: 600 x 200 x 640 (mm)

19. Alat Uji Kelenturan

Alat uji kelenturan digunakan untuk mengukur sifat mekanik sebuah material, yaitu *flexural strength*. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D790 “*Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*” dengan metode *three point bending* (ASTM International, (2017a)).



Gambar 3.20 *Flexural Strength Tester*
TARNO GROCKI

Dengan spesifikasi alat sebagai berikut:

Jenis Alat	: <i>Universal Testing Machine</i>
Merk/Model	: TARNO GROCKI / UPH-100 kN
Dimensi	: 90 x 60 x 120 (cm)
Kapasitas Beban	
Maks.	: 100 kN
Jenis Pengujian	: <i>Tensile</i> dan <i>Flexural (three-point bending)</i>
Standar Pengujian	: ASTM D790 atau ISO 178

3.4 Variabel Penelitian

Setiap penelitian memiliki variabel penelitian yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan suatu penelitian. Berdasarkan beberapa uraian tinjauan pustaka yang diuraikan sebelumnya, maka dapat ditentukan variabel penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian. Variabel yang ditentukan meliputi variabel terikat dan variabel bebas. Variabel tersebut ditentukan dengan membandingkan penelitian terdahulu dengan tujuan penelitian yang akan dilaksanakan. Variabel tersebut diantaranya:

1. Variabel Terikat

Variabel terikat atau variabel kontrol yaitu variabel yang diberikan sebagai acuan kontrol dalam suatu penelitian. Variabel ini diberikan sama pada setiap objek penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini diantaranya:

- a. Berbahan serat karbon;
- b. Matriks epoksi;
- c. Perlakuan *vacuum bagging*;
- d. Waktu dan suhu *curing (room temperature curing)*;
- e. Uji kekerasan *vickers*; dan
- f. Uji kelenturan *three-point bending*.

2. Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang diberikan secara berbeda pada setiap objek penelitian. Variabel ini digunakan sebagai parameter perbandingan antara pengujian suatu objek dengan objek lainnya. Variabel bebas pada penelitian ini diantaranya:

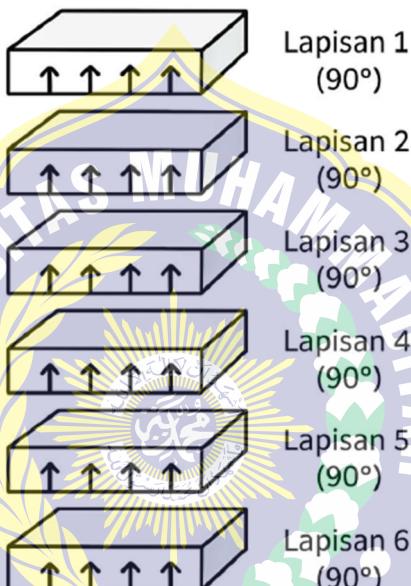
- a. Jumlah lapisan (2, 4, 6 dan 8 lapisan); dan
- b. Orientasi serat ($0^\circ/90^\circ$ dan $45^\circ/45^\circ$).

3.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan metode *vacuum bagging* untuk menghasilkan spesimen uji yang sesuai dengan standar pengujian yang telah ditentukan. Jenis pengujian yang akan dilakukan yaitu uji kelenturan dengan standar ASTM D790 dan uji kekerasan *vickers* dengan

standar ASTM E92.

Pembuatan komposit laminasi pada penelitian ini menggunakan metode *vacuum bagging* dengan variabel orientasi serat $0^\circ/90^\circ$ dan $45^\circ/45^\circ$. Setiap serat dicetak menggunakan cetakan yang sama secara bergantian guna mendapatkan tebal komposit sesuai dengan yang ditentukan.



Gambar 3.21 Laminasi dan arah serat

Seperti pada gambar 3.21 di atas menunjukkan bahwa lapisan laminasi disusun dengan arah yang sama sesuai variabel yang telah ditentukan, yaitu 2, 4, 6 dan 8 lapisan. Begitu juga dengan orientasi serat disusun sesuai arah variabel yang telah dientukan. Cetakan menggunakan bahan akrilik agar tidak mudah pecah. Setiap satu cetakan akan menghasilkan 3 sampel dari suatu jenis variabel komposit laminasi. Jadi satu sampel didapat dari potongan hasil cetakan yang sesuai dengan dimensi sampel uji yang telah ditentukan sesuai dengan standar.

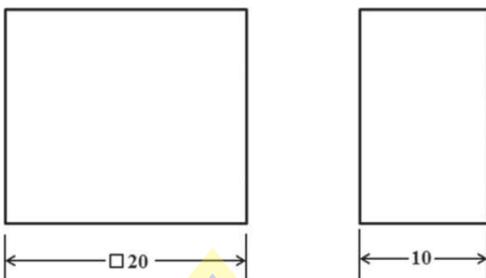
3.6 Perencanaan Tabel Hasil Pengujian

Tabel 3.1 Perencanaan Data Hasil Pengujian

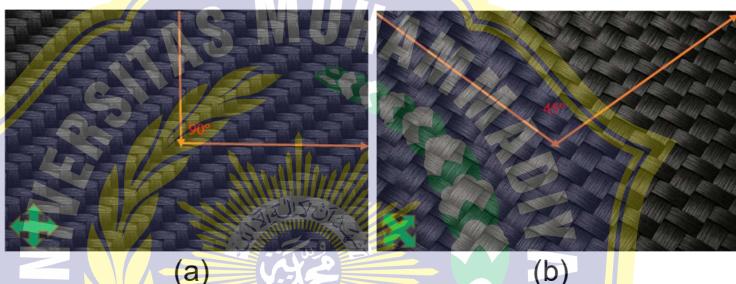
Layer	Orientasi	Uji Kekerasan (HV)	Standar FAA (HV)	Uji Kelenturan (MPa)	Standar FAA (MPa)	Ket
2	0°/90°					
		Rata"=		Rata"=		
	45°/45°					
		Rata"=		Rata"=		
4	0°/90°					
		Rata"=		Rata"=		
	45°/45°					
		Rata"=		Rata"=		
6	0°/90°					
		Rata"=		Rata"=		
	45°/45°					
		Rata"=		Rata"=		
8	0°/90°					
		Rata"=		Rata"=		
	45°/45°					
		Rata"=		Rata"=		



Gambar 3.22 Spesimen Uji Kelenturan
(Sumber: ASTM International, (2017a))



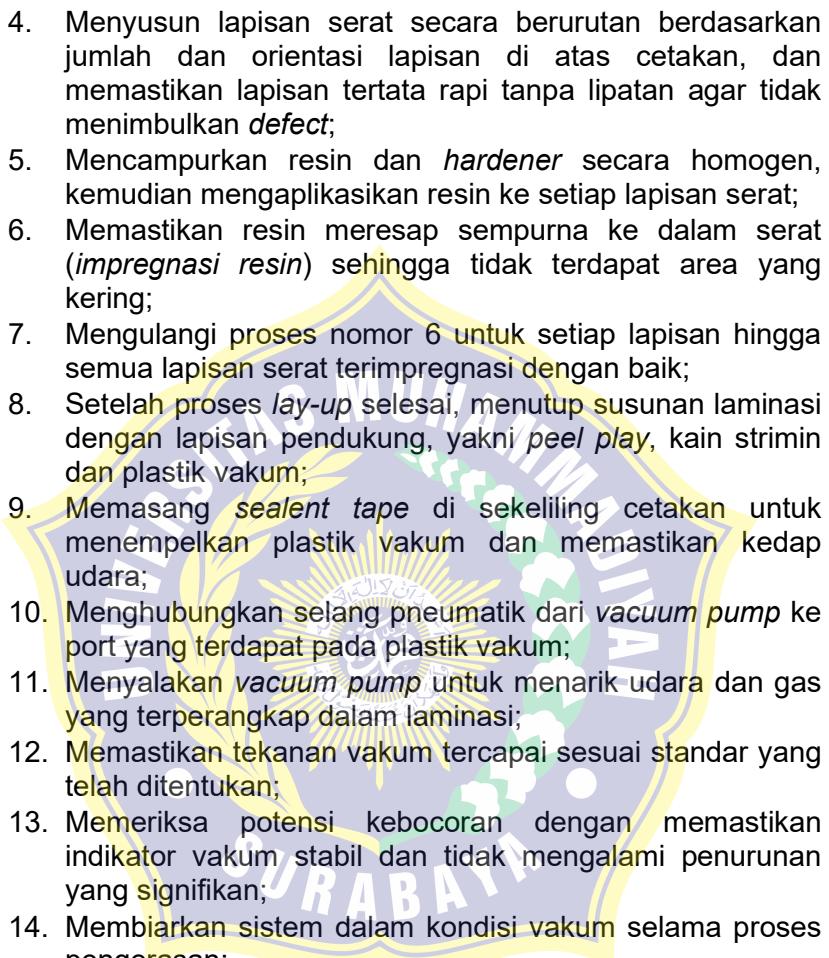
Gambar 3.23 Spesimen Uji Vickers
(Sumber: ASTM International, (2017b))



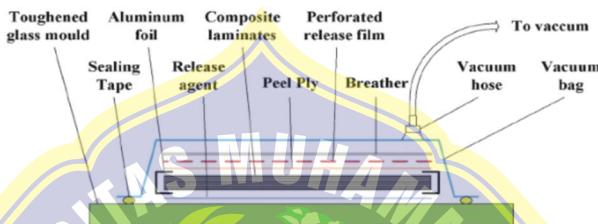
Gambar 3.24 Orientasi Arah serat (a) $0^\circ/90^\circ$ dan (b) $45^\circ/45^\circ$

Setelah semua peralatan dan bahan tersedia kemudian akan dilanjutkan proses vakum dengan prosedur sebagai berikut:

1. Menyiapkan serat karbon sebagai *reinforcement* yang berbentuk lembaran, kemudian memotong sesuai ukuran spesimen uji standar ASTM dengan orientasi arah serat $0^\circ/90^\circ$ dan $45^\circ/45^\circ$;
2. Menyiapkan resin epoksi sebagai matriks serta *hardener* dengan rasio pencampuran 2:1 sesuai dengan proporsi pabrikan yang telah ditentukan;
3. Membersihkan cetakan dari kotoran, minyak dan debu, kemudian melapisi permukaan cetakan dengan *release wax* agar produk komposit mudah dilepas setelah proses *curing*;

- 
4. Menyusun lapisan serat secara berurutan berdasarkan jumlah dan orientasi lapisan di atas cetakan, dan memastikan lapisan tertata rapi tanpa lipatan agar tidak menimbulkan *defect*;
 5. Mencampurkan resin dan *hardener* secara homogen, kemudian mengaplikasikan resin ke setiap lapisan serat;
 6. Memastikan resin meresap sempurna ke dalam serat (*impregnasi resin*) sehingga tidak terdapat area yang kering;
 7. Mengulangi proses nomor 6 untuk setiap lapisan hingga semua lapisan serat terimpregnasi dengan baik;
 8. Setelah proses *lay-up* selesai, menutup susunan laminasi dengan lapisan pendukung, yakni *peel play*, kain strimin dan plastik vakum;
 9. Memasang *sealant tape* di sekeliling cetakan untuk menempelkan plastik vakum dan memastikan kedap udara;
 10. Menghubungkan selang pneumatik dari *vacuum pump* ke port yang terdapat pada plastik vakum;
 11. Menyalakan *vacuum pump* untuk menarik udara dan gas yang terperangkap dalam laminasi;
 12. Memastikan tekanan vakum tercapai sesuai standar yang telah ditentukan;
 13. Memeriksa potensi kebocoran dengan memastikan indikator vakum stabil dan tidak mengalami penurunan yang signifikan;
 14. Membiarkan sistem dalam kondisi vakum selama proses pengerasan;
 15. Melakukan proses *curing* dengan menggunakan suhu ruang selama 24 jam agar resin dapat mengeras dan material menjadi *solid*;
 16. Setelah proses *curing* selesai, mematikan *vacuum pump* dan melepaskan lapisan pendukung;
 17. Melepaskan komposit dari cetakan dengan hati-hati;
 18. Melakukan pemotongan spesimen sesuai dengan dimensi

- uji standar ASTM;
19. Memeriksa secara visual untuk memastikan tidak terdapat cacat pada hasil komposit;
 20. Apabila spesimen minim cacat, kemudian dilanjutkan ke tahap pengujian mekanik sesuai standar untuk uji kekerasan *vickers* dan uji kelenturan.



Gambar 3.25 Vacuum Bagging
(Sumber: Ismail et al., (2019))

3.7 Proses Pengujian Spesimen

Dalam pengujian ini peneliti melakukan 2 jenis teknik pengujian yaitu pengujian kelenturan yang merujuk pada ASTM D790 dan pengujian kekerasan *vickers* yang merujuk pada ASTM E92.

1. Pengujian Kelenturan

Uji Kelenturan adalah pengujian guna mengukur kekuatan material akibat pembebahan dan elastisitas sampel. Yang mana pengujian kelenturan pada penelitian ini menggunakan metode *three-point bending*. Berikut merupakan prosedur pelaksanaan pengujian kelenturan:

- a. Menyiapkan spesimen yang akan diuji, melakukan pengukuran dan menentukan titik tengah serta titik tumpu dengan memberi penanda pada material;
- b. Memasang spesimen pada mesin uji kelenturan dan memastikan tepat pada titik tumpu yang telah diberikan penanda;
- c. Menyesuaikan indenter penekan sampai menyentuh

- spesimen;
- d. Menjalankan mesin kelenturan dengan kecepatan penekanan yang konstan;
 - e. Mencatat dan menganalisa data hasil pengujian yang muncul pada monitor komputer yang tersambung pada mesin uji;
 - f. Mematikan mesin kelenturan secara perlahan setelah spesimen patah.

2. Pengujian *vickers*

Uji kekerasan *vickers* merupakan pengujian kekerasan material menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136°. Karena bentuk penumbuknya piramida, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan *vickers*, *Vickers Hardness Number* (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Berikut merupakan prosedur pelaksanaan pengujian *vickers*:

- a. Menyiapkan spesimen yang telah disesuaikan dengan dimensi untuk memudahkan penempatan pada meja uji;
- b. Memastikan permukaan spesimen rata, halus dan bebas oksidasi atau kontaminasi (minyak, debu atau kotoran);
- c. Memastikan alat uji *vickers* dalam kondisi baik dan presisi;
- d. Menyalakan alat dan melakukan pengecekan sistem optik, pencahayaan serta tampilan digital;
- e. Memilih beban uji sesuai ketentuan standar atau kebutuhan penelitian;
- f. Meletakkan spesimen pada meja uji, kemudian mengatur posisi sehingga permukaan yang akan diuji sejajar dengan indentor;
- g. Mengatur mikroskop optik atau lensa bidik pada alat untuk memfokuskan permukaan spesimen tepat di bawah indentor;
- h. Melakukan kalibrasi di setiap akan menggunakan alat uji

untuk memastikan pengukuran presisi dengan cara:

- h.1. Mengamati pada lensa mikroskop, di dalamnya terdapat 2 garis dengan posisi yang sama;
- h.2. Merapatkan kedua garis tersebut hingga rapat (bukan bertindih), setelahnya memencet tombol “Calibrate” pada tampilan monitor alat uji.
- i. Mengatur perlakuan alat sesuai dengan kebutuhan yang tertampil pada monitor alat uji, seperti:
 - i.1. Nama Operator: diketikkan nama pengujii;
 - i.2. Sample: diketikkan nama spesimen sesuai kebutuhan;
 - i.3. *Load* (kg): otomatis muncul ketika dilakukan pengaturan beban uji dengan memutar tuas putar di sebelah kanan-atas;
 - i.4. *Dwell Time* (s): menggunakan waktu tekan 10s;
- j. Mengubah *turret* pada tombol indenter kemudian klik “start”, indenter akan menekan material dan menghasilkan lekukan pada material uji;
- k. Mengukur hasil lekukan dengan cara mengukur kedua diameter lekukan D1 dan D2:
 - k.1. Menempatkan kedua garis pada ujung diameter 1 (sudut horizontal), setelah presisi kemudian klik tombol putih yang terdapat pada tuas lensa optik;
 - k.2. Memutar tuas lensa optik ke kiri sehingga di posisi vertikal, melakukan seperti poin k.1 untuk mengukur diameter 2 (sudut vertikal).
- l. Setelah pengukuran selesai maka hasil akan otomatis muncul pada monitor alat uji.
- m. Apabila selesai digunakan, alat uji bisa dimatikan dengan menekan tombol *off* pada *switch master* alat uji.

3.8 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini diawali dari bulan September 2025 hingga dengan Februari 2026. Keseluruhan kegiatan penyusunan skripsi ini terinci dalam tabel 3.2 di bawah ini:

Tabel 3.2 Rincian Waktu Kegiatan Penelitian Skripsi