

**Pembuatan Produk Komposit Cover *Shockbreaker* Vespa Sprint
150 Berpenguat *Woven Twill Carbon Fiber* Melalui Metode
*Compression Molding***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : MUHAMMAD ILYAS PAKPAHAN
No. Mahasiswa : 18525116
NIRM : 1801240055

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Bismillahirrahmanirrahim, dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini merupakan hasil kerja saya sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, kecuali kutipan dan ringkasan yang saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila kemudian terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima hukuman/sanksi sesuai hukum yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 28 Juli 2025



Muhammad Ilyas Pakpahan

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Pembuatan Produk Komposit *Cover Shockbreaker* Vespa Sprint 150 Berpenguat *Woven Twill Carbon Fiber* Melalui Metode *Compression Molding*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : MUHAMMAD ILYAS PAKPAHAN

No. Mahasiswa : 18525116

NIRM : 1801240055

Yogyakarta, Juli 2025

Pembimbing I,

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and horizontal strokes, positioned below the text 'Pembimbing I,'.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Pembuatan Produk Komposit *Cover Shockbreaker Vespa Sprint* 150 Berpenguat *Woven Twill Carbon Fiber* Melalui Metode *Compression Molding*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : MUHAMMAD ILYAS PAKPAHAN
No. Mahasiswa : 18525116
NIRM : 1801240055

Tim Penguji

Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP

Ketua

Tanggal : 1/8/2025

Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

Anggota I

Tanggal : 1/8 25

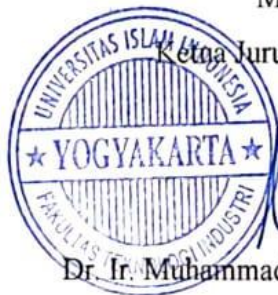
Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

Anggota II

Tanggal : 31/7

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan petunjuk-Nya yang senantiasa tercurah kepada seluruh hamba-Nya. Shalawat dan salam semoga senantiasa dilimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Dengan rasa syukur, saya mempersembahkan laporan tugas akhir ini kepada:

1. Kedua orang tua, Ayah dan Ibu, yang telah membimbing, mendukung, mendoakan, serta memberikan motivasi dengan penuh kesabaran dan kebijaksanaan. Terima kasih atas kasih sayang yang tak ternilai dan pengorbanan besar yang tak akan pernah terlupakan.

2. Dosen pembimbing, Bapak Ir. Faisal Arif Nurgasang, S.T., M.Sc., IPP, atas segala bimbingan, masukan, dan saran yang diberikan dengan kesabaran luar biasa sepanjang proses penyelesaian tugas akhir ini. Terima kasih atas waktu dan perhatian yang telah diberikan.

3. Civitas Akademika Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, termasuk para dosen, staf, dan mahasiswa, yang telah mendukung dalam berbagai bentuk. Semoga kesehatan dan semangat senantiasa menyertai setiap langkah di kampus tercinta ini.

4. Keluarga, kerabat, dan teman-teman angkatan, yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, dan bantuan selama proses pengerjaan tugas akhir ini. Terima kasih atas perhatian dan kebersamaan yang tak ternilai harganya.

5. Semua pihak yang belum disebutkan, yang turut memberikan dukungan baik langsung maupun tidak langsung. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

HALAMAN MOTTO

“Many of life's failures are people who did not realize how close they were to success when they gave up.”

(Thomas Edison)

“I was taught that the way of progress was neither swift nor easy.”

(Marie Curie)

“Mungkin saya tidak lulus dengan cepat, tapi saya lulus dengan pemahaman, ketekunan, dan kemampuan untuk terus maju dalam kesendirian dan saat keadaan menjadi sulit.”

(Penulis)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan/tugas akhir yang berjudul: “Pembuatan Produk Komposit Cover *Shockbreaker* Vespa Sprint 150 Berpenguat *Woven Twill Carbon Fiber* Melalui Metode *Compression Molding*”. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Prodi Teknik Mesin.

Penyusunan laporan ini tentunya tidak lepas dari dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP, sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing dengan sabar selama proses perancangan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafid, S.T., M.T., IPP, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Mas Syafi'i, dan Mas Adi, staf laboran Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia, yang telah membantu beberapakali dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Orang tua dan keluarga tercinta, atas doa, kasih sayang, dan dukungan yang tak pernah henti dalam setiap langkah penulis.
5. Teman-teman Teknik Mesin, yang selalu menjadi teman diskusi dan berbagi ilmu selama masa studi.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap segala bentuk kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi, baik bagi dunia akademik maupun bagi pengembangan keilmuan di bidang teknik mesin.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi produk *cover shockbreaker* Vespa Sprint 150 berpenguat *woven twill carbon fiber* menggunakan metode *compression molding*. Fokus utama penelitian adalah menyesuaikan pengaruh variasi jumlah lapisan serat karbon terhadap kekakuan, dimensi, dan massa produk dibandingkan produk referensi (produk asli) dan kejelasan motif serat karbonnya pada permukaan produk diamati secara visual dan dibandingkan dengan hasil perancangan sebelumnya oleh Akbar (2024). Tiga variasi produk diuji, yaitu COVTC3 (3 lapis), COVTC5 (5 lapis), dan COVTC7 (7 lapis). Metode pengujian meliputi pengukuran defleksi menggunakan dial indikator untuk memperoleh data defleksi sehingga dapat dihitung nilai kekakuannya, pengukuran dimensi dan massa, serta evaluasi visual terhadap tampilan motif serat karbon. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh sampel memperlihatkan motif serat karbon yang lebih jelas dibandingkan perancangan sebelumnya karena proses *finishing*. Batas toleransi yang diterima dalam analisis ini adalah kurang dari atau sama dengan 15%. Pengujian menunjukkan bahwa COVTC3 merupakan produk dengan karakteristik paling mendekati produk asli, dengan toleransi kekakuan sebesar 9,09% dan toleransi massa 11,63% terhadap produk asli. Produk ini juga memiliki tampilan visual terbaik dibandingkan COVTC5 dan COVTC7, yang memiliki nilai toleransi kekakuan (274,99% dan 756,88%) terhadap produk asli, menunjukkan deviasi fungsional dari produk aslinya. Kesimpulannya seluruh sampel produk berhasil meningkatkan aspek visual motif serat, dan COVTC3 dapat dianggap sebagai sampel produk terbaik pengganti produk asli, baik dari segi kekakuan, massa, dimensi, maupun estetika visual.

Kata kunci: Serat karbon, *compression molding*, kekakuan, *cover shockbreaker* Vespa Sprint 150

ABSTRACT

This study aims to design and evaluate a shockbreaker cover product for the Vespa Sprint 150, reinforced with woven twill carbon fiber using the compression molding method. The primary focus is to assess the effect of varying the number of carbon fiber layers on the product's stiffness, dimensions, and mass compared to the reference product (original product), as well as visually observe the clarity of the carbon fiber pattern on the product's surface. Three product variations were tested: COVTC3 (3 layers), COVTC5 (5 layers), and COVTC7 (7 layers). The testing methods included deflection measurements using a dial indicator to calculate stiffness values, dimension and mass measurements, and visual evaluation of the carbon fiber pattern. Observations revealed that all samples displayed a clearer fiber pattern compared to the previous design by Akbar (2024), due to the improved finishing process. The accepted tolerance limit in this analysis was less than or equal to 15%. Testing showed that COVTC3 had the characteristics most similar to the original product, with a stiffness tolerance of 9.09% and a mass tolerance of 11.63% compared to the original. This product also exhibited the best visual appearance compared to COVTC5 and COVTC7, which showed stiffness tolerance values of 274.99% and 756.88%, respectively, indicating functional deviation from the original product. In conclusion, all samples successfully improved the visual aspect of the fiber pattern, and COVTC3 is considered the best substitute product in terms of stiffness, mass, dimensions, and visual aesthetics.

Keywords: carbon fiber, compression molding, stiffness, shockbreaker cover of Vespa Sprint 150

DAFTAR ISI

Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	Error! Bookmark not defined.
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	viii
<i>Abstract</i>	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Notasi.....	xv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Perancangan	4
1.5 Manfaat Perancangan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 <i>Woven Twill Carbon Fiber</i>	7
2.2.2 Komposit	8
2.2.3 <i>Curing</i>	9
2.2.4 Reverse Engineering.....	10
2.2.5 Cetakan (<i>Mold</i>)	11
2.2.6 <i>Compression Molding</i>	12
2.2.7 Pengujian Defleksi.....	13
2.2.8 Kekakuan (<i>Stiffness</i>).....	14

2.2.9	Toleransi Pengukuran	15
Bab 3	Metode Perancangan	17
3.1	Alur Perancangan	17
3.2	Kriteria Produk	18
3.3	Peralatan dan Bahan	18
3.4	Desain Eksperimen	25
3.5	Alur Proses Pembuatan Produk	26
3.5.1	Mempersiapkan Alat dan Bahan.....	26
3.5.2	Pembuatan Pola dan <i>Cutting</i>	27
3.5.3	Pembuatan Campuran Resin dan Katalis.....	28
3.5.4	Proses <i>Stacking</i> lapisan <i>Carbon</i>	29
3.5.5	Proses <i>Compression molding</i>	31
3.5.6	Proses <i>Demolding</i>	32
3.5.7	Proses <i>Finishing</i> Produk.....	33
3.6	Pengukuran Ketebalan dan Berat Produk	36
3.7	Pengujian Defleksi.....	40
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	42
4.1	Evaluasi Ketebalan dan Berat Produk Terhadap Kesesuaian Dimensi	42
4.2	Evaluasi Jumlah Lapisan Terhadap Kekakuan Produk	46
4.3	Evaluasi Visual Motif Serat Karbon dan Pemasangan Sampel Produk	49
Bab 5	Penutup.....	52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran Perancangan Selanjutnya.....	53
Daftar Pustaka		54

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Peralatan yang digunakan.....	18
Tabel 3-2 Bahan yang digunakan	23
Tabel 3-3 Variasi Waktu Curing, Suhu Curing, Tekanan, dan Jumlah Lapisan..	25
Tabel 4-1 Hasil pengukuran ketebalan produk	42
Tabel 4-2 Hasil Perhitungan Toleransi Ketebalan Produk	43
Tabel 4-3 Hasil pengukuran massa produk.....	44
Tabel 4-4 Hasil Perhitungan Toleransi Massa Produk	45
Tabel 4-5 Hasil pengukuran dan ketebalan produk	46
Tabel 4-6 Hasil kekakuan setiap produk.....	47
Tabel 4-7 Hasil Perhitungan Toleransi Kekakuan Sampel Produk	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Pembuatan produk pada perancangan sebelumnya	1
Gambar 2-1 <i>Woven twill carbon fiber</i>	7
Gambar 2-2 Ilustrasi material komposit	8
Gambar 2-3 Ilustrasi proses <i>curing</i>	9
Gambar 2-4 Ilustrasi bagian pada cetakan (<i>mold</i>)	11
Gambar 2-5 Ilustrasi proses <i>compression molding</i>	12
Gambar 2-6 Ilustrasi pengujian defleksi	13
Gambar 3-1 Alur perancangan.....	17
Gambar 3-2 Langkah-langkah proses pembuatan produk komposit	26
Gambar 3-3 Pola <i>cutting</i>	27
Gambar 3-4 Kain carbon yang telah dipotong	27
Gambar 3-5 Campuran resin dan katalis.....	28
Gambar 3-6 Proses pelapisan <i>wax mold release</i>	29
Gambar 3-7 Proses <i>stacking</i>	30
Gambar 3-8 Proses penutupan cetakan	30
Gambar 3-9 Proses <i>compression molding</i>	31
Gambar 3-10 Kondisi cetakan keras	32
Gambar 3-11 Proses <i>demolding</i> produk.....	32
Gambar 3-12 Hasil produk dari cetakan	33
Gambar 3-13 Tahapan awal proses <i>finishing</i>	33
Gambar 3-14 <i>Finishing</i> tahap kedua.....	34
Gambar 3-15 Pelapisan <i>mix clear coat</i>	35
Gambar 3-16 Produk hasil <i>finishing</i>	35
Gambar 3-17 Titik pengukuran ketebalan	36
Gambar 3-18 Penentuan pengukuran titik B.....	37
Gambar 3-19 Penentuan Pengukuran titik A	38
Gambar 3-20 Penentuan Pengukuran titik C	38
Gambar 3-21 Proses pengukuran titik ABC	39
Gambar 3-22 Pengukuran berat	39

Gambar 3-23 Ilustrasi penempatan produk.....	40
Gambar 3-24 Proses pengujian defleksi	41
Gambar 4-1 Hasil <i>Finishing</i> Seluruh Sampel	49
Gambar 4-2 Perbandingan produk perancangan sebelumnya.....	50
Gambar 4-3 Proses pemasangan produk pada Vespa Sprint 150.	51

DAFTAR NOTASI

F	= Gaya tarik bumi (N)
m	= Massa benda (kg)
g	= Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
k	= Kekakuan (N/mm)
δ	= Defleksi atau perpindahan (mm)
$^{\circ}\text{C}$	= Satuan Suhu (Celcius)
%	= Simbol persentase suatu nilai
$ \cdot\cdot $	= Nilai mutlak (agar selisih selalu positif)
COV	= Cover Shockbreaker Vespa
TC	= Tetap Curing (karena waktu dan suhu curing tetap)
COVTC	= Sampel Produk

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perancangan sebelumnya telah dilakukan dengan menggunakan material *chopped carbon fiber* sebagai bahan dasar pembuatan cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150. Meskipun berhasil diproduksi, namun hasil produk akhir tidak menampilkan pola serat yang khas dari material karbon, sehingga mengurangi nilai visual. Proses pembuatan produk tersebut menggunakan serat karbon berpenguat *chopped carbon fiber* yang tergolong relatif sulit karena diharuskan mengaduk campuran antara serat dan resin terlebih dahulu sebelum dituang ke atas cetakan. Produk hasil perancangan sebelumnya dan proses pembuatannya dapat dilihat pada Gambar 1-1



Gambar 1-1 Pembuatan produk pada perancangan sebelumnya

Sumber : Akbar (2024)

Dalam penelitian ini, pendekatan reverse engineering digunakan sebagai tahap awal untuk memahami struktur dan bentuk dari produk asli, yaitu cover shockbreaker Vespa Sprint 150. Proses ini dilakukan dengan cara mengamati dan mengukur secara langsung dimensi fisik dari komponen asli, kemudian mengubah hasil pengukuran tersebut menjadi model digital menggunakan perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD). Tujuan dari tahapan ini adalah untuk merekonstruksi desain produk agar dapat dibuat ulang menggunakan material

komposit berbasis serat karbon dengan metode *compression molding*. Dengan menerapkan prinsip *reverse engineering*, perancangan produk tidak dilakukan dari nol, melainkan berdasarkan referensi produk yang telah ada, sehingga memungkinkan evaluasi dan pengembangan terhadap material maupun proses pembuatannya. Pembuatan cetakan dilakukan oleh Dede (2024), perancangan disini hanya memakai cetaknya untuk pembuatan produk komposit.

Cover *shockbreaker* ini tidak hanya berperan sebagai pelindung, tetapi juga sebagai elemen estetika yang cukup menonjol secara visual. Pemilihan pola serat pada material karbon akan sangat memengaruhi tampilan visual akhir produk. Oleh karena itu, pemilihan pola serat pada material karbon menjadi faktor penting yang sangat memengaruhi tampilan akhir produk. Sebagai pengembangan dari perancangan sebelumnya, digunakan *woven twill carbon fiber*, yaitu jenis serat karbon dengan pola anyaman zig zag yang khas dan menarik secara visual.

Pada saat proses menggunakan metode menggunakan metode *compression molding*, tekanan tinggi selama proses pembentukan memperjelas pola anyaman serat *twill carbon* pada permukaan produk sehingga menghasilkan struktur komposit yang kuat dan memberikan hasil akhir yang lebih presisi, menjadikannya lebih unggul dibandingkan menggunakan material berpenguat *chopped carbon fibers*.

Compression molding adalah teknik pembuatan produk komposit menggunakan cetakan tertutup yang ditekan untuk membentuk material komposit menjadi bentuk yang menyesuaikan dengan design produk pada bagian dalam cetakan.

Dengan memanfaatkan material komposit berbasis serat karbon anyaman *twill* dan menggunakan metode produksi *compression molding*, pembuatan cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150, hasil produk diharapkan mampu memenuhi kriteria fungsional, estetika, terhadap produk aslinya.

Perancangan ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi produk komposit sebagai solusi inovatif yang mendukung perkembangan teknologi pembuatan produk otomotif Indonesia, khususnya pada industri modifikasi berbasis *carbon fiber*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka perlu dirumuskan masalah-masalah apa saja yang dipecahkan/diselesaikan :

1. Bagaimana cara membuat produk komposit cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150 yang memiliki motif serat karbon yang lebih terlihat dibanding perancangan sebelumnya oleh Akbar (2024) ?
2. Bagaimana cara membuat produk komposit cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150 menggunakan metode compression molding ?
3. Bagaimana pengaruh jumlah lapisan serat twill carbon fiber terhadap nilai ketebalan, massa, dan kekakuan produk komposit cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas, maka disusunlah batasan masalah yang berfungsi sebagai pembatas dalam perancangan, sehingga tidak menimbulkan permasalahan diluar perancangan yang dilakukan. Adapun batasan masalah dalam perancangan ini antara lain:

1. Perbandingan secara visual hanya dilakukan terhadap hasil akhir produk komposit pada perancangan ini dibandingkan dengan hasil akhir perancangan sebelumnya oleh Akbar (2024).
2. Metode fabrikasi yang digunakan adalah compression molding
3. Sampel produk yang dibuat menggunakan jumlah lapisan sebanyak 3, 5, dan 7 lapis.
4. Data yang dibandingkan adalah data nilai ketebalan, massa, dan kekakuan pada seluruh sampel produk terhadap produk aslinya.

1.4 Tujuan Perancangan

Adapun tujuan dari dilakukannya perancangan ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Untuk membuat produk komposit yang menghasilkan serat karbon lebih terlihat dibandingkan perancangan sebelumnya oleh Akbar (2024).
2. Untuk mengetahui proses pembuatan produk komposit menggunakan metode compression molding.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi lapisan terhadap ketebalan, massa, dan kekakuan produk komposit.
4. Untuk membandingkan antara hasil data ketebalan, massa, dan kekakuan sampel produk terhadap produk aslinya untuk mencapai kesesuaian produk yang dihasilkan dengan produk aslinya.

1.5 Manfaat Perancangan

Adapun manfaat yang didapat dari tujuan perancangan diatas adalah sebagai berikut:

1. Untuk meningkatkan nilai estetika pada tampilan motor Vespa Sprint 150 dan membuatnya lebih menarik bagi penggunanya.
2. Untuk memberikan pengetahuan mengenai proses pembuatan produk komposit Vespa Sprint 150
3. Untuk mengembangkan inovasi baru pada jenis material yang dipakai dalam industri pembuatan komponen dan sparepart kendaraan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Perkembangan otomotif roda dua, khususnya dalam bidang modifikasi sangat populer di Indonesia. Modifikasi dilakukan tidak hanya dari sisi performa mesin tetapi juga tampilan eksterior kendaraan. Kendaraan yang populer untuk dijadikan target modifikasi pada bagian eksterior adalah Vespa Sprint 150. Bagian eksterior pada Vespa Sprint 150 yang sering dimodifikasi adalah cover *shockbreaker*, yang berfungsi tidak hanya sebagai pelindung tetapi juga sebagai elemen visual yang khas.

Material komposit berbasis serat karbon menjadi pilihan utama dalam dunia modifikasi karena memiliki kekuatan mekanik tinggi, ringan, dan tampilan visual yang khas tergantung jenis pola anyaman karbonnya. Terdapat beberapa jenis pola anyaman karbon seperti pola zig zag yang khas pada *twill carbon* dan pola acak tidak teratur seperti *chopped carbon fibers*.

Serat karbon dalam bentuk kain, seperti *woven twill carbon fiber* memberikan pola visual yang lebih teratur dan menarik dibandingkan serat cacah (*chopped carbon fiber*), yang tampilannya cenderung acak dan tidak teratur. Hal ini menjadikan *twill carbon fiber* lebih unggul dalam menghasilkan produk dengan nilai estetika yang tinggi, terutama pada komponen eksterior yang terekspos secara visual seperti cover *shockbreaker*.

Dari sisi proses manufaktur, metode *compression molding* menjadi salah satu teknik yang umum digunakan dalam pembuatan produk komposit. Teknik ini menggunakan cetakan tertutup dengan tekanan dan suhu tertentu untuk membentuk material komposit mengikuti bentuk cetakan. Keunggulan utama dari metode ini adalah kemampuannya menghasilkan produk dengan presisi tinggi, permukaan halus, dan kepadatan material yang baik, sehingga sangat cocok digunakan dalam produksi komponen otomotif yang membutuhkan ketelitian dimensi dan tampilan akhir yang optimal menurut penelitian Xie et al. (2019).

Berdasarkan perancangan terdahulu oleh Akbar (2024), pembuatan produk komposit berupa cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150 menunjukkan bahwa pola serat karbon pada hasil akhir kurang terlihat secara jelas. Metode yang digunakan menggunakan bahan serat karbon jenis *chopped*, yang memiliki kesulitan tersendiri karena memerlukan perbandingan pencampuran manual yang tepat antara serat dan resin sebelum dituangkan ke dalam cetakan. Apabila pencampuran tersebut tidak pas akan memengaruhi hasil akhir produk sehingga jika terjadi kegagalan maka untuk membuat formulasi antara campuran resin dan berat *carbon* harus dilakukan pengulangan sehingga memakan biaya lebih besar dan waktu yang lama.

2.2 Dasar Teori

Dasar teori pada perancangan ini berfungsi untuk menjelaskan landasan konsep dan ilmiah yang mendukung topik perancangan. Sub bab ini berisi kumpulan teori-teori relevan, hasil-hasil perancangan sebelumnya, serta konsep-konsep fundamental yang dijadikan acuan dalam perumusan masalah, metodologi, dan analisis data berdasarkan sumber ilmiah. Dasar teori yang dijelaskan pada perancangan ini berperan sebagai kerangka berpikir yang menjelaskan fenomena yang dirancang melalui perspektif keilmuan. Dengan menyusun dasar teori yang sistematis dan didukung oleh literatur ilmiah yang valid, perancang dapat menunjukkan bahwa perancangan yang dilakukan memiliki pijakan ilmiah yang kuat dan bukan bersifat spekulatif.

2.2.1 *Woven Twill Carbon Fiber*

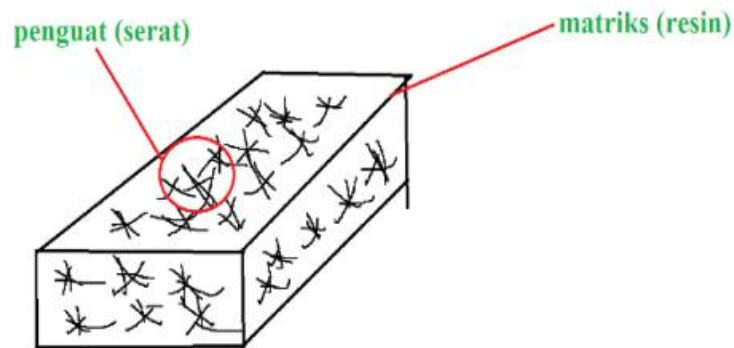
Woven twill carbon fiber merupakan salah satu jenis kain serat karbon yang ditenun dengan pola anyaman 2x2, di mana dua helai benang lusi dan dua helai benang pakan bersilangan secara bergantian, membentuk pola diagonal yang khas. Pola ini memberikan fleksibilitas lebih tinggi, sehingga memudahkan proses pembentukan pada permukaan melengkung. Berdasarkan penelitian oleh Boursier Niutta et al. (2023), kain serat karbon dengan anyaman *twill* menunjukkan performa mekanis yang baik, khususnya dalam hal modulus elastisitas dan kekuatan tarik. Selain itu, pola ini mampu mendistribusikan beban secara merata, menghasilkan komposit dengan tingkat kekakuan tinggi namun tetap mudah dibentuk. Berkat kombinasi antara kekuatan struktural dan penampilan visual yang menarik, *twill carbon fiber* banyak diterapkan pada produk-produk otomotif, sepeda motor hingga panel interior dan eksterior kendaraan termasuk pada komponen cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150 yang mengutamakan aspek kekuatan sekaligus estetika.



Gambar 2-1 *Woven twill carbon fiber*

2.2.2 Komposit

Material komposit adalah bahan rekayasa yang dibentuk dari dua atau lebih material berbeda secara *makroskopik*, biasanya terdiri dari material penguat (*reinforcement*) dan material matriks (*matrix*), yang digabungkan untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan dengan masing-masing komponennya secara terpisah berdasarkan perancangan Jawaid et al. (2018). Penguat biasanya berupa serat (seperti serat karbon, serat kaca, atau serat alam), sedangkan matriksnya bisa berupa resin termoset (seperti epoksi) atau termoplastik. Salah satu jenis serat *carbon* yang dapat dipakai untuk membuat produk komposit adalah *twill carbon fiber*.

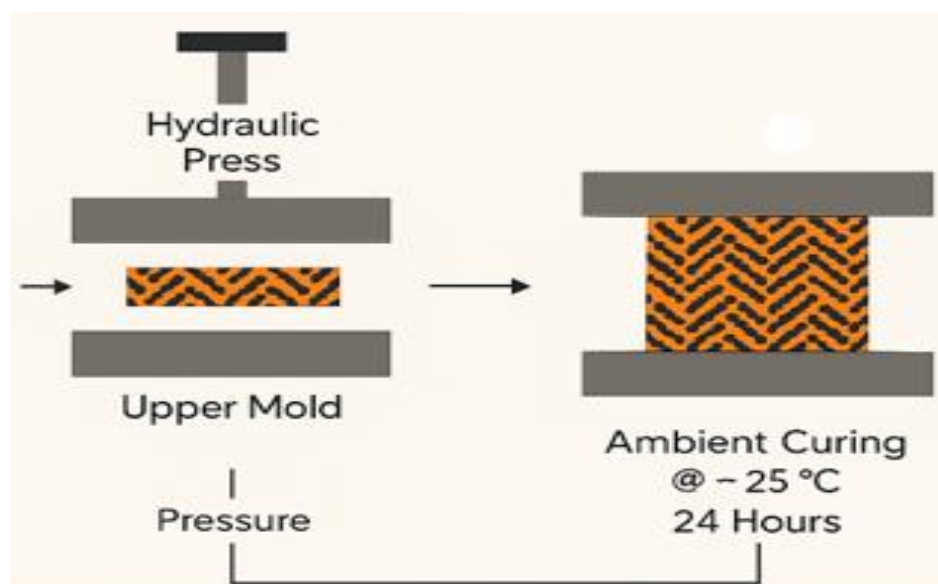


Gambar 2-2 Ilustrasi material komposit

woven twill carbon fiber merupakan jenis kain serat karbon yang dibuat dengan pola anyaman *twill* 2×2, di mana dua benang melintang melintasi dua benang lainnya dan seterusnya. Pola anyaman ini menghasilkan tekstur diagonal pada kainnya serta memiliki sifat fleksibilitas dan kekuatan mekanik tinggi sehingga mempermudah dalam membentuk produk yang memiliki permukaan melengkung pada proses produksi seperti pada design cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150 yang memiliki bentuk melengkung. Secara keseluruhan, *woven twill carbon fiber* menawarkan kombinasi fleksibilitas dan kekuatan tinggi serta nilai estetika yang unik, menjadikannya sangat cocok untuk aplikasi pada produk komposit presisi, seperti cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150 tampilan visual dan dimensi akurat adalah kriteria utama.

2.2.3 Curing

Curing merupakan tahap pengerasan resin dalam proses pembuatan komposit, di mana terjadi reaksi *polimerisasi* yang mengikat serat penguat. Pada penggunaan resin epoksi, *curing* dapat dilakukan pada suhu ruang sekitar 27°C selama sekitar 24 jam tanpa pemanas tambahan, tergantung pada jenis resin dan hardener. Menurut Putra dan Nugroho (2021), proses *curing* pada suhu ruang selama 24 jam telah dapat menghasilkan produk komposit dengan sifat mekanik yang memadai dan permukaan akhir yang halus. Metode ini sangat cocok untuk produksi skala kecil hingga menengah karena tidak memerlukan oven atau alat pemanas tambahan, sehingga lebih hemat energi. Proses ini juga memungkinkan resin menyebar dan mengisi rongga serat (seperti woven twill carbon fiber) secara merata, apalagi jika dibantu dengan tekanan dari *compression molding*, yang menjaga kepadatan dan mempercepat pengeluaran udara dari sistem. Perancangan tersebut juga menunjukkan bahwa *curing* pada suhu ruang selama 24 jam dapat menghasilkan kekuatan tarik yang cukup tinggi dengan kandungan void (rongga udara) yang minimal, asalkan tekanan selama proses *curing* tetap terjaga. Dengan demikian, proses *curing* tanpa pemanas bisa menjadi solusi dalam pembuatan produk komposit.



Gambar 2-3 Ilustrasi proses *curing*

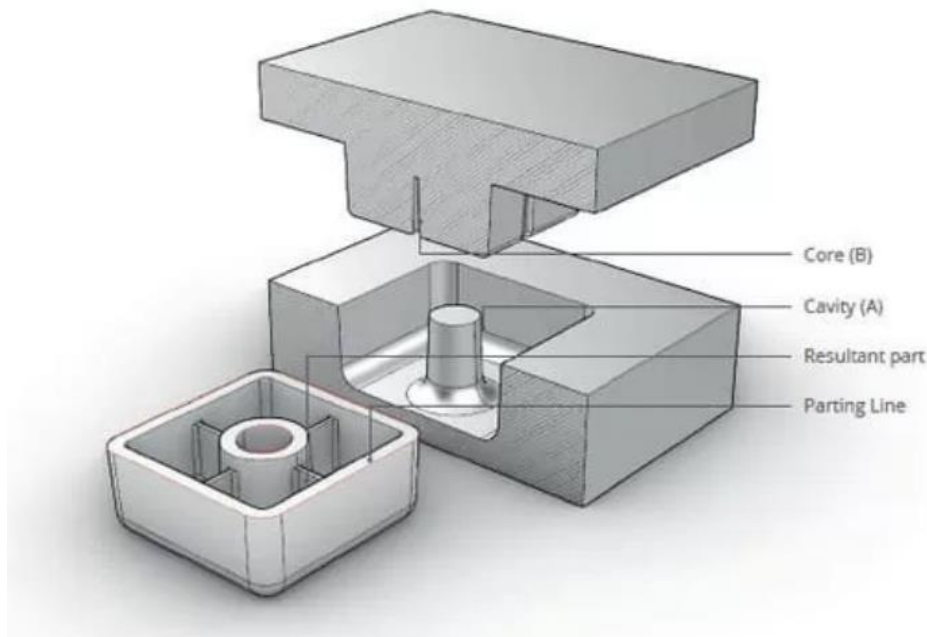
2.2.4 Reverse Engineering

Reverse engineering merupakan proses menganalisis produk jadi yang telah ada untuk kemudian merekonstruksi desainnya dalam bentuk digital, seperti model CAD. Proses ini mencakup pengukuran fisik produk, akuisisi data geometri (misalnya melalui *scanner* 3D), pembersihan data, fitting permukaan, dan pembangunan model digital kemudian dijadikan dasar untuk menciptakan produk baru. Pada produk komposit, teknik reverse engineering sering digunakan untuk membuat model digital dari produk asli, sebagai langkah awal penting sebelum merancang cetakan (mold) atau memproduksi versi alternatif berbasis material komposit (Kumar et al., 2013)

Dalam konteks material komposit, reverse engineering memungkinkan peneliti mengidentifikasi dimensi, bentuk geometris, dan fitur kritis dari produk referensi misalnya cover shockbreaker motor Vespa Sprint 150. Setelah model digital dibuat, produk tersebut dapat diproduksi ulang dengan material berbeda (seperti serat karbon twill + resin), sambil menjaga kesesuaian bentuk dan fungsi struktural original. Proses ini terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi produksi, mengurangi deviasi geometris, dan meningkatkan efisiensi desain komponen komposit (Popan et al., 2018)

2.2.5 Cetakan (*Mold*)

Dalam metode *compression molding*, cetakan terdiri dari dua bagian utama *core* dan *cavity* yang membentuk rongga tertutup untuk membentuk produk. Cetakan juga dilengkapi *mold base* sebagai kerangka penyangga. Pada pembuatan komposit dari *twill carbon fiber*, cetakan memastikan penyebaran resin dan serat merata serta menjaga dimensi produk tetap konsisten. Material *twill carbon fiber* dan resin dikompresi dalam cetakan, lalu dikeringkan di suhu ruang atau dengan pemanasan tergantung metode *curing*. Djamaluddin et al. (2020) menyatakan bahwa cetakan dirancang untuk menahan tekanan dan panas guna mengurangi cacat seperti *void* dan menjaga kualitas permukaan produk.

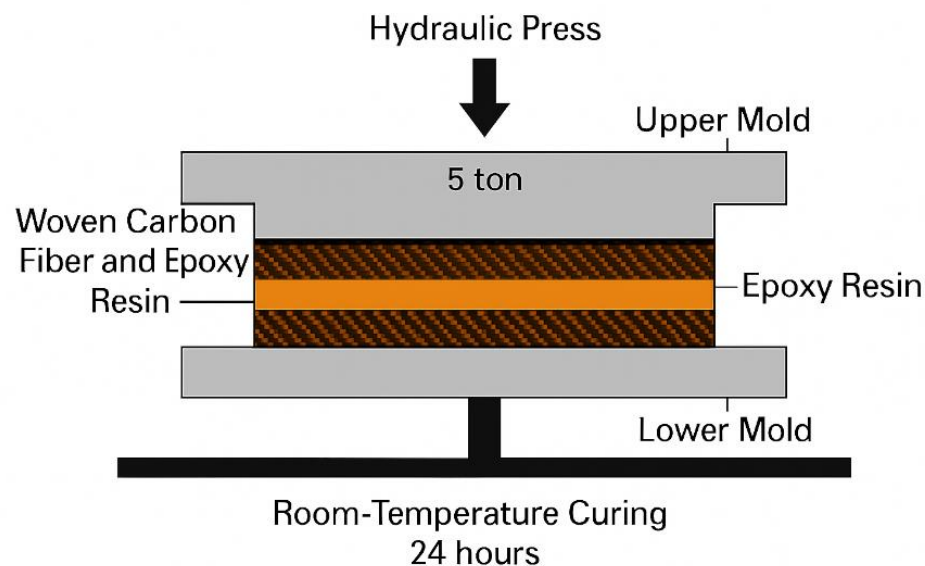


Gambar 2-4 Ilustrasi bagian pada cetakan (*mold*)

Sumber : <https://zetarmold.com/principal-parts-injection-mould/>

2.2.6 Compression Molding

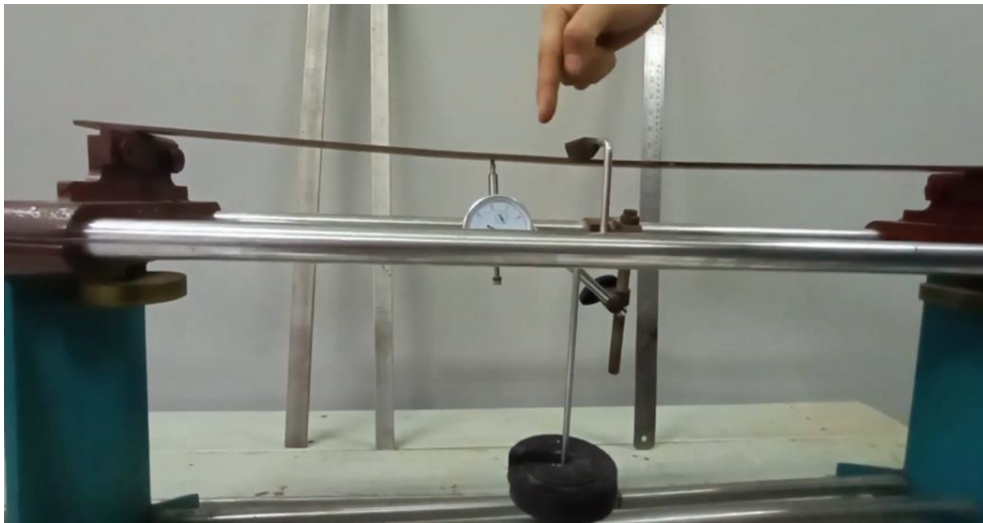
Compression molding adalah salah satu metode manufaktur pembuatan produk komposit dengan material komposit dimasukkan ke dalam cetakan tertutup dan kemudian diberi tekanan (tanpa atau dengan suhu tinggi) hingga material mengisi rongga dan mengeras. Meskipun *compression molding* secara umum dilakukan dengan pemanasan cetakan (untuk mempercepat waktu *curing*) pada skala laboratorium atau produksi kecil, metode ini dapat dilakukan tanpa pemanasan. Proses *curing* dilakukan dengan memberi tekanan pada bagian atas cetakan lalu dibiarkan dalam keadaan ditekan dengan waktu yang lama misalnya 24 jam pada suhu ruang agar resin benar-benar mengeras. Berdasarkan perancangan Amirudin, M.U., & Nugroho, G. (2021) *compression molding* bisa dilaksanakan dengan *curing* pada suhu ruang (*ambient curing*) selama 24 jam. Gambar 2-5 memperlihatkan ilustrasi bagaimana proses *compression molding* terjadi.



Gambar 2-5 Ilustrasi proses *compression molding*

2.2.7 Pengujian Defleksi

Pengujian defleksi merupakan metode untuk menilai seberapa kaku suatu material atau produk terhadap pembebanan dengan cara mengukur perubahan bentuk (defleksi) saat dikenai beban secara terkontrol. Proses ini dilakukan dengan menempatkan spesimen di atas dua tumpuan yang stabil, lalu beban diberikan di bagian tengah yang dibiarkan menggantung. Perubahan bentuk diukur menggunakan dial indikator karena kemampuannya mencatat defleksi secara presisi hingga mikrometer, menjadikannya cocok untuk evaluasi kekakuan komposit berbasis serat karbon seperti cover *shockbreaker* .



Gambar 2-6 Ilustrasi pengujian defleksi

Sumber : <https://www.youtube.com/watch?v=KO8wGagdSpQ&t=194s>

2.2.8 Kekakuan (*Stiffness*)

Kekakuan adalah salah satu sifat dari suatu material yang menunjukkan seberapa kuat material tersebut menahan perubahan bentuk saat diberi gaya F. Gaya F merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi deformasi dan digunakan untuk mengukur sifat mekanik seperti kekakuan (*stiffness*). Bentuk gaya yang umum digunakan dalam pengujian laboratorium adalah gaya tarik ke bawah akibat berat benda, yang dihitung menggunakan rumus :

$$F = m \times g \quad (2.1)$$

Keterangan :

F = Gaya tarik bumi (N)

m = Massa benda (kg)

G = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Gaya ini digunakan dalam uji defleksi untuk memberikan beban pada spesimen komposit. Besarnya defleksi (δ) akibat gaya F kemudian digunakan untuk menghitung kekakuan (k) dengan rumus :

$$k = \frac{F}{\delta} \quad (2.2)$$

Keterangan :

k = Kekakuan (N/mm)

F = Gaya tarik bumi (N)

δ = Defleksi atau perpindahan (mm)

Rumus ini sering digunakan dalam hasil eksperimental secara langsung karena perhitungannya yang praktis dengan cara diukur dengan membandingkan gaya F yang diberikan (gaya tarik) terhadap berapa besar perpindahan (defleksi) δ .

2.2.9 Toleransi Pengukuran

Dalam bidang manufaktur teknik, toleransi digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana perbedaan hasil data antara produk hasil produksi dan produk referensi yang dianggap ideal. Nilai ini dihitung berdasarkan selisih massa relatif terhadap massa produk acuan, dalam bentuk persentase, dengan menggunakan rumus:

$$\text{Toleransi} = \frac{|\text{nilai aktual} - \text{nilai referensi}|}{\text{nilai referensi}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan :

Toleransi = Persentase penyimpangan terhadap nilai referensi (%)

Nilai aktual = Hasil pengukuran produk (misal: massa, tebal, dll)

Nilai referensi = Nilai standar atau acuan

$|\cdot\cdot|$ = Nilai mutlak (agar selisih selalu positif)

$\times 100\%$ = Mengubah hasil menjadi satuan persen

Nilai toleransi ini berfungsi sebagai indikator kestabilan proses manufaktur dan sebagai parameter pengendalian kualitas. Dalam prinsip engineering *tolerance* yaitu batas toleransi harus disesuaikan dengan kemampuan proses produksi agar hasil aktual tetap berada dalam rentang yang dapat diterima secara teknis dan fungsional (Montgomery, 2017), selama penyimpangan tersebut masih dalam batas wajar dan tidak mempengaruhi sifat mekanik utama seperti kekakuan dan massa, maka toleransi tersebut masih dapat diterima, terutama dalam tahap produksi laboratorium.

Dalam proses manufaktur produk berbahan komposit, terutama yang dilakukan secara manual seperti metode hand lay-up atau compression molding sederhana, ketidaksempurnaan dalam struktur produk merupakan hal yang cukup umum terjadi. Cacat-cacat seperti posisi serat yang tidak konsisten, variasi ketebalan antar lapisan, serta tekanan cetak yang tidak seragam dapat memengaruhi homogenitas material. Ketidakteraturan ini berdampak langsung pada sifat mekanik produk seperti sifat kekakuannya. Penelitian yang dilakukan oleh Polini dan Corrado (2019) menunjukkan bahwa variasi dalam bentuk dan mikrostruktur produk komposit dapat menyebabkan perbedaan performa mekanik 10% hingga 20%, tergantung pada tingkat presisi dalam proses produksinya.

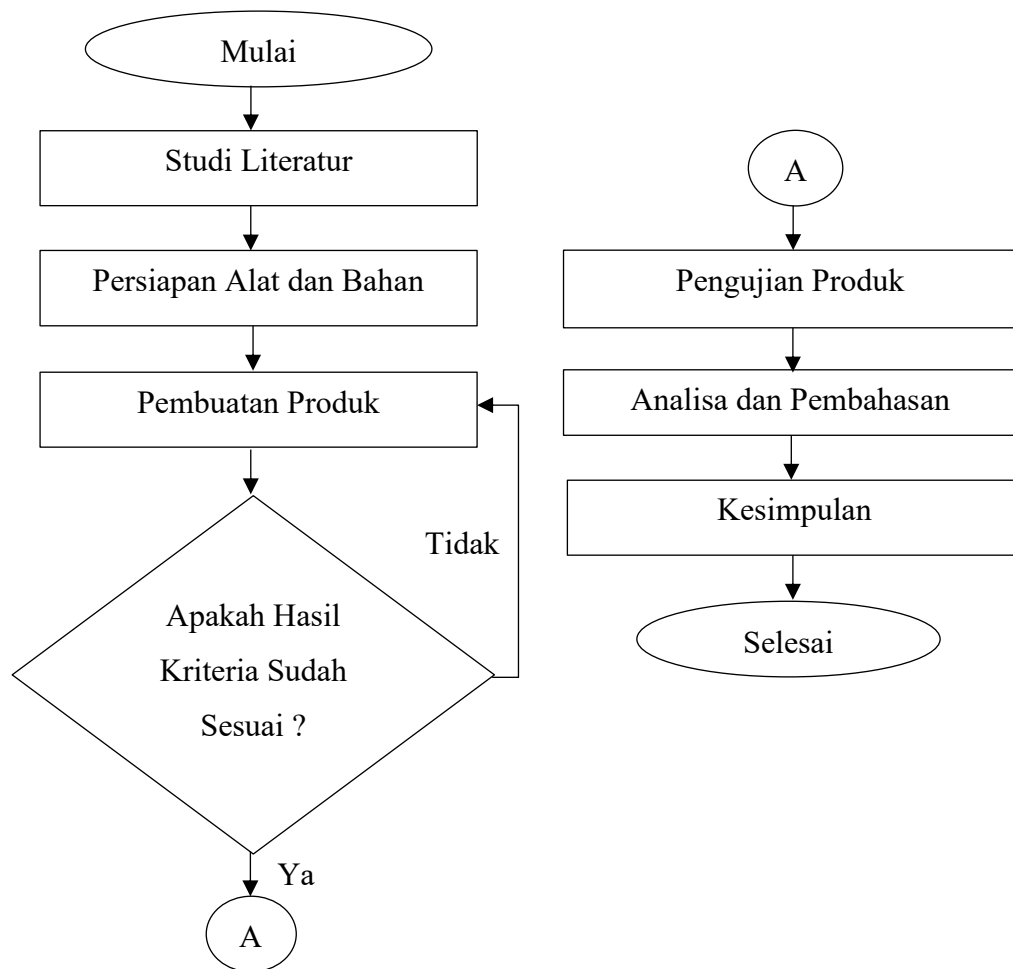
Penemuan ini didukung oleh hasil studi Vallmajo et al. (2024), yang menjelaskan bahwa keberadaan rongga mikro (voids) atau cacat serat skala kecil dapat menurunkan nilai kekakuan hingga $\leq 15\%$. Hal ini membuktikan bahwa dalam kondisi nyata, toleransi variasi sifat mekanik seperti kekakuan sebesar $\leq 15\%$ masih dapat diterima, khususnya pada produk komposit yang belum diproduksi secara massal atau masih dalam tahap prototipe. Dalam konteks penelitian ini, toleransi tersebut menjadi dasar pembandingan antara produk komposit dengan produk referensi, sehingga perbedaan kecil dalam hasil pengujian tetap dianggap valid selama masih berada dalam rentang toleransi teknis yang telah diakui oleh penelitian sebelumnya. Berdasarkan tiga penelitian sebelumnya dapat diasumsikan nilai toleransi sebesar $\leq 15\%$ dinilai masih wajar dan bisa diterima, terutama pada produk komposit yang masih dalam tahap pengembangan atau dibuat secara manual.

BAB 3

METODE PERANCANGAN

3.1 Alur Perancangan

Diagram alur perancangan dapat dilihat pada gambar 3-1



Gambar 3-1 Alur perancangan

3.2 Kriteria Produk

Kriteria produk dalam perancangan ini adalah:

1. Toleransi nilai dari ketebalan, berat, dan kekakuan produk hasilnya sesuai atau mendekati produk aslinya dengan nilai batas toleransi senilai $\leq 15\%$ untuk mencapai kesesuaian produk yang dihasilkan dengan produk aslinya.
2. Memperlihatkan motif serat karbon lebih jelas dibandingkan dengan perancangan sebelumnya Akbar (2024), guna memungkinkan evaluasi visual terhadap aspek estetika produk.

3.3 Peralatan dan Bahan

Berikut ini adalah alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan pembuatan produk komposit cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150. Peralatan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3-1 sedangkan pada Tabel 3-2 adalah bahan-bahan yang digunakan.

Tabel 3-1 Peralatan yang digunakan

No	Nama Peralatan	Fungsi	Gambar
1.	Cetakan	Sebagai alat untuk membentuk dan mengompresi material komposit selama proses pencetakan	
2.	Gunting Kain dan Penggaris	Sebagai alat untuk memotong kain karbon <i>twill</i> sesuai dengan pola yang diinginkan.	

No	Nama Peralatan	Fungsi	Gambar
3.	Spidol	Sebagai alat penanda untuk membuat pola pada kain <i>carbon fiber</i> dan karton.	
6.	Sarung Tangan Latex	sebagai pelindung tangan pada saat melakukan pembuatan produk.	
7.	G-Clamp	Sebagai alat bantu <i>press</i> pada saat kondisi <i>curing</i> .	

No	Nama Peralatan	Fungsi	Gambar
8.	Amplas <i>grade</i> 800, 1000 dan 1200	Sebagai alat untuk membersihkan cetakan dan membantu <i>finishing</i> produk	
9.	Mesin <i>hydraulic press</i>	Memberi tekanan konstan pada cetakan saat proses <i>curing</i> .	
10.	Dial Indikator	Sebagai alat pengujian mencari nilai defleksi.	
11.	Beban Uji Defleksi	Beban uji 1300 gr untuk membantu pengujian defleksi.	

No	Nama Peralatan	Fungsi	Gambar
12.	Alat Perkakas	Membantu proses <i>demolding</i> .	
13.	Timbangan Digital	Menimbang suatu benda/ campuran larutan untuk segala proses.	
14.	Mikrometer Sekrup	Sebagai alat pengukur ketebalan produk.	

No	Nama Peralatan	Fungsi	Gambar
15.	<i>Mini grinder</i>	Membantu proses pemotongan <i>finishing</i> produk	
16.	Mesin Bor	Membantu proses melubangi produk pada saat <i>finishing</i> produk.	
17.	Cat semprot dan <i>air compressor</i>	Alat proses pelapisan <i>clear coat</i>	

Tabel 3-2 Bahan yang digunakan

No	Nama Bahan	Fungsi	Gambar
1.	Serat Karbon 3K <i>Twill</i> 240gsm AAA <i>Grade</i> HSA <i>Carbon Fiber</i>	Material penguat (<i>reinforcement</i>)	
S2.	Resin dan Katalis	Material pengikat (<i>matrix</i>)	
3.	<i>Wax Mold Release</i>	Mempermudah saat proses <i>demolding</i>	
4.	<i>Clear Coat</i>	Salah satu bahan campuran untuk proses <i>finishing</i>	

No	Nama Bahan	Fungsi	Gambar
5.	<i>Degrease</i>	Pembersih noda pada produk sebelum proses <i>finishing</i>	
6.	Tiner	Salah satu bahan campuran untuk proses <i>finishing</i> .	
7.	<i>Hardener</i>	Salah satu bahan campuran untuk proses <i>finishing</i>	

3.4 Desain Eksperimen

Desain eksperimen disusun sebagai tahap awal sebelum proses pembuatan produk dimulai. Tujuannya adalah untuk menjadi panduan dalam mempermudah jalannya proses produksi. Desain ini memuat data yang diperoleh dari hasil studi literatur, seperti variasi jumlah lapisan, nilai tekanan pada saat proses *compression molding*, suhu *curing* yang mengandalkan suhu ruang, dan waktu selama proses *curing*. Dapat dilihat pada tabel 3-3 menyajikan kombinasi dari keempat variabel tersebut yang akan digunakan dalam proses pembuatan sampel produk komposit.

Tabel 3-3 Variasi Waktu Curing, Suhu Curing, Tekanan, dan Jumlah Lapisan.

Kode Produk	Waktu <i>Curing</i> (jam)	Suhu <i>Curing</i> (°C)	Tekanan (ton)	Jumlah Lapisan
COVTC3	24	27	5	3
COVTC5	24	27	5	5
COVTC7	24	27	5	7

Keterangan format kode produk :

COV = Cover Shockbreaker Vespa

TC = Tetap Curing (karena waktu dan suhu curing tetap)

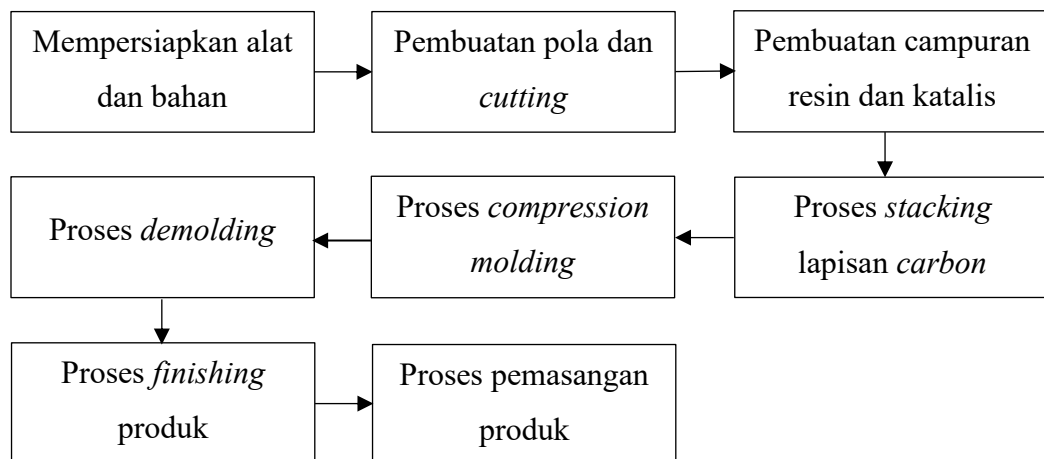
Angka di belakang = jumlah lapisan serat karbon

COVTC = Sampel Produk

Variabel bebas dalam perancangan ini adalah jumlah lapisan *carbon fiber*. Pada tabel 3-3 variasi jumlah lapisan adalah 3, 5, 7 lapisan. Suhu curing yang mengandalkan suhu ruang sekitar 27°C dan waktunya selama 24 jam. Tekanan yang diberikan pada cetakan saat proses *compression molding* adalah 5 ton. Dengan data variasi yang sudah didapatkan dari hasil studi literatur, kemudian data tersebut digunakan dalam menentukan parameter data pada saat proses pembuatan setiap variasi produk.

3.5 Alur Proses Pembuatan Produk

Setelah semua tahap awal dan persiapan selesai dilakukan, proses selanjutnya adalah pembuatan produk komposit cover *shockbreaker* Vespa Sprint. Proses ini mencakup beberapa langkah, dimulai dari persiapan cetakan (*mold*) hingga tahap akhir berupa *finishing* produk. Gambar 3-2 di bawah ini menggambarkan alur tahapan yang dilakukan selama proses pembuatan berlangsung.



Gambar 3-2 Langkah-langkah proses pembuatan produk komposit

3.5.1 Mempersiapkan Alat dan Bahan

Sebagai tahapan awal proses produksi produk, semua alat dan bahan terlebih dahulu dipersiapkan, termasuk cetakan (*mold*) yang harus sudah bersih sebelum digunakan. Tahapan awal membersihkan cetakan (*mold*) dengan cara melapiskan cairan *degrease* ke seluruh permukaan cetakan sambil digosok menggunakan tangan. Pada tahapan selanjutnya cetakan dibersihkan menggunakan amplas *grade* 800, 1000, dan 1200 dengan sedikit air lalu dibersihkan menggunakan air. Tujuan proses pembersihan cetakan sebelum proses produksi agar menghindari kecacatan yang akan terjadi pada produk.

3.5.2 Pembuatan Pola dan *Cutting*

Untuk memudahkan proses stacking nantinya, pembuatan pola dilakukan terlebih dahulu. Bahan yang digunakan untuk pembuatan polanya memakai bahan karton. Pada proses tersebut kertas karton dibentuk dan digambar sesuai dengan produk asli dari cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150 dengan ukuran lebih besar 1,5 cm dari ukuran aslinya. Pada gambar 3-3 adalah bentuk dari pola cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150 berbahan kerdus.



Gambar 3-3 Pola *cutting*

Selanjutnya memotong kain *carbon* menggunakan gunting kain mengikuti pola yang telah dibuat. Pada gambar 3-4 adalah hasil pemotongan kain mengikuti pola *cutting*.



Gambar 3-4 Kain carbon yang telah dipotong

3.5.3 Pembuatan Campuran Resin dan Katalis

Pada tahapan ini untuk membuat campuran resin dengan katalis menggunakan perbandingan 2:1. Resin yang dipakai 60ml dan katalisnya adalah 30ml, gambar 3-5 menunjukkan proses penimbangannya. Pengadukan dilakukan secara manual dengan waktu 3 menit.



Gambar 3-5 Campuran resin dan katalis

Rasio 2:1 ini tidak dipilih secara sembarangan, melainkan berdasarkan formulasi kimia dari produsen resin epoksi. Rasio tersebut mengoptimalkan reaksi polimerisasi antara resin dan hardener. Jika rasio tidak sesuai misalnya kelebihan hardener maka reaksi polimerisasi bisa berlangsung terlalu cepat, menghasilkan material yang rapuh dan mengandung void. Sebaliknya, jika resin berlebih, maka pengeringan tidak sempurna dan menghasilkan permukaan lengket atau lunak. Oleh karena itu, rasio 2:1 yang digunakan merupakan parameter eksperimental yang biasanya ditentukan melalui uji pendahuluan atau berdasarkan datasheet material dari produsen resin.

3.5.4 Proses *Stacking* lapisan *Carbon*

Cetakan yang telah dibersihkan dipersiapkan terlebih dahulu, selanjutnya seperti pada gambar 3-6 proses melapiskan lapisan pertama *wax mold release* menggunakan kuas secukupnya pada area *cavity* dan permukaan pada cetakan lalu diamkan hingga mengering selama 5 menit. Selanjutnya untuk memberikan lapisan kedua *wax mold realease* dengan cara yang sama seperti lapisan pertama. Fungsi pelapisan tersebut bertujuan untuk memudahkan nantinya saat proses *demolding*.



Gambar 3-6 Proses pelapisan *wax mold release*

Setelah cetakan sudah terlapisi *wax mold release*, tahapan selajutnya adalah melapiskan resin secukupnya pada area *cavity* dan permukaan pada cetakan. Selanjutnya pemberian lapisan pertama kain *carbon* pertama diatas cetakan yang sudah diberi resin. Setelah kain *carbon* menempel pada area *cavity*, lakukan pemberian resin dan ratakan resin dipermukaan lapisan pertama kain *carbon*. Tahapan selanjutnya memberikan lapisan kedua *carbon* diatas lapisan pertama *carbon*. Selanjutnya memberikan resin dan meratakan resin dipermukaan lapisan kain *carbon* kedua seperti langkah lapisan pertama. Langkah selanjutnya untuk pemberian lapisan ketiga dan seterusnya prosesnya sama seperti langkah

sebelumnya. Pada gambar 3-7 adalah Gambaran proses pemberian lapisan (*stacking*).



Gambar 3-7 Proses *stacking*

Setelah proses *stacking* lapisan sudah memenuhi parameter yang diinginkan, tahapan selanjutnya adalah menutup cetakan seperti pada gambar 3-8 untuk selanjutnya ke proses *press* menggunakan *hydraulic press*.

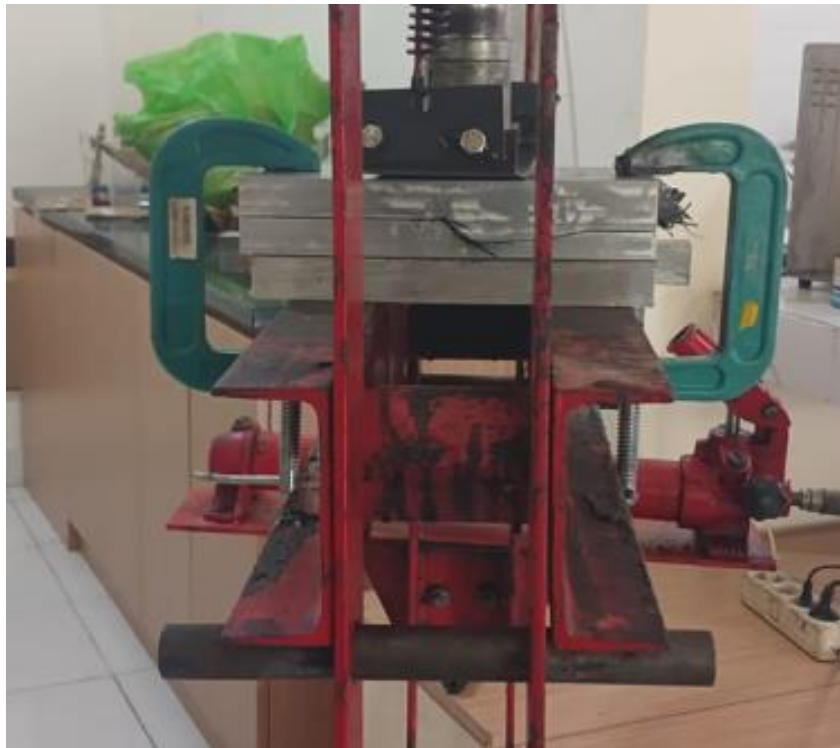


Gambar 3-8 Proses penutupan cetakan

Pastikan cetakan tersebut tertutup secara sempurna dan tidak ada rongga terlalu besar. Sebelum masuk proses menggunakan *hydraulic press* pastikan g-clamp tersedia untuk mencengkram cetakan agar tertekan dan tertutup dengan baik

3.5.5 Proses *Compression molding*

Saat cetakan sudah dalam keadaan tertutup, lakukan proses *compression molding* yaitu proses pada saat cetakan dalam keadaan tertutup dan kemudian diberi tekanan ditaruh dibagian tengah penekan lalu ditekan sebesar 5 ton. Pada saat melakukan proses cengkraman pada sisi cetakan seperti pada gambar 3-9, cengkram kedua sisi cetakan menggunakan G-Clamp. Diamkan selama 24 jam di mesin *hydraulic press* yang dapat dilihat pada gambar 3-9 dalam keadaan tertekan dengan metode *compression molding*. *Curing* dilakukan mengandalkan suhu ruang dengan waktu selama 24 jam.



Gambar 3-9 Proses *compression molding*

3.5.6 Proses *Demolding*

Setelah *curing* dilakukan selama 24 jam selanjutnya melepas produk dari cetakan (*demolding*). Seperti pada gambar 3-10 kondisi cetakan dalam keadaan keras karena resin yang keluar saat proses penekanan dan mengeras disisi luar cetakan.



Gambar 3-10 Kondisi cetakan keras

Karena hal tersebut produk sulit untuk dilepas dari cetakan. Diperlukan alat bantu untuk melepaskannya yaitu alat perkakas. Pada gambar 3-11 proses pelepasan produk dari cetakan (*demolding*) dengan alat bantu.



Gambar 3-11 Proses *demolding* produk

3.5.7 Proses *Finishing* Produk

Tahapan awal proses *finishing* adalah memotong sisi produk yang baru saja dikeluarkan dari cetakan (*demolding*) seperti pada gambar 3-12 adalah bentuk dari produk yang baru saja keluar dari cetakan.



Gambar 3-12 Hasil produk dari cetakan

Bagian sisi produk yang tidak diperlukan dipotong menyerupai produk asli seperti pada gambar 3-13 menggunakan *mini grinder*. Pada bagian tengah produk dilubangi menggunakan bor.



Gambar 3-13 Tahapan awal proses *finishing*

Gambar 3-13 menunjukkan adanya cacat pada permukaan produk, sehingga dilakukan tahap *finishing* kedua untuk memperbaikinya. Sebelum proses

ng tahap kedua selesai, selanjut

34

Proses pelapisan seperti pada gambar 3-15 dilakukan secara dua kali. Pada saat pelapisan pertama selesai, diamkan 15 menit lalu melanjutkan lapisan kedua. Pada saat pelapisan kedua selesai diamkan 24 jam di suhu ruang dalam kondisi tertutup untuk menghindari kontaminasi dari luar.



Gambar 3-15 Pelapisan *mix clear coat*

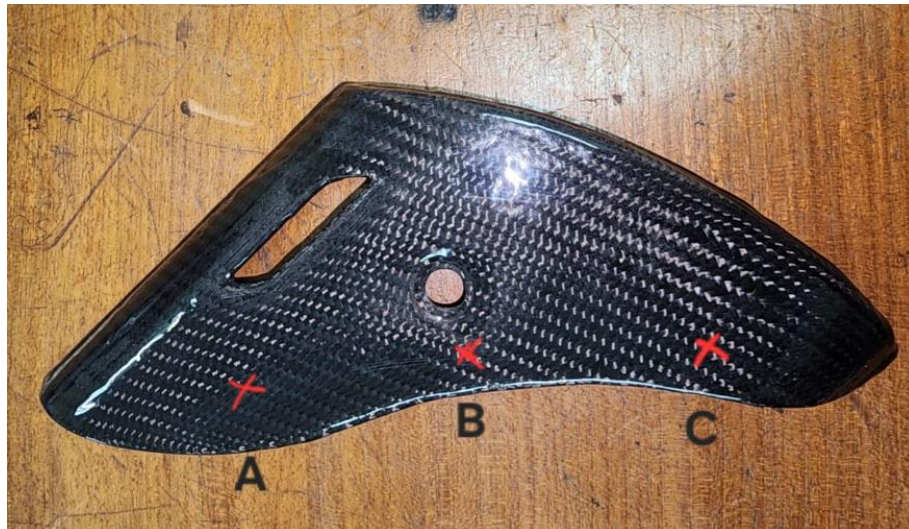
Setelah pelapisan *mix clear coat* pada produk selesai, hasilnya seperti pada gambar 3-16 maka produk selanjutnya akan dianalisa untuk mencari ketebalan, massa dan nilai defleksi produk.



Gambar 3-16 Produk hasil *finishing*

3.6 Pengukuran Ketebalan dan Berat Produk

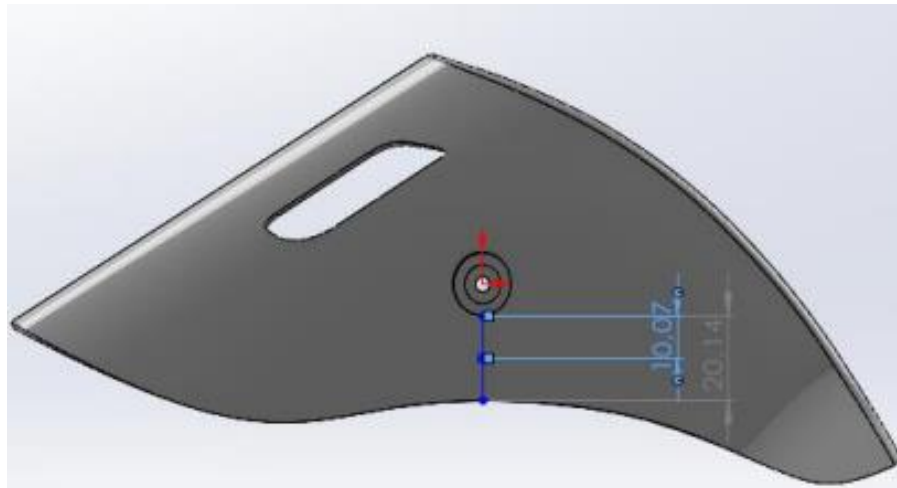
Setelah seluruh tahapan pembuatan produk selesai dan produk berhasil dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan pengukuran ketebalan dan berat produk. Pengukuran ini bertujuan untuk memastikan apakah dimensi dan massa produk sesuai dengan spesifikasi produk asli. Pengukuran pertama dilakukan untuk mengetahui ketebalan produk, dengan tiga titik ukur yang dipilih pada bagian permukaan cover *shockbreaker* yang datar. Pada Gambar 3-17 adalah titik-titik pengukuran tersebut



Gambar 3-17 Titik pengukuran ketebalan

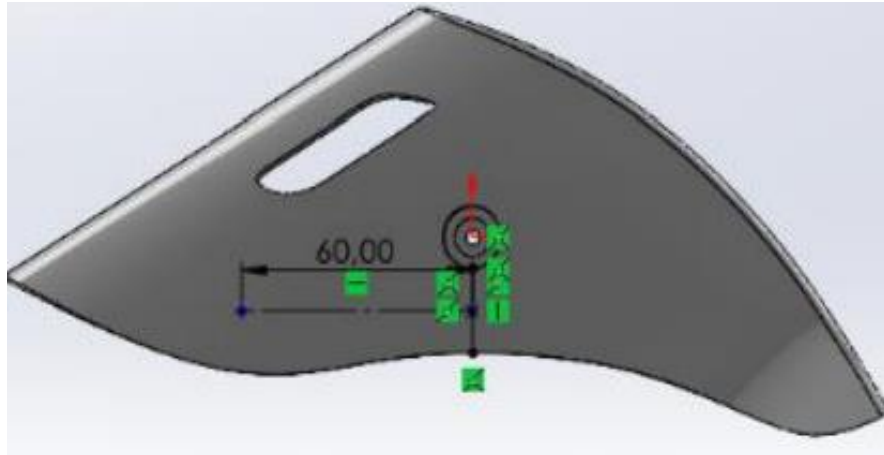
Beberapa titik pengukuran ditentukan menggunakan aplikasi SOLIDWORKS agar membantu dalam mendesain jarak antar titik titik sehingga pada saat proses pengukurannya pada produk memudahkan perancang untuk menyesuaikan jarak antar titik-titiknya berdasarkan desain yang telah dibuat.

Proses pengukuran ketebalan dilakukan dengan bantuan alat mikrometer sekrup. Pada gambar 3-18 menunjukkan tahap pengukuran yang dilakukan pada titik B.



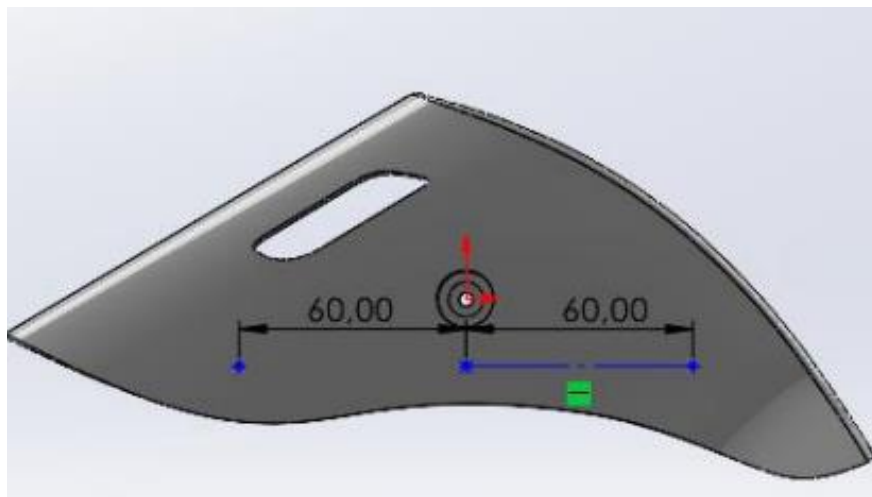
Gambar 3-18 Penentuan pengukuran titik B

Pada gambar 3-18 di atas, titik B ditentukan dengan menarik garis vertikal lurus ke bawah dari lingkaran terbesar yang merupakan dudukan baut, menghasilkan jarak sebesar 20,14 mm. Titik B kemudian ditetapkan di tengah garis tersebut, yaitu pada jarak 10,07 mm. Setelah titik B ditentukan, Pada gambar 3-19 proses dilanjutkan dengan penentuan titik pengukuran A.



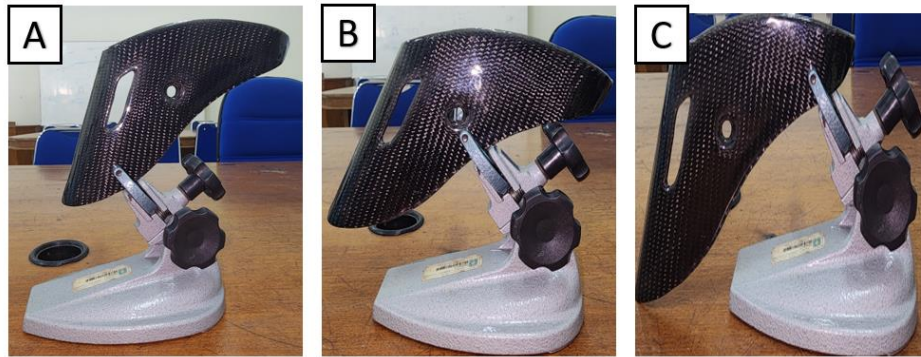
Gambar 3-19 Penentuan Pengukuran titik A

Dapat dilihat pada gambar 3-19 diatas untuk titik A akan berjarak 60 mm dari titik tengah dudukan baut. Pada gambar 3-20 untuk penentuan titik C diambil seperti titik A dengan menarik garis sejajar (Horizontal) terhadap titik B yang sudah ditentukan, dengan jarak sepanjang 60 mm.



Gambar 3-20 Penentuan Pengukuran titik C

Setelah titik-titik pengukuran ditentukan, titik-titik tersebut digunakan sebagai acuan untuk mengukur dimensi ketebalan pada produk cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150. Pengukuran dilakukan menggunakan alat bantu mikrometer sekrup. Pada gambar 3-21 menunjukkan proses pengukuran pada titik A, B, dan C.



Gambar 3-21 Proses pengukuran titik ABC

Selanjutnya proses pengukuran massa menggunakan timbangan digital dan dilakukan pada semua sampel produk dan produk asli. Dapat dilihat pada gambar 3-22 contoh proses pengukuran massa produk.

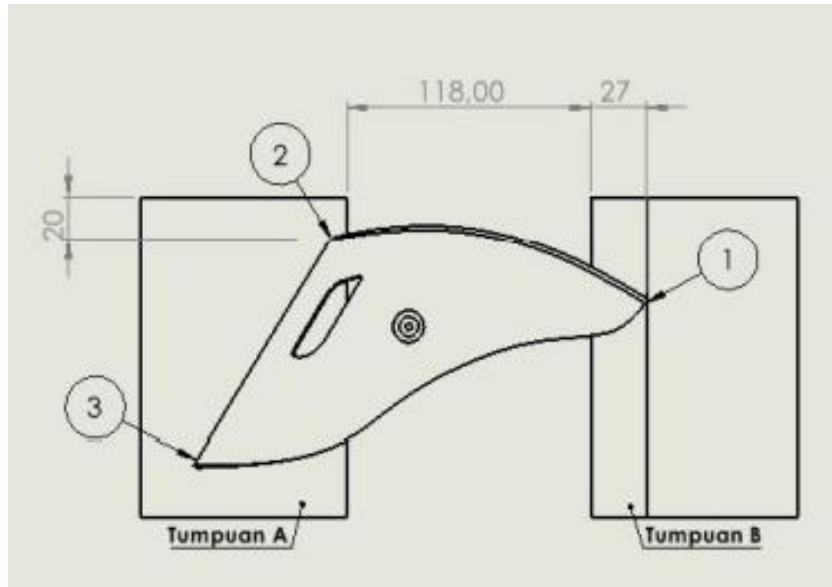


Gambar 3-22 Pengukuran berat

Penimbangan setiap sampel hasil produksi produk komposit dilakukan untuk mendapatkan data massa produk dan menyimpulkan data berdasarkan pengukurannya. Tujuan utama dari penimbangan ini adalah untuk mengetahui massa aktual dari setiap variasi produk.

3.7 Pengujian Defleksi

Pengujian defleksi digunakan untuk menilai tingkat kekakuan produk dengan mengukur perubahan bentuk saat dikenai beban tertentu. Produk diletakkan di atas dua tumpuan pada frame uji, sehingga bagian tengahnya menggantung bebas. Pada gambar 3-23 adalah ilustrasi penempat produk pengujian mencari nilai defleksi.



Gambar 3-23 Ilustrasi penempatan produk

Pada gambar 3-23 diatas menunjukkan ilustrasi penempatan produk untuk uji defleksi. Pada sisi ujung produk yang bernomor 2 ditempatkan pada sisi kanan tumpuan A dengan jarak 20 mm, sedangkan ujung nomor 1 diletakkan pada tumpuan B dengan jarak 27 mm dari sisi kiri. Pada sisi ujung produk yang bernomor 3 menyesuaikan posisi berdasarkan jarak yang telah ditentukan.

Pengujian defleksi dilakukan seluruh sampel seperti pada gambar 3-24 dengan menggantungkan beban seberat 1300 gram di bagian tengah produk menggunakan tali yang diikat pada dudukan baut. Gaya vertikal dari beban ini menyebabkan produk melengkung. Defleksi diukur menggunakan dial indicator yang diletakkan di atas permukaan produk



Gambar 3-24 Proses pengujian defleksi

Pengukuran nilai defleksi pada setiap sampel produk komposit menggunakan dial indikator nantinya untuk mengevaluasi respon *deformasi* material terhadap beban 1300gr. Defleksi merupakan besarnya perpindahan atau perubahan bentuk (*deformasi*) yang terjadi pada spesimen saat dikenai beban, dan nilai ini menjadi indikator penting untuk mengetahui fleksibilitas, kekakuan (*stiffness*), dan kemampuan menahan beban dari material komposit. Proses ini merupakan bagian dari uji sifat mekanik.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi Ketebalan dan Berat Produk Terhadap Kesesuaian Dimensi

Proses pengukuran dilakukan tiga kali untuk satu titik yang sama lalu diambil nilai rata-ratanya untuk menentukan ukuran pada titik tersebut. Produk yang diukur hanya produk yang memenuhi kriteria saja. Penentuan titik pengukuran dapat dilihat pada gambar 3-21 pada bab sebelumnya. Pada tabel 4-1 menunjukkan data pengukuran yang sudah dilakukan berupa pengukuran ketebalan produk.

Tabel 4-1 Hasil pengukuran ketebalan produk

Kode Produk	Titik Pengukuran	Pengukuran Pertama (mm)	Pengukuran Kedua (mm)	Pengukuran Ketiga (mm)	Rerata (mm)
Produk Asli	Titik A	2,80	2,80	2,80	2,80
	Titik B	2,67	2,67	2,67	2,67
	Titik C	2,79	2,79	2,79	2,79
COVTC3	Titik A	2,45	2,46	2,44	2,45
	Titik B	2,38	2,38	2,38	2,38
	Titik C	2,57	2,58	2,59	2,58
COVTC5	Titik A	2,54	2,52	2,53	2,53
	Titik B	2,40	2,40	2,40	2,40
	Titik C	2,67	2,68	2,69	2,68
COVTC7	Titik A	2,65	2,65	2,65	2,65
	Titik B	2,79	2,79	2,79	2,79
	Titik C	3,18	3,17	3,19	3,18

Selanjutnya adalah proses pengukuran toleransi terhadap produk asli yaitu membandingkan antara data sampel produk (COVTC) dengan produk asli. Pengukuran toleransi bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana perbedaan hasil data antara produk hasil produksi dan produk referensi yang dianggap ideal, yaitu $\leq 15\%$ berdasarkan asumsi pada sub bab dasar teori 2.2.8 dari ketiga jurnal. Proses mencari nilai toleransi pada setiap sampel produk menggunakan persamaan (2.3). Berikut contoh perhitungan toleransi dengan kode produk COVTC3.

Diketahui :

Nilai aktual titik A = 2,45 mm

Nilai refrensi titik A = 2,80 mm

$$\text{Toleransi} = \frac{|2,40 - 2,80|}{2,40} \times 100\% = 12,50\%$$

Tabel 4-2 Hasil Perhitungan Toleransi Ketebalan Produk

Kode Produk	Titik	Nilai Aktual (mm)	Nilai Refrensi (mm)	Toleransi (%)
COVTC3	A	2,45	2,80	12,50
	B	2,38	2,67	10,86
	C	2,58	2,79	7,53
COVTC5	A	2,33	2,80	9,64
	B	2,40	2,67	10,11
	C	2,68	2,79	3,94
COVTC7	A	2,65	2,80	5,36
	B	2,79	2,67	4,49
	C	3,18	2,79	13,98

Semua nilai toleransi ketebalan pada tabel 4-2 menunjukkan pada seluruh sampel produk berada di bawah batas toleransi teknis sebesar $\leq 15\%$, sehingga masih dapat diterima secara dimensi. Nilai toleransi tertinggi berada di titik C COVTC7 senilai 13.98%, namun masih dapat diterima.

Selanjutnya proses penimbangan berat produk asli dan sampel produk (COVTC) dapat dilihat pada tabel 4-3 untuk menentukan nilai massanya. Proses mencari massa pada produk dilakukan dengan menggunakan timbangan digital.

Tabel 4-3 Hasil pengukuran massa produk

Kode Produk	Pengukuran Pertama (gr)	Pengukuran Pertama (gr)	Pengukuran Pertama (gr)	Rerata (gr)
Produk Asli	43	43	43	43
COVTC3	48	48	48	48
COVTC5	50	50	50	50
COVTC7	57	57	57	57

Selanjutnya adalah proses pengukuran toleransi massa sampel berdasarkan data pada tabel 4-3 yaitu membandingkan antara data sampel produk (COVTC) dengan produk referensi (produk asli). Pengukuran toleransi massa bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana perbedaan hasil massa aktual sampel produk (COVTC) dibandingkan produk referensi (produk asli) dengan menggunakan persamaan (2.3), berikut contoh perhitungan toleransi dengan kode produk COVTC3.

Diketahui :

Nilai aktual massa = 48 mm

Nilai referensi massa = 43 mm

$$\text{Toleransi} = \frac{|48 - 43|}{43} \times 100\% = 11,63 \%$$

Tabel 4-4 Hasil Perhitungan Toleransi Massa Produk

Kode Produk	Nilai Aktual (gr)	Nilai Refrensi (gr)	Toleransi (%)
COVTC3	48	43	11,63
COVTC5	50	43	16,28
COVTC7	57	43	32,56

pada tabel 4-4 sampel produk dengan jumlah lapisan yang lebih banyak cenderung memiliki massa yang lebih tinggi, sebagaimana terlihat pada peningkatan massa dari COVTC3 hingga COVTC7. Berdasarkan hasil perhitungan toleransi massa sampel produk (COVTC) terhadap produk referensi (produk asli), diketahui bahwa hanya produk COVTC3 yang memiliki nilai toleransi sebesar 11,63% dan masih berada dalam batas toleransi teknis yang ditetapkan yaitu $\leq 15\%$, sedangkan COVTC5 dan COVTC7 masing-masing memiliki nilai toleransi sebesar 16,28% dan 32,56% yang berarti melebihi batas toleransi tersebut. Pada kode produk COVTC3 layak diterima dalam aspek kesesuaian massa terhadap produk asli, sedangkan dua produk lainnya dianggap terlalu berat untuk dijadikan sebagai pengganti langsung pada aplikasi kendaraan.

4.2 Evaluasi Jumlah Lapisan Terhadap Kekakuan Produk

Pengujian kekakuan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan setiap produk (kode produk) dalam menahan deformasi (perubahan bentuk) ketika diberikan gaya tarik. Proses awal untuk mencari kekakuan adalah menentukan gaya yang diberikan pada produk komposit saat pengukuran defleksi. Beban yang diberikan untuk pengujian defleksi adalah 1300gr, nilai g (gravitasi) adalah $9,8 \text{ m/s}^2$ sehingga untuk mencari nilai F menggunakan persamaan (2.1) untuk setiap pengujian sebagai berikut :

$$F = 1,3 \times 9,8 = 12,74 \text{ N}$$

Setelah nilai F didapatkan selanjutnya adalah proses pengukuran nilai defleksi untuk setiap kode produk. Proses pengukuran dilakukan tiga kali untuk satu titik yang sama lalu diambil nilai rata-ratanya untuk menentukan ukuran pada titik tersebut. Produk yang diukur hanya produk yang memenuhi kriteria saja. Pengukuran untuk mencari nilai defleksi menggunakan dial indicator. Pada tabel 4-5 adalah data hasil pengujian defleksi.

Tabel 4-5 Hasil pengukuran dan ketebalan produk

Nilai Defleksi (mm)				
Kode Produk	Pengukuran Pertama (mm)	Pengukuran Kedua (mm)	Pengukuran Ketiga (mm)	Rata-rata (mm)
Produk Asli	0,61	0,61	0,61	0,60
COVTC3	0,56	0,55	0,57	0,55
COVTC5	0,15	0,17	0,16	0,16
COVTC7	0,08	0,07	0,07	0,07

Setelah data nilai defleksi untuk setiap kode produk didapatkan, selanjutnya untuk mencari nilai kekakuan pada setiap produk komposit menggunakan persamaan (2.2). Berikut contoh perhitungan kekakuan dengan kode produk COVTC3.

Diketahui :

$$F = 12,74 \text{ N}$$

$$\delta = 0,55 \text{ mm}$$

$$k = \frac{12,74}{0,55} = 23,16 \text{ N/mm}$$

Tabel 4-6 Hasil kekakuan setiap produk

Kode Produk	Gaya (N)	Defleksi δ (mm)	Nilai Kekakuan (N/mm)
Produk asli	12,74	0,60	21,23
COVTC3	12,74	0,55	23,16
COVTC5	12,74	0,16	79,62
COVTC7	12,74	0,07	182

Selanjutnya adalah proses pengukuran toleransi yaitu membandingkan data sampel produk (COVTC) dengan produk referensi (produk asli) berdasarkan tabel 4-6. Pengukuran toleransi bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana perbedaan hasil data antara sampel produk (COVTC) dengan produk referensi (produk asli). Data untuk mencari nilai toleransi pada setiap sampel produk menggunakan persamaan (2.3). Berikut contoh perhitungan kekakuan dengan kode produk COVTC3.

Diketahui :

$$\text{Nilai aktual} = 23,16 \text{ N/mm}$$

$$\text{Nilai referensi} = 21,23 \text{ N/mm}$$

$$\text{Toleransi} = \frac{|23,16 - 21,23|}{21,23} \times 100\% = 9,09\%$$

Tabel 4-7 Hasil Perhitungan Toleransi Kekakuan Sampel Produk

Kode Produk	Nilai Aktual (N/mm)	Nilai Refrensi (N/mm)	Nilai Toleransi Kekakuan (%)
COVTC3	23,16	21,23	9,09 %
COVTC5	79,62	21,23	274,99 %
COVTC7	182,00	21,23	756,88 %

Berdasarkan hasil perhitungan toleransi pada tabel 4-7 diperoleh bahwa hanya produk COVTC3 yang memiliki nilai 9,09%, sehingga masih berada dalam batas toleransi teknis yang dapat diterima ($\leq 15\%$), oleh karena itu sampel produk COVTC3 menunjukkan karakteristik kekakuan yang mendekati produk asli. Pada produk COVTC5 dan COVTC7 masing-masing menunjukkan toleransi kekakuan sebesar 274,99% dan 756,88%, terjadi peningkatan kekakuan yang sangat signifikan. Secara teknis peningkatan ini menunjukkan performa struktural yang lebih kaku, namun perbedaan yang terlalu besar dari produk asli menandakan bahwa karakteristik mekaniknya sudah tidak lagi merepresentasikan dengan produk aslinya. Produk COVTC3 dapat dianggap sebagai spesimen yang paling sesuai untuk dijadikan pengganti produk asli dari segi kekakuan.

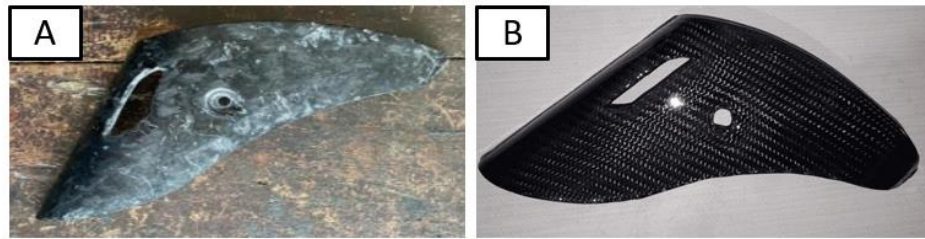
4.3 Evaluasi Visual Motif Serat Karbon dan Pemasangan Sampel Produk

Salah satu kriteria dalam perancangan produk ini adalah menampilkan motif serat karbon yang lebih jelas dibandingkan dengan hasil perancangan sebelumnya oleh Akbar (2024). Hal ini bertujuan untuk meningkatkan nilai estetika visual produk dibandingkan perancangan sebelumnya dan evaluasi kualitas permukaan secara visual dan objektif. Pada perancangan ini dilakukan beberapa tahapan proses *finishing* seperti yang dijelaskan pada sub bab 3.5.7 bertujuan untuk menghilangkan efek kusam pada permukaan dan menunjukkan tampilan serat yang lebih tajam secara visual.



Gambar 4-1 Hasil *Finishing* Seluruh Sampel

Pada gambar 4-1 Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh sampel produk (COVTC3, COVTC5, dan COVTC7) berhasil menampilkan motif anyaman serat karbon dengan pola twill yang jelas hasil *finishing*. Produk COVTC3 memperlihatkan motif serat paling tajam dan rata di seluruh permukaan dibandingkan pada COVTC5 dan COVTC7 melalui pengamatan secara visual.



Gambar 4-2 Perbandingan produk perancangan sebelumnya

Pada gambar 4-1A menunjukkan hasil produk berpenguat *chopped carbon fibers* dengan motif serat yang kurang terlihat akibat tidak ada proses *finishing*, sedangkan gambar 4-1B menampilkan produk berpenguat *twill carbon fiber* dengan motif serat zig-zag yang lebih jelas secara visual hasil beberapa tahapan *finishing*. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses *finishing* memiliki peran penting dalam memperjelas motif serat karbon untuk meningkatkan nilai estetika produk. Implementasi *finishing* yang tepat menjadikan produk komposit lebih unggul dalam aspek visual dibandingkan perancangan sebelumnya yang tidak menggunakan tahapan akhir ini. Pengaruh proses *finishing* terhadap hasil akhir produk sangat signifikan, karena mampu menampilkan motif serat karbon secara lebih jelas, rapi, dan estetik dibandingkan perancangan sebelumnya yang tidak melalui tahapan *finishing*.



Gambar 4-3 Proses pemasangan produk pada Vespa Sprint 150.

Pada gambar 4-3A menunjukkan produk bawaan yang terpasang, sedangkan gambar 4-3B memperlihatkan sampel produk komposit hasil perancangan yang telah dipasang. Proses pemasangan dilakukan dengan mengganti komponen asli menggunakan produk komposit tanpa perlu alat tambahan, sehingga produk memiliki desain *direct-fit*, produk dapat dipasang dengan cepat dan presisi.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal diantara lain sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat produk komposit cover *shockbreaker* Vespa Sprint 150 yang memiliki motif serat karbon yang lebih terlihat dibandingkan perancangan sebelumnya Akbar (2024).
2. Telah berhasil membuat produk komposit Vespa Sprint 150 menggunakan metode compression molding.
3. Berdasarkan data nilai yang ada pada sampel produk dan produk referensi (produk asli), variasi lapisan mempengaruhi ketebalan, massa, dan kekakuan produk komposit secara keseluruhan. Semakin tebal variasi lapisan maka hasil ketebalan, massa, dan kekakuan semakin besar nilainya.
4. Produk COVTC3 menunjukkan performa paling seimbang dari segi ketebalan, massa, dan kekakuan serta tampilan visual motif serat karbonnya, dengan nilai toleransi seluruh titik ketebalan dibawah 13%, kekakuan sebesar 9,09% dan toleransi massa 11,63% terhadap produk referensi, sehingga paling mendekati karakteristik fungsional produk asli.

5.2 Saran Perancangan Selanjutnya

Berdasarkan perancangan yang sudah dilakukan terdapat beberapa saran untuk perancangan selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan percobaan untuk menambahkan proses *curing* dengan suhu yang lebih tinggi namun dengan waktu yang lebih singkat menggunakan mesin *press* dengan pemanas seperti *Hydraulic Hot Press* dan *Heated Platen Press* untuk mempersingkat proses *curing* pada pembuatan produk.
2. Perlu dilakukan perhitungan fraksi volume untuk mendapatkan data penggunaan serat carbon dan campuran resin & katalis bertujuan meningkatkan keberhasilan produk pada design eksperimen sebagai tahapan awal sebelum membuat produk komposit. Fraksi volume membantu menentukan berapa banyak serat karbon dan berapa banyak resin & katalis yang dibutuhkan agar produk kuat tetapi tidak rapuh atau terlalu berat (memaksimalkan penggunaan bahan). Penulis baru mendapatkan informasi ini setelah riset untuk menulis hasil dan pembahasan pada BAB 4.
3. Kebersihan selama proses produksi harus diperhatikan untuk menghindari kontaminasi dari luar yang dapat menyebabkan kecacatan pada produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. Faisal (2024). “Pembuatan Produk Komposit Cover *Shockbreaker* Vespa Sprint 150 Berpenguat *Chopped Carbon Fiber* Menggunakan Metode *Compression Molding*”. Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Boursier Niutta, C., Ciardiello, R., Tridello, A., & Paolino, D. S. (2023). Epoxy and bio-based epoxy *Carbon fiber Twill* composites: Comparison of the quasi-static properties. *Materials*, 16(4), 1601. <https://doi.org/10.3390/ma16041601>
- Dede, M. Fasial (2024). “Pembuatan Cetakan Two Plate Mold Berbahan Aluminium 5052 Untuk Mencetak Produk Komposit Cover Shockbreaker Vespa Sprint 150 Melalui Metode Compression Molding”. Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Farishi, M. Faisal (2024). “Pembuatan Produk Komposit Cover *Shockbreaker* Vespa Sprint 150 Menggunakan Prepeg Carbon Fiber Melalui Metode Compression Molding”. Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- easycomposites. (2021, April 15). How to *Compression* mould forged *Carbon* fibre components [Video]. YouTube. (demonstrasi ambient-temperature *Compression Molding* menggunakan resin dan serat)
- Jawaid, M., Thariq, M., & Abdul Khalil, H. P. S. (2018). *Green Biocomposites: Design and Applications*. Springer.
- Kumar, A., Jain, P. K., & Pathak, P. M. (2013). Reverse Engineering in Product Manufacturing: An Overview. In *DAAAM International Scientific Book* (pp. 665–678). Vienna, Austria: DAAAM International. <https://doi.org/10.2507/daaam.scibook.2013.39>
- Montgomery, D. C. (2017). *Introduction to Statistical Quality Control* (7th ed.). Wiley.
- Polini, W., & Corrado, A. (2019). Uncertainty in manufacturing of lightweight products in composite laminate—part 2: experimental validation. *The*

- International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 101(5–8), 1391–1400.
- Popan, I. A., Balci, N., Popan, A., & Carean, A. (2018). Experimental Study on Reverse Engineering in Case of Composite Materials Cut by Water Jet Cutting. MATEC Web of Conferences, 178, 03004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817803004>
- Putra, M. I., & Nugroho, G. (2021). Pengaruh *curing* time terhadap sifat mekanis komposit epoxy/serat karbon dan epoxy/serat gelas dengan metode manufaktur bladder *Compression Molding*. Journal of Mechanical Design and Testing, 3(1), 20–28. <https://doi.org/10.22146/jmdt.57205>
- “Schematic of *Compression Molding* machine using composite material” (2020). ResearchGate
- Vallmajo, O., Arteiro, A., Guerrero, J. M., Melro, A. R., Pupurs, A., & Turon, A. (2024). Micromechanical analysis of composite materials considering material variability and microvoids. International Journal of Mechanical Sciences, 263, Article 108781.
- Xie, X., Li, T., Zhang, H., & Wang, C. (2019). Effect of *Compression Molding* Process Parameters on the Mechanical Properties of *Carbon Fiber* Composites. Materials, 12(15), 2430. <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/15/2430>