

**PEMBUATAN CETAKAN *HANDLE* REM MOTOR
KAWASAKI KLX DENGAN METODE *3D PRINTING*
*STEREOLITHOGRAPHY***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Erlan Dwindi Batara

No. Mahasiswa : 18525024

NIRM : 2018020582

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

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri, bukan hasil plagiarisme dari karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila di kemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 6 Maret 2025



Erlan Dwindi Batara

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMBUATAN CETAKAN *HANDLE* REM MOTOR
KAWASAKI KLX DENGAN METODE *3D PRINTING*
*STEREOLITHOGRAPHY***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Erlan Dwindi Batara

No. Mahasiswa : 18525024

NIRM : 2018020582

Yogyakarta, 17 Februari 2025

Pembimbing I,



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PEMBUATAN CETAKAN *HANDLE* REM MOTOR
KAWASAKI KLX DENGAN METODE *3D PRINTING*
*STEREOLITHOGRAPHY***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Erlan Dwinda Batara
No. Mahasiswa : 18525024
NIRM : 2018020582

Tim Penguji

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

Ketua

Tanggal : 05/03/2025

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

Anggota I

Tanggal : 06/03/2025

Ir. Donny Suryawan, S.T., M.Eng., IPP

Anggota II

Tanggal :



Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan tugas akhir yang telah tersusun ini dipersembahkan kepada:

1. Keluarga saya yang telah mendukung saya selama tugas akhir ini.
2. Dosen pembimbing saya, Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP, yang telah membimbing saya serta memberi masukan selama tugas akhir.
3. Rekan-rekan dari Teknik Mesin UII yang juga telah memberikan bimbingan dan bantuan selama tugas akhir.

HALAMAN MOTTO

“Maka nikmat Allah yang manakah yang kamu dustakan?”

(QS. Ar-Rahman: 13)

“Bertindaklah, dan Tuhan juga akan bertindak.”

(Jeanne d’Arc)

“Saat kau mencapai akhir dari tali, ikatkan tali itu dan berpeganglah.”

(Franklin D. Roosevelt)

*“Kehebatan kita bukanlah dalam tidak pernah menerima kegagalan,
melainkan untuk bangkit kembali setelah setiap kegagalan.”*

(Confucius)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT. karena karunia dan rahmat-Nya, penulisan laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Penulisan laporan ini dilakukan untuk memenuhi kriteria untuk menyelesaikan studi sarjana di Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini menyinggung pembuatan cetakan produk *handle* rem sepeda motor Kawasaki KLX dengan *3D printing stereolithography* serta metode yang dijalankan.

Penulis hendak berterima kasih kepada keluarga, dosen pembimbing tugas akhir, yaitu Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP, serta rekan-rekan dari Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama penelitian dan penulisan laporan tugas akhir dilakukan.

Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun pada laporan yang telah dituliskan, agar dapat menjadi cerminan dan pembelajaran bagi penulis sehingga dapat membuat hasil yang lebih baik.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 17 Februari 2025



Erlan Dwindu Batara

ABSTRAK

3D printing stereolithography merupakan teknologi yang dapat mewujudkan produk dengan presisi, efisien, dan dapat membentuk produk-produk dengan kompleksitas yang tinggi. Salah satu penerapan teknologi ini adalah untuk membuat produk hasil *scanning* melalui metode *reverse engineering*. Dengan metode ini, sebuah produk dapat dimodifikasi dan dikembangkan dari produk yang sudah tersedia di pasaran. Tren modifikasi mengganti komponen kendaraan motor menggunakan material komposit menjadi kegemaran banyak pecinta otomotif saat ini. Untuk mewujudkannya, dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya adalah dengan metode *compression molding*. Salah satu kesulitan dalam pembuatan dengan metode *compression molding* adalah pelepasan produk dari cetakan apabila produk yang dibuat cukup tebal. Pada penelitian ini, produk yang dibuat adalah *handle* rem motor Kawasaki KLX. Produk tersebut dibuat cetakannya melalui teknologi *3D printing stereolithography* menggunakan resin *hard tough* yang dibagi menjadi 3 bagian, yaitu satu bagian *core* dan dua bagian *cavity* yang terpisah. Hasil *printing* yang didapatkan sudah baik akan tetapi berdasarkan percobaan pembuatan produk menunjukkan bahwa produk komposit karbon dan resin epoksi tidak dapat dilepas dengan mudah dari cetakan. Hal ini disebabkan oleh resin yang lengket pada cetakan sehingga dibutuhkan proses tambahan untuk pelepasan produk.

Kata kunci: Cetakan, *3D Printing Stereolithography*, *Kawasaki KLX*

ABSTRACT

Stereolithography 3D printing is a technology that is able to create products with high complexity with high precision and efficiency. One of these technology implementations is to create scanned products through reverse engineering. With this method, a product can be modified and developed from already available products in the market. Modification trend to replace automotive components using composite materials has become a liking to automotive users today. In order to accomplish this, it can be done with multiple methods, with one of them being compression molding. One of the difficulties in creating products with compression molding is releasing the created product from the mold if the created product is quite thick. In this research, the created product is a lever brake of Kawasaki KLX motorcycle. The mold of this product was made using stereolithography 3D printing technology with hard tough resin into three parts, which are one core part and two separated cavity parts. The product from printing showed a good result, although the experiment on creating the product showed that the composite product of carbon and epoxy resin was unable to be released from the molds easily. This occurred due to the epoxy resin that was stuck with the mold, thus requiring additional processes to release the product.

Keywords: molds, stereolithography 3D printing, Kawasaki KLX

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Pernyataan Keaslian	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak	viii
<i>Abstract</i>	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 <i>Reverse Engineering</i>	7
2.2.2 <i>3D Scanning</i>	8
2.2.3 <i>3D Printing Stereolithography</i>	9
2.2.4 <i>Compression Molding</i>	10
2.2.5 Resin	11
Bab 3 Metode Penelitian	12
3.1 Alur Penelitian	12
3.2 Peralatan dan Bahan.....	13

3.2.1	Alat	13
3.2.2	Bahan	15
3.3	Kriteria Produk	17
3.4	Alur Pembuatan Produk.....	17
3.5	Proses Pembuatan Produk.....	17
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	20
4.1	Hasil <i>Scanning</i> dan Desain Produk.....	20
4.2	Hasil Pembuatan Cetakan	34
4.3	Hasil Pengujian Cetakan.....	37
Bab 5	Penutup.....	41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	41
Daftar Pustaka	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Alat Penelitian.....	13
Tabel 3-2 Bahan Penelitian.....	15

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 <i>Reverse Engineering</i> antara B-29 <i>Superfortress</i> dan Tupolev Tu-4 ..	8
Gambar 2-2 Proses <i>3D Scanning</i>	8
Gambar 2-3 Proses <i>3D Printing Stereolithography</i>	9
Gambar 2-4 Proses <i>Compression Molding</i>	10
Gambar 2-5 Contoh Penggunaan Produk dari Resin <i>Tough</i>	11
Gambar 3-1 Alur Penelitian.....	12
Gambar 3-2 Alur Pembuatan Cetakan.....	17
Gambar 3-3 Pengaturan <i>3D Printing</i>	18
Gambar 3-4 Pengaturan Tumpuan <i>3D Printing</i>	18
Gambar 3-5 Proses Pengecatan <i>Handle Rem</i>	19
Gambar 3-6 Proses <i>3D Scanning</i>	19
Gambar 4-1 Hasil <i>Scanning</i>	20
Gambar 4-2 Sketsa Produk Mengikuti Alur Hasil <i>3D Scanning</i>	20
Gambar 4-3 Hasil <i>Extrude Sketsa</i>	21
Gambar 4-4 Sketsa Bagian Samping	21
Gambar 4-5 Proses <i>Extrude Cut</i> pada Bagian Samping	21
Gambar 4-6 Bagian Lubang <i>Handle Rem</i>	22
Gambar 4-7 Bagian Bawah dari <i>Handle Rem</i>	22
Gambar 4-8 Proses <i>Extrude</i> pada Bagian <i>Handle Rem</i>	22
Gambar 4-9 Proses <i>Extrude Cut</i> pada Bagian Bawah <i>Handle Rem</i>	23
Gambar 4-10 Pembuatan Bagian Bola pada <i>Handle Rem</i>	23
Gambar 4-11 Penggunaan Fitur <i>Combine</i> pada <i>Handle Rem</i>	23
Gambar 4-12 <i>Extrude Cut</i> pada Bagian Bawah Bola.....	24
Gambar 4-13 Lingkaran pada Bagian Bawah Bola	24
Gambar 4-14 Proses <i>Extrude Cut</i> pada Bagian Bola.....	24
Gambar 4-15 Pengaturan <i>Fillet Variable</i> pada Bagian Atas <i>Handle Rem</i>	25
Gambar 4-16 Hasil <i>Fillet</i> pada Bagian Atas <i>Handle Rem</i>	25
Gambar 4-17 Pengaturan <i>Fillet Variable</i> pada Bagian Bawah <i>Handle Rem</i>	26
Gambar 4-18 Hasil <i>Fillet Variable</i> pada Bagian Bawah <i>Handle Rem</i>	26

Gambar 4-19 Hasil <i>Fillet Constant</i> pada berbagai bagian, yaitu (A) bagian bola, (B) bagian tonjolan dan lubang, dan (C) bagian bawah <i>handle</i> rem.	27
Gambar 4-20 Proses <i>Loft</i> pada Desain <i>Handle</i> Rem	27
Gambar 4-21 Sketsa Bagian Samping	28
Gambar 4-22 Proses <i>Extrude Cut</i> pada Bagian Samping	28
Gambar 4-23 Hasil Desain Ulang <i>Handle</i> Rem KLX	28
Gambar 4-24 Balok Dasar untuk Desain Cetakan	29
Gambar 4-25 Hasil <i>Loft</i> pada Desain	29
Gambar 4-26 Proses <i>Boundary Fill</i>	30
Gambar 4-27 Pemisahan <i>Cavity</i> Menggunakan Fitur <i>Split</i>	30
Gambar 4-28 Pembuatan Lubang untuk Mur dan Baut.....	31
Gambar 4-29 Proses <i>Extrude Cut</i> pada Bagian Ujung	31
Gambar 4-30 <i>Core</i> Cetakan Awal	32
Gambar 4-31 Sketsa pada <i>Core</i>	32
Gambar 4-32 <i>Extrude Cut</i> pada <i>Core</i>	32
Gambar 4-33 Desain cetakan dengan (A) sebagai <i>cavity</i> , (B) dan (C) sebagai kedua bagian <i>cavity</i> yang terpisah, dan (D) sebagai <i>core</i>	33
Gambar 4-34 <i>Core</i> Cetakan dengan Penyangga.....	33
Gambar 4-35 <i>Cavity</i> Cetakan dengan Penyangga	34
Gambar 4-36 <i>Cavity</i> Sebelum Dilepas dari Pelat <i>3D Printer</i>	34
Gambar 4-37 <i>Core</i> Sebelum Penyangga Dilepas	35
Gambar 4-38 <i>Cavity</i> dengan Penyangga	35
Gambar 4-39 Proses <i>Curing</i>	36
Gambar 4-40 <i>Cavity</i> dalam Bentuk Tersambung Setelah Proses <i>Curing</i>	36
Gambar 4-41 Penekanan Produk dengan Klem C	37
Gambar 4-42 Hasil Setelah Penekanan	37
Gambar 4-43 Perendaman dengan Air Panas	38
Gambar 4-44 Produk Menempel pada Satu Bagian <i>Cavity</i>	38
Gambar 4-45 Pembersihan Bagian Atas <i>Cavity</i>	38
Gambar 4-46 Perendaman pada Satu Bagian <i>Cavity</i>	39
Gambar 4-47 Pelepasan Produk dari Cetakan	39
Gambar 4-48 Produk Terlepas dari Cetakan	39

Gambar 4-49 Cetakan Setelah Produk Terlepas.....40

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembuatan sebuah produk dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, seperti sebagai contoh adalah metode *reverse engineering* yang dimulai dengan pengukuran digital dengan berbagai cara, seperti *probing* atau *3D scanning*. Data tersebut kemudian dapat dilakukan pengolahan dengan bantuan *computer aided design* atau CAD, yang dapat menghasilkan desain baru. Metode tersebut dapat diwujudkan dengan berbagai macam cara dan salah satu proses produksi tersebut adalah *compression molding*. Proses produksi tersebut melibatkan cetakan dengan dua bagian, yaitu *core* yang digunakan sebagai penekan dan memadatkan material, dan *cavity* yang memiliki bentuk utama produk dan tempat material. Proses ini dilakukan dengan memberi tekanan pada bagian *core* dan kemudian ditinggal sampai material mengeras dalam bentuk produk yang telah didesain seperti yang terbentuk pada *cavity*.

Tantangan dalam proses pembuatan *core* dan *cavity* adalah dalam membuka cetakan dengan desain produk yang cukup tebal dan kompleks. Desain cetakan dengan bagian lebih dari dua merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk pembuatan produk yang cukup rumit, termasuk *handle* rem sepeda motor. Metode pemasangan dan pelepasan cetakan selama siklus produksi dilakukan juga perlu dipertimbangkan, agar proses produksi dan pelepasan produk dapat berjalan lancar. Metode seperti perpisahan cetakan pada bagian *cavity* agar produk mudah diambil keluar proses selesai dan pemasangan mur dan baut agar kedua bagian tidak bergeser selama proses produksi telah dipertimbangkan.

Penggunaan material komposit dalam dunia otomotif semakin meningkat mengikuti peningkatan pasar otomotif yang diperkirakan dapat mencapai 11% dari tahun 2023 sampai 2029. Hal ini didasari oleh potensi dari berbagai bagian otomotif yang dapat menjadi lebih ringan dikarenakan material komposit yang digunakan, yang juga dapat berdampak pada penggunaan energi yang lebih rendah, baik pada kendaraan bermesin pembakaran internal maupun listrik. Faktor lain

yang menjadi pendorong dalam penggunaan komposit dalam dunia otomotif adalah properti material yang dapat memiliki nilai yang baik dan tetap ringan, dengan pilihan material komposit yang luas, tergantung pada kebutuhan desain (Exactitude Consultancy, 2023).

Motor KLX merupakan motor jenis *trail* buatan Kawasaki yang ditujukan untuk pasar motor *sport* dan versi yang sering muncul di pasar adalah versi dengan mesin 150cc. Motor ini merupakan produk yang cukup populer, yang ditunjukkan oleh nilai penjualan yang mengisi 60 persen dari seluruh penjualan Kawasaki pada tahun 2023 (Kompas Cyber Media, 2023), dan penjualan motor tersebut ditargetkan mencapai 20.000 unit (AutoFun, 2023). Karena motor KLX merupakan motor yang cukup populer, maka ketersediaan aksesoris yang terkait dengan motor tersebut juga meningkat. Salah satu aksesoris yang dapat muncul adalah *handle* rem yang dapat terbuat dari berbagai macam material dan metode produksi.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pembuatan aksesoris *handle* rem motor Kawasaki KLX dengan memanfaatkan teknologi *3D printing stereolithography* untuk pembuatan cetakan yang mudah dilepas saat proses pencetakan selesai.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah dibuat terkait dengan penelitian yang telah dijalankan, dan beberapa pertanyaan tersebut antara lain:

1. Bagaimana cara membuat cetakan *handle* rem sepeda motor Kawasaki KLX dengan metode *reverse engineering*?
2. Bagaimana cara membuat cetakan yang mudah dibuka saat pelepasan produk komposit?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal antara lain sebagai berikut:

1. Objek penelitian yang digunakan adalah *handle* rem untuk sepeda motor Kawasaki KLX.
2. Proses *reverse engineering* dilakukan dengan menggunakan alat *3D scanner* berupa Sense Pro.
3. Perangkat lunak yang digunakan untuk merancang ulang produk dan pembuatan cetakan adalah Autodesk Fusion 360.
4. Proses pembuatan cetakan menggunakan metode *3D printing stereolithography* dengan menggunakan mesin Anycubic Photon Mono X dan
5. Resin yang digunakan adalah resin eSUN *hard tough*.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari pembuatan cetakan ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat cetakan *handle* rem sepeda motor Kawasaki KLX dengan menggunakan metode *reverse engineering*.
2. Membuat cetakan yang mudah dibuka saat pelepasan produk komposit.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Pembuatan cetakan ini diharapkan dapat mengajukan ide baru untuk membuat cetakan, yang kali ini hanya digunakan untuk metode *compression molding* yang relatif sederhana.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan pada tugas akhir ini dapat diuraikan menjadi lima bagian sebagai berikut:

1. Bab 1. Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan tugas akhir.

2. Bab 2. Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang kajian pustaka dan dasar teori yang mendasari penelitian pada tugas akhir ini.

3. Bab 3. Metode Penelitian

Bab ini menunjukkan alur penelitian, peralatan dan bahan dan perancangan yang berisi tentang perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

4. Bab 4. Hasil Pembahasan

Bab ini menunjukkan hasil perancangan, hasil penelitian, serta analisis dan pembahasan dari pelaksanaan tugas akhir yang telah dijalankan.

5. Bab 5. Penutup

Berisi tentang kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penggunaan metode *reverse engineering* dapat dilakukan dalam berbagai bidang, termasuk bidang otomotif. Hal ini ditunjukkan pada penelitian untuk menjalankan digitalisasi pada suatu bagian otomotif, yang pada penelitian yang dilakukan digunakan *fender* bagian kiri untuk mobil Volkswagen Polo model 6N2. Proses dilakukan dengan melakukan *3D scanning* dengan hasil *point cloud* atau titik koordinat yang menumpuk dan tidak dibutuhkan, sehingga dilakukan penyaringan data dan kemudian pembuatan jaringan poligon atau *mesh*. Setelah itu, pembuatan ulang permukaan dan juga modifikasi dilakukan (Štefan & Janette, 2022).

Penerapan dalam bidang otomotif juga ditunjukkan oleh pengujian yang dilakukan dengan subjek Škoda Fabia I. Metode yang dijalankan meliputi *3D scanning*, pengolahan data, dan kemudian *3D printing* yang berfokus pada pintu depan dan belakang serta spion pada mobil. Hasil yang didapatkan adalah produk otomotif yang dibuat dalam skala yang telah dkecilkan dengan material ABS. Produk dibuat dalam skala kecil karena hanya ditujukan untuk menunjukkan inti dari kemungkinan yang dapat dilakukan dalam *reverse engineering* (Fabian et al., 2024).

Penelitian dalam pembuatan produk dengan metode *3D printing stereolithography* atau SLA sudah dilakukan dengan parameter sudut derajat dalam proses *printing*. Penelitian dilakukan dengan subjek geligi buatan yang berasal dari model yang telah dilakukan *3D scanning* yang kemudian dibuat dengan *3D printing* dalam tiga sudut berbeda, yaitu 0°, 45°, dan 90°. Produk yang telah dibuat kemudian dilakukan pengecekan pada akurasi *printing* dengan *3D scanner* dan perangkat lunak untuk menganalisis hasil produk. Hasil yang didapatkan adalah produk yang memiliki akurasi paling tinggi secara keseluruhan adalah produk dengan pengaturan *printing* 45°, diikuti oleh sudut 90° dan 0° (Hada et al., 2020).

Penelitian yang serupa dengan pengaturan sudut dalam pembuatan produk dengan metode *3D printing* SLA juga pernah dilakukan, walaupun subjek yang diteliti adalah nilai mekanik dari produk yang dihasilkan. Produk tes yang akan digunakan adalah produk yang terbuat dari resin *Castable Wax VI*. Desain yang digunakan adalah ASTM D695 untuk uji tekan dan ASTM D638 tipe IV untuk uji tarik. Hasil dari kedua pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan dari produk akan meningkat mengikuti peningkatan derajat dari proses pembuatan produk (Nga et al., 2024).

Cetakan untuk pembuatan suatu produk sering dibuat dengan menggunakan material logam yang diolah dengan metode CNC yang dikenal berumur panjang dan mahal. Metode untuk membuat cetakan dengan *3D printing* mulai dikembangkan dan diterapkan, dan salah satu percobaan tersebut menggunakan material *CarbonPA* untuk pembuatan cetakan. Material tersebut dikeringkan dan material dijaga dalam mesin pengering selama proses *3D printing* agar mengurangi kelembaban yang mengurangi nilai properti mekanik pada material. Cetakan diuji dengan proses pemanasan yang dapat terjadi selama pembuatan produk berjalan dan kemudian didinginkan. Cetakan kemudian diukur dan dibandingkan antara sebelum dan setelah pemanasan. Hasil ditunjukkan bahwa terdapat deformasi yang signifikan setelah cetakan dipanaskan dalam suhu 120°C selama dua jam (Bianchi et al., 2023).

Cetakan dengan bagian terpisah sering digunakan untuk pembuatan produk berukuran sedang sampai besar. Produksi yang dilakukan dengan struktur tertutup ini dilakukan agar dapat memenuhi nilai akurasi dimensi yang diinginkan pada suatu produk yang akan dibuat. Penelitian yang pernah dilakukan adalah pembuatan *monocoque* dari mobil Formula 1 jenis RB6. Pembuatan dilakukan dengan menggunakan empat bagian cetakan negatif dan material fiber karbon dan produk berhasil dibuat (Skovajsa et al., 2020).

Penelitian dalam pembuatan produk dengan *compression molding* dan material serat karbon potongan telah dilakukan, dengan material yang digunakan secara spesifik adalah *bulk molding compound* atau BMC termoplastik. Dilakukan pengujian tarik pada material dan ditemukan kegagalan terjadi karena gelombang serat dari ketebalan produk uji dan kemungkinan tegangan antar lapisan serat.

Pembuatan produk dilakukan dengan mesin cetakan yang sudah didesain secara spesifik untuk material termoplastik, yaitu mesin yang dapat mengatur panas pada titik-titik tertentu, agar material tidak meleleh. Desain produk dibuat dengan tonjolan-tonjolan dan bingkai yang dalam agar dapat menunjukkan bahwa material dapat masuk ke dalam desain yang sempit dan dalam. Hasil produk yang didapatkan terdapat beberapa kendala, namun dapat diatasi dengan peralatan dan perangkat lunak yang sudah beredar di pasaran (Howell et al., 2014).

Pengujian dalam perendaman resin ke dalam air panas telah dilakukan dengan air panas 80°C dan rentang waktu 50 sampai 1000 jam pada material komposit resin *polyester* dan *fiberglass*. Pengujian dilakukan dalam faktor penyerapan air, kekerasan Vickers, serta kekuatan gaya geser antar lapisan dari spesimen, serta erosi yang dilakukan dengan menggunakan spesimen yang rusak. Hasil yang didapatkan adalah resin menjadi lebih lunak dan campuran dari komposit menjadi rusak setelah direndam air panas, dan nilai-nilai pengujian semakin menurun dengan semakin tinggi waktu perendaman dilakukan. Dalam pengujian erosi, penurunan kekerasan resin menyebabkan kecepatan erosi menurun, sedangkan penurunan kekuatan ikatan komposit meningkatkan kecepatan erosi (Miyazaki & Funakura, 1998).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Reverse Engineering*

Reverse engineering adalah proses pengukuran, analisis, dan tes untuk membuat ulang cerminan gambar dari sebuah objek. Proses ini dapat digunakan untuk membuat ulang berbagai produk, baik komersial atau sejarah, dan juga sering digunakan dalam berbagai bidang. Proses ini juga semakin berkembang karena perkembangan teknologi, dan salah satu teknologi tersebut adalah *3D scanning* (Wang, 2011).

Reverse engineering dapat diartikan sebagai kemampuan untuk membuat ulang bentuk dari produk yang sudah ada dan didasarkan dari pembuatan versi digital dari objek atau permukaan yang kemudian dapat dibuat menjadi cetakan. *Scanning* laser tanpa kontak dapat digunakan pada berbagai produk, termasuk

benda yang lunak sehingga tidak mengubah dimensi atau merusak permukaan produk. Proses *3D scanning* dapat mendapatkan data dari produk secara cepat dan akurat, sehingga dapat mengurangi waktu kerja untuk mendokumentasi suatu produk. Data yang didapatkan juga dapat dimodifikasi dan diperbarui agar sesuai aplikasi yang dibutuhkan (Edl et al., 2018). Contoh dari suatu *reverse engineering* yang pernah dilakukan pada proyek pembuatan Tupolev Tu-4 dari desain B-29 *Superfortress* ditunjukkan pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1 *Reverse Engineering* antara B-29 *Superfortress* dan Tupolev Tu-4
(Sumber: Wang, 2011)

2.2.2 *3D Scanning*

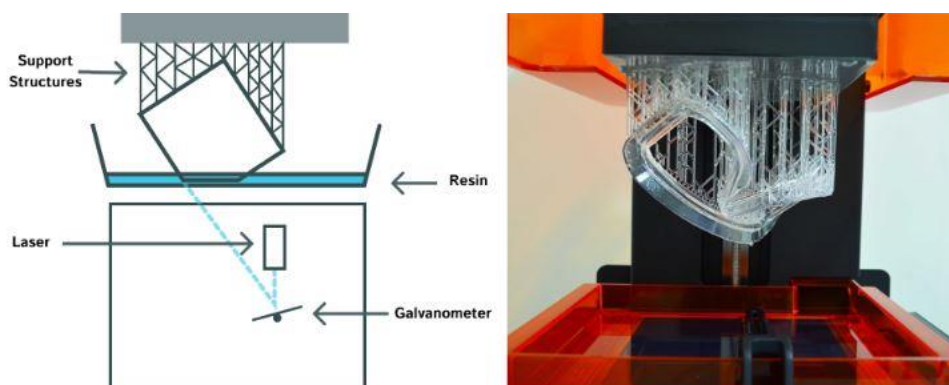
Proses *3D scanning* merupakan proses memindah produk tanpa data komputer ke dalam lingkungan komputer, agar dapat diolah oleh teknologi modern dalam dunia industri. Proses ini bekerja dengan cara memproyeksikan sumber cahaya pada material dan melakukan digitalisasi jutaan titik proses fotografi kamera dengan cahaya yang dipantulkan yang menghasilkan data yang disebut *point cloud* (Yalçinkaya et al., 2018). Contoh proses *3D scanning* yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2 Proses *3D Scanning*
(Sumber: Yalçinkaya et al., 2018)

2.2.3 3D Printing Stereolithography

Stereolithography atau SLA merupakan metode *3D printing* yang dilakukan dengan mengeringkan resin dengan menggunakan cahaya ultraviolet atau UV. Proses produksi ini dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu persiapan desain dengan perangkat lunak *slicing*, dan *printing* dan proses lanjutan untuk produk. Ukuran dan orientasi model dapat disesuaikan untuk proses pembuatan produk, dan secara umum orientasi yang direkomendasikan adalah 30° dari pelat *printer*, agar resin dapat mengalir jatuh dan mengurangi risiko kegagalan. Penerapan *slicing* dapat dilakukan penyetelan pada ketebalan lapisan, waktu penyinaran, serta kecepatan dan jarak pelat *printer* bergerak. Pengaturan ini tergantung pada resin yang akan digunakan. Penyangga juga dibutuhkan dalam proses pembuatan produk, agar memberikan tumpuan struktural dan bantuan bidang kontak dengan pelat *printer*. Setelah proses pembuatan produk dilakukan, dibutuhkan proses lanjutan dengan melakukan pembersihan dengan alkohol isopropil dan *curing* selama sekitar 30 menit (Idris et al., 2022). Metode serta hasil dari proses *3D printing stereolithography* ditunjukkan pada Gambar 2-3 sebagai berikut.



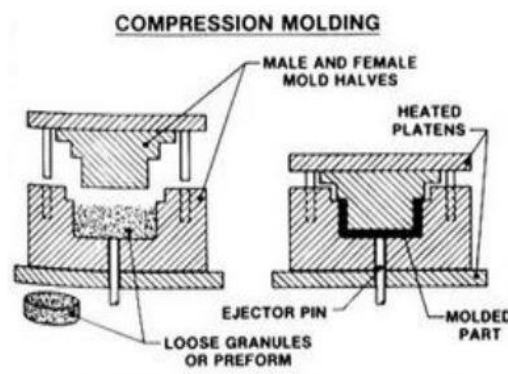
Gambar 2-3 Proses 3D Printing Stereolithography

(Sumber: Zhou et al., 2024)

2.2.4 *Compression Molding*

Compression molding adalah metode pembuatan produk komposit dengan metode cetakan tertutup yang menggunakan tekanan pada cetakan yang kemudian sering diberikan pemanas agar material dapat terbentuk sesuai cetakan. Metode ini sering digunakan dalam skala industri dan jarang digunakan dalam skala yang lebih kecil karena harga mesin yang bersangkutan dapat terbilang mahal (Hasanah & Muslimin, 2020).

Dalam metode *compression molding*, material ditekan dengan tekanan yang cukup pada permukaan cetakan dalam cetakan tertutup sampai produk mengeras. Metode ini dapat dilakukan dengan menggunakan cetakan tangan atau cetakan mesin sehingga kedua bagian dapat tetap pada penekan. Keunggulan dari metode ini adalah dapat membuat produk besar dan cukup rumit. *Compression molding* juga termasuk metode *molding* yang paling murah karena tidak menghasilkan banyak sisa (Soffie, 2016). Proses *compression molding* ditunjukkan pada Gambar 2-4.

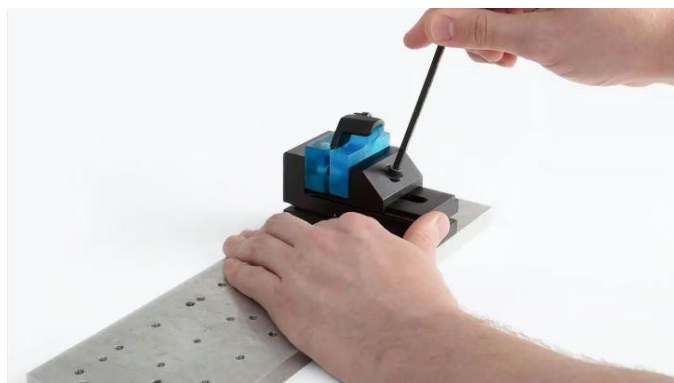


Gambar 2-4 Proses *Compression Molding*

(Sumber: Soffie, 2016)

2.2.5 Resin

Terdapat berbagai macam proses *3D printing* menggunakan resin selain metode *stereolithography*, yaitu *masked stereolithography* (MSLA/LCD) dan *digital light processing* (DLP). Ketiga metode tersebut memiliki dasar yang sama, yaitu membentuk resin dengan metode *curing* dengan cahaya, namun dengan kriteria yang berbeda-beda, sehingga dapat menghasilkan hasil yang beragam. Pada resin sendiri, terdapat nilai mekanik yang beragam tergantung pada resin yang digunakan, termasuk dalam kekuatan seperti daya tarik, kelenturan, serta dampak. Perbandingan pada setiap resin juga tidak selalu sama, namun dapat dibuat garis besar dalam kriteria tersebut, yaitu pada resin standar, kekuatan daya tarik resin dapat mencapai 40 sampai 50 MPa, kelenturan yang mencapai 50 sampai 60 MPa, serta kekuatan dampak yang cukup rapuh. Pada resin tangguh atau *tough*, resin memiliki daya tarik dan kelenturan yang lebih tinggi, yaitu masing-masing 70 MPa dan 100 MPa, sedangkan pada kekuatan dampak, resin *tough* lebih ditujukan untuk menyerap dampak. Resin dengan performa tinggi memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedua resin yang telah dijelaskan, dengan kekuatan daya tarik dan kelenturan yang masing-masing mencapai 90 MPa dan 130 MPa. Namun pada kekuatan dampak, resin performa tinggi dapat memiliki nilai yang bermacam-macam, tergantung pada fokus desain pada resin yang digunakan (Pal, 2024). Karena nilai mekanik dari resin *tough* yang tinggi, produk yang terbuat dapat diaplikasikan pada pekerjaan yang membutuhkan daya tahan yang cukup tinggi seperti ragum yang ditunjukkan pada Gambar 2-5.



Gambar 2-5 Contoh Penggunaan Produk dari Resin *Tough*

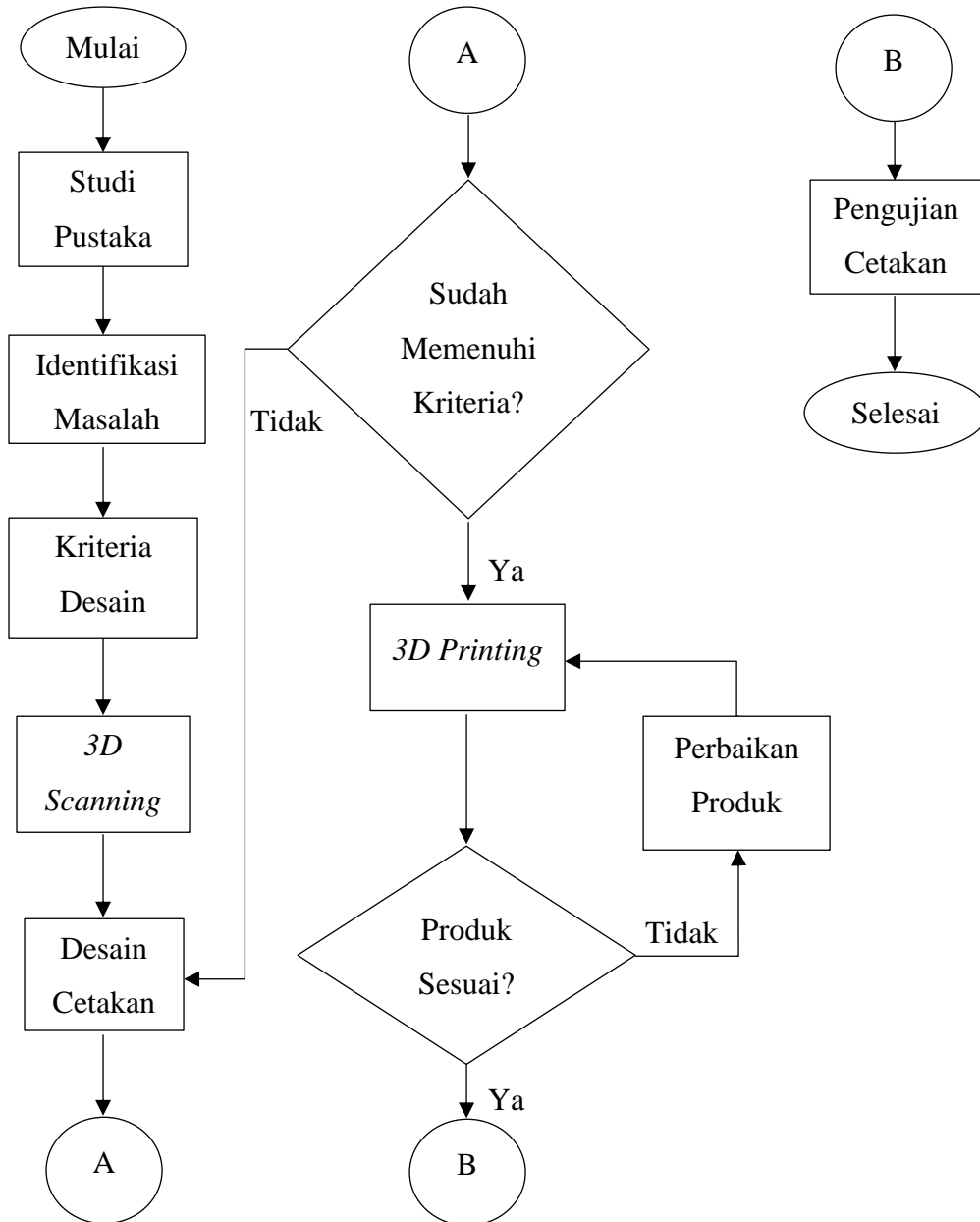
(Sumber: Pal, 2024)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1 Alur Penelitian





3.2 Peralatan dan Bahan




Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan cetakan *handle* rem adalah sebagai berikut:



3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dituliskan ke dalam Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Alat Penelitian

No.	Nama	Fungsi	Gambar
1.	<i>Handle</i> rem Kawasaki KLX	Objek utama penelitian yang akan dilakukan <i>3D scanning</i>	
2.	Laptop dan PC	Pengolah data yang telah didapatkan dengan menggunakan perangkat lunak.	
3.	<i>3D scanner</i> 3D SensePro	Digunakan untuk mendapatkan data utama dari objek yang kemudian dapat dilakukan desain cetakan.	
4.	<i>3D printer</i> <i>Stereolithography</i> Anycubic Photon Mono X	Alat pembuat cetakan yang menjadi inti utama penelitian.	


5.	Mesin <i>curing</i>	Pengeras resin agar produk yang telah dibuat menjadi lebih kuat.	
6.	Sekop plastik dan besi	Digunakan untuk melepaskan produk dari mesin <i>3D printer</i> .	
7.	Mur dan baut	Digunakan untuk menahan cetakan dari samping agar cetakan tidak bergerak selama digunakan.	
8.	Kuas	Pengolesan <i>wax</i> dan pemasangan komposit ke dalam cetakan digunakan dengan alat ini.	
9.	Klem C	Penahan antara bagian atas dan bawah cetakan selama pembuatan produk berlangsung.	
10.	Baskom	Tempat perendaman cetakan.	







11.	Gerinda tangan	Alat untuk membersihkan komposit dari bagian atas <i>cavity</i> .	
12.	<i>Multitool</i>	Digunakan untuk melepas produk dari cetakan.	

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses *3D printing* dan pembuatan produk ditunjukkan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Bahan Penelitian

No.	Nama	Fungsi	Gambar
1.	Cat putih	Melapisi <i>handle</i> rem agar dapat terbaca oleh <i>3D scanner</i> .	
2.	Resin eSUN <i>Hard Tough</i>	Resin yang digunakan untuk membuat cetakan dengan mesin <i>3D printer stereolithography</i>	

3.	Alkohol isopropil	Cairan untuk membersihkan alat dan produk dari resin yang berlebih, serta digunakan untuk mempermudah pelepasan produk dari pelat <i>3D printer</i> .	
4.	Sarung tangan lateks	Pelindung tangan selama menangani produk setelah <i>3D printing</i> dan pengujian cetakan.	
5.	Tisu	Pembersih universal.	
6.	Karbon potongan	Bahan utama dalam pembuatan material komposit untuk pengujian cetakan.	
7.	Resin epoksi	Juga merupakan bahan utama dalam pembuatan material komposit.	
8.	<i>Molding wax</i>	Pelapis cetakan agar produk dapat mudah untuk dilepas dari cetakan.	

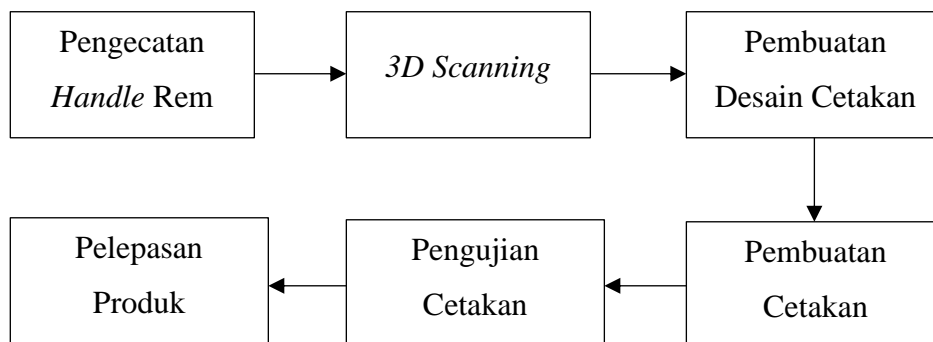
3.3 Kriteria Produk

Kriteria dalam pembuatan cetakan adalah sebagai berikut.

1. Desain dapat dimodifikasi dengan mengikuti dasar bentuk produk yang telah di-*scan*.
2. Cetakan dapat dibuka menjadi tiga bagian saat pelepasan produk komposit.

3.4 Alur Pembuatan Produk

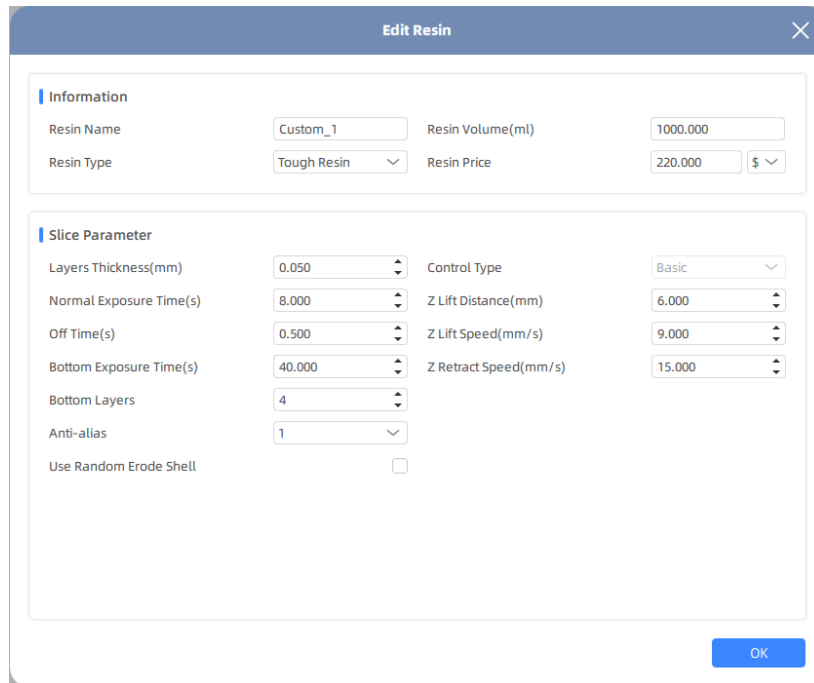
Proses pembuatan cetakan dilakukan dengan aliran yang ditunjukkan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2 Alur Pembuatan Cetakan

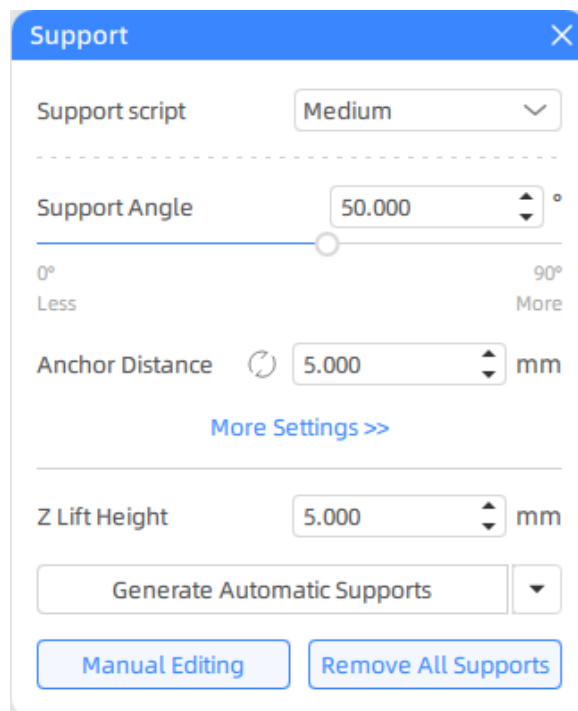
3.5 Proses Pembuatan Produk

Pembuatan cetakan ini dilakukan dengan menggunakan mesin *3D printing* Anycubic Photon Mono X, dan untuk proses pencetakan dibutuhkan pembuatan pengaturan yang tepat, agar resin dapat terbentuk menjadi cetakan. Pengaturan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3 Pengaturan *3D Printing*

Proses pencetakan dibutuhkan penumpu karena posisi produk yang akan dicetak diatur menjadi miring 10° sampai 15° seperti yang disarankan oleh Anycubic, agar cetakan tidak menerima terlalu banyak tekanan pada satu waktu. Pengaturan untuk penumpu tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4 Pengaturan Tumpuan *3D Printing*

Perancangan dilakukan dengan menggunakan *3D scanning* dan kemudian diolah menggunakan Autodesk Fusion 360 yang juga akan digunakan untuk proses pembuatan desain cetakan *handle* rem. Perancangan dimulai dengan pemberian cat putih pada *handle* rem KLX, agar produk dapat terbaca saat dilakukan *scanning*. Proses dan hasil produk setelah dicat ditunjukkan pada Gambar 3-5.



Gambar 3-5 Proses Pengecatan *Handle* Rem

Objek kemudian dilakukan *scanning* agar didapatkan data yang dapat digunakan sebagai dasar desain. Proses *scanning* yang dilakukan seperti Gambar 3-6.



Gambar 3-6 Proses *3D Scanning*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

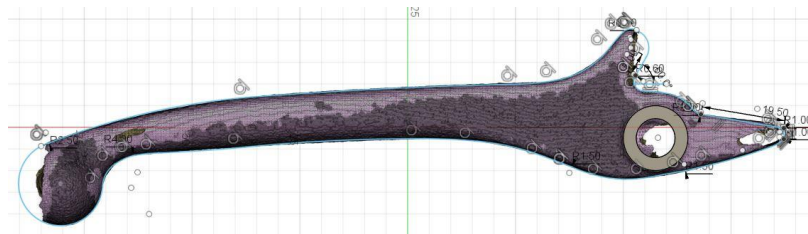
4.1 Hasil *Scanning* dan Desain Produk

Hasil *scanning* yang didapatkan belum dapat digunakan untuk proses *3D printing* secara langsung, karena terdapat kerusakan pada berbagai titik dan permukaan yang tidak halus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-1.



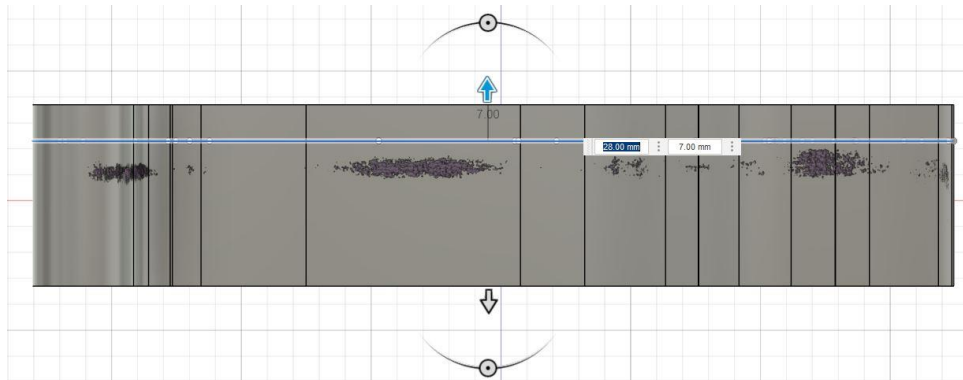
Gambar 4-1 Hasil *Scanning*

Hasil *scanning* kemudian diproses ulang menggunakan Autodesk Fusion 360 agar dapat dilakukan proses selanjutnya, yang dibutuhkan format *file* “.stl”. Proses desain ulang tersebut dilakukan dengan membuat sketsa pada bidang mengikuti alur produk seperti pada Gambar 4-2.



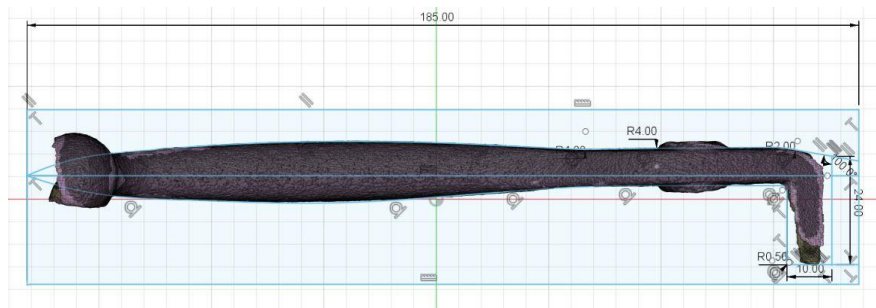
Gambar 4-2 Sketsa Produk Mengikuti Alur Hasil *3D Scanning*

Sketsa tersebut kemudian digunakan untuk membentuk desain produk dengan menggunakan metode *extrude* yang ditunjukkan pada Gambar 4-3.



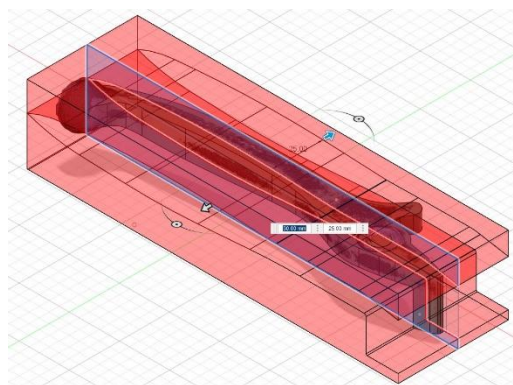
Gambar 4-3 Hasil *Extrude* Sketsa

Untuk membentuk produk dari bagian samping, dilakukan sketsa mengikuti alur dari hasil *scanning* seperti pada Gambar 4-4.



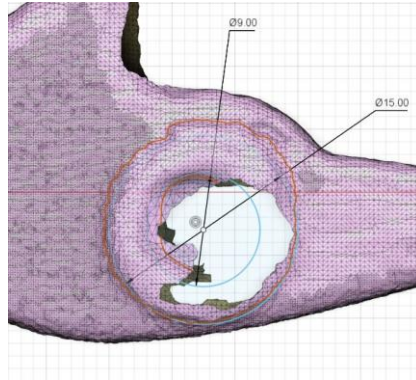
Gambar 4-4 Sketsa Bagian Samping

Sketsa tersebut kemudian digunakan untuk melakukan *extrude cut* untuk membentuk produk yang mengikuti hasil *3D scanning* yang ditunjukkan pada Gambar 4-5.

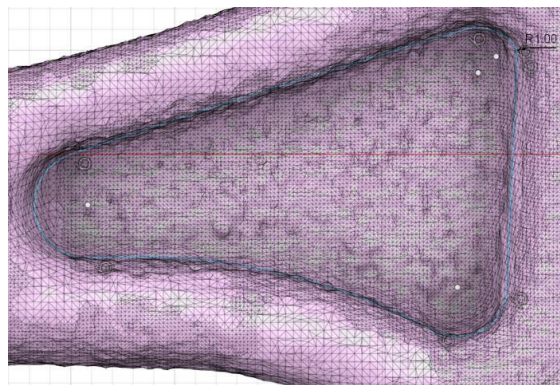


Gambar 4-5 Proses *Extrude Cut* pada Bagian Samping

Bagian-bagian lain seperti lubang dan tonjolan dibuat dengan sketsa mengikuti bentuk *handle* rem yang telah dilakukan *3D scanning* seperti pada Gambar 4-6 dan Gambar 4-7.

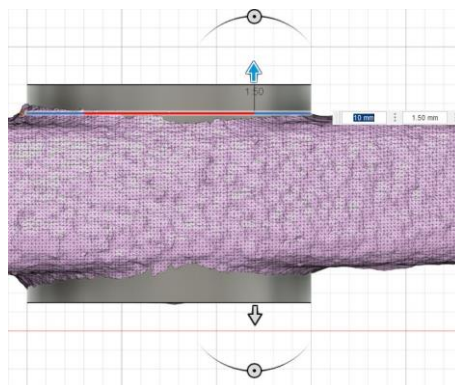


Gambar 4-6 Bagian Lubang *Handle* Rem

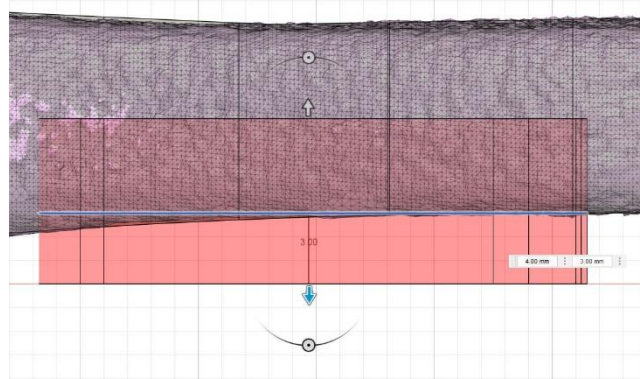


Gambar 4-7 Bagian Bawah dari *Handle* Rem

Sketsa yang telah dibuat kemudian digunakan untuk proses *extrude* dan *extrude cut* yang akan membentuk desain mengikuti hasil *3D scanning* seperti pada Gambar 4-8 dan Gambar 4-9.

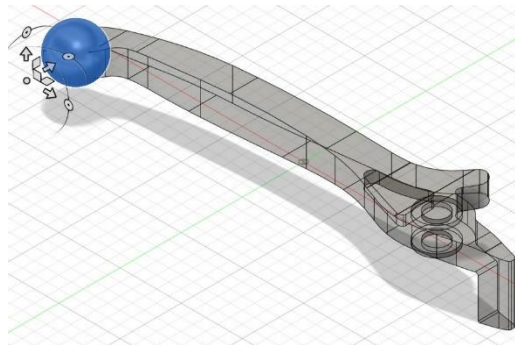


Gambar 4-8 Proses *Extrude* pada Bagian *Handle* Rem



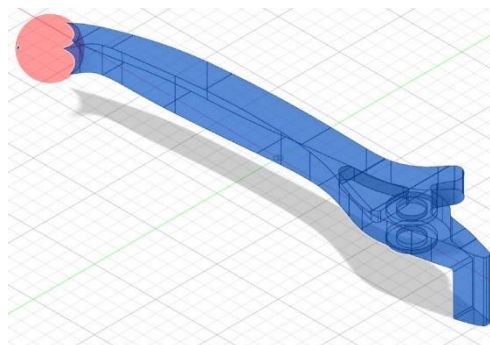
Gambar 4-9 Proses *Extrude Cut* pada Bagian Bawah *Handle Rem*

Bagian bola pada bagian ujung dibuat dengan menggunakan fitur *sphere* dengan diameter 20mm dan dipindahkan ke posisi ujung *handle* rem seperti pada Gambar 4-10.



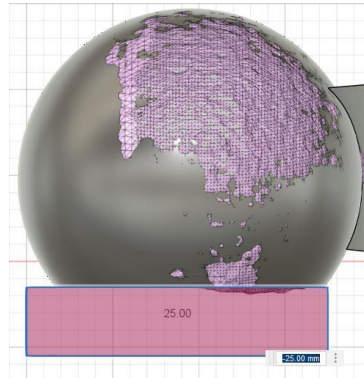
Gambar 4-10 Pembuatan Bagian Bola pada *Handle Rem*

Bagian bola tersebut kemudian dapat digabungkan dengan *handle* rem menggunakan fitur *combine* yang dilakukan dua kali. Proses pertama dilakukan dengan *cut* untuk membentuk ujung pada *handle*, dan proses kedua dilakukan untuk menggabungkan kedua bagian. Proses tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4-11.



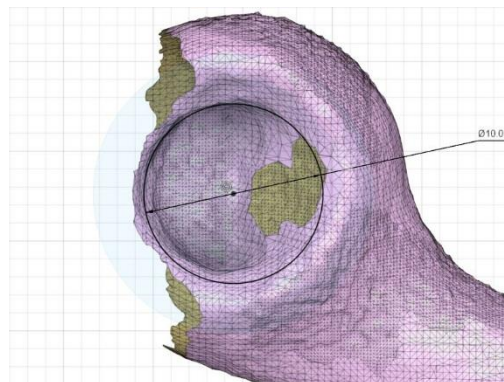
Gambar 4-11 Penggunaan Fitur *Combine* pada *Handle Rem*

Bagian ujung tersebut kemudian dilakukan *extrude cut* pada bagian bawah untuk membentuk bagian datar seperti pada Gambar 4-12.



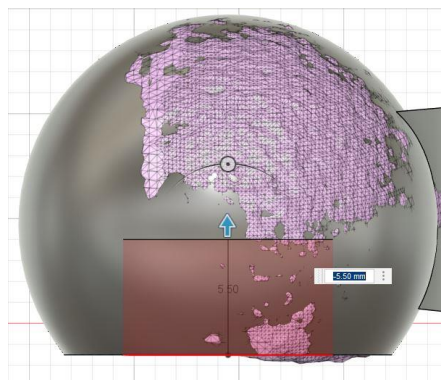
Gambar 4-12 *Extrude Cut* pada Bagian Bawah Bola

Bagian datar tersebut kemudian digunakan sebagai dasar sketsa yang akan membentuk lingkaran yang menyerupai hasil *scanning* yang ditunjukkan pada Gambar 4-13.



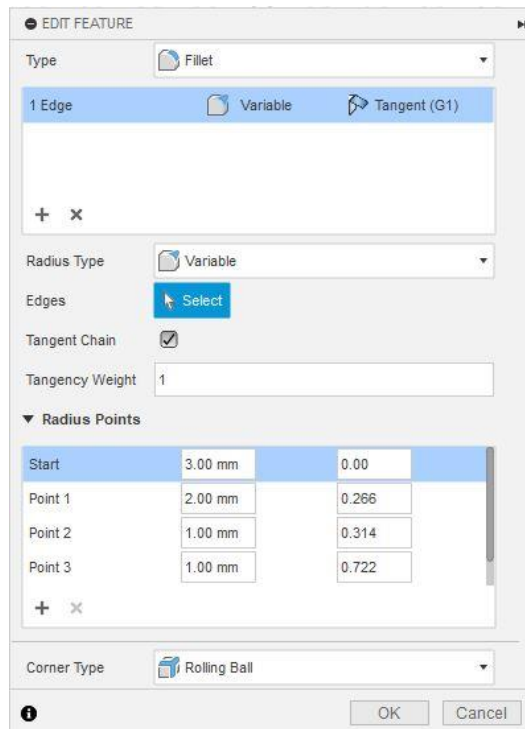
Gambar 4-13 Lingkaran pada Bagian Bawah Bola

Sketsa tersebut kemudian digunakan untuk proses *extrude cut* mengikuti bentuk hasil *scanning* seperti pada Gambar 4-14.



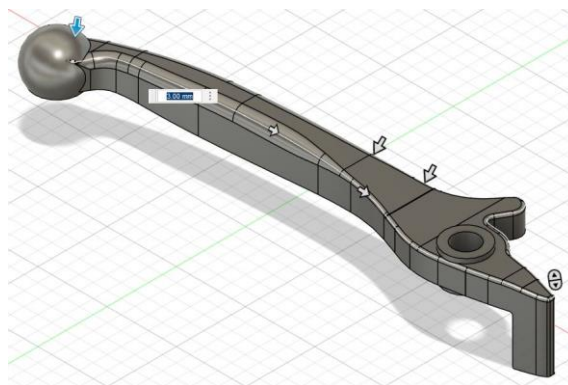
Gambar 4-14 Proses *Extrude Cut* pada Bagian Bola.

Setelah *handle* rem terbentuk, proses *fillet* kemudian dapat dilakukan pada berbagai bagian, seperti pada bagian atas yang dilakukan dengan metode *fillet variable* yang menggunakan beberapa titik sebagai batas besar *fillet*. Proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 4-15.



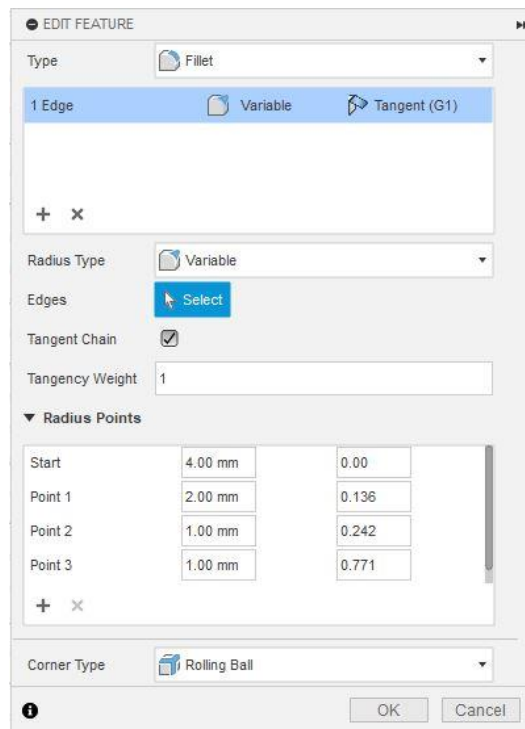
Gambar 4-15 Pengaturan *Fillet Variable* pada Bagian Atas *Handle* Rem

Hasil yang didapatkan dari proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 4-16.



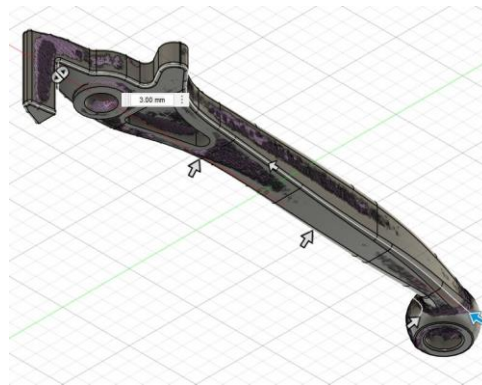
Gambar 4-16 Hasil *Fillet* pada Bagian Atas *Handle* Rem

Bagian bawah juga dilakukan *fillet variable* dengan pengaturan yang berbeda seperti pada Gambar 4-17.



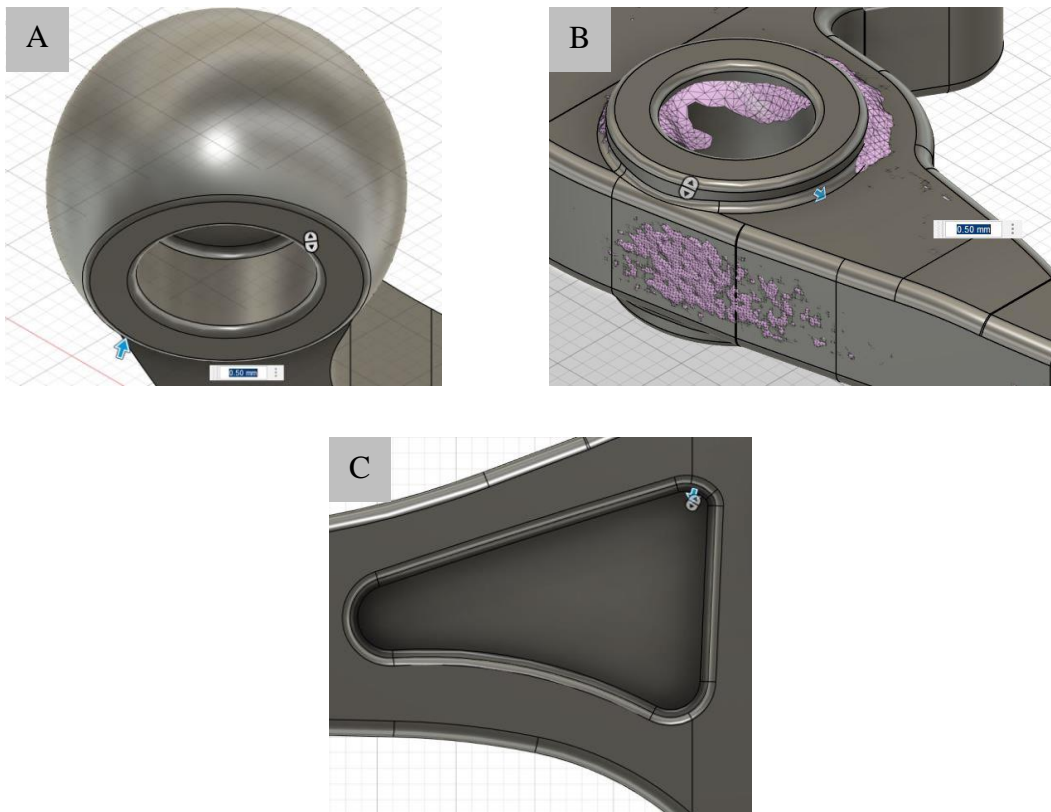
Gambar 4-17 Pengaturan *Fillet Variable* pada Bagian Bawah *Handle Rem*

Hasil yang didapatkan dari *fillet* tersebut ditunjukkan pada Gambar 4-18.



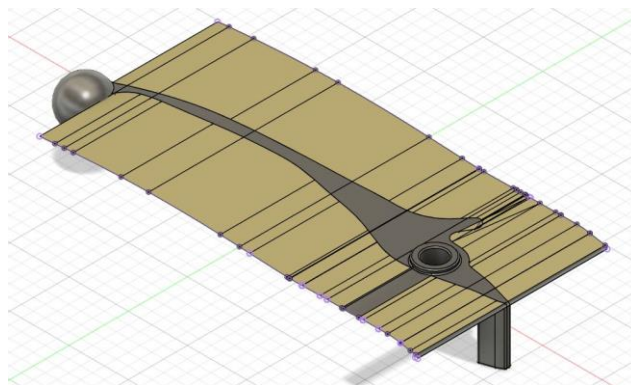
Gambar 4-18 Hasil *Fillet Variable* pada Bagian Bawah *Handle Rem*

Bagian yang lain kemudian dilakukan *fillet constant* dengan besar 0.5mm yang ditunjukkan pada Gambar 4-19.



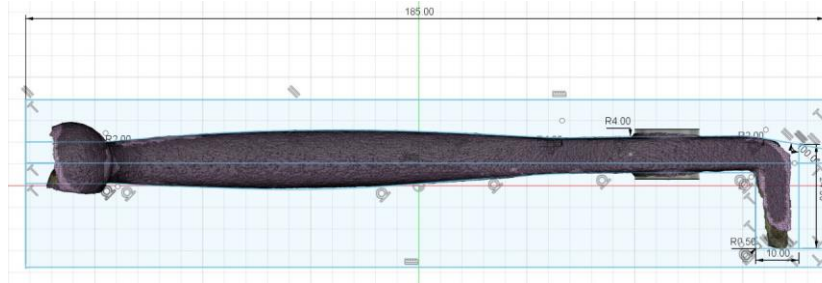
Gambar 4-19 Hasil *Fillet Constant* pada berbagai bagian, yaitu (A) bagian bola, (B) bagian tonjolan dan lubang, dan (C) bagian bawah *handle rem*.

Setelah proses *fillet* dilakukan, pembuatan garis pemisah untuk proses pembuatan cetakan dilakukan dengan menggunakan fitur *loft* pada bagian pinggir atas *handle rem* seperti pada Gambar 4-20.



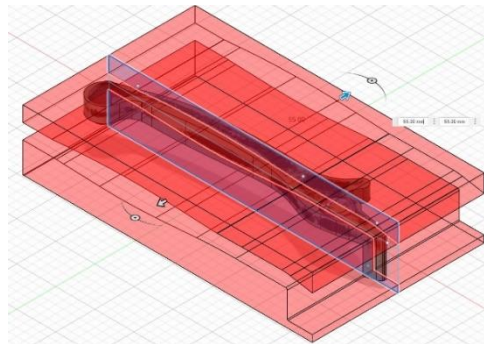
Gambar 4-20 Proses *Loft* pada Desain *Handle Rem*

Bagian bola tidak dapat dilakukan fitur *loft*, karena tidak memiliki ujung yang dapat menyambung dengan bagian lain, sehingga tidak dapat digunakan untuk membagi cetakan. Iterasi kemudian dibuat dengan desain yang lebih sederhana yang dimulai dengan pembuatan sketsa pada bagian samping seperti pada Gambar 4-21.



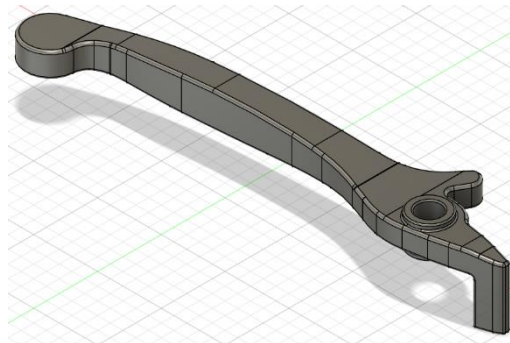
Gambar 4-21 Sketsa Bagian Samping

Sketsa tersebut kemudian digunakan untuk melakukan *extrude cut* untuk membentuk produk yang mengikuti hasil *3D scanning* yang ditunjukkan pada Gambar 4-22.



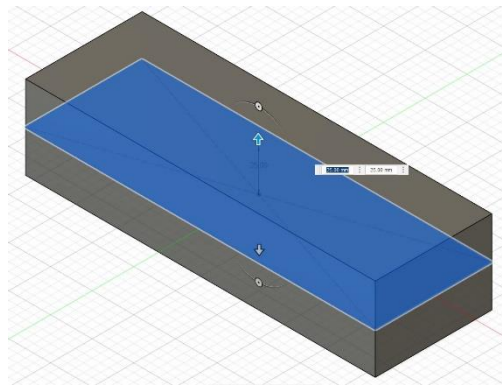
Gambar 4-22 Proses *Extrude Cut* pada Bagian Samping

Produk yang didapatkan kemudian dilakukan proses *fillet* dengan besar 1mm pada seluruh bagian produk dan ditunjukkan pada Gambar 4-23.



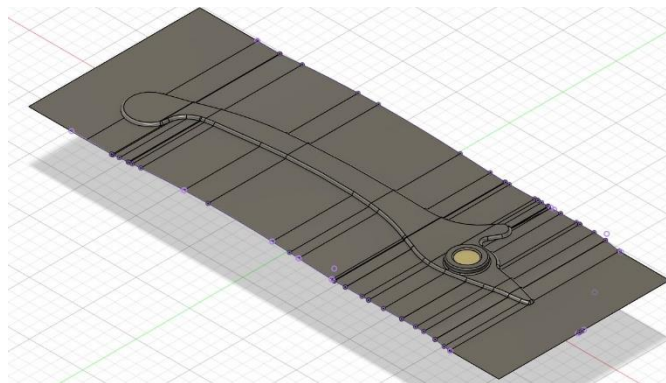
Gambar 4-23 Hasil Desain Ulang *Handle* Rem KLX

Dilakukan perubahan pada bagian ujung *handle*. Bentuk tersebut dibuat lebih datar dan tidak berbentuk bola, agar dapat dilakukan pemisahan untuk pembuatan desain cetakan. Cetakan yang didesain dibagi menjadi tiga bagian, yaitu satu untuk *core*, dan dua bagian lain untuk *cavity*. Proses pembuatan desain cetakan diawali dengan pembuatan bentuk utama cetakan berupa balok persegi panjang dengan ukuran 210×70×50. Proses tersebut dilakukan dengan membuat sketsa persegi panjang dan *extrude* sehingga terbentuk balok yang menutupi desain *handle* rem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-24.



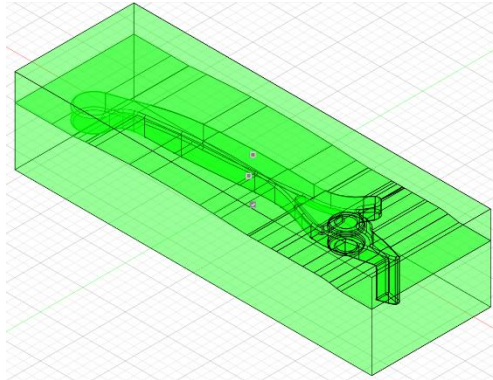
Gambar 4-24 Balok Dasar untuk Desain Cetakan

Proses pembagian cetakan menjadi *core* dan *cavity* dilakukan dengan menggunakan metode *boundary fill* yang menghasilkan tiga bagian produk, yaitu *core*, *cavity*, dan produk *handle* rem sendiri. Prosedur tersebut diawali dengan membuat pemisah dengan metode *loft* yang dihasilkan dari sketsa yang dibuat pada bagian samping produk mengikuti garis produk seperti pada Gambar 4-25.



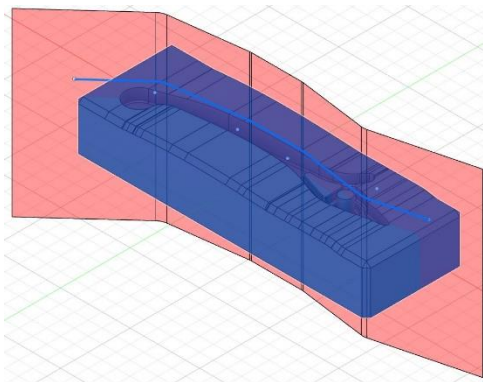
Gambar 4-25 Hasil *Loft* pada Desain

Proses *boundary fill* kemudian dapat dilakukan dengan menggunakan balok dan seluruh bagian *loft* yang telah dibuat dan menghasilkan tiga bagian seperti pada Gambar 4-26.



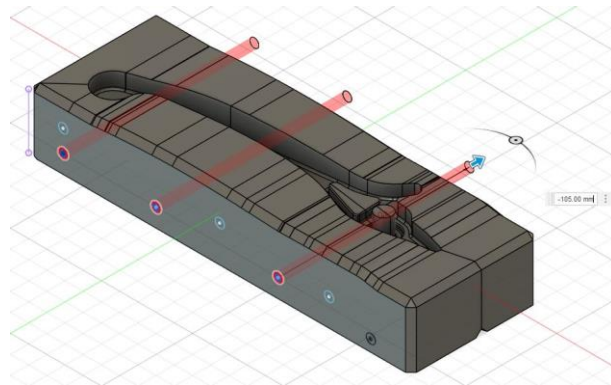
Gambar 4-26 Proses *Boundary Fill*

Setelah didapatkan bagian-bagian yang dibutuhkan, bagian *core* dan *cavity* dilakukan *chamfer* pada semua sisi dengan besar 3mm. Pembagian *cavity* kemudian dilakukan dengan menggunakan metode *split* dengan alur garis yang dibuat memotong cetakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-27.



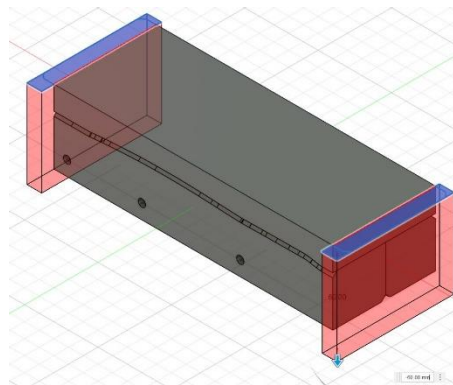
Gambar 4-27 Pemisahan *Cavity* Menggunakan Fitur *Split*

Pembuatan lubang untuk mur dan baut yang akan menahan *cavity* selama proses pengujian produk kemudian dilakukan dengan menggunakan *extrude cut* pada beberapa lingkaran 5mm yang telah dibuat pada bagian samping seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-28.



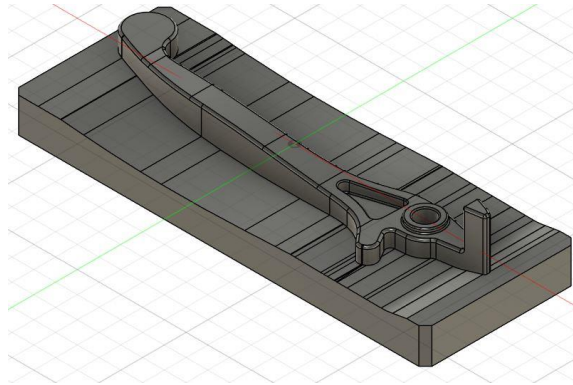
Gambar 4-28 Pembuatan Lubang untuk Mur dan Baut

Panjang tersebut pada mulanya ditetapkan dengan nilai 210mm dan kemudian dilakukan *extrude cut* pada bagian ujung menjadikan panjang total 190mm untuk menyesuaikan ukuran maksimal dari *3D printer* seperti pada Gambar 4-29.



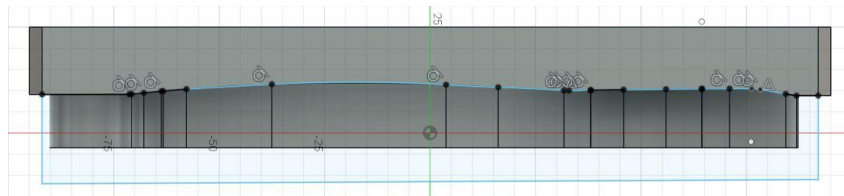
Gambar 4-29 Proses *Extrude Cut* pada Bagian Ujung

Bagian *core* yang didapatkan dari hasil *boundary fill* adalah gabungan dari bagian atas cetakan dan desain *handle* rem yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4-30.



Gambar 4-30 *Core* Cetakan Awal

Untuk membentuk desain *core* yang dapat digunakan untuk dapat membentuk produk saat pengujian cetakan, dilakukan desain ulang dengan menggunakan sketsa pada bagian samping seperti pada Gambar 4-31.



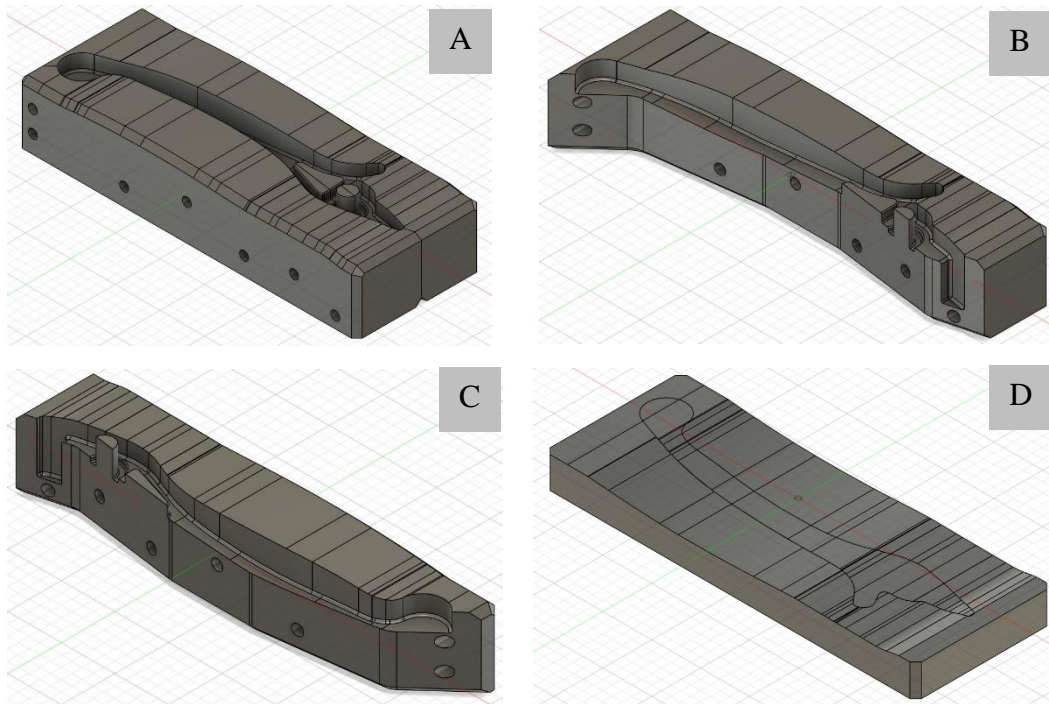
Gambar 4-31 Sketsa pada *Core*

Sketsa tersebut kemudian digunakan untuk proses *extrude cut* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-32.



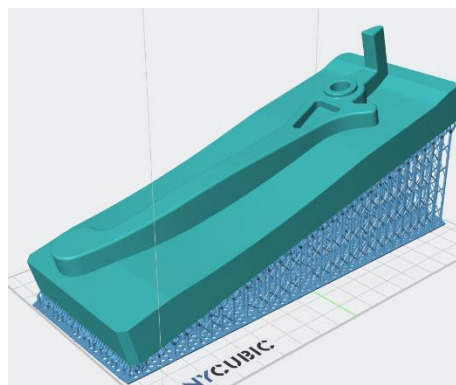
Gambar 4-32 *Extrude Cut* pada *Core*

Hasil desain total yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 4-33 sebagai berikut.

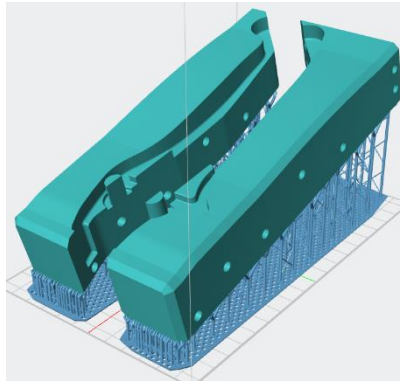


Gambar 4-33 Desain cetakan dengan (A) sebagai *cavity*, (B) dan (C) sebagai kedua bagian *cavity* yang terpisah, dan (D) sebagai *core*.

Seluruh bagian produk dibuat dalam dimensi 190×70 mm, agar dapat mencukupi dimensi yang dapat dibentuk oleh *3D printer* yang digunakan, yaitu Anycubic Photon Mono X. Pengaturan untuk pembuatan produk dalam aplikasi Anycubic Photon Workshop ditunjukkan pada Gambar 4-34 dan Gambar 4-35.



Gambar 4-34 *Core* Cetakan dengan Penyangga

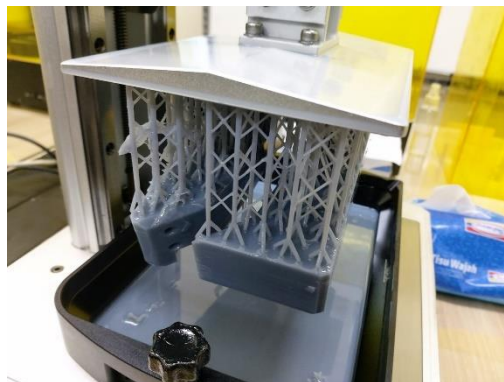


Gambar 4-35 *Cavity* Cetakan dengan Penyangga

Orientasi produk dimiringkan agar menurut petunjuk dari Anycubic, *printer* tidak mendapatkan terlalu banyak beban tekanan pada satu waktu (*Formlabs Customer Support, 2023*).

4.2 Hasil Pembuatan Cetakan

Pembuatan cetakan kemudian dilakukan dengan mesin *3D printer stereolithography* dengan memasukkan data desain ke dalam mesin dengan USB. Mesin akan mengeraskan resin dengan cahaya UV mengikuti desain yang telah dimasukkan dan produk akan menempel pada pelat yang akan mengalami gerakan secara vertikal selama proses berlangsung. Proses *printing* dilakukan dua kali, yaitu untuk *core* sendiri dan kedua bagian dari *cavity* bersama. Hasil yang didapatkan dari proses *3D printing* ditunjukkan pada Gambar 4-36.



Gambar 4-36 *Cavity* Sebelum Dilepas dari Pelat *3D Printer*

Setelah proses *3D printing* selesai, pelepasan produk dari pelat dilakukan dengan menggunakan spatula untuk melepas produk yang melekat pada pelat

dengan bantuan alkohol isopropil agar resin lebih mudah terlepas dari pelat. Hasil produk setelah terlepas dari pelat *printer* ditunjukkan pada Gambar 4-37 dan Gambar 4-38.



Gambar 4-37 *Core* Sebelum Penyangga Dilepas



Gambar 4-38 *Cavity* dengan Penyangga

Setelah produk dilepaskan dari pelat, penyangga yang masih tersambung kemudian dipisahkan dari produk utama dengan menggunakan tangan dan spatula dengan bantuan alkohol isopropil yang meluluhkan kekuatan penyangga yang relatif lebih lemah dibandingkan dengan produk utama. Produk tersebut kemudian dibersihkan lebih lanjut dari resin cair yang masih tersisa pada produk dengan menggunakan tisu dan alkohol isopropil. Sarung tangan lateks digunakan selama proses pelepasan produk dari pelat sampai pelepasan penyangga untuk menghindari iritasi kulit karena resin yang digunakan. Untuk memperkuat cetakan agar dapat menahan beban yang akan diberikan selama produksi *handle* rem secara

langsung, dilakukan proses *curing* pada cetakan agar resin lebih mengeras. Proses *curing* ditunjukkan pada Gambar 4-39.



Gambar 4-39 Proses *Curing*

Hasil yang didapatkan setelah dilakukan proses *curing* adalah produk yang lebih solid dan kering yang ditunjukkan pada Gambar 4-40.



Gambar 4-40 *Cavity* dalam Bentuk Tersambung Setelah Proses *Curing*

4.3 Hasil Pengujian Cetakan

Cetakan yang telah dibuat kemudian digunakan untuk membuat produk dengan menggunakan campuran karbon potongan dan resin epoksi dengan komposisi 1:2, yaitu 25g untuk karbon dan 50g untuk resin. Sebelum digunakan, cetakan dan baut untuk menahan cetakan agar tidak bergeser selama pencetakan produk dilapisi dengan *wax*. Material komposit yang telah tercampur kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan selama sekitar 24 jam. Proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 4-41.



Gambar 4-41 Penekanan Produk dengan Klem C

Setelah penekanan, produk yang telah mengeras diambil dari cetakan. Namun campuran katalis dan resin epoksi yang memanas berdampak pada cetakan yang terbuat dari resin. Hal tersebut menyebabkan produk sulit diambil dari cetakan karena kedua resin telah menyatu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-42.



Gambar 4-42 Hasil Setelah Penekanan

Produk dan cetakan kemudian dilakukan perendaman dengan menggunakan air panas agar perekatan pada produk dan cetakan melemah. Proses dan hasil yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 4-43 dan Gambar 4-44.



Gambar 4-43 Perendaman dengan Air Panas



Gambar 4-44 Produk Menempel pada Satu Bagian *Cavity*

Produk masih melekat pada satu bagian cetakan, karena resin pada bagian atas merekat keras dan menutupi banyak bagian. Sisa resin dan karbon yang berada di atas cetakan kemudian dihilangkan dengan menggunakan gerinda tangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-45.



Gambar 4-45 Pembersihan Bagian Atas *Cavity*

Produk kemudian didorong keluar dengan pisau dan bantuan perendaman air panas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-46 dan Gambar 4-47.



Gambar 4-46 Perendaman pada Satu Bagian *Cavity*

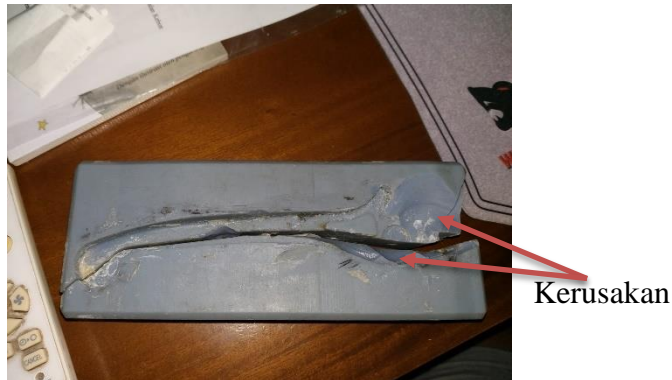


Gambar 4-47 Pelepasan Produk dari Cetakan

Produk berhasil diambil keluar dari cetakan namun dengan kerusakan pada cetakan yang menyebabkan cetakan tidak dapat digunakan kembali seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-48 dan Gambar 4-49.



Gambar 4-48 Produk Terlepas dari Cetakan



Gambar 4-49 Cetakan Setelah Produk Terlepas

Pelepasan produk dari cetakan tidak mudah untuk dilakukan, meskipun dengan desain cetakan yang terpisah. Hal ini dikarenakan resin pada campuran komposit yang telah ditambahkan dengan katalis memanaskan dan menyebabkan resin menempel dengan cetakan, yang juga terbuat dari resin.

Proses pelepasan produk diawali dengan melepas bagian atas cetakan yang sudah cukup lekat pada bagian-bagian lain, namun masih dapat dilepas tanpa masalah. Pelepasan menjadi lebih sulit pada bagian lain, karena selain produk melekat pada cetakan, juga terdapat tonjolan pada bagian tengah cetakan. Cara yang dilakukan untuk melakukan pelepasan adalah pembukaan secara paksa, yaitu dengan mendorong keluar cetakan dari perpisahan cetakan pada bagian bawah. Produk kemudian masih melekat dengan bagian cetakan yang sulit dilepas, karena resin melekat dan mengeras pada bagian atas cetakan dan bagian yang mendalam pada cetakan.

Metode yang digunakan untuk meluluhkan ikatan antara produk dan cetakan adalah merendam produk dan cetakan dengan air panas. Hal ini dilakukan agar ikatan resin pada produk yang telah keras melemah, sehingga produk lebih mudah dilepas dari cetakan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pembuatan cetakan dan pengujian penggunaan cetakan tersebut, dapat disimpulkan bahwa,

1. Telah dibuat cetakan *handle* rem sepeda motor Kawasaki KLX menggunakan metode *reverse engineering* dengan menggunakan teknologi *3D scanning* dan *3D printing SLA* dengan proses lanjutan.
2. Cetakan yang dibuat tidak berhasil dalam memenuhi kriteria yang diharapkan, karena produk sulit untuk dilepas dari cetakan. Hal ini disebabkan oleh material komposit produk, yaitu karbon potongan dan resin epoksi, menempel dengan cetakan yang terbuat dari resin *hard tough* karena suhu material yang meningkat setelah pemberian katalis.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Untuk dilakukan penelitian yang serupa, diperlukan kecermatan dalam pembuatan desain cetakan, agar cetakan yang dibuat dapat langsung digunakan tanpa dibutuhkan proses tambahan agar dapat digunakan. Untuk pembuatan produk dengan cetakan hasil *print SLA*, dibutuhkan material dan proses pencetakan yang tidak menimbulkan panas dan dapat berdampak pada cetakan, karena properti material resin yang tidak tahan temperatur tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- AutoFun. (2023, February 5). *Kawasaki KLX 150 2024 Dipatok 20 Ribu Unit, Bakal Ekspor juga ke Negara Ini | AutoFun*. Berita Motor AutoFun. <https://www.autofun.co.id/berita-motor/kawasaki-klx-150-2024-dipatok-20-ribu-unit-bakal-ekspor-juga-ke-negara-ini-62287>
- Bianchi, I., Gentili, S., Greco, L., Mancia, T., Simoncini, M., & Vita, A. (2023). 3D printed molds for manufacturing of CFRP components. *Procedia CIRP*, *118*, 816–821. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.140>
- Edl, M., Mizerák, M., & Trojan, J. (2018). 3D LASER SCANNERS: HISTORY AND APPLICATIONS. *Acta Simulatio*, *4*(4), 1–5. <https://doi.org/10.22306/asim.v4i4.54>
- Exactitude Consultancy. (2023, March). *Ukuran Pasar Komposit Otomotif, Pangsa & Prospek 2023—2029*. Exactitude Consultancy. <https://exactitudeconsultancy.com/automotive-composites-market>
- Fabian, M., Huňady, R., & Kupec, F. (2024). (PDF) Reverse Engineering and Rapid Prototyping in the Process of Developing Prototypes of Automotive Parts. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.21062/mft.2022.084>
- Formlabs Customer Support*. (2023, April 20). Formlabs Customer Support. <http://support.formlabs.com/>
- Hada, T., Kanazawa, M., Iwaki, M., Arakida, T., Soeda, Y., Katheng, A., Otake, R., & Minakuchi, S. (2020). Effect of Printing Direction on the Accuracy of 3D-Printed Dentures Using Stereolithography Technology. *Materials*, *13*(15), 3405. <https://doi.org/10.3390/ma13153405>

- Hasanah, U., & Muslimin, M. (2020). Pengaruh Tekanan Compression Moulding terhadap Kinerja Pelat Bipolar Komposit Grafit/Resin Epoksi Komposisi 20% Karbon Tempurung Kelapa. *Jurnal Mekanik Terapan*, 1(1), 71–80. <https://doi.org/10.32722/jmt.v1i1.3335>
- Howell, D. D., Fukumoto, S., & Road, C. (2014). *COMPRESSION MOLDING OF LONG CHOPPED FIBER THERMOPLASTIC COMPOSITES*.
- Idris, M., Seers, T. D., & Alyafei, N. (2022). An operational guide to resin 3D printing of geological macromodels. *MethodsX*, 9, 101863. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101863>
- Kompas Cyber Media. (2023, October 20). *KLX 150 Sumbang 60 Persen Penjualan Kawasaki di Indonesia*. KOMPAS.com. <https://otomotif.kompas.com/read/2023/10/20/192100215/klx-150-sumbang-60-persen-penjualan-kawasaki-di-indonesia>
- Miyazaki, N., & Funakura, S. (1998). Solid Particle Erosion Behavior of FRP Degraded by Hot Water. *Journal of Composite Materials*, 32(13), 1295–1305. <https://doi.org/10.1177/002199839803201303>
- Nga, P. T. H., Truong, T. M., Tuyen, T. K., Tam, P. T., Mai, D. T. L., Tan, N. T., Huong, H. V., Thuc, N. V., Nhan, N. K., Hung, H. S., & San, T. T. (2024). Effects of Printing Angle on Mechanical Characteristics of Resin Castable Wax V1. *Sensors and Materials*, 36(1), 127. <https://doi.org/10.18494/SAM4536>
- Pal, P. (2024, August 23). *SLA Resin Strength: How Strong Is 3D Printed Resin?* All3DP. <https://all3dp.com/2/sla-3d-printing-how-strong-is-resin/>

- Skovajsa, M., Sedlacek, F., & Mrazek, M. (2020). Design of Multi-Part Mould for Production of a Medium-Large Carbon Fibre Component. *Manufacturing Technology*, 20(3), 378–384. <https://doi.org/10.21062/mft.2020.055>
- Soffie, S. B. M. (2016). *Methodology of Press System of Compression Moulding*. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2771.5447>
- Štefan, K., & Janette, B. (2022). *Reverse engineering in automotive design component. 2*.
- Wang, W. (2011). *Reverse Engineering: Technology of Reinvention*. 342.
- Yalçinkaya, S., BurakYıldız, & Borak, M. (2018, April 19). *OPTICAL 3D SCANNER TECHNOLOGY*.
- Zhou, L., Miller, J., Vezza, J., Mayster, M., Raffay, M., Justice, Q., Al Tamimi, Z., Hansotte, G., Sunkara, L. D., & Bernat, J. (2024). Additive Manufacturing: A Comprehensive Review. *Sensors*, 24(9), 2668. <https://doi.org/10.3390/s24092668>