PEMBUATAN CETAKAN HANDEL REM MOTOR YAMAHA NMAX UNTUK PROSES *COMPRESSION MOLDING* MELALUI METODE *REVERSE ENGINEERING*

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin

Disusun Oleh :

Nama	**: Yudiki Akbar Prasetya**
No. Mahasiswa	**: 20525008**
NIRM	**: 2001020046**

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

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

Yogyakarta, 10 Maret 2025



Yudiki Akbar Prasetya

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PEMBUATAN CETAKAN HANDEL REM MOTOR YAMAHA NMAX UNTUK PROSES *COMPRESSION MOLDING* MELALUI METODE *REVERSE ENGINEERING*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Yudiki Akbar Prasetya

No. Mahasiswa : 20525008

NIRM : 2001020046

Yogyakarta, 16 Februari 2025

Pembimbing I,



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PEMBUATAN CETAKAN HANDEL REM MOTOR YAMAHA NMAX UNTUK PROSES *COMPRESSION MOLDING* MELALUI METODE *REVERSE ENGINEERING*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : **Yudiki Akbar Prasetya**

No. Mahasiswa : **20525008**

NIRM : **2001020046**

Tim Penguji

Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP
Ketua
Tanggal : 11/03/2025

Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S. T., M.T. IPP
Anggota I
Tanggal : 11/03/2025

Ir. Donny Suryawan, S.T., M.Eng. IPP
Anggota II
Tanggal : 11/03/25

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang sangat mendalam, penulis mempersembahkan laporan tugas akhir ini kepada:

1. Kedua orang tua penulis (Bapak Didik Apriyadi dan Ibu Siti Rahayu) yang selalu mendukung dan mendo'akan penulis dalam berbagai urusan.
2. Dosen pembimbing tugas akhir penulis Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
3. Dosen-dosen Teknik Mesin UII yang selalu mendukung dan memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
4. Teman satu angkatan, maupun teman dari satu daerah yang telah senantiasa tidak bosan-bosan memberikan dukungan dan semangat.

HALAMAN MOTTO

"We are the champions and We'll keep on fighting till the end"

(Queen)

"Sometimes I wanna give up, wanna give in. But You know I can do anything.

(Bad English)

"Expose yourself to your deepest fear, after that fear has no power and the fear of freedom shrinks and vanishes. You are free"

(Jim Morrison)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir berjudul "PEMBUATAN CETAKAN HANDEL REM MOTOR YAMAHA NMAX UNTUK PROSES *COMPRESSION MOLDING* MELALUI METODE *REVERSE ENGINEERING*".

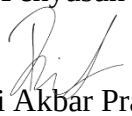
Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak akan terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan hormat dan rasa terima kasih, penulis mengucapkan apresiasi kepada :

1. Allah Swt yang selalu memberikan rahmat dan ridhonya kepada hambanya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Keluarga penulis terutama bapak Didik Apriyadi dan ibu Siti Rahayu yang selalu mendoakan dan memberi dukungan baik moral maupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafid, S.T., M.T., IPP, selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah memberikan nasihat dan saran.
5. Fatma Amaliya yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Teman-teman Angkatan 2020 Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia untuk dukungan dan bantuannya selama menjalani perkuliahan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan, sangat jauh dari kata sempurna. Saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk proses belajar penulis. Atas perhatiannya penulis mengucapkan terima kasih.

Yogyakarta,

Penyusun



Yudiki Akbar Prasetya

ABSTRAK

Reverse engineering saat ini menjadi metode yang populer dalam proses pengembangan produk karena prosesnya dimulai dari produk yang sudah tersedia. Melalui metode ini, pengembangan produk dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efisien. Saat ini, tren penggunaan material serat karbon pada komponen otomotif semakin digemari, terutama oleh kalangan anak muda. Salah satu jenis motor yang banyak ditemukan di pasaran adalah motor Yamaha NMAX. Oleh karena itu, peluang untuk membuat komponen *aftermarket* seperti handel rem, *cover body*, *cover CVT* dan *cover* mesin. Salah satu produk yang ingin diwujudkan adalah handel rem yang dapat diproduksi menggunakan metode *compression molding*. Metode ini memiliki beberapa keunggulan yaitu presisi, dapat digunakan berulang, dan menghasilkan produk dengan permukaan halus di semua sisi. Penelitian ini berfokus pada pembuatan cetakan produk komposit handel rem Yamaha NMAX menggunakan material aluminium 5052. Cetakan ini dirancang dengan konfigurasi yang terdiri dari tiga bagian yaitu core, dan cavity yang dibagi menjadi dua bagian. Hasilnya, telah dibuat cetakan untuk pembuatan produk handel rem Yamaha NMAX dengan material *chopped carbon fiber*. *Chopped carbon fiber* dipilih karena material ini mudah diaplikasikan dan mengisi ruang pada cetakan ketika melakukan *compression* untuk handel rem. Cetakan yang telah dibuat memungkinkan proses pelepasan produk yang mudah dan menghasilkan produk yang presisi.

Kata kunci: Reverse engineering, compression molding, handel rem Yamaha NMAX

ABSTRACT

Reverse engineering has become a popular method in product development as it starts with an existing product. Through this method, product development can be carried out more quickly and efficiently. Currently, the trend of using carbon fiber materials in automotive components is increasingly favored, especially among young people. One of the most commonly found motorcycles on the market is the Yamaha NMAX. Therefore, there is an opportunity to manufacture aftermarket components such as brake handles, body covers, CVT covers, and engine covers. One of the products intended for development is a brake handle that can be produced using the compression molding method. This method offers several advantages, including precision, reusability, and the ability to produce products with a smooth surface on all sides. This research focuses on the manufacturing of a composite brake handle mold for the Yamaha NMAX using 5052 aluminum material. The mold is designed with a configuration consisting of three parts: a core and a cavity divided into two sections. As a result, a mold for manufacturing the Yamaha NMAX brake handle using chopped carbon fiber has been successfully created. Chopped carbon fiber was chosen because it is easy to apply and effectively fills the mold cavity during the compression process for the brake handle. The developed mold enables easy product release and produces a precise final product.

Keywords: *Reverse engineering, compression molding, Yamaha NMAX brake lever*

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji iv
Halaman Persembahan v
Halaman Motto vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih vii
Abstrak viii
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 3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan 4
1.6 Sistematika Penulisan 4
Bab 2 Tinjauan Pustaka 5
2.1 Kajian Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 6
2.2.1 *Reverse Engineering* 6
2.2.2 Cetakan 8
2.2.3 Aluminium 9
2.2.4 *Computer Aided Design* (CAD) 10
2.2.5 *Computer Aided Manufacture* (CAM) 11
2.2.6 *Computer Numerical Control* (CNC) 12
2.2.7 *Parameter* Pemesinan 14
Bab 3 Metode Penelitian 16
3.1 Alur Penelitian 16

3.2 Peralatan dan Bahan 17
3.3 Perancangan Produk 23
3.3.1 Kriteria Desain 25
3.3.2 Desain Produk 25
3.3.3 Desain Cetakan 26
3.4 Simulasi Pemesinan 27
3.5 Persiapan Benda Kerja Aluminium 32
3.6 Pemesinan Cetakan 33
Bab 4 Hasil dan Pembahasan 37
4.1 Hasil Desain Handel Rem Yamaha NMAX 37
4.2 Hasil Desain Cetakan 37
4.3 Hasil Pemesinan 38
4.4 Pembuatan Produk Komposit 41
4.5 Hasil Produk Komposit 42
4.6 Biaya Pembuatan Cetakan 45
4.7 Kendala Dalam Penelitian 46
Bab 5 Penutup 49
5.1 Kesimpulan 49
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya 49
Daftar Pustaka 50

DAFTAR TABEL

Tabel 3- 1 Peralatan 17
Tabel 3- 2 Bahan 22
Tabel 3- 3 Parameter Pemesinan *Core Plate* 29
Tabel 3- 4 Parameter Pemesinan *Cavity Up* 29
Tabel 3- 5 Parameter Pemesinan *Cavity Down Plate* 30
Tabel 4-1 Perbedaan Waktu Pemesinan *Core Plate* Antara *Fusion 360* dan Supermill MK 2.0 39
Tabel 4- 2 Perbedaan Waktu Pemesinan *Cavity Up Plate* Antara *Fusion 360* dan Supermill MK 2.0 39
Tabel 4- 3 Perbedaan Waktu Pemesinan *Cavity Down Plate* Antara *Fusion 360* dan Supermill MK 2.0 40
Tabel 4- 4 Estimasi Biaya Pembuatan Cetakan 45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Proses *Reverse Engineering* 7
Gambar 2- 2 Perbedaan *Three Plate Mold* dan *Two Plate Mold* 8
Gambar 2- 3 Aluminium 9
Gambar 2- 4 Visualisasi *Computer Aided Design* 10
Gambar 2- 5 Alur Pemakanan Benda Kerja 11
Gambar 2- 6 Kaidah Tangan Kanan 12
Gambar 2- 7 CNC 3 *Axis* 13
Gambar 2- 8 *Maximum Step Over* 14
Gambar 2- 9 *Maximum Step Down* 14
Gambar 2- 10 *Feedrate* 15
Gambar 2- 11 *Spindle Speed* 15
Gambar 3- 1 Alur Penelitian 16
Gambar 3- 2 Alur Perancangan Desain 23
Gambar 3- 3 Handel Rem pada Motor Yamaha NMAX 24
Gambar 3- 4 Hasil 3D Scan Handel Rem 24
Gambar 3- 5 Perbedaan Handel Setelah Dimodifikasi 25
Gambar 3- 6 Alur Proses Desain Cetakan 26
Gambar 3- 7 Hasil Proses Desain Cetakan a) *Core Plate,* b) *Cavity Down Plate,* c) *Cavity Up Plate* 27
Gambar 3- 8 *Import* desain cetakan 28
Gambar 3- 9 Mengatur titik origin pada benda kerja 28
Gambar 3- 10 Mengatur ukuran *stock* 28
Gambar 3- 11 Simulasi Pemesinan *Roughing* 1 dan 2 *Core Plate* 31
Gambar 3- 12 Simulasi Pemesinan *Finishing* 1 dan 2 *Core Plate* 31
Gambar 3- 13 Simulasi Pemesinan *Roughing* 1 dan 2 *Cavity Up Plate* 31
Gambar 3- 14 Simulasi Pemesinan *Finishing* 1 dan 2 *Cavity Up Plate* 31
Gambar 3- 15 Simulasi Pemesinan *Roughing* 1 dan 2 *Cavity Down Plate* 32
Gambar 3- 16 Simulasi Pemesinan *Finishing* 1 *Cavity Down Plate* 32
Gambar 3- 17 Proses *Facing* Material 32
Gambar 3- 18 Mencekam Benda Kerja pada Ragum Mesin CNC 33

Gambar 3- 19 Menyalakan Mesin dan Kalibrasi 33
Gambar 3- 20 Memasang Mata Pahat 34
Gambar 3- 21 Mengatur Titik Origin 34
Gambar 3- 22 Mengecek Titik Origin 35
Gambar 3- 23 Memasukkan *G-Code* 35
Gambar 3- 24 Proses Pemesinan Cetakan 36
Gambar 4- 1 Perbandingan Hasil Desain dan Produk Jadi Sebelum *Finishing* ... 37
Gambar 4- 2 Perbandingan Hasil Desain Cetakan Dengan Desain Produk a) *Core Plate*, b) *Cavity Plate* 38
Gambar 4- 3 Hasil Pemesinan Cetakan, a) *Core Plate* b) *Cavity Plate* 40
Gambar 4- 4 Proses Pembuatan Produk Komposit 41
Gambar 4- 5 Jarak Antara *Cavity up* dan *Cavity down* 42
Gambar 4- 6 Perbedaan Tebal Antara a) *Core plate*, b) *Cavity plate* 42
Gambar 4- 7 Hasil Handel Rem Karbon Komposit 43
Gambar 4- 8 Pengukuran Tebal Produk Handel Rem, a) Hasil Poduk b) Desain Produk 43
Gambar 4- 9 Pengukuran Panjang Produk Handel Rem, a) Hasil Poduk b) Desain Produk 44
Gambar 4- 10 Pengukuran Lubang Variasi Produk Handel Rem, a) Hasil Poduk b) Desain Produk 44
Gambar 4- 11 Pengukuran Lubang Konektor Produk Handel Rem, a) Hasil Poduk b) Desain Produk 44
Gambar 4- 12 Hasil Produk Terpasang di Motor Yamaha NMAX 45
Gambar 4- 13 Proses *3D Scan* Produk Handel *Aftermarket* 46
Gambar 4- 14 Proses Desain Ulang Hasil dari *3D Scan* 47
Gambar 4- 15 Hasil *Core Plate* Akibat Mata Pahat Patah 47
Gambar 4- 16 Penutupan Lubang pada *Molding* 48

DAFTAR NOTASI

CAD = *Computer Aided Design*

CAM = *Computer Aided Manufacture*

CNC = *Computer Numerical Control*

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sepeda motor merupakan sarana transportasi yang paling banyak digunakan masyarakat di Indonesia. Sepeda motor ini berfungsi sebagai sarana transportasi yang memungkinkan manusia berpindah dari satu tempat ke tempat lain (Rosiana, 2021). Berdasarkan data dari BPS (Badan Pusat Statistik) terkait dengan jumlah pengguna sepeda motor di Indonesia pada tahun 2023 adalah sebesar 125.305.332 unit. Sedangkan data dari Asosiasi Industri Sepeda motor Indonesia (AISI), jumlah penjualan motor di Indonesia pada Tahun 2024 sebesar 6.333.310 unit.

Penjualan motor terbesar didominasi dengan motor jenis skutik dengan persentase sebesar 90,39% (AISI, 2024). Salah satu merek sepeda motor yang paling banyak terjual dan mendapatkan perhatian khusus adalah Yamaha NMAX yang telah menjadi pilihan utama bagi berbagai kalangan. Jumlah penjualan sepeda motor Yamaha NMAX di Indonesia periode bulan Januari sampai Juli Tahun 2022 sebesar 199.862 unit (Andhika & Hartini, 2023).

Saat ini, tren modifikasi motor di kalangan anak muda semakin berkembang pesat, terutama dalam mengganti komponen standar motor dengan produk *aftermarket* yang tersedia untuk memberikan kesan personal dan estetika yang lebih menarik. Salah satu kecenderungan utama saat ini adalah mengganti komponen dengan material yang lebih ringan dan modern seperti karbon fiber. Berdasarkan penjualan di beberapa *marketplace*, salah satu produk *aftermarket* yang paling banyak terjual adalah handel rem. Berdasarkan data yang diperoleh dari *marketplace* Shopee menunjukkan bahwa penjualan handel rem modifikasi motor Yamaha NMAX di salah satu toko terjual di atas 10.000 *pieces*. Meskipun material komposit karbon fiber sudah banyak digunakan untuk beberapa komponen eksterior sepeda motor, seperti *cover body* dan *cover radiator*, komponen seperti handel rem masih banyak menggunakan bahan aluminium.

Melihat peluang yang ada, terdapat potensi besar dalam pengembangan komponen *aftermarket* untuk Yamaha NMAX. Dalam proses perancangan, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan seperti *forward engineering, reverse engineering,* dan *design thinking.* Pada penelitian ini, pembuatan handel rem berbahan dasar karbon komposit dilakukan menggunakan metode *reverse engineering* yang memiliki keunggulan dibandingkan metode lain seperti waktu pengembangan yang lebih cepat dan kemudahan dalam menyesuaikan desain berdasarkan produk yang sudah ada. Dengan karakteristik *chopped carbon* yang unggul seperti harga relatif murah, bobot yang lebih ringan, dan fleksibel dalam pembuatannya dibandingkan *woven carbon* maupun *prepeg carbon*, produk handel rem berbahan *chopped carbon* dapat menjadi alternatif yang menarik bagi para pengguna Yamaha NMAX. Proses pembuatan produk komposit dengan bahan dasar karbon fiber dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti *hand lay-up*, *vacuum infusion*, dan beberapa teknik lainnya. Salah satu metode yang paling efisien dan memberikan hasil yang presisi serta halus pada permukaannya adalah *compression molding* (Nugroho & Wantogia, 2019).

Pembuatan cetakan untuk metode *compression molding* menggunakan mesin CNC *milling* sering menjadi pilihan karena efisiensi dan akurasinya. Namun, terdapat beberapa kendala dalam proses ini yang dapat mempengaruhi kualitas dan akurasi dimensi cetakan seperti, mata pahat yang patah atau aus. Gangguan eksternal seperti pemadaman listrik juga dapat menyebabkan pengulangan proses pemesinan yang dampak pada peningkatan waktu dan biaya produksi. Oleh karena itu, diperlukan sstrategi perancangan dan teknik pemesinan yang lebih optimal. (Putra Dede, 2024).

Dengan demikian, penelitian ini akan menerapkan pembuatan cetakan menggunakan metode *reverse engineering* untuk memperoleh desain cetakan yang akurat. Cetakan yang dipakai untuk produksi memiliki metode *compression molding* yang memiliki konstruksi sederhana, sehingga dapat diproduksi dengan lebih mudah dan biaya yang lebih rendah. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberi kontribusi terhadap pengembangan komponen *aftermarket* sepeda motor dengan menggunakan bahan komposit karbon yang lebih unggul.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dirumuskan masalah yaitu:

1. Bagaimana cara membuat produk handel rem motor Yamaha NMAX menggunakan metode *reverse engineering?*
2. Bagaimana cara membuat cetakan produk handel rem Yamaha NMAX untuk pembuatan produk komposit menggunakan metode *compression molding?*
3. Apa kendala yang ditemukan dalam proses pembuatan cetakan untuk pembuatan produk komposit melalui metode *compression molding*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah ada, maka dirumuskan Batasan masalah antara lain:

1. Perancangan produk dan cetakan menggunakan aplikasi berbasis CAD (*solidworks* dan handy studio).
2. Perancangan proses manufaktur dari cetakan menggunakan aplikasi berbasis CAM (fusion 360).
3. Material cetakan yang digunakan Aluminium 5052.
4. Proses pemesinan menggunakan mesin milling Supermill MK 2.0 dari D-tech Powermill.

1.4 Tujuan Perancangan

Tujuan dari penelitian dan perancangan ini, antara lain:

1. Membuat produk handel rem Yamaha NMAX melalui metode *reverse engineering*.
2. Mewujudkan cetakan handel rem menggunakan mesin CNC Supermill MK 2.0 untuk membuat produk komposit melalui metode *compression molding.*
3. Mengetahui kendala-kendala yang ditemukan dalam pembuatan cetakan produk handel rem Yamaha NMAX.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Adapun manfaat yang diperoleh dari penilitian dan perancangan ini adalah:

1. Memberikan alternatif dalam pembuatan *molding* untuk produk komposit.
2. Memberikan informasi mengenai cara pembuatan cetakan dan produk komposit serat karbon dengan menggunakan *chopped carbon* melalui proses *compression molding*.
3. Memberikan data dan referensi kendala-kendala yang berguna bagi penelitian selanjutnya dalam pembuatan cetakan melalui metode *compression molding.*

1.6 Sistematika Penulisan

Pada bagian ini dituliskan urut-urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan. Berikan ringkasan mengenai isi masing-masing bab.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah tujuan perancangan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai kajian pustaka dan menjelaskan dasar teori yang digunakan dalam perancangan yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan alur penelitian, peralatan dan bahan, serta proses pengerjaan dari penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dari proses pengerjaan, dan pembahasan dari penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dan saran untuk perancangan selanjutnya agar lebih baik selanjutnya.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Proses pembuatan produk terdapat berbagai pendekatan, salah satu cara yang paling umum adalah dengan membuat sketsa desain dari awal, kemudian mengubah sketsa tersebut menjadi gambar teknis dan merealisasikan desain menjadi produk fisik. Metode ini memerlukan waktu yang lebih lama karena harus melalui beberapa tahap, seperti pemunculan ide dan tahapan evaluasi untuk menyempurnakan produk. Salah satu metode yang dapat menjadi alternatif adalah metode *reverse engineering*. Metode ini memungkinkan pembuatan produk dengan lebih cepat dan presisi, karena desain produk dibuat berdasarkan produk yang sudah ada. Proses *reverse engineering* melibatkan pemindaian untuk menghasilkan model *3D* yang akurat, yang kemudian dapat langsung digunakan untuk mendesain ulang komponen yang diinginkan. (Rozie et al., 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh (Harjono, 2023) tentang pembuatan *sparepart* variasi sepeda motor dengan menggunakan mesin CNC *milling 3 axis*. Penelitian ini menggunakan *software* Fusion 360 untuk proses CAM yang menunjukkan integrasi antara desain komponen dengan proses manufaktur dan dapat ditransfer ke mesin CNC *milling 3 axis* untuk mengerjakan produk secara lebih efisien dan presisi. Penggunaan mesin CNC *milling 3 axis* memiliki waktu yang lebih efisien dan hasil yang konsisten.

Dalam pembuatan produk komposit, salah satu metode yang banyak digunakan adalah metode *hand lay-up* karena memiliki kelebihan antara lain biaya produksi relatif murah, sederhana dan kemudahan dalam pencetakan (Sadik & Amalia, 2023). Akan tetapi, kekurangan dari metode ini sering menghasilkan produk yang kurang optimal karena adanya rongga udara di dalam produk komposit.

Dalam pembuatan komponen komposit untuk sepeda motor, salah satu metode yang sering digunakan adalah *compression molding*. Penelitian yang dilakukan (Nugroho & Wantogia, 2019) menunjukkan bahwa metode *compression*

molding memiliki keunggulan dalam menghasilkan produk dengan struktur yang kuat. Metode ini tepat untuk proses pembuatan handel rem motor Yamaha NMAX yang membutuhkan kekuatan dan presisi. Sebagai bagian dari penelitian ini, cetakan yang digunakan dibuat dengan sistem *two plate mold*, yang dipilih karena sistem cetakan tersebut lebih sederhana dan mudah diaplikasikan pada proses *compression molding* sehingga memungkinkan pembuatan produk dengan lebih efisien (Ellianto & Wahyudi, 2023).

Dalam dunia manufaktur, pembuatan produk dengan bahan aluminium atau besi yang memerlukan ketelitian tinggi sering kali menggunakan mesin CNC. Penelitian yang dilakukan oleh (Budiyanto et al., 2020) fokus pada pembuatan *part* menggunakan mesin CNC *milling 3 axis*, dengan tujuan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi waktu produksi. Selain itu, penelitian ini menganalisis bagaimana variasi dalam pengaturan mesin dapat mempengaruhi efisiensi dan kualitas hasil akhir dari *part* yang diproduksi.

Dalam proses pembuatan cetakan untuk metode *compression molding*, dapat dilakukan dengan menggunakan mesin CNC. Adapun beberapa parameter penting dalam proses pemesinan, antara lain *step over*, *step down*, *feed rate*, dan *spindle speed* yang mempengaruhi hasil akhir dari pemesinan dan kualitas cetakan yang dihasilkan.

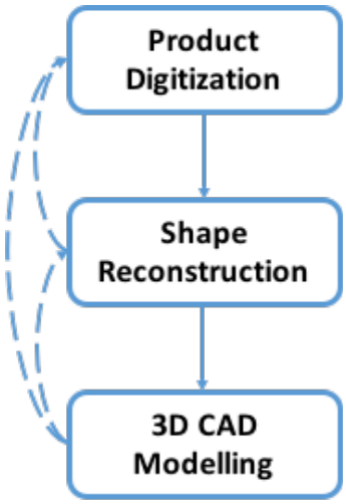
2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Reverse Engineering*

Reverse engineering didefinisikan sebagai metode untuk menganalisis dengan mengidentifikasi komponen-komponen dan hubungan antar komponen, serta mengekstrak dan mengabstraksikan informasi desain dari sistem yang sedang dianalisis. Dalam konteks industri, konsep *reverse engineering* umumnya melibatkan analisis produk yang sudah ada dari produsen lain sebagai landasan untuk merancang produk baru yang serupa, dengan tujuan mengurangi kelemahan dan meningkatkan keunggulan dibandingkan produk kompetitor. (Wibowo, 2006)

Dalam desain mekanik, reverse engineering didefinisikan sebagai proses yang memulai tahap pendesainan ulang di mana sebuah produk diprediksi, diamati, dibongkar, dianalisis, diuji, dan didokumentasikan dari segi fungsionalitas, bentuk,

prinsip fisik, kemampuan produksi, dan kemampuan perakitan. Proses ini dianggap sebagai cara untuk memahami cara kerja suatu produk, serta upaya untuk menduplikasi objek guna menghasilkan model pengganti yang dapat meningkatkan performanya, sekaligus menangkap dan menerapkan pengetahuan yang terdapat dalam desain baru. Gambar 2- 1 menunjukkan alur proses *reverse engineering*.

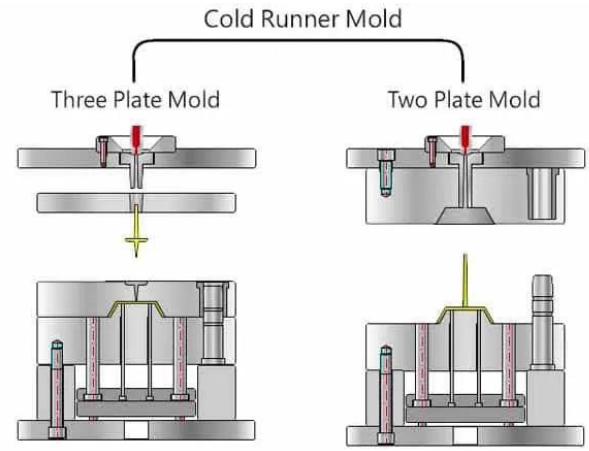


Gambar 2- 1 Proses *Reverse Engineering*

Sumber : Anwer & Mathieu, (2016)

2.2.2 Cetakan

Cetakan adalah alat yang digunakan dalam proses pembuatan produk. Fungsi utamanya adalah mengubah bahan mentah menjadi produk jadi. Terdapat dua jenis cetakan, yaitu *two plate mold* dan *three plate mold*, yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada konstruksinya. (Kazmer, 2007). Sesuai dengan namanya, cetakan jenis *two plate mold* hanya terdiri dari dua pelat, yaitu *core plate* dan *cavity plate*. Sementara itu, *three plate mold* memiliki satu pelat tambahan, yaitu *runner plate*, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2.

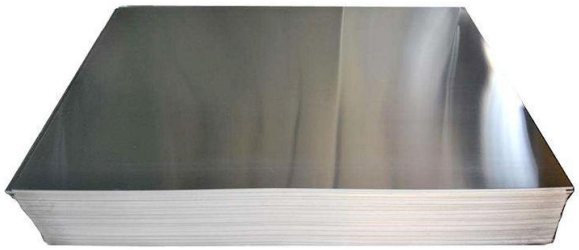


Gambar 2- 2 Perbedaan *Three Plate Mold* dan *Two Plate Mold*
Sumber : Kazmer, (2007)

Konstruksi cetakan mempengaruhi jenis material yang dapat digunakan untuk setiap jenis *cetakan*. Pada *three plate mold*, terdapat *runner plate* yang berfungsi untuk mengalirkan cairan material ke *core plate* dan *cavity plate*. Meskipun *three plate mold* memiliki kelebihan dalam menggunakan material cair, cetakan ini juga memiliki kekurangan, yaitu biaya dan proses produksinya yang lebih tinggi dibandingkan dengan *two plate mold*.

2.2.3 Aluminium

Aluminium adalah salah satu jenis logam yang tergolong ringan. Meskipun demikian, material ini memiliki sejumlah keunggulan, seperti ketahanan terhadap korosi, harga yang terjangkau, konduktivitas panas yang baik, dan kemampuan menahan oksidasi. Aluminium dibagi ke dalam beberapa kelas, mulai dari grade 4xxx hingga 7xxx, yang juga dilengkapi dengan nomor seri yang menunjukkan kandungan dan keunggulan masing-masing seri (Suratman, 2001). Paduan aluminium yang mengandung magnesium seperti pada paduan 5xxx memiliki ketahanan korosi yang hampir sama dengan aluminium murni, bahkan lebih tahan dengan air garam. Seperti yang terlihat pada gambar 2-3



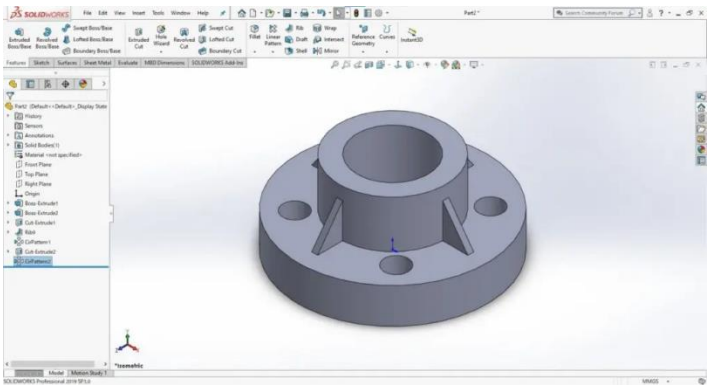
Gambar 2- 3 Aluminium

Sumber : https://id.made-in-china.com/

2.2.4 *Computer Aided Design* (CAD)

Computer-Aided Design (CAD) banyak digunakan pada perangkat berbasis komputer yang mendukung insinyur teknik, arsitek, dan profesional desain dalam berbagai aktivitas perancangan. CAD merupakan alat utama untuk mengelola geometri dalam proses manajemen siklus hidup produksi, yang mencakup baik perangkat lunak maupun perangkat keras. Paket CAD tersedia dari vektor 2D yang mendasari gambar sistem hingga permukaan parametrik 3D dan pemodelan solid (Handayani & Ningsih, 2005).

Fungsi khusus dari CAD mencakup beberapa aspek, antara lain: pertama, untuk mengembangkan desain yang dibuat di terminal grafik dengan menggunakan elemen geometrik dasar seperti garis, titik, lingkaran, kerucut, dan kotak. Kedua, untuk menganalisis desain dan menghitung komponen-komponen seperti berat, volume, dan jenis material. Ketiga, untuk mensimulasikan desain guna mempelajari pergerakan mekanisme yang ada. Keempat, untuk mengevaluasi desain dengan tujuan mengurangi kesalahan ukuran atau kesalahan dalam perakitan. Kelima, untuk memodifikasi desain agar memenuhi fungsi-fungsi yang diperlukan oleh komponen baru. Beberapa contoh perangkat lunak terkait dengan *Computer Aided Design* antara lain, AutoCAD, Solidworks, Inventor, dan Fusion 360. Gambar 2-4 menunjukkan visualisasi hasil desain CAD.

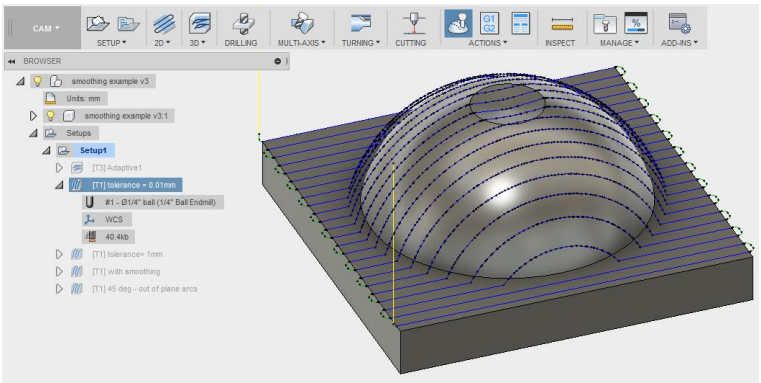


Gambar 2- 4 Visualisasi *Computer Aided Design*

Sumber : https://cad-kenkyujo.com/

2.2.5 *Computer Aided Manufacture* (CAM)

Computer *Aided Manufacture* (CAM) adalah teknologi yang memanfaatkan perangkat lunak dan mesin untuk mengotomatisasi proses produksi. CAM sering digunakan bersamaan dengan *Computer Aided Design* (CAD). Perangkat lunak yang mengintegrasikan CAD dan CAM dikenal sebagai *software* CAD/CAM. Selain bahan yang dibutuhkan, sistem CAM modern juga mencakup kontrol waktu nyata dan robotika. Proses pemotongan atau pembentukan benda kerja dapat disimulasikan dalam *software* CAD/CAM. (Prianto, M.Eng, 2017). Berikut beberapa contoh perangkat lunak terkait dengan *computer aided manufacture* antara lain, MasterCAM, SolidCAM, Powermill, dan Autodesk HSM. Gambar 2-5 menunjukkan alur pemakanan pada benda kerja pada fusion 360.

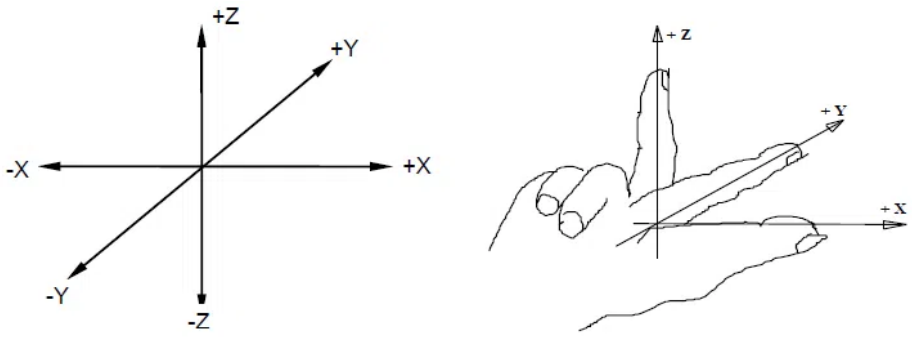


Gambar 2- 5 Alur Pemakanan Benda Kerja

Sumber : https://forums.autodesk.com/

2.2.6 *Computer Numerical Control* (CNC)

CNC (Computer Numerical Control) didefinisikan sebagai sebuah sistem komputer yang mengkonversikan rancangan menjadi sebuah perintah (*Number*). Komputer ini memanfaatkan kendali (*Control*) untuk melakukan pemotongan (*Cutting*) dan membentuk (*Shaping*) model. Dalam banyak kasus, sistem CAM bekerja bersama dengan desain CAD dalam format 3D. (Handayani & Ningsih, 2005). CNC digunakan untuk melakukan proses pemesinan dan perancangan. Jumlah Axis pada mesin CNC pada umumnya memiliki 2 Axis dan 3 Axis, serta 4 Axis dan 5 Axis. Di banyak kasus sistem CAM akan bekerja dengan perancangan CAD yang dibuat di lingkungan 3 dimensi. Programmer CNC akan menentukan operasi mesin dan sistem CAM yang akan membuat program CNC. Mesin CNC 3 Axis adalah mesin CNC yang menggunakan 3 arah mata pahat sebagai arah pergerakan yaitu sumbu X, sumbu Y, dan Sumbu Z. Seperti diilustrasikan pada gambar 2-6 berikut.



Gambar 2- 6 Kaidah Tangan Kanan

Sumber : https://kreasimudaindonesia.com/

Sumbu mesin CNC menentukan gerakan pada pahat terhadap benda kerja. Pada mesin CNC standar yang digunakan pada sumbu mesin yaitu dengan menggunakan kaidah tangan kanan dapat dilihat pada gambar 2-6 diatas. *International Organization for Standardizatio*n (ISO) telah mengeluarkan standar sumbu mesin yaitu gerakan sumbu Z dengan arah gerak vertikal orientasi bersama dengan gerak *spindle*, sumbu X dengan arah gerak horizontal, kemudian sumbu Y yang mengikuti kaidah tangan kanan sehingga membentuk sumbu X, Y, dan Z untuk menyatakan gerakan pahat (Paryanto, 2012). Gambar 2-7 menunjukkan mesin CNC *milling* dengan 3 *axis*.

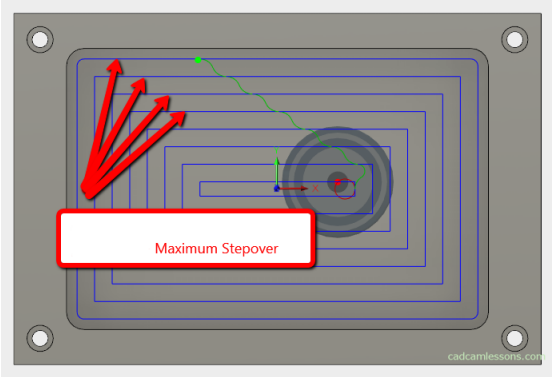


Gambar 2- 7 CNC 3 *Axis*

Sumber : https://e-katalog.lkpp.go.id/

2.2.7 *Parameter* Pemesinan

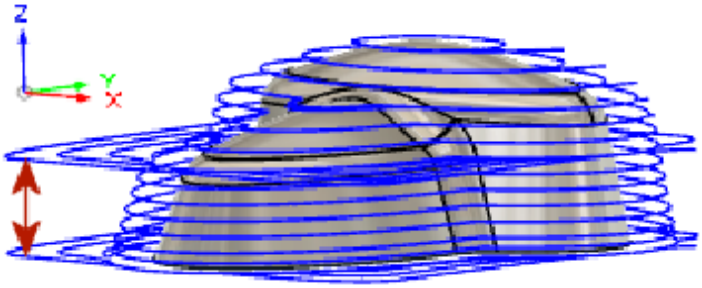
Dalam melakukan perancangan pemesinan dengan computer aided manufacture, terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam prosesnya, yaitu *stepover*,*stepdown, feedrate,* dan *spindle speed*. *Step over* adalah langkah atau jarak pemakanan pada sumbu X dan Y seperti diilustrasikan pada Gambar 2-8 berikut.



Gambar 2- 8 *Maximum Step Over*

Sumber : https://cadcamlessons.com/

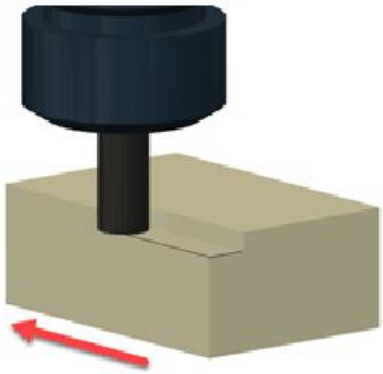
Step down adalah langkah atau jarak pemakanan pada sumbu Z seperti diilustrasikan pada Gambar 2-9 berikut.



Gambar 2- 9 *Maximum Step Down*

Sumber : Fusion 360

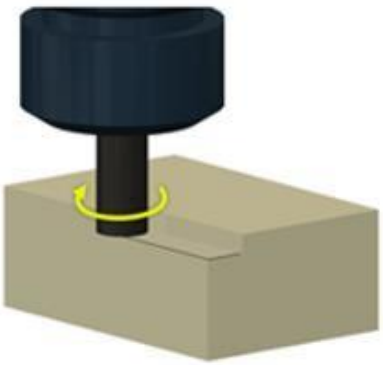
Feedrate adalah kecepatan pemakanan mesin cnc dengan satuan mm/min. Seperti diilustrasikan pada Gambar 2- 10 berikut.



Gambar 2- 10 *Feedrate*

Sumber : Fusion 360

Spindle Speed adalah kecepatan dari *spindle* dalam melakukan pemakanan material seperti diilustrasikan pada Gambar 2-11 berikut.



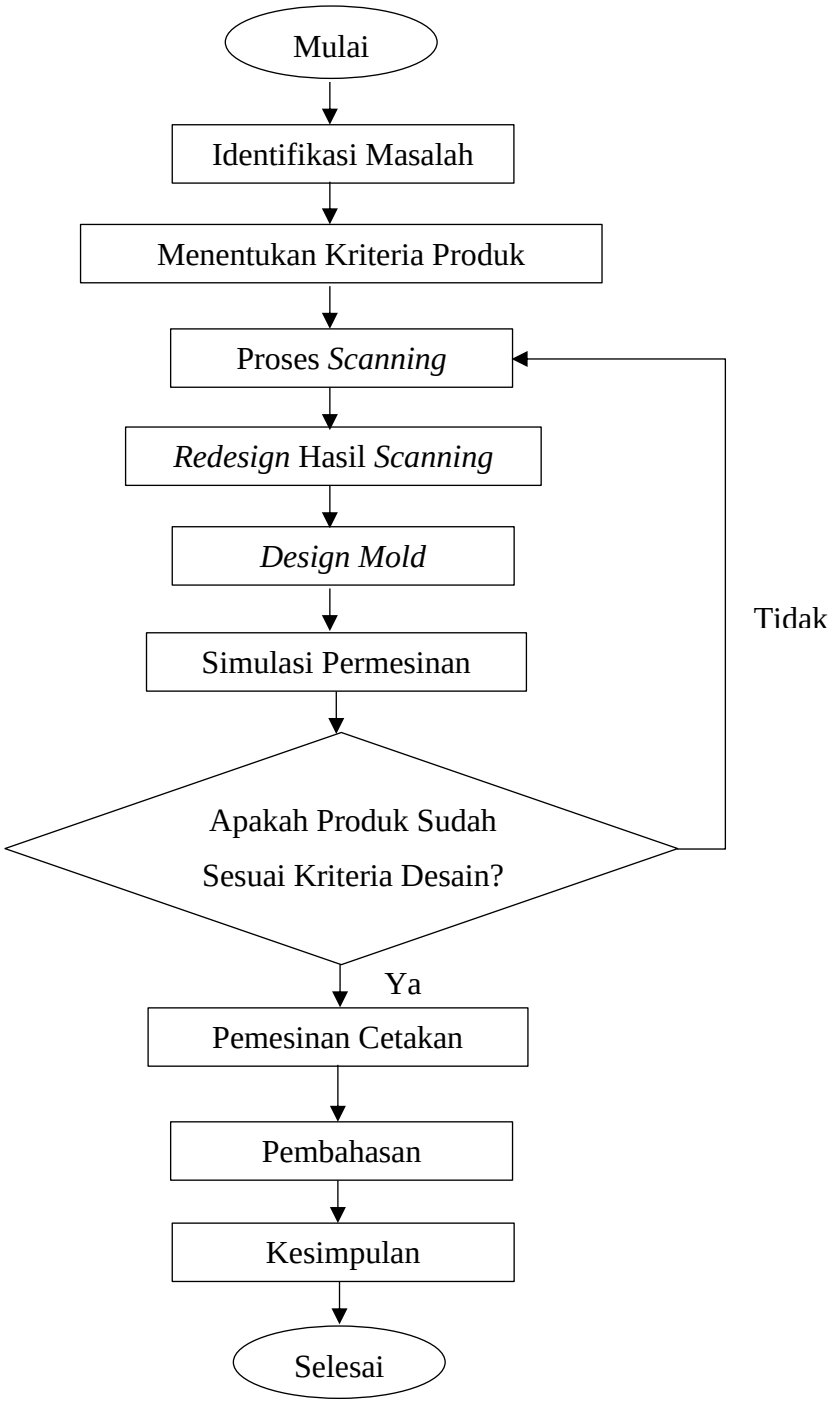
Gambar 2- 11 *Spindle Speed*

Sumber : Fusion 360

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3- 1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan yang dapat dilihat pada tabel 3-1 dan 3-2.

Tabel 3- 1 Peralatan

No	Nama Alat	Fungsi	Gambar
1	Alat Tulis	Untuk menulis hal yang diinginkan	
2	*Bandsaw*/Gergaji	Untuk memotong material	
3	*Smartphone*/HP	Untuk mendokumentasikan pekerjaan	

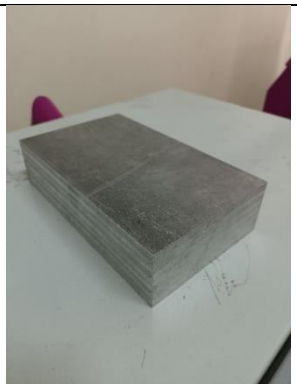
4	Jangka Sorong	Untuk mengetahui dimensi aktual	
5	Kunci Pas	Untuk mengatur *Hydraulic Vice*	
6	Laptop	Untuk penggunaan *software* Handy studio, Solidworks 2021, Fusion 360	
7	Mata Pahat Endmill 6mm	Untuk memotong atau mengurangi material	

8	Mata Pahat Endmill 3mm	Untuk memotong atau mengurangi material	
9	Mata Pahat Endmill 1.5mm	Untuk memotong atau mengurangi material	
10	Mistar	Untuk mengetahui dimensi aktual	
11	Mesin Frais	Untuk meratakan material	

12	Mesin CNC *Milling* Supermill MK 2.0	Untuk melakukan proses pemesinan	
13	Palu Karet	Untuk mengencangkan material pada *hydraulic vice*	
14	*3D SCAN*	Untuk memvisualisasikan produk menjadi 3D desain	
15	*Hydraulic Vice*	Untuk mencekam material	

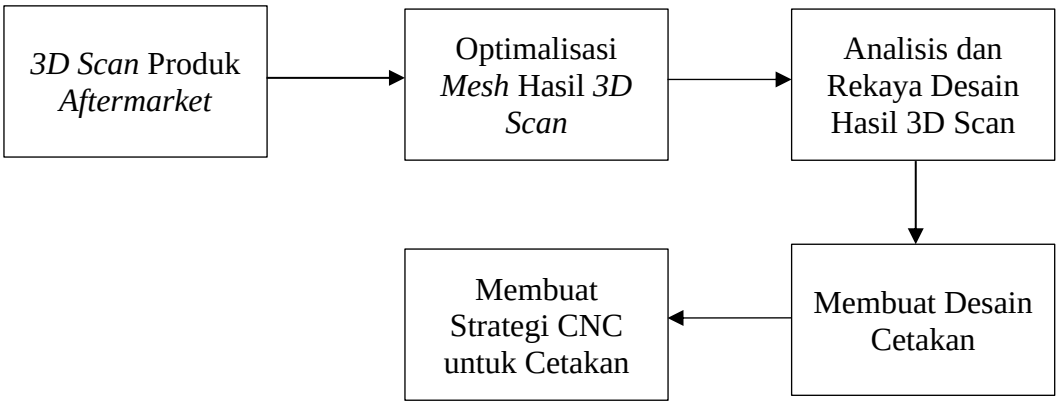
16	Kunci *Chuck*	Untuk membuka dan mengencangkan mata pahat pada *collet*	
17	Dudukan Ragum	Untuk mengatur ketinggian benda kerja pada ragum	
18	Mesin *Drilling*	Untuk membikin lubang pada cetakan	

Tabel 3- 2 Bahan

No	Bahan	Fungsi	Gambar
1	Aluminium *Grade* 5052	Untuk material utama	
2	*Collant*	Untuk pendingin mesin CNC *Milling*	
3	*Oil*/Pelumas	Untuk pelumas mesin CNC *Milling*	
4	Air Mineral	Untuk campuran *Collant*	

3.3 Perancangan Produk

Proses perancangan produk dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang akan dilakukan. Tahapan pertama dimulai dengan melakukan *3D scan* produk handel *aftermarket* yang sudah disiapkan untuk memperoleh data geometrik yang berguna untuk proses berikutnya. Tahapan terakhir dalam perancangan desain ini adalah menggunakan Fusion 360 untuk membuat strategi pemesinan CNC (*Computer Numerical Control*) untuk persiapan pembuatan cetakan handel rem. Berikut pada gambar 3-2 dibawah ini merupakan alur perancangan desain yang akan dilakukan.



Gambar 3- 2 Alur Perancangan Desain

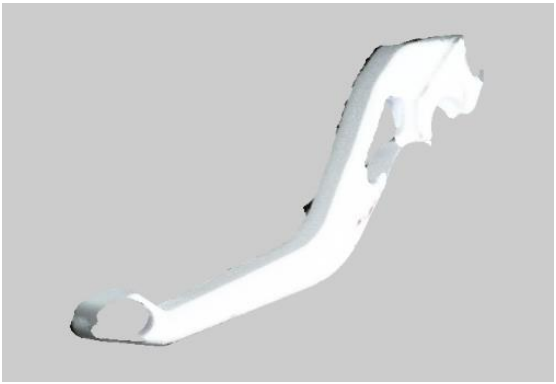
Sebelum memulai proses perancangan produk tahap awal, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah memilih bagian sepeda motor yang akan dibuatkan *mold* (cetakan). Dalam penelitian ini, pemilihan komponen yang dipilih adalah *handle* rem motor NMA*X*. Handel rem motor Yamaha NMAX dipilih karena bagian ini memiliki visibilitas yang tinggi dan menjadi salah satu komponen yang sering dimodifikasi oleh penggunanya. Produksi handel rem ini diawali dengan pembuatan cetakan yang akan diperhatikan agar dapat menghasilkan produk yang berkualitas dan mudah diproduksi, seperti yang terlihat pada gambar 3-3.



Gambar 3- 3 Handel Rem pada Motor Yamaha NMAX

Setelah tahap pemilihan handel rem *aftermarket*, untuk mendapatkan dimensi dan geometri pada produk tersebut penulis menggunakan metode *reverse engineering* dengan menggunakan *3D scan*. Setelah melakukan *3D scan*, langkah berikutnya adalah melakukan analisis terhadap geometri dan dimensi hasil *3D scan*. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi desain yang perlu dipertahankan atau dimodifikasi pada tahap perancangan berikutnya.

Selanjutnya, penulis melakukan desain ulang berdasarkan hasil *3D Scan* yang sudah dianalisis menggunakan aplikasi Solidworks. Pada tahap ini, beberapa bagian handel rem mengalami perubahan atau modifikasi seperti pada bagian lubang. Desain ulang ini dilakukan karena mempertimbangkan faktor teknis yang akan dilakukan pada proses berikutnya. Gambar 3-4 menunjukkan desain yang telah diperoleh.



Gambar 3- 4 Hasil 3D Scan Handel Rem

3.3.1 Kriteria Desain Cetakan

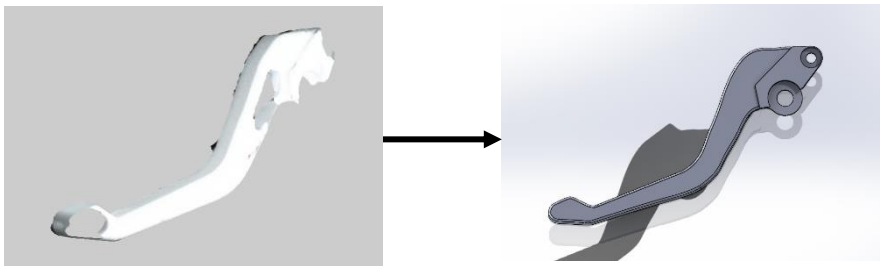
Setelah produk yang akan dibuat ditetapkan, langkah selanjutnya adalah menentukan kriteria perancangan yang menjadi target dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Konfigurasi cetakan dapat melakukan pelepasan produk komposit tanpa merusak hasil akhir produk.
2. Cetakan dapat digunakan untuk membuat produk komposit berbahan *chopped carbon* dengan metode *compression molding.*
3. Produk komposit yang dihasilkan sesuai dengan desain yang dibuat.

Setelah kriteria perancangan ditetapkan, langkah selanjutnya adalah melanjutkan dengan proses perancangan desain produk, perancangan cetakan, perancangan proses manufaktur, dan pembuatan cetakan.

3.3.2 Desain Produk

Berdasarkan kriteria desain yang telah dirumuskan, diperlukan modifikasi terhadap model 3D yang sebelumnya diperoleh dari proses *3D scan*. Proses ini dilakukan dengan menggunakan fitur *surface* dan *slice* pada *software* Solidworks. Modifikasi diterapkan pada beberapa bagian model, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-5. Salah satu alasan dilakukannya modifikasi adalah karena mesin CNC Supermill MK 2.0 yang digunakan dalam pembuatan cetakan hanya mampu memproses material pada tiga sumbu yaitu sumbu x, y, dan z. Tanpa adanya modifikasi pada desian produk, maka hasil pembuatan cetakan tidak akan maksimal dan menyebabkan produk mengalami cacat.

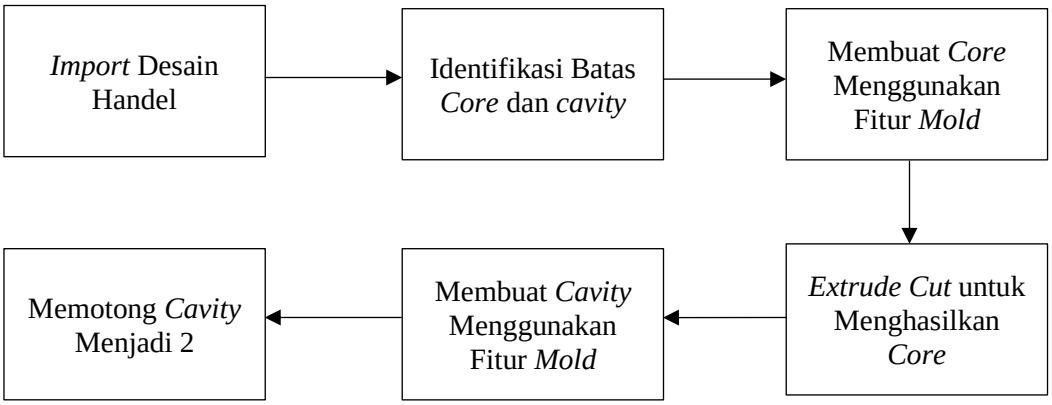


Gambar 3- 5 Perbedaan Handel Setelah Dimodifikasi

Modifikasi desain dilakukan karena dengan adanya *fillet* dan banyak lubang pada hasil *3d scan* untuk mempermudah pemesinan karena mesin yang digunakan hanya memiliki tiga *axis*. Selain itu modifikasi dilakukan untuk mengoptimalisasi proses produksi secara keseluruhan, seperti kemudahan dalam pembukaan cetakan ketika melakukan *compression molding.*

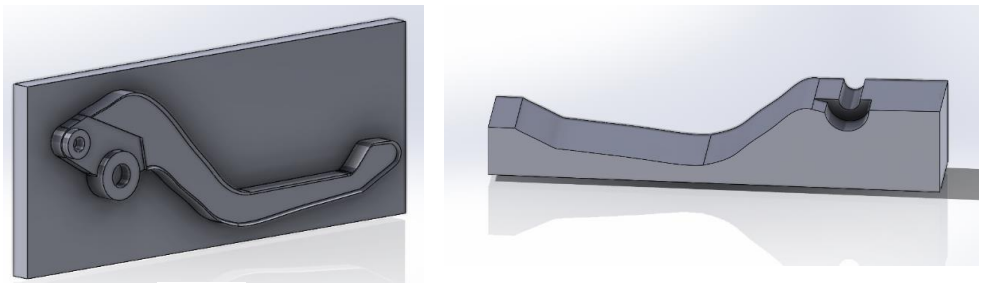
3.3.3 Desain Cetakan

Proses perancangan desain cetakan terdiri dari beberapa tahapan yang akan dilakukan. Tahapan pertama dimulai dengan impor desain handel rem menuju Solidworks dan identifikasi bagian handel rem yang menjadi batas antara cetakan bagian *core* dan *cavity*. Hingga tahapan terakhir pada proses perancangan desain cetakan adalah membagi dua bagian *cavity* dengan mengikuti garis bentuk handel rem. Berikut pada gambar 3-6 dibawah ini merupakan alur perancangan cetakan yang akan dilakukan.

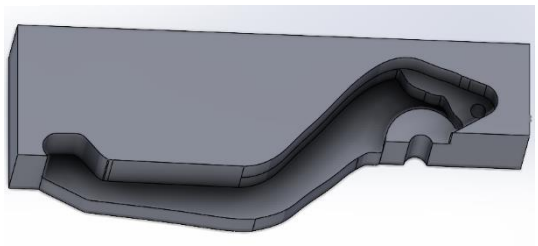


Gambar 3- 6 Alur Proses Desain Cetakan

Pada proses ini menghasilkan 3 bagian cetakan karena bagian *cavity* dipotong menjadi 2 bagian terpisah. Pembagian *cavity* menjadi dua bagian tersebut bertujuan untuk menambah efisiensi dalam proses produksi dan mempermudah pelepasan produk komposit. Berikut pada gambar 3-7 menunjukkan hasil desain cetakan.



a) b)



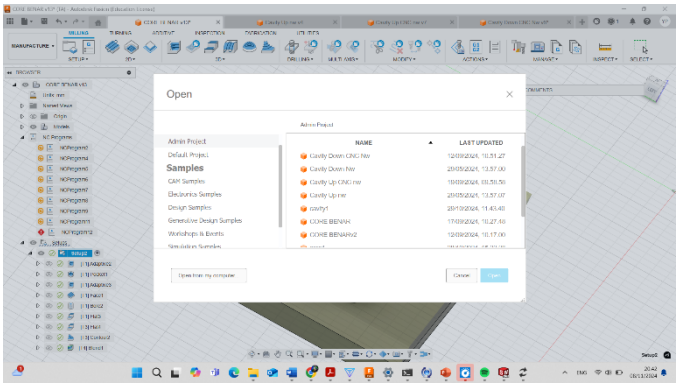
c)

Gambar 3- 7 Hasil Proses Desain Cetakan a) *Core Plate*, b) *Cavity Down Plate*, c) *Cavity Up Plate*

3.4 Simulasi Pemesinan

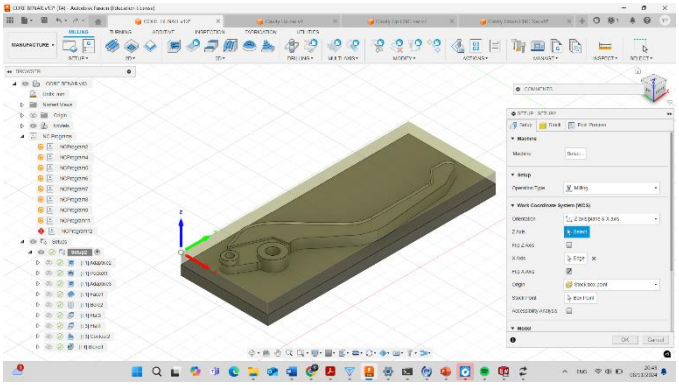
Simulasi pemesinan dilakukan dengan memakai perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Proses ini meliputi beberapa langkah, yaitu:

1. Membuka Autodesk Fusion 360 dan mengimpor desain cavity plate serta core plate yang telah dibuat sebelumnya, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3-8.



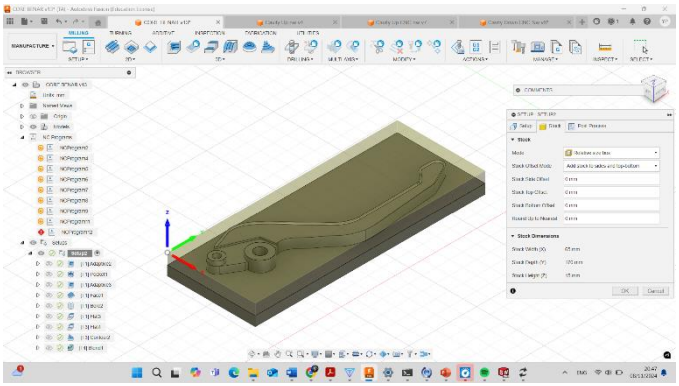
Gambar 3- 8 *Import* desain cetakan

2. Mengatur titik origin benda kerja pada sumbu X, Y, dan Z menyesuaikan kondisi mesin CNC, seperti terlihat pada Gambar 3-9.



Gambar 3- 9 Mengatur titik origin pada benda kerja

3. Menentukan perbedaan ukuran antara benda kerja dan stock yang akan digunakan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-10.



Gambar 3- 10 Mengatur ukuran *stock*

4. Memilih strategi pemesinan, jenis mata pahat, dan parameter yang digunakan sebagai dasar pemesinan. Parameter dan mata pahat yang digunakan didasarkan pada penelitian sebelumnya untuk mendapatkan estimasi waktu terbaik, yang dirangkum pada Tabel 3-3 dan Tabel 3-4

Tabel 3- 3 Parameter Pemesinan *Core Plate*

Tahap	Strategi	Diameter Pahat	*Step Over*	*Step Down*	*Feed Rate*	*Spindle Speed*
Roughing 1	*Adaptive Clearing*	*Flat End Mill* Ø 6 mm	1.8	1.2	750 mm/min	5000 rpm
Roughing 2	*Pocket Clearing*	*Flat End Mill* Ø 3 mm	*0.9*	0.5	500 mm/min	5000 rpm
	Adaptive Clearing		0.9	0.5	500 mm/min	
	Face		0.9	0.5	500 mm/min	
	Bore		0.9	0.5	80 mm/min	
Finishing 1	*Flat*	*Flat End Mill* Ø 3 mm	0.9	0.3	500 mm/min	5000 rpm
Finishing 2	*Flat*	*Flat End Mill* Ø 1.5 mm	0.9	0.3	300 mm/min	5000 rpm
	Contour		0.45	0.5	300 mm/min	
	Blend		0.15	No	250 mm/min	

Tabel 3- 4 Parameter Pemesinan *Cavity Up*

Tahap	Strategi	Diameter Pahat	*Step Over*	*Step Down*	*Feed Rate*	*Spindle Speed*
Roughing 1	*Adaptive Clearing*	*Flat End Mill Ø 6 mm*	1.8	1.2	750 mm/min	5000 rpm
Roughing 2	*Pocket Clearing*	*Flat End Mill Ø 3 mm*	0.9	0.5	500 mm/min	5000 rpm
	Adaptive Clearing		0.9	0.5	500 mm/min	
	Bore		0.9	0.5	80 mm/min	

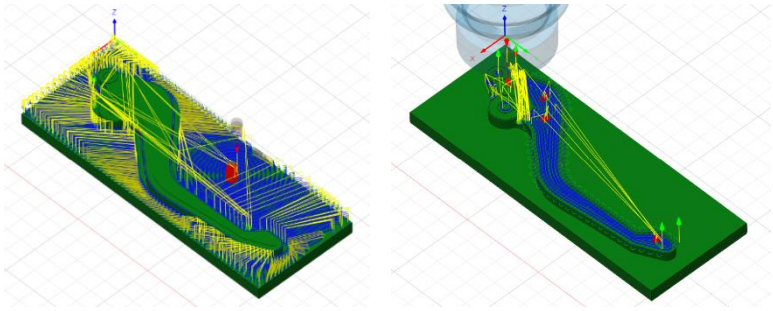
Finishing 1	*Contour*	*Flat End Mill Ø 3 mm*	0.9	0.5	500 mm/min	5000 rpm
	Flat		1.5	0.5	500 mm/min	
Finishing 2	*Pocket*	*Flat End Mill Ø 1.5 mm*	0.9	0.4	300 mm/min	5000 rpm
	Flat		0.7	0.4	300 mm/min	

Tabel 3- 5 Parameter Pemesinan *Cavity Down Plate*

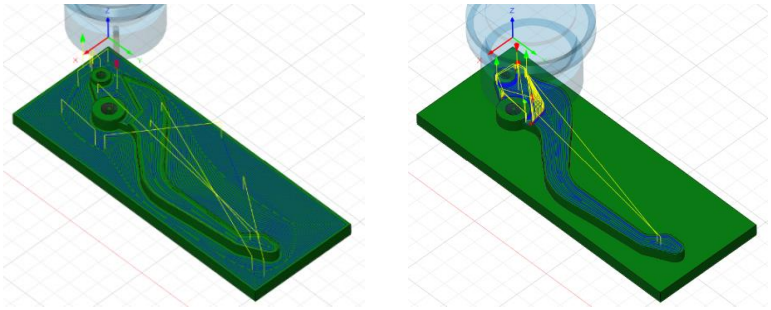
Tahap	Strategi	Diameter Pahat	*Step Over*	*Step Down*	*Feed Rate*	*Spindle Speed*
Roughing 1	*Adaptive Clearing*	*Flat End Mill Ø 6 mm*	1.8	1.2	750 mm/min	5000 rpm
Roughing 2	*Adaptive Clearing*	*Flat End Mill Ø 3 mm*	0.9	0.5	500 mm/min	5000 rpm
	Bore		0.9	0.5	80 mm/min	
Finishing 1	*Contour*	*Flat End Mill Ø 3 mm*	0.9	0.6	500 mm/min	5000 rpm

Parameter pemesinan seperti *step over*, *step down,* dan *feed rate* disesuaikan dengan jenis mata pahat yang digunakan dalam proses pemesinan aluminium. Penggunaan *spindle speed* sebesar 5000 RPM dipilih untuk meningkatkan hasil pemesinan dengan menghasilkan permukaan yang lebih halus serta mengurangi getaran berlebih pada mesin, sehingga proses pemakanan dapat berlangsung stabil.

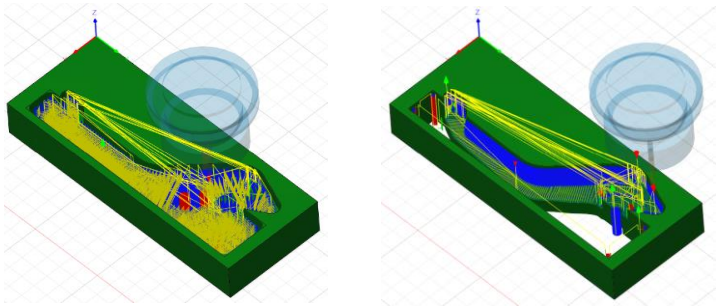
Strategi pemesinan dilakukan bertahap pada setiap strateginya. Secara garis besar dibagi menjadi dua tahap yaitu *roughing* dan *finishing.* Tahap tersebut memperoleh alur toolpath seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-11 dan gambar 3-12 untuk *core plate,* gambar 3-13 dan gambar 3-14 untuk *cavity up plate,* dan gambar 3-15 dan gambar 3-16 untuk *cavity down plate.*



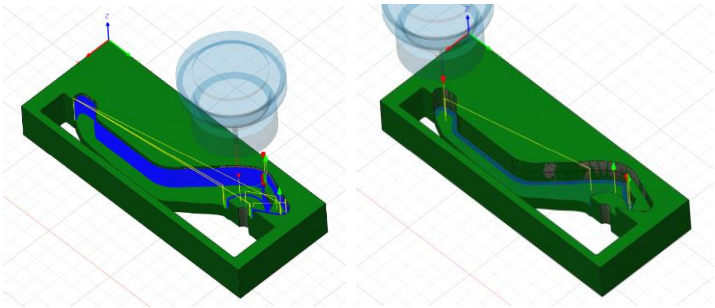
Gambar 3- 11 Simulasi Pemesinan *Roughing* 1 dan 2 *Core Plate*



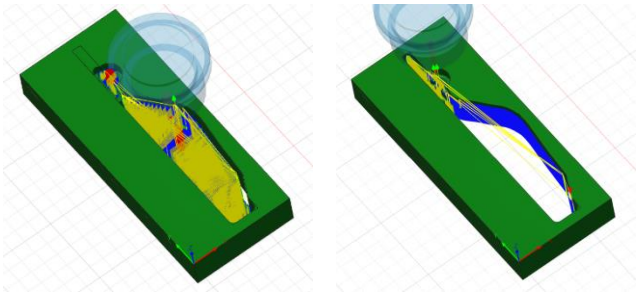
Gambar 3- 12 Simulasi Pemesinan *Finishing* 1 dan 2 *Core Plate*



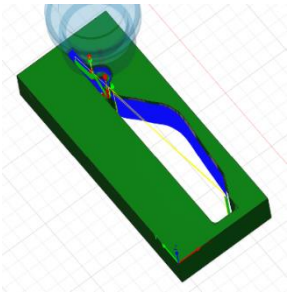
Gambar 3- 13 Simulasi Pemesinan *Roughing* 1 dan 2 *Cavity Up Plate*



Gambar 3- 14 Simulasi Pemesinan *Finishing* 1 dan 2 *Cavity Up Plate*



Gambar 3- 15 Simulasi Pemesinan *Roughing* 1 dan 2 *Cavity Down Plate*



Gambar 3- 16 Simulasi Pemesinan *Finishing* 1 *Cavity Down Plate*

3.5 Persiapan Benda Kerja Aluminium

Persiapan benda kerja aluminium dimulai dengan proses *facing* pada sisi tegak benda kerja, yang bertujuan untuk memastikan permukaan benda kerja rata dan sejajar sehingga dapat dijepit dengan baik pada ragum. Proses *facing* ini dilakukan menggunakan mesin *frais* untuk menghasilkan permukaan yang halus dan akurat. Langkah ini penting untuk proses CNC dan mengurangi risiko kesalahan penjepitan pada ragum, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-17.



Gambar 3- 17 Proses *Facing* Material

3.6 Pemesinan Cetakan

Setelah cetakan melewati tahap perancangan dan simulasi pemesinan, proses pemesinan cetakan dilakukan dengan menggunakan parameter yang telah diperoleh dari hasil simulasi. Mesin yang digunakan adalah mesin *milling* Supermill MK 2.0 dari D-tech Powermill. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam proses pemesinan cetakan:

1. Mengencangkan benda kerja aluminium pada ragum dengan kuat dan memastikan permukaannya menempel dengan baik pada ragum, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-18.



Gambar 3- 18 Mencekam Benda Kerja pada Ragum Mesin CNC

2. Menyalakan mesin *milling* Supermill MK 2.0 dan melakukan kalibrasi untuk mengurangi risiko kerusakan pada mesin atau benda kerja, seperti terlihat pada Gambar 3-19.



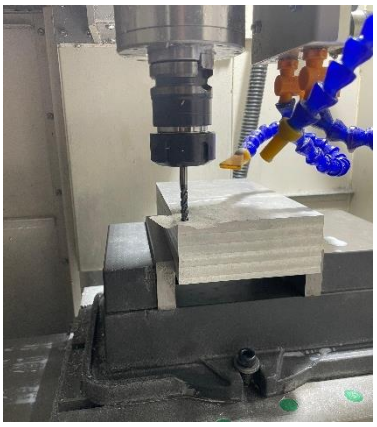
Gambar 3- 19 Menyalakan Mesin dan Kalibrasi

3. Memasang mata pahat secara bertahap sesuai dengan hasil simulasi pemesinan sebelumnya, sebagaimana terlihat pada Gambar 3-20.



Gambar 3- 20 Memasang Mata Pahat

4. Mengatur titik origin mesin *milling* pada benda kerja terhadap sumbu X, Y, dan Z, kemudian memasukkan data titik origin ke parameter offset yang tersedia di mesin milling Supermill MK 2.0, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-21.



Gambar 3- 21 Mengatur Titik Origin

5. Melakukan verifikasi ulang dengan memasukkan kode G00 X0 Y0 ke dalam sistem mesin dan mengkonfirmasi ulang secara manual dengan mendekatkan mata pahat pada benda kerja dengan jarak setengah diameter mata pahat, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3-22.



Gambar 3- 22 Mengecek Titik Origin

6. Setelah titik origin sudah dipastikan benar, memasukkan *G code* untuk *roughing*, *finishing* 1, dan *finishing* 2 yang telah diperoleh dari simulasi pemesinan secara bertahap ke dalam mesin *milling* Supermill MK 2.0, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-23.



Gambar 3- 23 Memasukkan *G-Code*

7. Memantau dan menunggu proses pemesinan CNC berlangsung, sebagaimana terlihat pada Gambar 3-24.

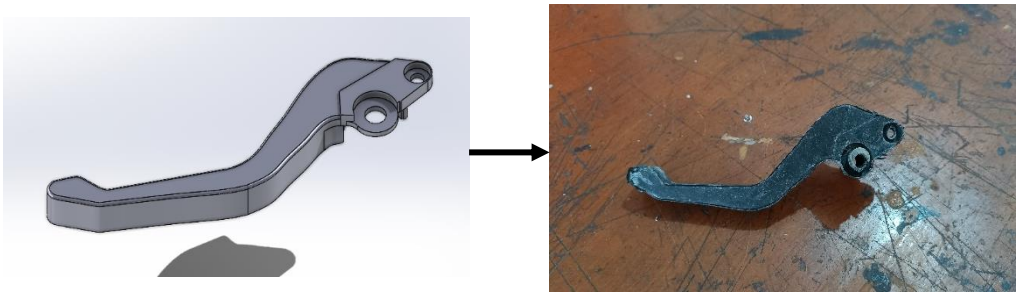


Gambar 3- 24 Proses Pemesinan Cetakan

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Desain Handel Rem Yamaha NMAX

Desain produk telah dibuat menggunakan *software* Solidworks, hasil dari desain ini digunakan untuk pembuatan desain cetakan. Desain pada produk ini telah dimodifikasi sesuai dengan kriteria desain yang ditentukan, dengan melakukan penutupan lubang pada beberapa bagian agar mempermudah pada proses pembuatan dan penggunaan cetakan. Modifikasi tersebut juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Meskipun ada perubahan dalam beberapa bagian, produk tetap memiliki dimensi yang sama dan tidak mengubah fungsi dari produk tersebut. Produk memiliki tampilan visual yang berbeda namun tidak mengurangi kualitas atau daya tahan produk seperti yang ditunjukan pada Gambar 4-1.



Gambar 4- 1 Perbandingan Hasil Desain dan Produk Jadi Sebelum *Finishing*

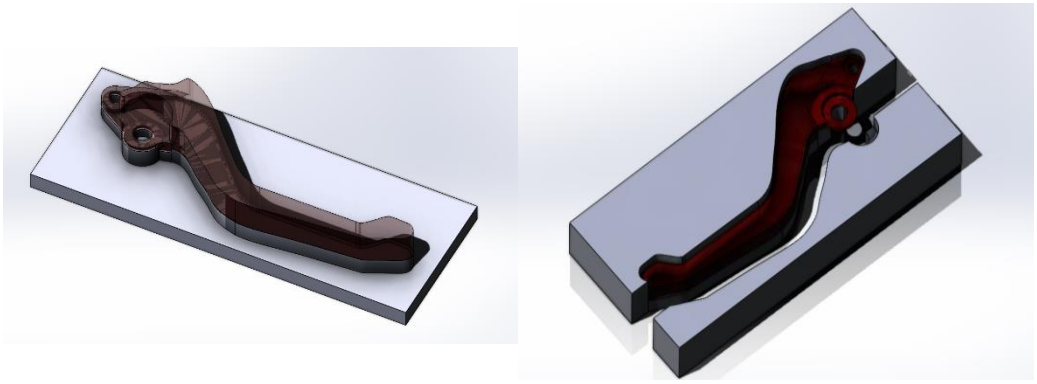
4.2 Hasil Desain Cetakan

Setelah perancangan produk selesai, langkah selanjutnya adalah perancangan cetakan yang digunakan untuk memproduksi handel rem menggunakan proses *compression molding.* Desain cetakan telah dibuat menggunakan fitur *mold* pada *software* solidworks. Hasil cetakan merupakan modifikasi yang telah dilakukan berulang kali agar sesuai dengan kriteria desain.

Konfigurasi cetakan dirancang dengan membagi bagian *cavity* menjadi dua bagian terpisah untuk mempermudah proses pelepasan produk setelah pencetakan.

Pembagian ini memastikan bahwa produk dapat dikeluarkan tanpa hambatan, sehingga mengurangi risiko kerusakan atau cacat pada permukaan.

Cetakan ini dirancang untuk metode *compression molding* dan terdiri dari dua bagian yaitu pada bagian *cavity plate* dan *core plate* dengan bagian *cavity plate* dibagi menjadi 2 bagian agar mempermudah ketika melakukan pemesinan dan ketika pelepasan komposit saat proses *compression molding.* Dimensi keseluruhan cetakan memiliki panjang 170 mm, lebar 65 mm, dan tebal 45 mm seperti yang ditunjukan pada Gambar 4-2.



a) b)

Gambar 4- 2 Perbandingan Hasil Desain Cetakan Dengan Desain Produk a) *Core Plate,* b) *Cavity Plate*

4.3 Hasil Pemesinan

Pada pemesinan cetakan menggunakan mesin milling Supermill MK 2.0 dan *G-code* hasil dari simulasi pemesinan menggunakan *software* Autodesk Fusion 360. Hal terpenting dalam proses pemesinan adalah melakukan *setting* titik origin yang akurat baik dari sumbu X, Y, dan Z pada cetakan agar mendapatkan hasil yang bagus, halus, dan presisi sesuai dengan desain.Dalam melakukan *setting* titik origin pada proses pemesinan tergolong ke tahap yang rumit dan memerlukan ketelitian yang baik, sebab apabila tidak teliti dalam melakukan dapat menyebabkan kerusakan pada mata pahat ataupun benda kerjanya.

Lama waktu pemesinan cetakan pada mesin *milling* Supermill MK 2.0 terdapat perbedaan dengan waktu estimasi yang ada di *fusion 360*. Berikut tabel 4-1 hingga tabel 4-3 akan menjabarkan tentang perbedaan waktu yang terjadi.

Tabel 4- 1 Perbedaan Waktu Pemesinan *Core Plate* Antara *Fusion 360* dan Supermill MK 2.0

Tahap	Strategi	Waktu Pemesinan	
		Fusion 360	Supermill MK 2.0
Roughing 1	*Adaptive Clearing*	52 menit 48 detik	58 menit 44 detik
Roughing 2	*Pocket Clearing*	10 menit 04 detik	11 menit 07 detik
	Adaptive Clearing	06 menit 13 detik	06 menit 49 detik
	Face	03 menit 56 detik	04 menit 15 detik
	Bore	21 menit 07 detik	23 menit 25 detik
Finishing 1	*Flat*	18 menit 32 detik	20 menit 36 detik
Finishing 2	*Flat*	07 menit 40 detik	08 menit 32 detik
	Contour	02 menit 50 detik	03 menit 10 detik
	Blend	04 menit 39 detik	05 menit 03 detik
Total		2 jam 08 menit 23 detik	2 jam 21 menit 41 detik

Tabel 4- 2 Perbedaan Waktu Pemesinan *Cavity Up Plate* Antara *Fusion 360* dan Supermill MK 2.0

Tahap	Strategi	Waktu Pemesinan	
		Fusion 360	Supermill MK 2.0
Roughing 1	*Adaptive Clearing*	2 jam 09 menit 44 detik	2 jam 14 menit 22 detik
Roughing 2	*Pocket Clearing*	08 menit 09 detik	08 menit 46 detik
	Adaptive Clearing	32 menit 41 detik	42 menit 12 detik
	Bore	26 menit 53 detik	29 menit 51 detik
Finishing 1	*Contour*	18 menit 29 detik	20 menit 31 detik
	Flat	45 detik	50 detik
Finishing 2	*Pocket*	59 detik	01 menit 06 detik
	Flat	7 menit 33 detik	08 menit 21 detik
Total		3 jam 45 menit 46 detik	4 jam 5 menit 59 detik

Tabel 4- 3 Perbedaan Waktu Pemesinan *Cavity Down Plate* Antara *Fusion 360* dan Supermill MK 2.0

Tahap	Strategi	Waktu Pemesinan	
		Fusion 360	Supermill MK 2.0
Roughing 1	*Adaptive Clearing*	1 jam 43 menit 59 detik	1 jam 55 menit 23 detik
Roughing 2	*Adaptive Clearing*	1 jam 17 menit 20 detik	1 jam 25 menit 48 detik
	Bore	16 menit 24 detik	18 menit 12 detik
Finishing 1	*Contour*	24 menit 50 detik	27 menit 47 detik
Total		3 jam 42 menit 50 detik	4 jam 7 menit 10 detik

Perbedaan waktu pemesinan antara strategi yang direncanakan di Fusion 360 dan waktu yang terjadi di mesin CNC dapat terjadi karena perangkat lunak menghitung waktu pemesinan dengan asumsi bahwa semuanya berjalan sempurna dan ideal. Namun waktu pemesinan CNC akan lebih lama karena mesin CNC akan menyesuaikan dengan kondisi nyata. *Spindle speed*, *feedrate*, dan *depth of cut* yang sudah di tentukan di strategi pemesinan memungkinkan tidak sama dengan strategi karena beban pemakanan mesin yang lebih berat akan membutuhkan daya yang lebih besar dan getaran yang terjadi juga besar (Budiyanto et al., 2020).

Setelah melalui proses pemesinan ,maka hasil cetakan yang terdiri dari *core plate* dan *cavity plate* selesai diproduksi. Proses ini menggunakan mesin CNC Supermill MK 2.0 untuk menghasilkan tingkat presisi yang tinggi. Dengan penyelesaian tahap ini, kedua komponen cetakan siap untuk dipasang untuk proses *compression molding*. Gambar 4-3 menunjukkan hasil pemesinan cetakan.



a) b)

Gambar 4- 3 Hasil Pemesinan Cetakan, a) *Core Plate* b) *Cavity Plate*

4.4 Pembuatan Produk Komposit

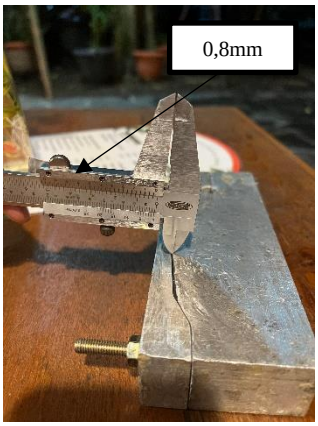
Pencetakan produk komposit dilakukan dengan metode *compression molding,* dengan menggunakan *chopped carbon* sebagai bahan utama, yang merupakan salah satu cara untuk menghasilkan komponen yang memiliki kekuatan tinggi, ringan, dan ketahanan terhadap keausan. Penggunaan *chopped carbon* ini tidak hanya meningkatkan sifat mekanik produk, tetapi juga memberikan kestabilan pada struktur produk sehingga lebih tahan terhadap beban dan tekanan yang tinggi. Salah satu inovasi dalam proses pembuatan produk ini adalah dengan memotong bagian *cavity plate* menjadi 2 dapat membuat proses pelepasan produk dengan cetakan menjadi lebih mudah. Pemotongan *cavity plate* ini memungkinkan pelepasan produk dengan lebih cepat dan efisien, serta mengurangi risiko kerusakan pada komponen produk. Seperti yang ditunjukan pada Gambar 4-4 merupakan tahap membuka cetakan pada produk komposit dengan *chopped carbon fiber.*



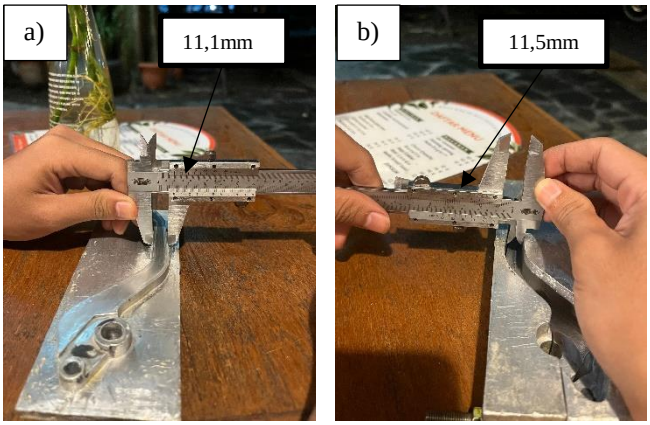
Gambar 4- 4 Proses Pembuatan Produk Komposit

Setelah cetakan digunakan secara berulang dalam proses pembuatan komposit, terjadi beberapa perubahan dan cacat pada permukaannya. Salah datu perubahan yang teramati adalah permukaan cetakan yang tidak halus akibat gesekan saat pelepaan komposit. Selain itu, ditemukan adanya celah antara bagian *cavity up* dan *cavity down* yang dapat menyebabkan ketidaksempurnaan pada bentuk dan dimensi produk komposit.

Celah yang terdapat pada *cavity up* dan *cavity down* dapat mengakibatkan kebocoran material terutama resin saat proses pencetakan, yang berpotensi menurunkan akurasi dimensi dan presisi produk. Hasil pengukuran cetakan setelah penggunaan berulang dapat dilihat pada gambar 4-5 dan gambar 4-6.



Gambar 4- 5 Jarak Antara *Cavity up* dan *Cavity down*



Gambar 4- 6 Perbedaan Tebal Antara a) *Core plate,* b) *Cavity plate*

4.5 Hasil Produk Komposit

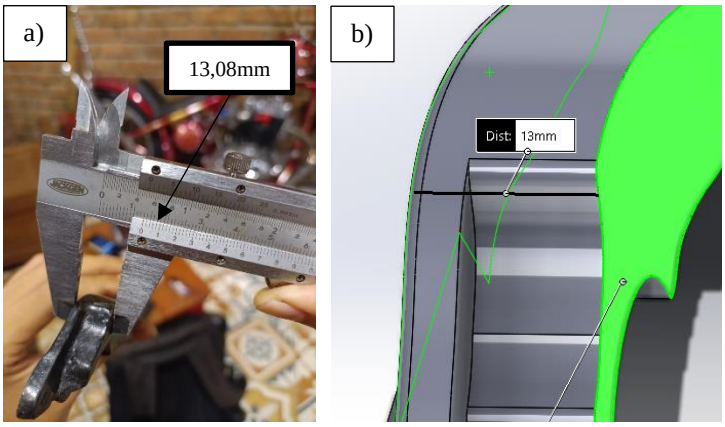
Pencetakan produk komposit handel rem motor Yamaha NMAX dengan metode *compression molding* dilakukan dengan menggunakan material *chopped carbon* sebagai bahan utama. Proses ini dipilih karena kemampuannya menghasilkan komponen dengan kekuatan tinggi dan massa yang lebih ringan, yang sangat ideal untuk aplikasi pada kendaraan bermotor. *Compression molding* memiliki keuntungan menghasilkan komponen dengan konsistensi kualitas yang tinggi dan proses pembuatan yang lebih efisien. Gambar 4-7 menunjukkan hasil

dari produk komposit handel rem motor Yamaha NMAX yang dicetak menggunakan metode *compression molding* dengan material *chopped carbon*.

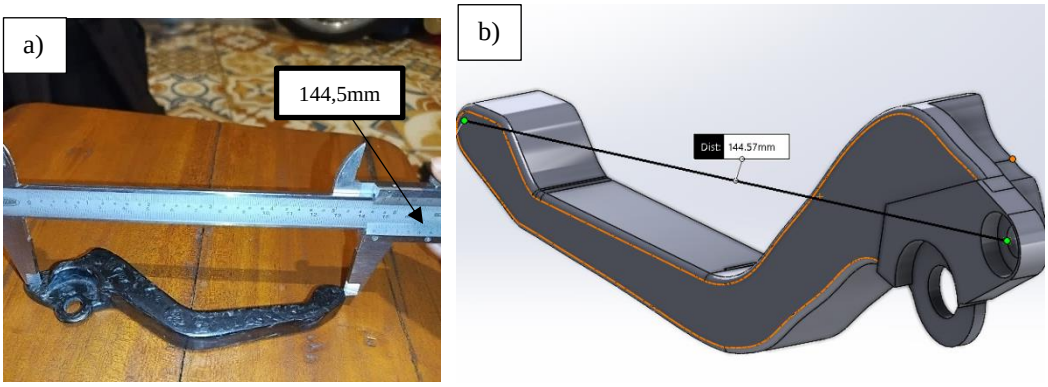


Gambar 4- 7 Hasil Handel Rem Karbon Komposit

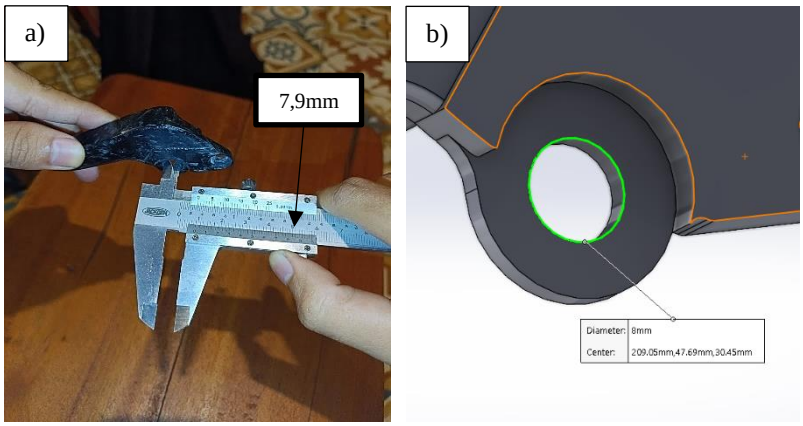
Hasil pengukuran handel rem motor Yamaha NMAX menunjukkan dimensi yang hampir sama dengan desain produk, dengan perbedaan sekitar ±0,2 mm. Perbedaan kecil ini menunjukkan tingkat presisi tinggi dalam proses manufaktur, yang tidak mempengaruhi kualitas atau fungsi produk. Perbedaan dimesi hasil produk dan desain produk dapat dilihat pada gambar 4-8 sampai 4-11.



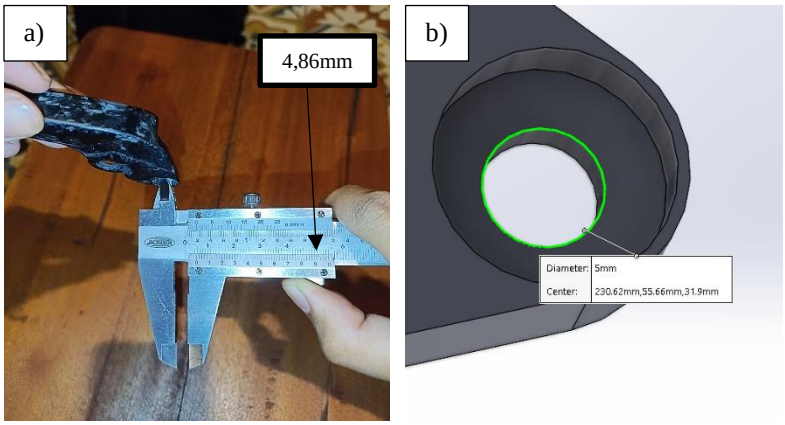
Gambar 4- 8 Pengukuran Tebal Produk Handel Rem, a) Hasil Poduk b) Desain Produk



Gambar 4- 9 Pengukuran Panjang Produk Handel Rem, a) Hasil Poduk b) Desain Produk

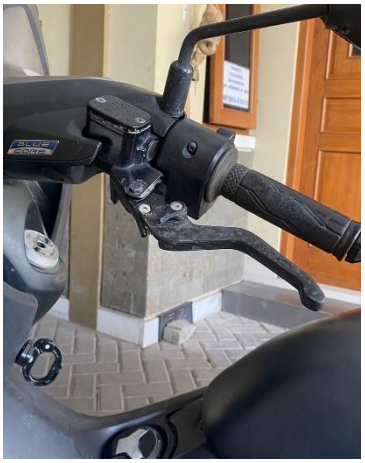


Gambar 4- 10 Pengukuran Lubang Variasi Produk Handel Rem, a) Hasil Poduk b) Desain Produk



Gambar 4- 11 Pengukuran Lubang Konektor Produk Handel Rem, a) Hasil Poduk b) Desain Produk

Hasil produk rem motor Yamaha NMAX menggunakan bahan dasar *chopped carbon* dapat dipasang pada motor dan berfungsi dengan baik untuk pengereman. Hal tersebut menunjukkan hasil produk yang presisi sesuai dengan desain yang telah dibuat. Gambar 4-12 menunjukkan hasil produk handel rem yang terpasang di motor Yamaha NMAX.



Gambar 4- 12 Hasil Produk Terpasang di Motor Yamaha NMAX

4.6 Biaya Pembuatan Cetakan

Selama proses pembuatan, diperlukan biaya untuk membuat *two plate mold* yang terbuat dari aluminium 5052. Material ini dipilih karena kekuatannya yang tinggi dan ketahanan terhadap korosi, serta kemampuannya dalam memberikan hasil cetakan yang presisi. Perincian estimasi biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan *two plate mold* dapat dilihat pada Tabel 4-4. Perlu dicatat bahwa estimasi ini hanya mencakup biaya untuk pembuatan *two plate mold* dan tidak termasuk biaya lainnya, seperti biaya operasional mesin.

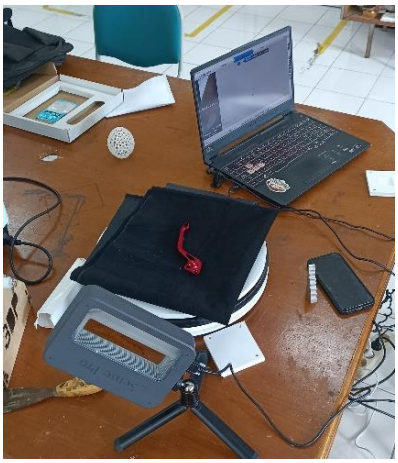
Tabel 4- 4 Estimasi Biaya Pembuatan Cetakan

No	Nama Barang	Harga	Banyak	Jumlah
1	Plat *Aluminium* 5052 30x65x170mm	91.000	2	182.000
2	Plat *Aluminium* 5052 16x65x170mm	52.000	1	52.000
3	*Carbide Endmill* 1.5x4x4x50mm	48.750	2	97.500
4	*Carbide Endmill* 3x3x12x75mm	68.250	1	68.250
5	*Carbide Endmill* 3x3x8x50mm	48.750	1	48,750
TOTAL				448.500

4.7 Kendala Dalam Penelitian

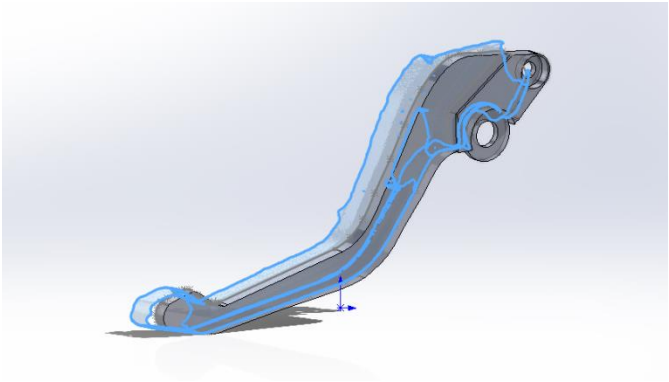
Selama melakukan proses *3D scan* sampai dengan pemesinan cetakan handel rem motor Yamaha NMAX, terdapat beberapa kendala yang dihadapi selama pelaksanaan penelitian ini. Kendala-kendala tersebut memengaruhi proses perancangan, pembuatan cetakan, dan produksi produk akhir.

Pada tahap awal, proses *3D scan* mengalami kesulitan dalam menghasilkan model digital yang presisi karena alat *3D scan* yang dipakai hanya bisa memindai benda yang berwarna putih saja dan bentuk handel rem yang memiliki detail kecil. Hal ini menyebabkan adanya beberapa bagian yang tidak terdeteksi dengan akurat. Gambar 4-13 menunjukkan proses *3D scan* produk handel *aftermarket.*



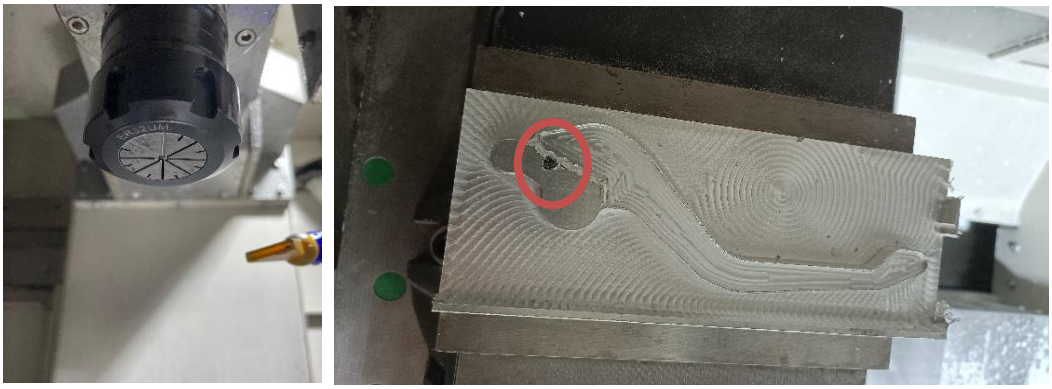
Gambar 4- 13 Proses *3D Scan* Produk Handel *Aftermarket*

Selanjutnya, kendala yang dialami adalah sulitnya menghasilkan model CAD yang presisi dari data *3D* scan. Kendala ini muncul karena ketidakakuratan hasil *3D scan* yang menyebabkan beberapa bagian kecil handel tidak ter-*scan*. Selain itu, peneliti membagi 2 bagian dalam melakukan *3D scan* karena keterbatasan alat *3D scan*. Gambar 4-14 menunjukkan proses desain ulang hasil dari *3D scan.*



Gambar 4- 14 Proses Desain Ulang Hasil dari *3D Scan*

Kendala lainnya yang dialami adalah patahnya mata pahat ketika pemesinan. Masalah ini terjadi karena kesalahan dalam memilih tahap strategi pemesinan yang dipakai. Mata pahat yang digunakan memotong terlalu dalam material cetakan dan menyebabkan mata pahat patah, seperti yang terlihat pada gambar 4-15.



Gambar 4- 15 Hasil *Core Plate* Akibat Mata Pahat Patah

Selain itu, selama proses *compression molding* untuk pembuatan handel rem, terdapat kendala terkait proses pelepasan komposit dari cetakan yang cukup sulit. Masalah tersebut terjadi karena adanya baut yang terletak dilubang bercampur dengan resin dan mengeras ketika proses *compression molding*. Lubang pada cetakan ditutup untuk mempermudah proses pelepasan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4-16.



Gambar 4- 16 Penutupan Lubang pada *Molding*

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari pembuatan tugas akhir pembuatan *mold* berbasis CAD/CAM/CNC untuk produk handel rem Yamaha NMAX berbahan dasar komposit karbon dengan metode *compression molding* adalah sebagai berikut.

1. Telah berhasil dibuat cetakan produk handel rem motor Yamaha NMAX melalui metode *reverse engineering* menggunakan *3D scan*. Proses ini berhasil memproduksi bentuk dan dimensi yang sesuai dengan produk asli.
2. Cetakan yang dihasilkan dapat digunakan untuk membuat produk komposit melalui metode *compression molding* dengan kualitas yang konsisten.
3. Beberapa kendala yang dihadapi dalam pembuatan cetakan produk handel rem Yamaha NMAX antara lain ketidakakuratan dalam proses *3D scan*, patahnya mata pahat saat proses CNC dan kesulitan dalam pelepasan produk komposit karena lubang pada cetakan.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk dapat menyempurnakan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Pada proses *3D scan* lebih diperhatikan untuk dimensi yang dihasilkan oleh alat tersebut, lakukan pengecekan ulang dimensi untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.
2. Pada proses pemesinan harap diperhatikan pengaturan titik origin dan pengecekan ulang strategi pemakanan yang telah dibuat untuk menghindari mata pahat patah.

DAFTAR PUSTAKA

Andhika, D. N. B., & Hartini, N. M. (2023). Pengaruh Kualitas Produk dan Harga terhadap Keputusan Pembelian Sepeda Motor Yamaha N-Max di Kecamatan Mengwi Bandung. *Journal Research of Management*, *5*(1), 16–27.

Anwer, N., & Mathieu, L. (2016). From reverse engineering to shape engineering in mechanical design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, *65*(1), 165–168. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.052

Budiyanto, E., Yuono, L. D., & Rohman, F. (2020). Analisa proses produksi part number D574-50081-201 menggunakan mesin milling CNC di PT DI. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, *9*(2). https://doi.org/10.24127/trb.v9i2.1427

Ellianto, M. S., & Wahyudi, P. L. (2023). Perancangan Mold Base Dengan Sistem Two Plate Mold Untuk Produk Spesimen Uji Tarik. *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin*, *7*(1), 7–14.

Handayani, D., & Ningsih, U. (2005). *Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD / CAM] proses Siklus hidup Manajemen Produksi yang meliputi perangkat lunak dan*. *X*(3), 143–149.

Harjono, A. S. (2023). Proses Manufacture Spare Part Variasi Sepeda Motor Dengan Program Autodesk Fusion 360 Pada Mesin Cnc Milling 3 Axis. *Inisiasi*, 9–14. https://doi.org/10.59344/inisiasi.v11i1.37

Indonesia, B. P. S. (2024). Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Provinsi dan Jenis Kendaraan (unit), 2023

AISI (2024).Motorcycle Distribution Domestic. https://www.aisi.or.id/statistic/

Kazmer, D. O. (2007). Injection mold design engineering. *Injection Mold Design Engineering*, 1–424. https://doi.org/10.3139/9783446434196

Nugroho, G., & Wantogia, M. S. R. R. (2019). Proses Fabrikasi dan Sifat Mekanik Komposit Polimer dengan Metode Bladder Compression Moulding. *Journal of Mechanical Design and Testing*, *1*(2), 95. https://doi.org/10.22146/jmdt.53047

Paryanto. (2012). *MENGOPERASIKAN MESIN CNC DASAR*. *7*.

Prianto, M.Eng, E. (2017). Proses Permesinan Cnc Dalam Pembelajaran Simulasi

Cnc. *Jurnal Edukasi Elektro*, *1*(1), 62–68. https://doi.org/10.21831/jee.v1i1.15110

Putra Dede, A. (2024). *Pembuatan Cetakan Two Plate Mold Berbahan Aluminium 5052 Untuk Mencetak Produk Komposit Cover Shockbreaker Vespa Sprint 150 Melalui Metode Compression Molding*.

Rosiana, D. S. (2021). Analisis Strategi Pemasaran Dalam Meningkatkan Penjualan Motor All New Nmax Connected Abs Pada Pt. Yamaha Cabang Tegal. *Frontiers in Neuroscience*, *14*(1), 1–13.

Rozie, A. F., Nofirman, & Adnyana, D. N. (2021). *Aplikasi Metode Reverse Engineering Dalam Menentukan*.

Sadik, R., & Amalia, R. (2023). Production and Characterization of Silencer Composite Materials From Natural Fiber Using Hand Lay-Up Methods. *Teknik*, *44*(2), 130–138. https://doi.org/10.14710/teknik.v44i2.52931

Suratman, R. (2001). Karakteristik Korosi Aluminium dan Baja tahan karat. In *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia* (Vol. 11, Issue 1, pp. 27–38).

Wibowo, B. D. (2006). Memahami Reverse Engineering Melalui Pembongkaran Produk Di Program S-1 Teknik Mesin. *Teknik Mesin, UNDIP*, *4*(1), 20–31.

LAMPIRAN