

**OPTIMASI PARAMETER *MACHINING* CNC *MILLING*
TERHADAP WAKTU PROSES PADA DUDUKAN CETAKAN
KAMPAS REM DENGAN BERBASIS CAD/CAM**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan
Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Diusulkan oleh

Ihwan Mukhtari Arifin 1042214

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2025/2026**

LEMBAR PENGESAHAN

**(OPTIMASI PARAMETER *MACHINING* CNC *MILLING* TERHADAP
WAKTU PROSES PADA DUDUKAN CETAKAN KAMPAS REM DENGAN
BERBASIS CAD/CAM)**

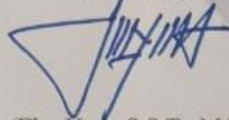
Oleh:

Ihwan Mukhtari Arifin NIM 1042214

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan
Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

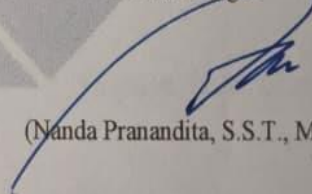
Menyetujui,

Pembimbing 1



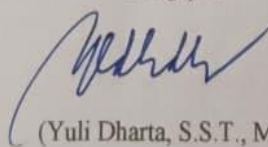
(Eko Yudo S.S.T., M.T.)

Pembimbing 2



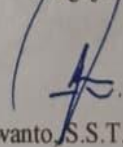
(Nanda Pranandita, S.S.T., M.T.)

Penguji 1



(Yuli Dharta, S.S.T., M.T.)

Penguji 2



(Erwanto, S.S.T., M.T.)

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Ihwan Mukhtari Arifin (1042214)

Dengan Judul : OPTIMASI PARAMETER *MACHINING* CNC
MILLING TERHADAP WAKTU PROSES
PADA DUDUKAN CETAKAN KAMPAS REM
DENGAN BERBASIS CAD/CAM

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja sendiri dan bukan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata di kemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 11 Juli 2025

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Ihwan Mukhtari Arifin

.....

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter pemesinan pada proses CNC Milling untuk mempercepat waktu produksi pembuatan dudukan cetakan kampas rem berbasis CAD/CAM menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Tiga parameter pemesinan yang dianalisis adalah spindle speed (RPM), feed rate (mm/min), dan depth of cut (mm). Metode Taguchi dengan Orthogonal Array L9 digunakan untuk merancang percobaan, menganalisis pengaruh masing-masing parameter, dan menentukan kombinasi optimal. Hasil analisis menunjukkan bahwa depth of cut merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap waktu proses dengan kontribusi sebesar 87.48% (berdasarkan S/N Ratio), diikuti oleh feed rate (12.49%) dan spindle speed (0.03%). Kombinasi parameter optimal yang diperoleh adalah spindle speed 3500 rpm, feed rate 175 mm/min, dan depth of cut 0,6 mm, yang mampu mengurangi waktu proses lebih dari 70% dibanding kombinasi awal. Penggunaan simulasi berbasis CAD/CAM terbukti efektif dalam memprediksi waktu proses, menghindari trial-and-error, serta meningkatkan efisiensi produksi. Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penerapan Metode Taguchi dan simulasi Fusion 360 dapat menghasilkan parameter pemesinan yang optimal dengan waktu eksperimen minimal.

Kata Kunci:

Optimasi, CNC Milling, CAD/CAM, Autodesk Fusion 360, Metode Taguchi, Waktu Proses

ABSTRACT

This study aims to optimize machining parameters in the CNC milling process to accelerate the production time of a brake pad mold base using CAD/CAM technology through Autodesk Fusion 360 software. Three machining parameters analyzed in this study are spindle speed (RPM), feed rate (mm/min), and depth of cut (mm). The Taguchi Method with an L9 Orthogonal Array was employed to design the experiments, analyze the influence of each parameter, and determine the optimal combination. The analysis results showed that depth of cut was the most influential parameter on machining time, contributing 87.48% (based on the S/N Ratio), followed by feed rate (12.49%) and spindle speed (0.03%). The optimal parameter combination obtained was a spindle speed of 3500 rpm, a feed rate of 175 mm/min, and a depth of cut of 0.6 mm, which reduced machining time by more than 70% compared to the initial combination. The use of CAD/CAM-based simulation proved effective in predicting machining time, avoiding trial-and-error, and improving production efficiency. This study successfully demonstrates that the application of the Taguchi Method and Fusion 360 simulation can yield optimal machining parameters with minimal experimental effort.

Keywords:

Optimization, CNC Milling, CAD/CAM, Autodesk Fusion 360, Taguchi Method, Machining Time

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir dengan judul *“Optimasi Parameter Machining CNC Milling terhadap Waktu Proses pada Dudukan Cetakan Kampas Rem dengan Berbasis CAD/CAM”* tepat pada waktunya.

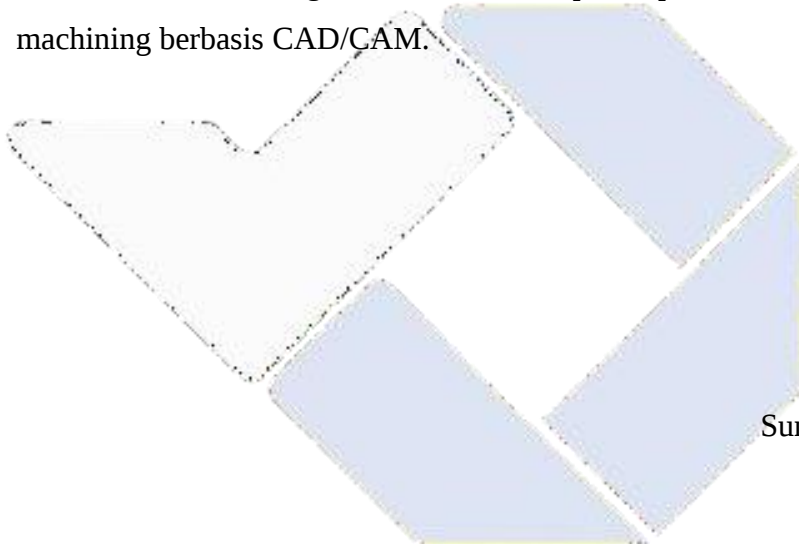
Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada jenjang Sarjana Terapan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan bantuan dalam proses penyusunan laporan ini, yaitu:

1. Kedua orang tua dan keluarga besar yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan moral maupun material kepada penulis.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie., S.S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur.
5. Bapak Eko Yudo, S.S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing penulis dalam proses penyusunan laporan ini.
6. Bapak Nanda Pranandita, S.S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan banyak masukan dan arahan yang sangat berarti.
7. Seluruh dosen dan staf pengajar di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah berbagi ilmu pengetahuan dan pengalaman kepada penulis.

8. Para teknisi/PLP yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan eksperimen dan penggunaan mesin CNC selama penelitian berlangsung.
9. Rekan-rekan seperjuangan yang selalu mendukung, memotivasi, dan berbagi pengalaman selama proses studi hingga penyusunan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Besar harapan penulis agar laporan ini dapat memberikan manfaat, khususnya bagi pihak-pihak yang berkecimpung dalam bidang teknik manufaktur serta sebagai referensi dalam penerapan metode optimasi parameter machining berbasis CAD/CAM.



Sunggailiat, 11 Juli 2025

Penulis

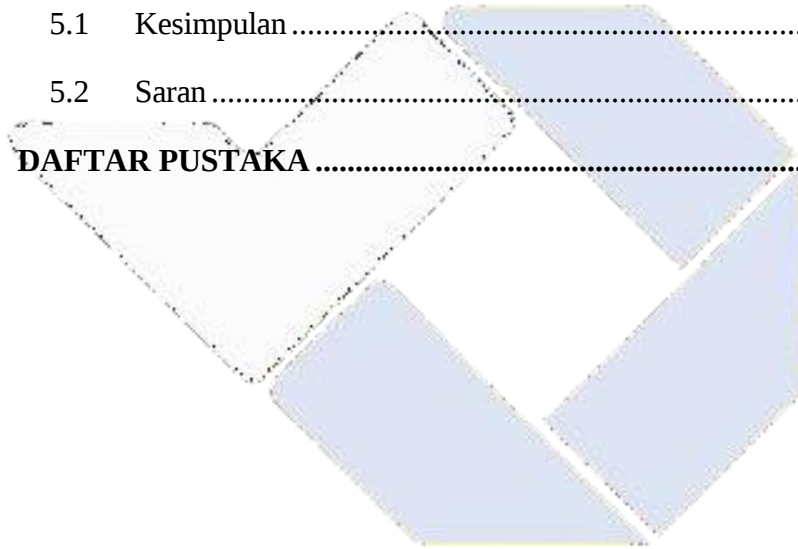
DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan masalah.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>CNC Milling</i>	5
2.2 Parameter Pemesinan <i>CNC Milling</i>	5
2.3 Teknologi CAD/CAM	7
2.4 Autodesk Fusion 360	8
2.5 Dudukan Cetakan Kampas Rem.....	9
2.6 Optimasi Proses	10
2.7 Metode Taguchi	11
2.7.1 Konsep Dasar Metode Taguchi	11
2.7.2 <i>Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)</i>	11

2.7.3	Langkah-langkah dalam Metode Taguchi	12
2.7.4	Keunggulan Metode Taguchi	12
2.7.5	Kelemahan metode Taguchi	12
2.8	Penelitian terdahulu	13
BAB III METODE PELAKSANAAN		15
3.1	Metodologi Penelitian	15
3.1.1	Studi Literatur	17
3.1.2	Persiapan & Identifikasi Penelitian	17
3.1.3	Desain Benda Kerja (CAD)	17
3.1.4	Pemilihan Parameter (CAM)	17
3.1.5	Desain Proses Pemesinan	18
3.1.6	Menjalankan Program (Simulasi)	18
3.1.7	Data Waktu Proses Simulasi	18
3.1.8	Kesimpulan	19
3.2	Variabel Penelitian	19
3.3	Bahan dan Peralatan	19
3.3.1	Bahan	19
3.3.2	Peralatan	20
3.4	Desain Eksperimen	20
3.5	Prosedur Penelitian	20
3.6	Teknik Analisis Data	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		23
4.1	Langkah-Langkah Tahapan Proses	23
4.1.1	Membuka Aplikasi <i>Autodesk Fusion 360</i>	23
4.1.2	Membuat Sketsa (<i>Create Sketch</i>)	23

4.1.3	Akses ke Tab <i>Design</i>	24
4.1.4	Beralih ke Mode <i>Manufacture</i>	24
4.1.5	Membuat <i>Setup</i> dalam Mode <i>Milling</i>	24
4.1.6	Mengatur <i>Work Coordinate System</i> (WCS)	25
4.1.7	Memilih Z Axis dan X Axis untuk Orientasi	25
4.1.8	Menentukan Titik Nol (<i>Stock Point</i>)	26
4.1.9	Pengaturan Dimensi <i>Stock</i> (Bahan Mentah).....	26
4.1.10	Hasil <i>Setup</i> Siap Digunakan	27
4.1.11	Setting 2D pocket	27
4.1.12	<i>Setting Tool</i>	28
4.1.13	<i>Input data spindle speed</i> dan <i>Feed Rate</i>	28
4.1.14	Setting Geometry pocket	28
4.1.15	Setting height.....	29
4.1.16	Setting nilai offset bottom heighth	29
4.1.17	Setting passes	30
4.1.18	Setting linking	30
4.1.19	Langkah untuk memilih fitur simulasi	31
4.1.20	Tombol <i>play</i> pada fitur simulasi.....	31
4.1.21	Tabel informasi pada fitur <i>simulate</i>	32
4.2	Desain Eksperimen	33
4.3	Data Hasil Eksperimen dan Perhitungan S/N Ratio	33
4.4	Analisis Pengaruh Parameter Terhadap means dan S/N Ratio	34
4.4.1	Analisis Berdasarkan Nilai means.....	34
4.4.2	Analisis Berdasarkan S/N Ratio	35
4.5	ANALISIS ANOVA.....	37

4.5.1	Perhitungan ANOVA Berdasarkan Means (waktu)	37
4.5.2	Perhitungan ANOVA Berdasarkan S/N Ratio	38
4.6	Hasil Eksperimen	40
4.7	Analisis Pengaruh Parameter	40
4.8	Kombinasi Parameter Optimal	41
4.9	Implikasi Kombinasi Parameter Optimal	41
4.10	Pembahasan	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA		45



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Variabel Penelitian	17
3.2 Parameter Bebas dan Level... ..	18
4.1 Tabel 4.1 Desain Eksperimen Taguchi L9	21
4.2 Hasil Eksperimen dengan 3 Replikasi... ..	22
4.3.1. Rata-rata Total Waktu Proses.....	23
4.3.2 Rata-rata S/N Ratio dan Ranking	24
4.5.1 ANOVA berdasarkan SN Ratio	25
4.5.2 ANOVA berdasarkan Means (rata-rata waktu)... ..	25
4.5 Kesimpulan Kontribusi.....	26
4.5 hasil eksperimen perbandingan parameter awal dan parameter optimal.....	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Alur kerja CAD/CAM: Desain→Simulasi→G-code→Produksi.	8
2. 2 tampilan antarmuka Autodesk Fusion 360 pada mode Manufacture, menampilkan model benda kerja, jalur pahat (toolpath)	9
2. 3 dudukan cetakkan kampas rem.....	10
3.1 Diagram Alir Metode Penelitian.....	15
4.1. 1 Membuka aplikasi Autodesk Fusion 360	23
4.1. 2 Membuat sketsa (create sketch).....	23
4.1. 3 Akses ke Tab Design.....	24
4.1. 4 Beralih ke Mode Manufacture.....	24
4.1. 5 Membuat Setup dalam Mode Milling	25
4.1. 6 Mengatur Work Coordinate System (WCS)	25
4.1. 7 Memilih Z Axis dan X Axis untuk Orientasi	26
4.1. 8 Menentukan Titik Nol (Stock Point)	26
4.1. 9 Pengaturan Dimensi Stock (Bahan Mentah)	27
4.1. 10 Hasil Setup Siap Digunakan.....	27
4.1. 11 Setting 2D Pocket.....	27
4.1. 12 setting tool cutter	28
4.1. 13 Input data spindle speed dan Feed Rate	28
4.1. 14 Setting Geometry Pocket.....	29
4.1. 15 setting heigh	29
4.1. 16 setting nilai offset bottom heigh.....	30
4.1. 17 setting Passes.....	30
4.1. 18 Setting Linking	31
4.1. 19 langkah untuk memilih fitur simulasi.....	31
4.1. 20 Tombol Play pada fitur simulasi	32
4.1. 21 tabel informasi pada fitur simulate	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2 Pengambilan data dan uji simulasi

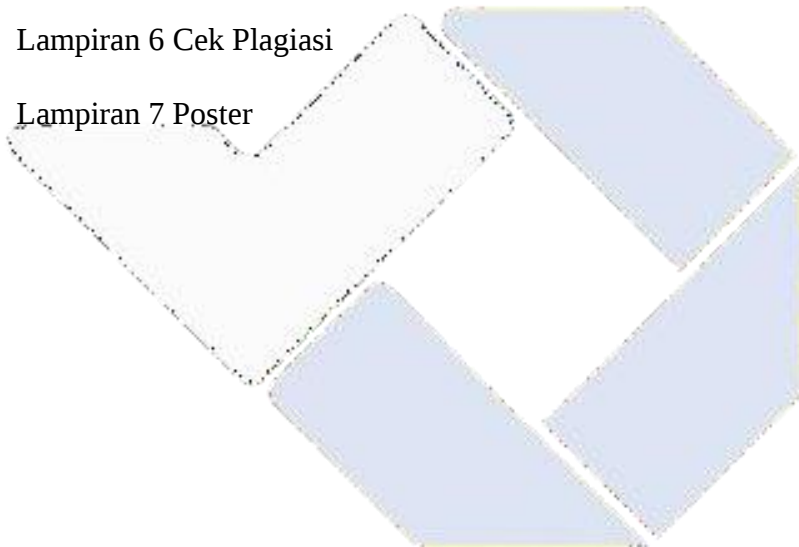
Lampiran 3 Form Bimbingan

Lampiran 4 Form Monitoring

Lampiran 5 Form Revisi

Lampiran 6 Cek Plagiasi

Lampiran 7 Poster



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era industri modern saat ini, tuntutan untuk meningkatkan efisiensi produksi semakin tinggi. Industri manufaktur dituntut untuk menghasilkan produk dengan tingkat presisi yang baik namun dalam waktu yang relatif singkat, sehingga pengendalian waktu proses menjadi faktor penting untuk meningkatkan daya saing. Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk memenuhi tuntutan tersebut adalah mesin CNC (*Computer Numerical Control*), khususnya CNC *milling*. Mesin ini mampu menghasilkan komponen dengan presisi tinggi dan waktu pengerjaan yang lebih cepat dibandingkan mesin konvensional [1]. Namun demikian, waktu proses pada mesin CNC *milling* masih sangat dipengaruhi oleh pemilihan parameter pemesinan yang tepat.

Parameter-parameter pemesinan seperti *feed rate* (mm/min), *spindle speed* (RPM), dan *depth of cut* (mm) memiliki pengaruh besar terhadap kualitas hasil dan lama waktu pengerjaan. Jika parameter-parameter tersebut dipilih secara kurang tepat, maka proses produksi dapat menjadi lebih lama, energi terbuang sia-sia, hingga mempercepat keausan pada alat potong [2]. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan optimasi terhadap parameter-parameter tersebut agar diperoleh kombinasi yang paling efisien untuk meminimalkan waktu proses namun tetap mempertahankan kualitas hasil produksi. Hal ini menjadi sangat relevan ketika diterapkan pada pembuatan komponen cetakan industri, salah satunya adalah dudukan cetakan kampas rem, yang menuntut ketelitian tinggi dengan batas waktu pengerjaan yang terbatas.

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk membantu dalam menentukan parameter pemesinan yang optimal adalah melalui penerapan teknologi CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*). Teknologi ini memungkinkan perancangan komponen secara digital dengan tingkat presisi tinggi serta perencanaan jalur pahat yang optimal sebelum proses produksi aktual di mesin

CNC dilakukan. Dengan CAD/CAM, pengguna dapat mensimulasikan jalur pahat (*toolpath*), memperkirakan waktu proses, dan mengevaluasi berbagai skenario parameter pemesinan terlebih dahulu. Hal ini tentu dapat meminimalkan percobaan langsung yang seringkali memakan waktu, biaya, dan risiko kesalahan (*trial and error*) [3].

Saat ini, salah satu perangkat lunak CAD/CAM yang populer digunakan di industri maupun pendidikan adalah *Autodesk Fusion 360*. *Fusion 360* merupakan *software* berbasis *cloud* yang mengintegrasikan CAD, CAM, dan CAE (*Computer Aided Engineering*) dalam satu *platform* [4]. *Software* ini menyediakan fitur lengkap seperti pemodelan 3D, simulasi, hingga pembuatan jalur pahat untuk CNC. *Fusion 360* juga memiliki keunggulan berupa antarmuka yang mudah digunakan, simulasi waktu nyata, serta pustaka alat potong dan material yang cukup lengkap [5]. Dengan menggunakan *Fusion 360*, pengguna dapat melakukan simulasi proses *milling* serta membandingkan waktu proses dari berbagai kombinasi parameter pemesinan dengan cepat dan mudah [6].

Dalam konteks pembuatan dudukan cetakan kampas rem, penggunaan *Fusion 360* berbasis CAD/CAM sangat membantu untuk menentukan parameter pemesinan yang optimal, khususnya pada variabel *feed rate*, *spindle speed*, dan *depth of cut*. Dengan memanfaatkan fitur simulasi pada *Fusion 360*, jalur pahat dapat direncanakan dengan lebih efisien sehingga waktu proses bisa diminimalkan tanpa mengurangi kualitas hasil produksi. Dudukan cetakan kampas rem sendiri merupakan salah satu komponen penting dalam industri otomotif, sehingga dimensi yang tepat dan waktu produksi yang singkat menjadi dua hal yang harus dicapai [7].

Selain itu, kemampuan *Fusion 360* dalam melakukan simulasi memungkinkan pengguna untuk memprediksi waktu proses, mendeteksi kemungkinan tabrakan (*collision*), hingga memperkirakan umur alat potong sebelum produksi dilakukan. Fitur ini tentu mempermudah pengambilan keputusan dalam memilih kombinasi parameter pemesinan yang paling optimal untuk meminimalkan waktu proses [8]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengoptimalkan parameter pemesinan pada proses CNC *milling*

untuk pembuatan dudukan cetakan kampas rem dengan berbasis CAD/CAM menggunakan *Autodesk Fusion 360*.

Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan produktivitas industri manufaktur, terutama pada proses pembuatan cetakan komponen otomotif. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi praktisi industri maupun peneliti untuk memanfaatkan teknologi CAD/CAM berbasis *Fusion 360* dalam rangka memperoleh kombinasi parameter pemesinan yang optimal untuk meminimalkan waktu proses namun tetap menjaga kualitas hasil produksi.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah pada proyek akhir ini adalah Bagaimana menentukan parameter *machining* yang optimal seperti *feed rate* (mm/min), *spindle speed* (RPM), dan *depth of cut* (mm), untuk meminimalkan waktu proses pembuatan dudukan cetakan kampas rem pada mesin CNC *Milling* berbasis CAD/CAM?

1.3 Tujuan

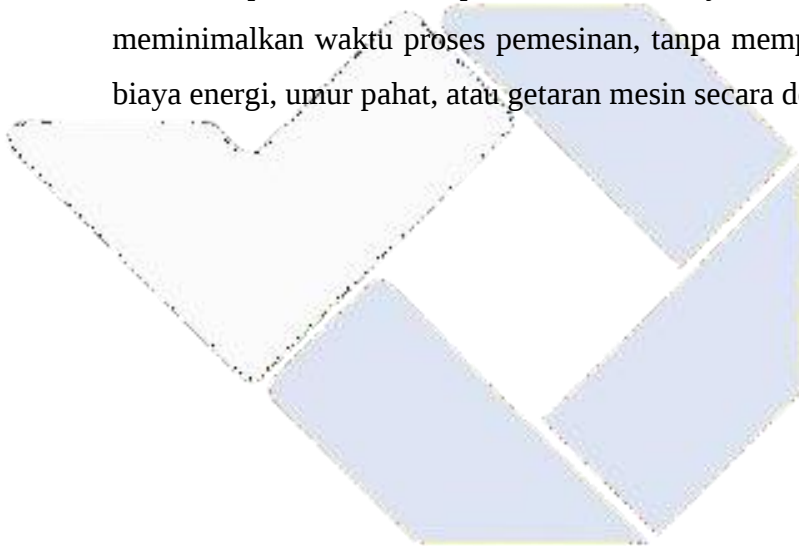
Tujuan dari penelitian ini adalah mencari parameter yang optimal pada proses *machining* CNC *Milling*, seperti *feed rate* (mm/min), *Spindle Speed* (RPM), dan *Depth of Cut* (mm) terhadap waktu proses pada dudukan cetakan kampas rem dengan berbasis CAD/CAM

1.4 Batasan masalah

Agar penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan, batasan masalah yang diberlakukan adalah:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada simulasi proses *machining* CNC *milling* untuk pembuatan dudukan cetakan kampas rem pada *software autodesk fusion 360*, tanpa melibatkan proses manufaktur lainnya seperti pengecoran, perakitan, atau *finishing* manual.

2. Optimasi parameter pemesinan yang dilakukan hanya mencakup tiga variabel utama, yaitu *feed rate* (mm/min), *spindle speed* (RPM), *depth of cut* (mm)
3. Simulasi proses pemesinan dilakukan menggunakan *software Autodesk Fusion 360* berbasis CAD/CAM, tanpa pengujian langsung di mesin CNC secara fisik.
4. Material benda kerja yang digunakan pada penelitian ini hanya terbatas pada satu jenis material yang umum digunakan untuk cetakan kampas rem, yaitu baja S45C.
5. Kriteria optimasi dalam penelitian ini hanya difokuskan pada upaya meminimalkan waktu proses pemesinan, tanpa mempertimbangkan faktor biaya energi, umur pahat, atau getaran mesin secara detail.



BAB II

DASAR TEORI

2.1 CNC Milling

CNC (*Computer Numerical Control*) *milling* adalah salah satu teknologi manufaktur modern yang banyak digunakan dalam industri untuk menghasilkan komponen presisi secara massal. CNC *milling* bekerja dengan prinsip pengendalian gerakan pahat dan meja kerja melalui program digital berupa kode numerik seperti *G-code* dan *M-code*. Dibandingkan dengan mesin *milling* manual, CNC *milling* menawarkan keunggulan dalam hal akurasi, kecepatan, kemampuan reproduksi, serta fleksibilitas untuk bentuk-bentuk kompleks (*complex geometry*) [9].

CNC *milling* memanfaatkan sistem kontrol komputer untuk mengatur parameter-parameter penting seperti *spindle speed*, *feed rate*, *depth of cut*, dan jalur pahat (*toolpath*). Dengan sistem ini, operator dapat memastikan kualitas yang konsisten pada setiap produk, serta mengurangi variabilitas akibat *human error*.

Selain itu, penggunaan CNC *milling* juga memungkinkan perusahaan untuk memproduksi komponen dalam waktu lebih cepat dan lebih hemat biaya produksi per unit, yang menjadi salah satu keunggulan kompetitif dalam industri manufaktur saat ini [10]. Oleh karena itu, pemanfaatan CNC *milling* dalam pembuatan dudukan cetakan kampas rem menjadi pilihan tepat untuk memenuhi tuntutan presisi tinggi dengan waktu produksi yang terbatas.

2.2 Parameter Pemesinan CNC Milling

Dalam proses CNC *milling*, terdapat beberapa parameter pemesinan utama yang sangat mempengaruhi waktu proses, kualitas permukaan, tingkat keausan pahat, dan biaya produksi. Parameter tersebut meliputi:

- *Spindle Speed* (n): kecepatan putar *spindle* yang membawa pahat, dinyatakan dalam RPM (*Revolutions per Minute*). *Spindle speed* yang terlalu rendah dapat meningkatkan waktu proses, sementara yang terlalu tinggi dapat mempercepat keausan pahat. Berikut rumus perhitungan

spindle speed (N) pada proses *machining* CNC (*milling*) yang umum digunakan.

Rumus *Spindle Speed* (N) :

$$N = \frac{1000.V_c}{\pi.D}$$

Keterangan:

- N = *Spindle Speed* (putaran *spindle*), dalam RPM
- V_c = *Cutting Speed* (kecepatan potong), dalam m/min
- D = Diameter *tool* (pahat), dalam mm
- $\pi \approx 3,1416$
- *Feed Rate* (f): kecepatan relatif gerakan pahat terhadap benda kerja pada arah pemakanan, dalam satuan mm/min. *Feed rate* mempengaruhi produktivitas serta kekasaran permukaan. berikut rumus perhitungan *feed rate* (F) untuk proses *milling* CNC.

Rumus *Feed Rate* (F) :

$$F = f_z \cdot Z \cdot N$$

Keterangan:

- F = *Feed rate*, dalam mm/menit
- f_z = *feed per tooth*, dalam mm/gigi
- Z = jumlah gigi (*flute*) pada pahat
- N = *spindle speed*, dalam RPM
- *Depth of Cut* (a_p): ketebalan lapisan material yang dipotong per lintasan, dalam mm. *Depth of cut* yang besar mempercepat proses, tetapi meningkatkan beban pahat dan risiko cacat pada permukaan benda kerja.
Depth of cut (sering disimbolkan a_p atau t) adalah ketebalan material yang dihilangkan dalam arah tegak lurus permukaan permesinan, biasanya dalam mm. Untuk proses *milling*, *depth of cut* biasanya ditentukan, bukan dihitung artinya memilih dari batas kemampuan mesin, pahat, dan kekuatan benda kerja. Namun kadang bisa untuk menghitung maksimum *depth of cut* berdasarkan daya mesin.

$$P = F_c \times v_c$$

Atau

$$P = K_c \times a_p \times \omega \times v_c$$

Keterangan :

P = daya potong

K_c = daya potong spesifik (N/mm^2) tergantung material

A_p = *depth of cut* (mm)

v_c = kecepatan potong (m/s)

Dalam praktik Biasanya *depth of cut* dipilih secara konservatif untuk *Finishing*: kecil (0.1–0.5 mm) dan untuk *Roughing*: lebih besar (1–5 mm, kadang lebih, tergantung bahan & pahat) Singkatnya *Depth of cut* tidak punya “rumus tetap”, melainkan ditentukan berdasar:

- Kekakuan benda kerja
- Kekuatan pahat
- Kapasitas mesin
- Kualitas permukaan yang diinginkan

Pemilihan parameter yang tepat membutuhkan keseimbangan antara kecepatan produksi, umur pahat, dan kualitas hasil akhir. Oleh karena itu, optimasi parameter menjadi langkah penting dalam proses pemesinan untuk meminimalkan waktu produksi namun tetap menjaga kualitas produk [11].

2.3 Teknologi CAD/CAM

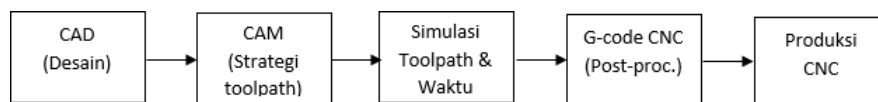
Teknologi CAD/CAM (*Computer Aided Design/Manufacturing*) menggabungkan proses perancangan digital dengan perencanaan proses produksi. CAD digunakan untuk menghasilkan desain komponen secara presisi dalam bentuk model 2D atau 3D. Hasil desain CAD kemudian diproses dalam modul CAM untuk merencanakan jalur pahat, parameter pemesinan, serta menghasilkan file *G-code* untuk dikirim ke mesin CNC [12].

Integrasi CAD/CAM memberikan banyak manfaat, seperti:

- Mempercepat waktu pengembangan produk.

- Mempermudah evaluasi desain dan proses melalui simulasi.
- Mengurangi risiko kesalahan selama produksi.
- Mengoptimalkan penggunaan material dan waktu kerja.

Gambar 2.1 di bawah ini menunjukkan alur kerja umum CAD/CAM dalam proses produksi CNC *milling*.



Gambar 2. 1 Alur kerja CAD/CAM: Desain→Simulasi→G-code→Produksi.
(Sumber: Alavijeh et al., 2016)

Keterangan Gambar 2.1:

Alur kerja penggunaan teknologi CAD/CAM dalam proses produksi CNC *milling*. Proses dimulai dengan desain komponen 3D pada tahap CAD, dilanjutkan dengan pembuatan strategi pemesinan di tahap CAM, simulasi jalur pahat dan estimasi waktu proses, konversi ke kode mesin (*G-code*), hingga proses produksi di mesin CNC.

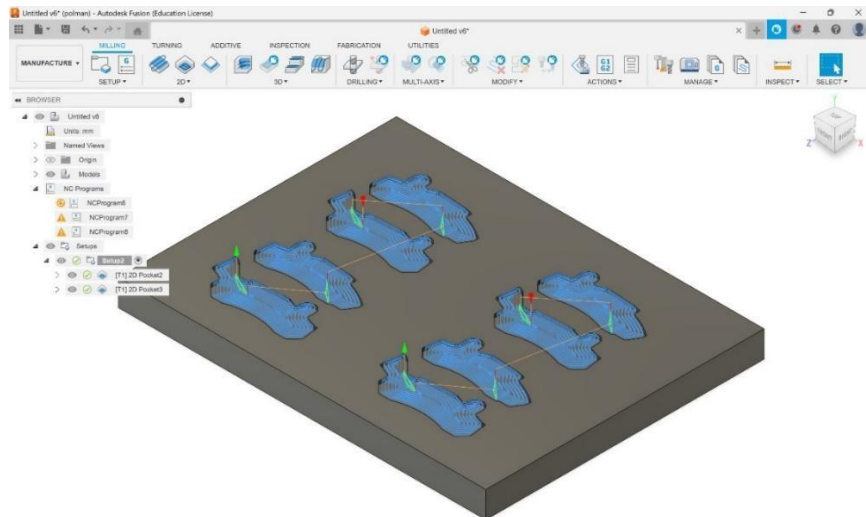
2.4 Autodesk Fusion 360

Autodesk Fusion 360 adalah *software* berbasis *cloud* yang mengintegrasikan CAD, CAM, dan CAE dalam satu *platform*. *Fusion 360* dikembangkan untuk memberikan solusi *end-to-end* mulai dari desain, simulasi, hingga pemrograman mesin CNC. *Software* ini memiliki keunggulan pada kemudahan penggunaan (*user-friendly*), fitur lengkap, kemampuan kolaborasi daring, serta biaya yang lebih terjangkau dibandingkan *software* sejenis [13].

Dalam konteks CAM, *Fusion 360* menyediakan fitur-fitur seperti:

- Pemilihan strategi jalur pahat (contohnya *contour*, *pocketing*, *adaptive clearing*).
- Simulasi jalur pahat beserta prediksi waktu proses.
- Deteksi tabrakan antara pahat, *holder*, dan benda kerja.

- Pengaturan database material dan pahat untuk perhitungan otomatis parameter pemesinan.

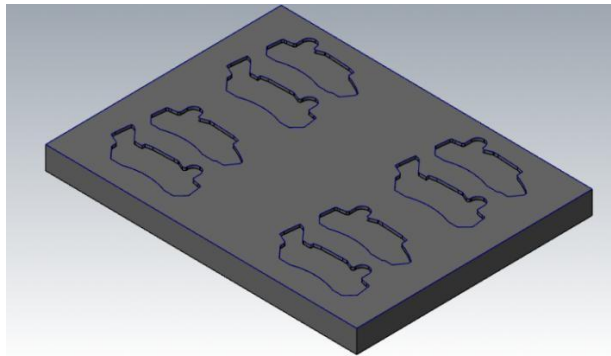


Gambar 2. 2 tampilan antarmuka Autodesk Fusion 360 pada mode *Manufacture*, menampilkan model benda kerja, jalur pahat (*toolpath*)
(Sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

Dengan fitur-fitur ini, pengguna dapat mencoba berbagai kombinasi parameter pemesinan dan melihat estimasi waktu proses sebelum melakukan produksi nyata, sehingga waktu *setup* di mesin dapat ditekan seminimal mungkin.

2.5 Dudukan Cetakan Kampas Rem

Dudukan cetakan kampas rem merupakan komponen penting dalam industri otomotif. Komponen ini berfungsi sebagai cetakan untuk membentuk kampas rem dengan dimensi yang presisi. Presisi tinggi diperlukan agar kampas rem yang dihasilkan memenuhi standar keamanan dan performa kendaraan.



Gambar 2. 3 dudukan cetakkan kampas rem

Proses pembuatan dudukan cetakan ini membutuhkan waktu yang relatif lama bila tidak direncanakan dengan baik, karena bentuknya yang kompleks dan tuntutan toleransi ketat. Pemanfaatan CAD/CAM berbasis *Fusion 360* memungkinkan proses perancangan dan pemesinan dilakukan lebih cepat, lebih akurat, dan lebih efisien.

Dengan simulasi *toolpath* di *Fusion 360*, operator dapat menemukan parameter pemesinan optimal untuk memperpendek waktu produksi sekaligus meminimalkan risiko cacat dimensi pada cetakan [14].

2.6 Optimasi Proses

Optimasi adalah proses pencarian nilai parameter terbaik untuk meminimalkan atau memaksimalkan fungsi objektif, dalam hal ini waktu proses pemesinan.

Metode Umum yang Digunakan:

1. *Taguchi Method* Menggunakan desain eksperimen orthogonal array dan perhitungan SNR untuk mendapatkan parameter optimal. Sangat efisien untuk eksperimen dengan variabel banyak namun jumlah uji coba minimal.
2. *Response Surface Methodology* (RSM)
Menggunakan model matematis (regresi kuadrat) untuk mengeksplorasi hubungan antara parameter input dan output, lalu memvisualisasi dalam bentuk grafik permukaan (*response surface*)
3. ANOVA (*Analysis of Variance*)

Digunakan untuk mengetahui signifikansi masing-masing parameter terhadap output. Berguna untuk validasi statistik metode Taguchi atau RSM. kombinasi Taguchi dan RSM sangat cocok digunakan dalam pengujian efisiensi waktu pada proses CAM karena keduanya mampu menangkap non-linearitas hubungan antar parameter. [15]

2.7 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu pendekatan dalam perancangan eksperimen (*Design of Experiment / DOE*) yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi, seorang insinyur asal Jepang. Metode ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk atau proses dengan cara meminimalkan variabilitas dan pengaruh faktor gangguan (*noise*) melalui perencanaan eksperimen yang efisien.

Taguchi mengembangkan konsep “*Robust Design*”, yaitu desain yang tahan terhadap variasi tanpa perlu menghilangkan sumber variasi tersebut. Fokus utamanya adalah meningkatkan kualitas melalui pengendalian parameter, bukan hanya inspeksi akhir produk.

2.7.1 Konsep Dasar Metode Taguchi

Metode Taguchi menggunakan *Orthogonal Array* (OA) untuk merancang eksperimen, yang memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi banyak faktor dengan jumlah eksperimen yang lebih sedikit dibandingkan metode konvensional. Beberapa contoh OA yang umum digunakan antara lain: L4, L9, L18, L27, dan seterusnya, tergantung pada jumlah faktor dan level yang akan diuji.

2.7.2 *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)*

Dalam metode Taguchi, rasio sinyal terhadap derau (*Signal to Noise Ratio / SNR*) digunakan untuk mengukur kinerja suatu karakteristik kualitas. Rasio ini menunjukkan ketahanan terhadap faktor gangguan. Pemilihan jenis rasio S/N tergantung pada karakteristik respon yang diinginkan, yaitu:

- *Smaller is Better* (lebih kecil lebih baik)

Digunakan untuk respon seperti cacat, keausan, atau kesalahan.

$$\text{Rasio S/N} = -10\log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

- *Larger is Better* (lebih besar lebih baik)

Digunakan untuk kekuatan tarik, kekerasan, atau efisiensi.

$$\text{Rasio S/N} = -10\log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

- *Nominal is Best* (nilai nominal yang terbaik)

Digunakan bila target respon berada pada nilai tertentu.

$$\text{Rasio S/N} = -10\log_{10} \left(\frac{y^2}{s^2} \right)$$

Keterangan:

- y_i = nilai respon ke i
- n = jumlah replikasi
- $\bar{y}$ = nilai rata-rata
- S = simpangan bak

2.7.3 Langkah-langkah dalam Metode Taguchi

1. Menentukan faktor dan level eksperimen.
2. Memilih array ortogonal (OA) yang sesuai.
3. Melakukan eksperimen berdasarkan rancangan OA.
4. Menghitung nilai S/N untuk setiap percobaan.
5. Menganalisis hasil dan menentukan faktor yang paling berpengaruh.
6. Menentukan kombinasi parameter optimal.

2.7.4 Keunggulan Metode Taguchi

- Menghemat waktu dan biaya eksperimen.
- Mampu menangani pengaruh variasi lingkungan (*noise*).
- Memberikan hasil yang *robust* dan berkualitas tinggi.

2.7.5 Kelemahan metode Taguchi

- Terbatas untuk faktor dengan level sedikit
- Kurang fleksibel terhadap interaksi kompleks

- Sulit diterapkan jika ada banyak variabel *noise* yang signifikan

2.8 Penelitian terdahulu

Choubey et al. membahas optimasi parameter pemotongan pada mesin CNC *milling* untuk baja karbon rendah menggunakan metode Taguchi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *feed rate*, *depth of cut*, dan *spindle speed* berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan dan waktu proses, menegaskan pentingnya pemilihan parameter yang tepat demi kualitas dan efisiensi waktu produksi [16].

Azim et al. melakukan studi tentang parameter pemesinan berkelanjutan pada baja karbon rendah dengan mesin CNC *milling*, menggunakan metode Taguchi. Mereka menemukan kombinasi optimal yang mampu mengurangi waktu proses sekaligus memperbaiki kualitas permukaan secara signifikan, sehingga dapat memenuhi tuntutan produksi yang cepat tanpa mengorbankan presisi [17].

Ahmed & Arora mengoptimalkan kualitas hasil pemesinan A36 *mild steel* pada CNC *milling* menggunakan metode Taguchi yang dikombinasikan dengan *artificial neural networks (ANN)*. Hasilnya menunjukkan bahwa *depth of cut* dan *feed rate* merupakan dua parameter paling dominan yang sangat memengaruhi waktu proses dan kekasaran permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa penggabungan metode statistik dengan pendekatan berbasis kecerdasan buatan dapat menghasilkan prediksi yang lebih akurat [18].

Singh et al. mengkaji optimasi multi-respons pada CNC *milling* AISI H11 *steel* menggunakan *Taguchi-grey relational analysis (TGRA)*. Penelitian ini membuktikan bahwa optimasi terstruktur mampu meningkatkan efisiensi proses hingga lebih dari 20% dengan tetap mempertahankan kualitas dimensi produk yang baik. Strategi *multi-respons* ini relevan untuk proses industri yang memiliki lebih dari satu target kualitas [19].

Bagci & Aykut menerapkan metode Taguchi pada proses CNC *face milling* material *cobalt alloy (stellite 6)* untuk meminimalkan kekasaran permukaan. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengaturan *spindle speed*, *feed rate*, dan *depth*

of cut secara optimal sangat penting untuk mencapai hasil yang halus sekaligus mempersingkat waktu produksi [20].

Yakubu & Bello mengoptimalkan parameter pemotongan untuk baja karbon rendah pada proses *turning* CNC dengan metode Taguchi. Mereka menemukan bahwa pengaturan parameter yang baik mampu menurunkan waktu proses lebih dari 25% dibanding kombinasi awal tanpa mengurangi kualitas permukaan yang dihasilkan, menunjukkan bahwa metode Taguchi efektif bahkan untuk proses *turning* [21].

Santhosh et al. menggunakan *response surface methodology (RSM)* dan ANN untuk mengoptimalkan parameter CNC *machining* pada AISI 4340 *steel*. Penelitian ini menunjukkan bahwa *depth of cut* berperan dominan dalam efisiensi waktu proses, dengan pendekatan RSM yang membantu memetakan interaksi antar parameter untuk hasil yang optimal [22].

Patil et al. dalam ulasannya menemukan bahwa pemilihan parameter optimal pada CNC *milling* EN24 *steel* sangat penting untuk menghemat waktu proses tanpa mengorbankan kualitas permukaan. Mereka juga menekankan bahwa *depth of cut* adalah faktor paling dominan dalam memengaruhi waktu dan biaya pemesinan, menjadikannya salah satu parameter yang harus diutamakan dalam pengaturan [23].

Tlhabadira et al. memodelkan pengaruh parameter CNC *milling* pada baja P20 menggunakan metode Taguchi. Mereka menemukan bahwa *depth of cut* menyumbang kontribusi signifikan hingga 78% terhadap waktu proses, mirip dengan temuan penelitian ini yang menunjukkan dominasi *depth of cut* dalam memengaruhi durasi pemesinan [24].

Asiltürk & Neşeli mengoptimalkan *multi-respons* pemesinan CNC *turning* melalui kombinasi metode Taguchi dan *response surface analysis*. Penelitian mereka memperlihatkan bahwa penggunaan *S/N ratio* yang tepat membantu mencapai waktu proses minimal dengan kualitas hasil yang konsisten, mendukung efektivitas metode Taguchi dalam aplikasi industri nyata [25].

BAB III

METODE PELAKSANAAN

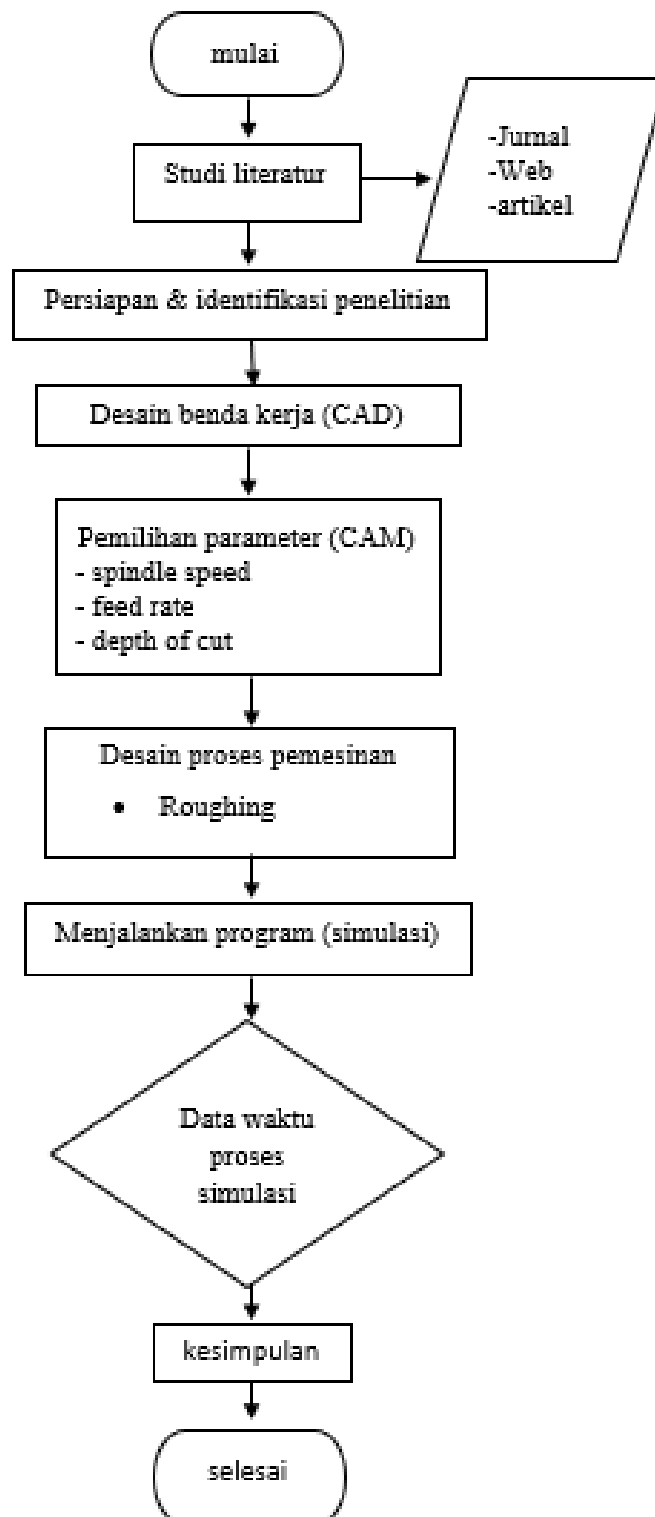
3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif, yaitu metode yang digunakan untuk mengetahui hubungan kasual antara variabel bebas (parameter pemotongan) dengan variabel terikat (waktu proses). Penelitian dilakukan melalui pendekatan sistematis yang menggabungkan proses desain, pemrograman CAM, dan simulasi.

Langkah-Langkah Umum Penelitian:

1. Desain Produk
Membuat model 3D dari dudukan cetakan kampas rem sesuai spesifikasi teknis menggunakan software CAD (Fusion 360).
2. Pemrograman Jalur Pahat (CAM)
Menggunakan *software* CAM (Fusion 360) untuk membuat jalur pemotongan dan mendefinisikan parameter pemesinan.
3. Simulasi dan Estimasi Waktu
Menjalankan simulasi untuk mengestimasi waktu proses dan mendeteksi potensi kesalahan *toolpath*.
4. Pengumpulan Data
Mencatat waktu proses untuk masing-masing kombinasi parameter secara sistematis.
5. Analisis Data dan Optimasi
Menganalisis pengaruh parameter dan menentukan kombinasi terbaik menggunakan ANOVA atau SNR (*Signal-to-Noise Ratio*).

Diagram alur metode pelaksanaan ditunjukkan pada Gambar 3.1:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.1.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian dan pengumpulan informasi yang relevan dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, situs web, dan artikel. Tujuannya adalah untuk memperoleh pemahaman mendalam tentang proses simulasi, parameter pemotongan, dan teknologi CAD/CAM terbaru.

3.1.2 Persiapan & Identifikasi Penelitian

Informasi yang telah dikumpulkan digunakan untuk menentukan fokus penelitian dan merumuskan tujuan. Pada tahap ini juga dilakukan identifikasi permasalahan yang akan diselesaikan melalui proses pemesinan CNC.

3.1.3 Desain Benda Kerja (CAD)

Benda kerja dirancang menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD). seperti Fusion 360 desain benda kerja dibuat secara detail. Desain ini mencakup bentuk geometris dan ukuran benda yang akan diproses di mesin CNC.

3.1.4 Pemilihan Parameter (CAM)

Dengan menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Manufacturing* (CAM), ditentukan parameter pemesinan Dengan software Fusion 360 CAM:

- *Spindle Speed* (N) ditentukan berdasarkan jenis material benda kerja dan alat potong. Berikut rumus perhitungan *spindle speed* (N) pada proses *machining* CNC (*milling*) yang umum digunakan.

Rumus hitungan *Spindle Speed* (N) :

$$N = \frac{1000 \cdot Vc}{\pi \cdot D}$$

$$N = \frac{1000 \cdot 29}{3,14 \cdot 4} = 2300 \quad N = \frac{1000 \cdot 36}{3,14 \cdot 4} = 2800 \quad N = \frac{1000 \cdot 44}{3,14 \cdot 4} = 3500$$

- *Feed Rate* (f) diatur agar seimbang antara kecepatan dan kualitas hasil permukaan. berikut rumus perhitungan *feed rate* (F) untuk proses *milling* CNC.

Rumus *Feed Rate* (F) :

$$F = f_z \cdot Z \cdot N$$

$$F = \frac{0.05}{4} \cdot 4 \cdot 2300 = 115$$

$$F = \frac{0.05}{4} \cdot 4 \cdot 2800 = 140 \quad F = \frac{0.05}{4} \cdot 4 \cdot 3500 = 175$$

- *Depth of Cut* (d) disesuaikan agar proses efisien namun tidak membebani mesin dan pahat. Untuk proses *milling*, *depth of cut* biasanya ditentukan, bukan dihitung artinya memilih dari batas kemampuan mesin, pahat, dan kekuatan benda kerja.

3.1.5 Desain Proses Pemesinan

Berdasarkan model CAD dan parameter CAM yang telah dipilih, dilakukan perencanaan jalur pahat untuk proses pemesinan yang terdiri dari dua tahap:

- *Roughing*: pemotongan awal dengan *depth of cut* besar untuk menghilangkan sebagian besar material dengan cepat.

3.1.6 Menjalankan Program (Simulasi)

Sebelum mesin CNC dijalankan, dilakukan simulasi pemesinan untuk memverifikasi jalur alat potong dan estimasi waktu proses. Ini membantu menghindari kesalahan dan meningkatkan efisiensi. Simulasi ini membantu mendeteksi:

- Potensi tabrakan (*collision*),
- Jalur pahat yang tidak efisien,
- *Overcut* dan *undercut*,

3.1.7 Data Waktu Proses Simulasi

Setelah simulasi, diperoleh data waktu pemesinan. Informasi ini digunakan untuk mengevaluasi efisiensi proses dan menentukan apakah perlu dilakukan optimasi. Output dari simulasi berupa waktu yang dibutuhkan untuk setiap tahapan pemesinan. Data ini digunakan untuk membandingkan waktu simulasi di *software* dan di mesin cnc.

3.1.8 Kesimpulan

Setelah proses selesai, dilakukan evaluasi hasil waktu proses pemesian dan *software*. Dari sini ditarik kesimpulan apakah tujuan penelitian dan pemesinan sudah tercapai.

3.2 Variabel Penelitian

Tabel 3.1 variabel penelitian

Jenis Variabel	Nama Variabel	Satuan	Level/Keterangan
Variabel bebas	<i>Spindle speed</i>	RPM	2300, 2800, 3500
	<i>Feed rate</i>	mm/min	115, 140, 175
	<i>Depth of cut</i>	mm	0.2, 0.4, 0.6
Variabel terikat	Waktu proses	Detik	Hasil simulasi
Variabel kontrol	Material	Baja (<i>Steel</i>)	Tetap
	<i>Software</i>	<i>Autodesk</i>	Tetap
		<i>Fusion 360</i>	
	<i>Strategi toolpath</i>	<i>Pocketing</i>	Tetap

3.3 Bahan dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan bahan dan peralatan yang disesuaikan dengan kebutuhan proses simulasi pemesinan berbasis CAD/CAM serta relevan dengan kondisi nyata di industri. Pemilihan bahan dan peralatan dilakukan dengan mempertimbangkan spesifikasi teknis, kemampuan proses, serta kemudahan replikasi oleh peneliti lain.

3.3.1 Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah model benda kerja berupa dudukan cetakan kampas rem, yang secara spesifik dirancang berbasis spesifikasi geometris aktual dari komponen industri otomotif.

- Model benda kerja: Dudukan cetakan kampas rem berbahan baja (*steel*), sesuai dengan spesifikasi teknis desain.

- Spesifikasi dimensi benda kerja Panjang 354 mm, Lebar 267 mm, Tebal 25 mm.

3.3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- Perangkat lunak: *Autodesk Fusion 360* versi terbaru.
- Laptop : Minimal spesifikasi prosesor Intel i5/AMD Ryzen 5, RAM 8GB, GPU dedicated (opsional).
- Data *sheet* material baja S45C untuk acuan parameter pemotongan.
- *Software* minitab untuk analisis statistik.

3.4 Desain Eksperimen

Untuk mempermudah kombinasi parameter dan meminimalkan jumlah eksperimen, digunakan Metode Taguchi dengan *Orthogonal Array* (OA) L9 (3 faktor $\times$ 3 level):

Tabel 3.2 parameter bebas dan level

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
<i>Spindle Speed</i> (RPM)	2300	2800	3500
<i>Feed Rate</i> (mm/min)	115	140	175
<i>Depth of Cut</i> (mm)	0.2	0.4	0.6

Jumlah total eksperimen: 9 kombinasi

Setiap kombinasi dilakukan pengulangan 3 kali untuk mendapatkan nilai rata-rata yang representatif.

Metode Taguchi juga memungkinkan analisis sensitivitas melalui nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) agar diperoleh konfigurasi parameter optimal untuk minimasi waktu proses.

3.5 Prosedur Penelitian

Berikut tahapan eksperimen secara rinci:

1. Perancangan Dudukan (CAD)

- Mendesain dudukan cetakan kampas rem di *software Fusion 360* berdasarkan dimensi teknis.
 - Menyertakan fitur *pocket* dan *contur* sesuai kebutuhan.
2. Pemrograman *Toolpath* (CAM)
 - Jalur pahat dirancang pada *fusion 360*
 - Strategi pemotongan: *pocketing* untuk permukaan dalam dan kontur untuk permukaan samping supaya bentuknya sesuai ukuran.
 - Menentukan parameter input untuk setiap kombinasi eksperimen.
 3. Simulasi Proses CNC
 - Jalur pahat disimulasikan untuk mengestimasi waktu proses, menganalisis *toolpath*, dan mencegah collision (tabrakan).
 4. Pengumpulan Data
 - Waktu proses dicatat untuk melakukan analisis data.
 5. Analisis Data
 - Menggunakan ANOVA dan perhitungan SNR untuk menentukan kontribusi setiap parameter.

3.6 Teknik Analisis Data

Data waktu proses yang diperoleh akan dianalisis menggunakan teknik statistik sebagai berikut:

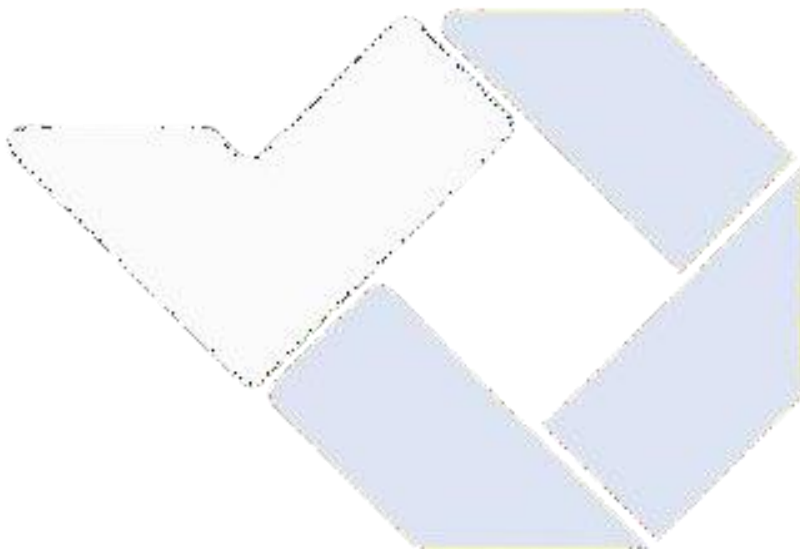
1. Analisis ANOVA (*Analysis of Variance*)

Untuk mengetahui tingkat signifikansi pengaruh tiap parameter (*spindle speed, feed rate, depth of cut*) terhadap waktu proses.
2. Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio (SNR)*
 - SNR "*Smaller is Better*" digunakan karena waktu proses yang optimal adalah yang terendah.
 - Rumus :

$$\text{Rasio S/N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$
3. Visualisasi Data
 - Grafik hubungan antar parameter terhadap waktu proses.
 - Grafik level mean untuk tiap parameter.

4. Identifikasi Parameter Optimal

Kombinasi parameter dengan nilai rata-rata waktu terkecil dan nilai SNR tertinggi akan direkomendasikan sebagai parameter optimal untuk proses *machining* komponen cetakan kampas rem.



BAB IV

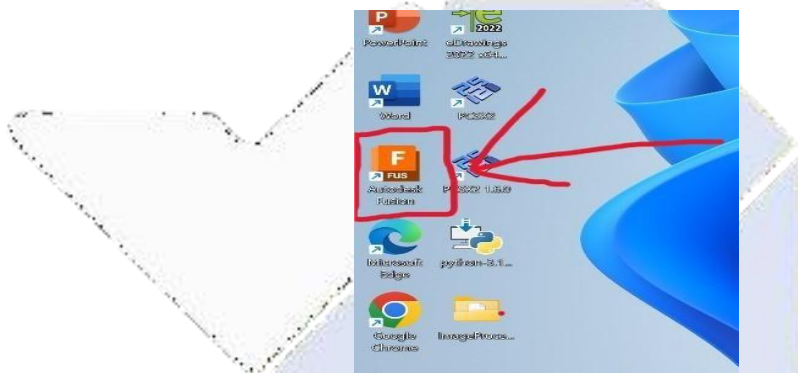
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Langkah-Langkah Tahapan Proses

Berikut ini adalah langkah-langkah dari awal proses hingga akhir mendapatkan data waktu proses simulasi dudukan cetakan kampas rem:

4.1.1 Membuka Aplikasi Autodesk Fusion 360

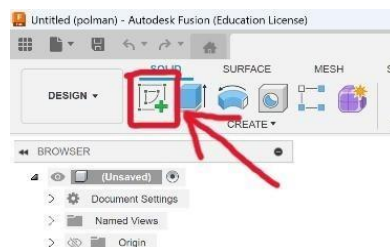
Pada langkah pertama membuka aplikasi *Autodesk fusion 360* di desktop komputer ditunjukkan tanda panah pada gambar 4.1.1.



Gambar 4.1. 1 membuka aplikasi *Autodesk Fusion 360*

4.1.2 Membuat Sketsa (*Create Sketch*)

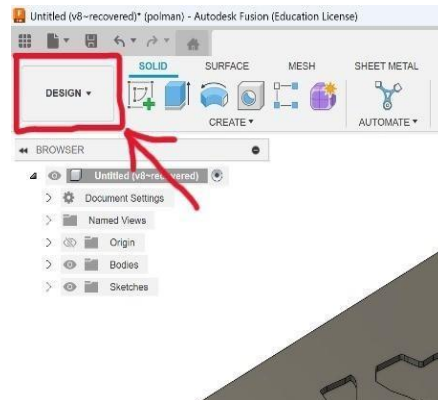
Langkah kedua membuat sketsa, Panah menunjuk ke ikon "*Create Sketch*" pada *toolbar* utama di tab *Design* untuk memulai membuat *design* hingga menjadi bentuk 3D dudukan cetakan kampas rem, ditunjukkan tanda panah pada gambar 4.1.2.



Gambar 4.1. 2 membuat sketsa (*create sketch*)

4.1.3 Akses ke Tab *Design*

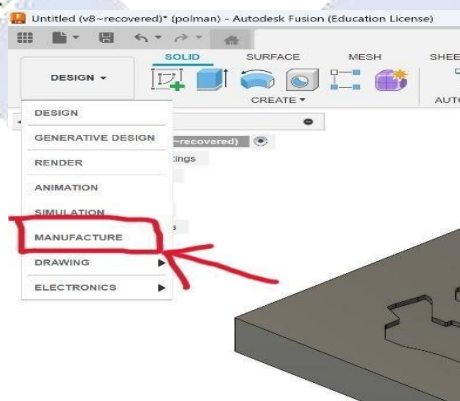
Langkah ketiga Panah menunjuk ke tab "*Design*" di bagian atas antarmuka Fusion 360 untuk mengganti mode ke *manufacture* setelah *design* jadi.



Gambar 4.1. 3 Akses ke Tab *Design*

4.1.4 Beralih ke Mode *Manufacture*

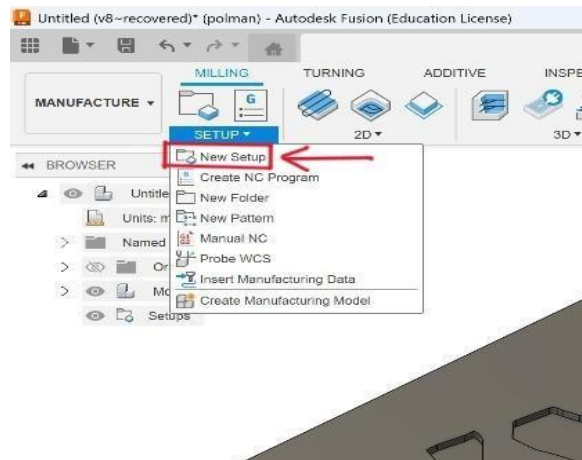
Langkah keempat Panah menunjuk ke opsi "*Manufacture*" dari *dropdown* menu tab utama.



Gambar 4.1. 4 Beralih ke Mode *Manufacture*

4.1.5 Membuat *Setup* dalam Mode *Milling*

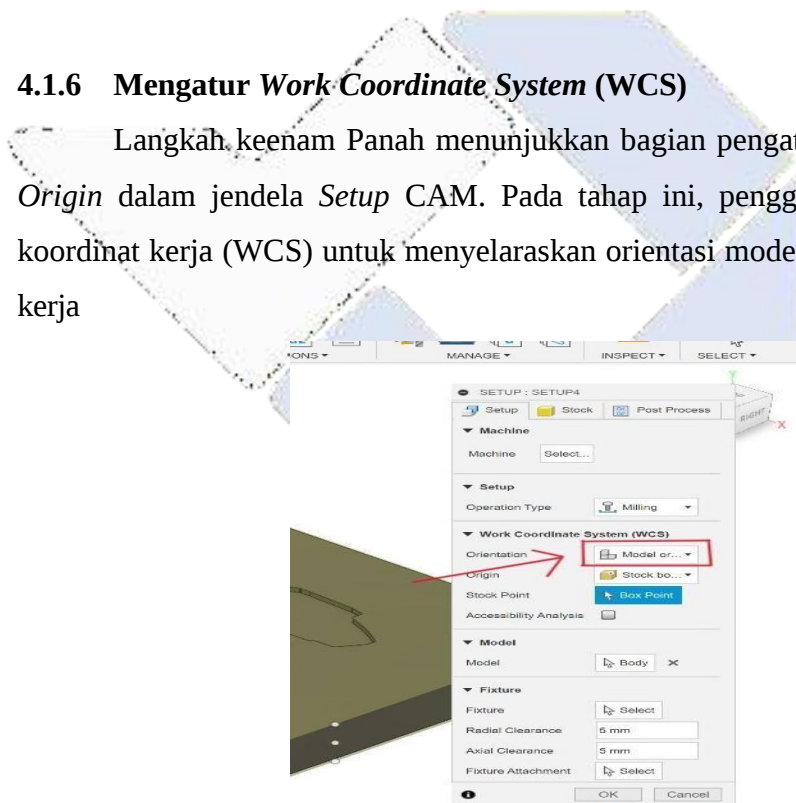
Langkah kelima membuat *Setup*, *Setup* adalah tahap awal dalam proses CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) di mana pengguna mengatur Orientasi model, Titik Nol (*Origin*), dan Pemilihan bagian model Menentukan area mana dari model yang akan diproses.



Gambar 4.1. 5 Membuat *Setup* dalam Mode *Milling*

4.1.6 Mengatur *Work Coordinate System (WCS)*

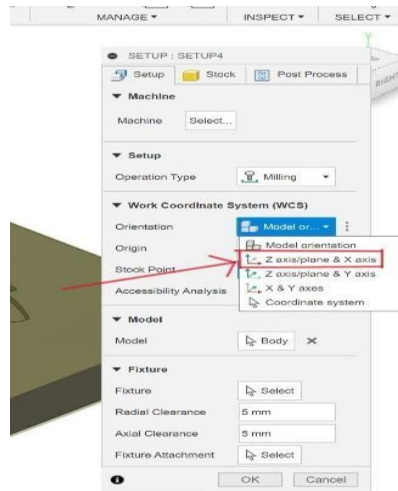
Langkah keenam Panah menunjukkan bagian pengaturan *Orientation* dan *Origin* dalam jendela *Setup* CAM. Pada tahap ini, pengguna mengatur sistem koordinat kerja (WCS) untuk menyelaraskan orientasi model dengan posisi benda kerja



Gambar 4.1. 6 Mengatur *Work Coordinate System (WCS)*

4.1.7 Memilih *Z Axis* dan *X Axis* untuk *Orientasi*

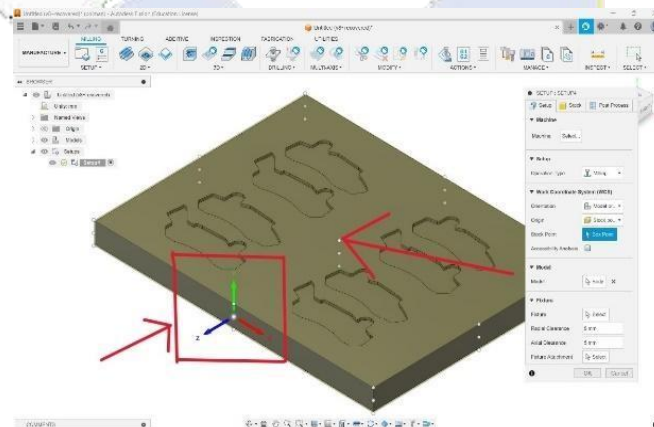
Langkah ketujuh Panah menunjukkan opsi “*Z axis/plane & X axis*” sebagai pilihan orientasi WCS. Menentukan arah pemotongan vertikal (Z) dan Menyesuaikan arah sumbu X



Gambar 4.1. 7 Memilih Z Axis dan X Axis untuk Orientasi

4.1.8 Menentukan Titik Nol (*Stock Point*)

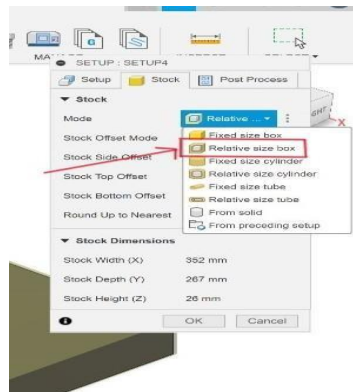
Langkah kedelapan Panah menunjukkan pemilihan titik nol sumbu x,y, dan z dengan metode *Box Point*. Dengan memilih *Box Point*, pengguna bisa memilih titik nol pemotongan (*origin*) pada sudut atau pusat *bounding box* dari *stock*.



Gambar 4.1. 8 Menentukan Titik Nol (*Stock Point*)

4.1.9 Pengaturan Dimensi Stock (Bahan Mentah)

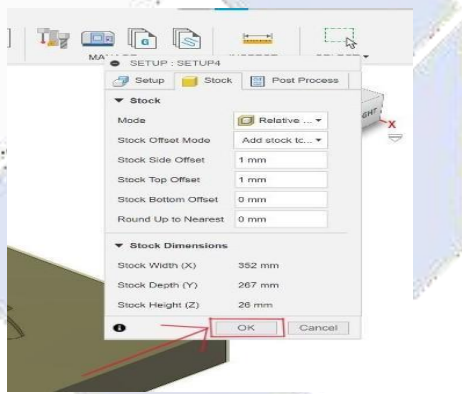
Langkah kesembilan Panah menunjukkan tab “*Stock*” dalam jendela *Setup* CAM. Tab *Stock* digunakan untuk menentukan ukuran dan *offset* dari bahan mentah (*raw material*) yang akan digunakan. Mode *stock* yang dipilih menggunakan *Relative size box*.



Gambar 4.1. 9 Pengaturan Dimensi *Stock* (Bahan Mentah)

4.1.10 Hasil *Setup* Siap Digunakan

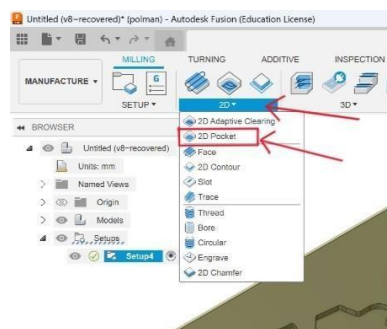
Langkah kesepuluh menunjukkan tampilan akhir setelah *setup* selesai dengan orientasi dan origin yang telah diatur, serta *stock* ditampilkan sebagai area berwarna kuning transparan. Setelah selesai semua *setting setup* nya lalu klik OK.



Gambar 4.1. 10 Hasil *Setup* Siap Digunakan

4.1.11 Setting 2D pocket

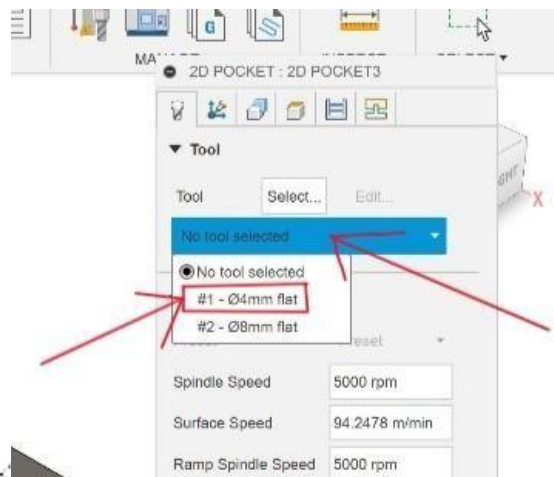
langkah kesebelas tanda panah menunjukkan awalan *setting* untuk 2D pocket



Gambar 4.1. 11 Setting 2D Pocket

4.1.12 Setting Tool

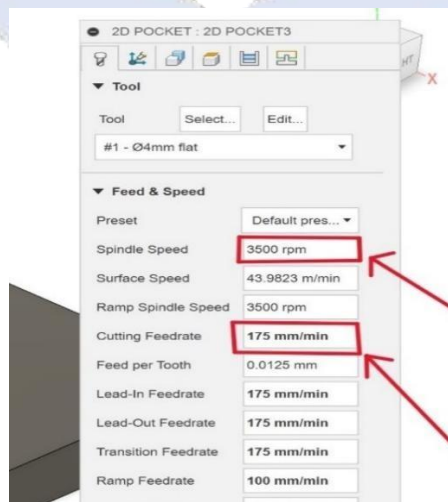
Langkah selanjutnya menunjukkan setelah memilih 2D *pocket* disini menunjukkan pemilihan *tool* atau *cutter* yang akan digunakan adalah *cutter* diameter 4 mm.



Gambar 4.1. 12 setting tool cutter

4.1.13 Input data spindle speed dan Feed Rate

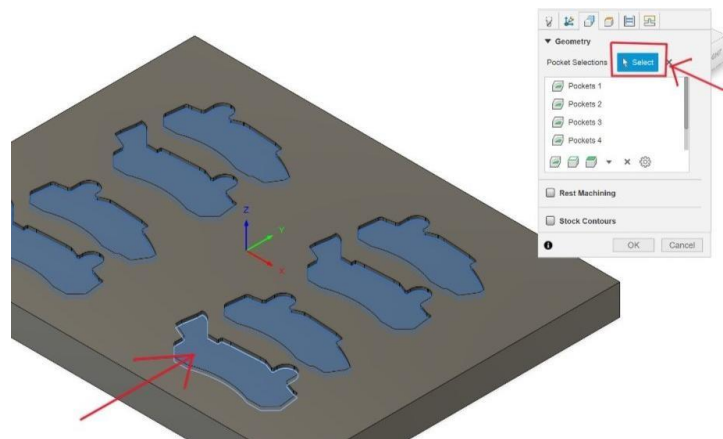
Setelah *setting tool* langkah selanjutnya adalah menginput nilai *spindle speed* 3500 RPM dan *Feed Rate* nya adalah 175mm/min.



Gambar 4.1. 13 Input data spindle speed dan Feed Rate

4.1.14 Setting Geometry pocket

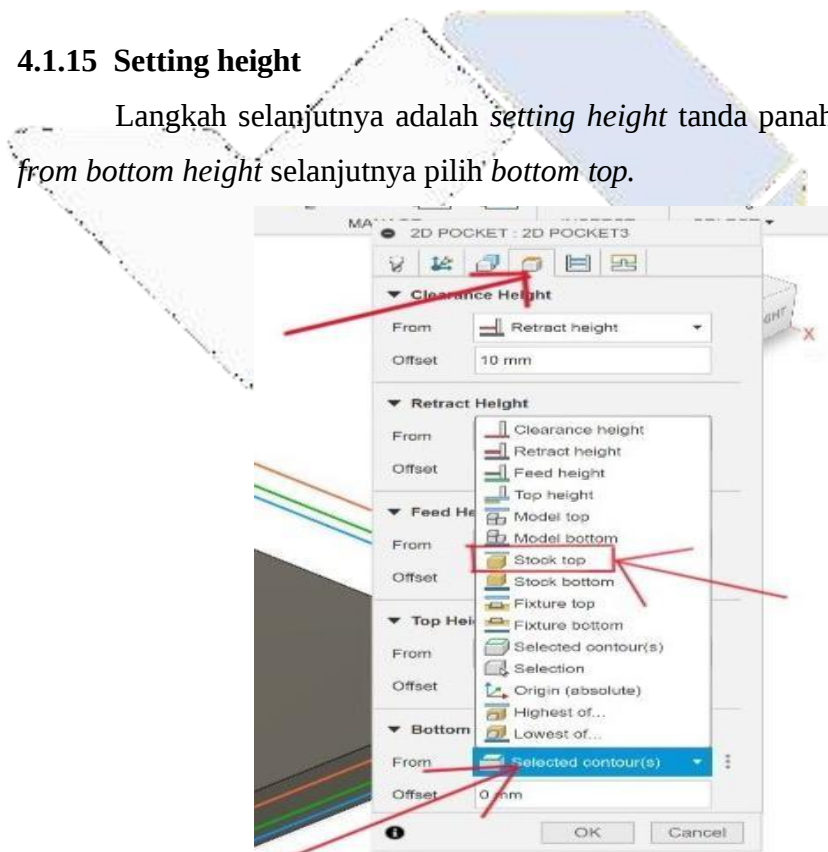
Setelah input data *spindle speed* dan *feed rate* langkah selanjutnya adalah melakukan *setting geometry pocket* pada benda kerja yang akan di proses



Gambar 4.1. 14 Setting Geometry Pocket

4.1.15 Setting height

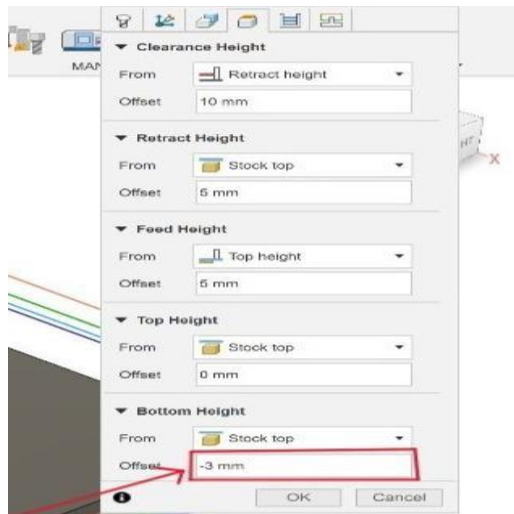
Langkah selanjutnya adalah *setting height* tanda panah menunjukan pada *from bottom height* selanjutnya pilih *bottom top*.



Gambar 4.1. 15 setting heigh

4.1.16 Setting nilai offset bottom heighth

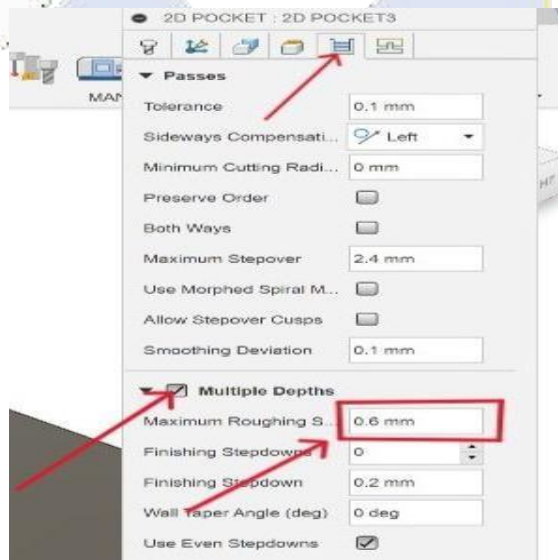
Setelah memilih *bottom top* pada *from bottom height* selanjutnya isi nilai *offset* dengan nilai -3mm.



Gambar 4.1: 16 setting nilai offset bottom heigth

4.1.17 Setting passes

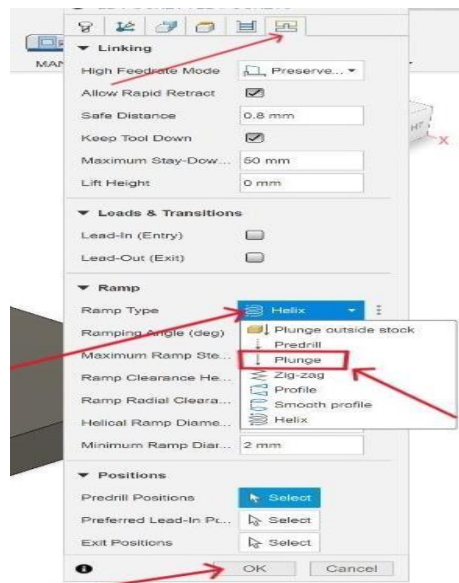
Setelah *setting height* selanjutnya pindah ke *setting passes* tanda panah menunjukkan pada menu *multiple depth*, aktifkan menu *multiple depth* setelah itu isi kolom maksimum *roughing* sebesar 0.6mm.



Gambar 4.1. 17 setting Passes

4.1.18 Setting linking

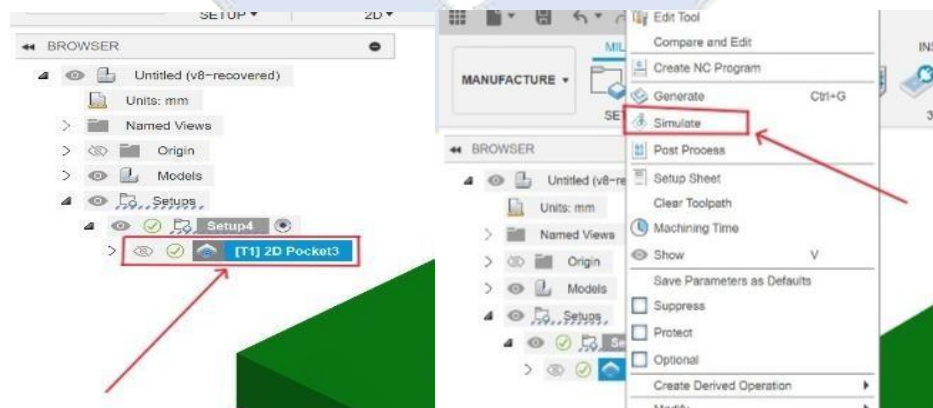
Setelah *setting passes* selanjutnya pindah ke *setting linking*, pada gambar ini tanda panah menunjukan pada menu *ramp* pada kolom *ramp type* pilih *plunge* setelah itu klik Ok.



Gambar 4.1. 18 Setting Linking

4.1.19 Langkah untuk memilih fitur simulasi

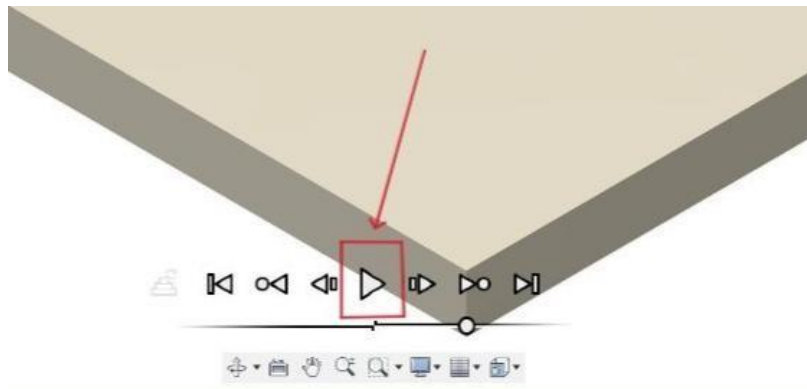
Tanda panah yang ada pada gambar 4.1.19 menunjukan pada 2D Pocket yang sudah disetting sebelumnya lalu klik kanan pada mouse lalu menunjukan simulate yang dipilih untuk melakukan simulasi.



Gambar 4.1. 19 langkah untuk memilih fitur simulasi

4.1.20 Tombol play pada fitur simulasi

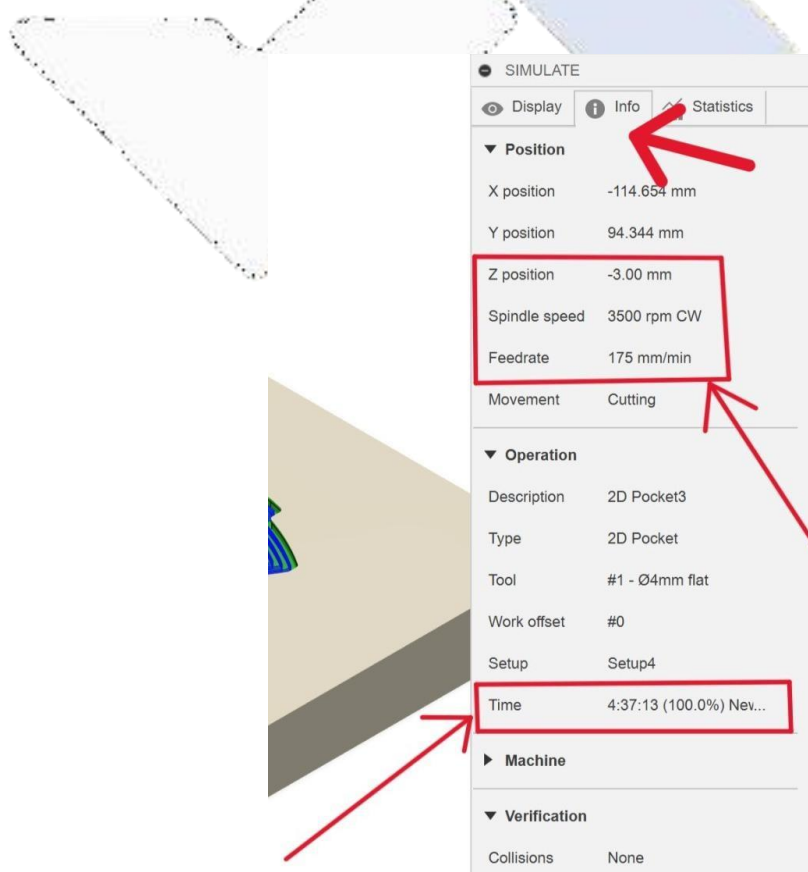
Tanda panah pada gambar ini menunjukkan tanda play/mulai untuk simulasi pada fitur simulate.



Gambar 4.1. 20 Tombol *Play* pada fitur simulasi

4.1.21 Tabel informasi pada fitur *simulate*

Tanda panah pada gambar ini menunjukkan cara untuk mendapatkan informasi data waktu proses selama simulasi.



Gambar 4.1. 21 tabel informasi pada fitur *simulate*

4.2 Desain Eksperimen

Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan pendekatan *Orthogonal Array* L9 (3 faktor $\times$ 3 level) untuk menentukan pengaruh parameter pemesinan terhadap waktu proses. Tiga parameter utama yang digunakan adalah:

- *Spindle Speed* (rpm): 2300, 2800, 3500
- *Feed Rate* (mm/min): 115, 140, 175
- *Depth of Cut* (mm): 0.2, 0.4, 0.6

Tabel 4.1 Desain Eksperimen Taguchi L9

Percobaan	<i>Spindle Speed</i> (rpm)	<i>Feed Rate</i> (mm/min)	<i>Depth of Cut</i> (mm)
1	2300	115	0.2
2	2300	140	0.4
3	2300	175	0.6
4	2800	115	0.4
5	2800	140	0.6
6	2800	175	0.2
7	3500	115	0.6
8	3500	140	0.2
9	3500	175	0.4

4.3 Data Hasil Eksperimen dan Perhitungan S/N Ratio

Data eksperimen diperoleh dari pengukuran waktu proses simulasi untuk setiap kombinasi parameter. Karena waktu proses yang optimal adalah waktu terkecil, maka digunakan S/N Ratio dengan karakteristik *Smaller is Better*, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{S/N Ratio} = -10 \times \log_{10}(y^2)$$

Tabel 4.2 Hasil Eksperimen dengan 3 Replikasi

no	<i>spindle speed</i> (RPM)	Parameter		data awal waktu(detik)	Replikasi		
		<i>feed rate</i> (mm/min)	<i>depth of cut</i> (mm)		1	2	3
1	2300	115	0.2	76.002	76.002	76.002	76.002
2	2300	140	0.4	33.278	33.278	33.278	33.278
3	2300	175	0.6	16.633	16.633	16.633	16.633
4	2800	115	0.4	40.504	40.504	40.504	40.504
5	2800	140	0.6	20.782	20.782	20.782	20.782
6	2800	175	0.2	49.958	49.958	49.958	49.958
7	3500	115	0.6	25.291	25.291	25.291	25.291
8	3500	140	0.2	62.437	62.437	62.437	62.437
9	3500	175	0.4	26.630	26.630	26.630	26.630

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter proses pemesinan pada CNC *Milling* untuk pembuatan dudukan cetakan kampas rem berbasis CAD/CAM dengan *software Autodesk Fusion 360*. Parameter yang dioptimasi mencakup *spindle speed* (RPM), *feed rate* (mm/min), dan *depth of cut* (mm), dengan pendekatan Metode Taguchi untuk efisiensi jumlah eksperimen dan analisis statistik yang kuat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Depth of cut* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap waktu proses pemesinan, dengan kontribusi sebesar 87.48% (berdasarkan SN Ratio) dan 86.37% (berdasarkan nilai rata-rata waktu proses). Diikuti oleh *feed rate* dan terakhir *spindle speed*. Kombinasi parameter optimal yang menghasilkan waktu proses tercepat adalah *Spindle Speed* 3500 rpm, *Feed Rate* 175 mm/min, dan *Depth of Cut* 0.6 mm. Kombinasi ini mampu menurunkan waktu proses secara signifikan hingga lebih dari 70% dibandingkan dengan kombinasi awal. Penggunaan CAD/CAM Fusion 360 terbukti efektif dalam mensimulasikan waktu proses dan menghindari *trial-and-error*. Simulasi ini memungkinkan identifikasi parameter optimal sebelum produksi aktual, yang berdampak pada efisiensi waktu, biaya, dan pemakaian alat potong. Metode Taguchi berhasil digunakan untuk merancang eksperimen secara sistematis dan efisien, serta menghasilkan kesimpulan yang kuat dengan jumlah eksperimen minimal. Penggunaan S/N Ratio "*Smaller is Better*" tepat untuk fokus utama penelitian yaitu meminimalkan waktu proses. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil mencapai tujuan utama, yaitu menemukan kombinasi parameter pemesinan yang optimal untuk mempercepat waktu proses, khususnya dalam pembuatan komponen dudukan cetakan kampas rem.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya maupun penerapan di industri:

1. Pengujian Langsung pada Mesin CNC

Penelitian ini berbasis simulasi di *Autodesk Fusion 360*. Untuk memperoleh validasi yang lebih komprehensif, disarankan dilakukan pengujian langsung pada mesin CNC fisik agar hasil simulasi dapat dibandingkan dengan data aktual.

2. Penambahan Variabel Optimasi

Selain waktu proses, studi di masa mendatang dapat mempertimbangkan parameter lain seperti kekasaran permukaan, umur pahat, konsumsi energi, atau kestabilan getaran, guna memperoleh parameter optimal yang lebih menyeluruh.

3. Penerapan Strategi *Toolpath* yang Lebih Kompleks

Strategi pemotongan dapat dikembangkan lebih lanjut, seperti *adaptive clearing* atau *3D finishing*, untuk melihat pengaruhnya terhadap efisiensi waktu dan kualitas pemesinan.

4. Penggunaan *Software* Tambahan untuk Validasi

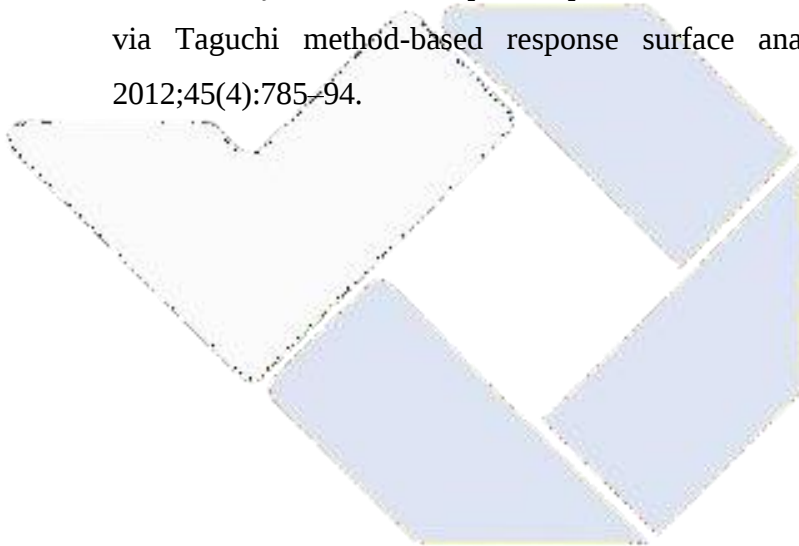
Validasi hasil simulasi bisa diperluas dengan membandingkan performa antara *Fusion 360* dan *software* CAM lain seperti *Mastercam* atau *NX CAM*, agar diperoleh hasil yang lebih akurat dan dapat dipercaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Elias DM, Yusof Y, Minhat M. CNC machine system via STEP-NC data model and LabVIEW platform for Milling operation. In: *IEEE Conference on Open Systems*; 2013.
- [2] Sastry MNP, Devi KD, Reddy KM. Analysis and Optimization of Machining Process Parameters Using Design of Experiments. *Industrial Engineering Letters* 2012.
- [3] Fountas NA, Fountas NA, Vaxevanidis NM, Stergiou CI, Benhadj-Djilali R. Optimum CNC Free-form Surface Machining Through Design of Experiments in CAM Software. In: 2014.
- [4] Song PP, Qi YM, Cai DC. Research and Application of Autodesk Fusion360 in Industrial Design. 2018. doi:10.1088/1757-899X/359/1/012037.
- [5] Trounson JEI. Integrated cad/cam/cnc software machine tool and machine tool therewith. 2018.
- [6] Petousis M, Bilalis N, Sapidis NS. A virtual reality system for the determination of critical machining-process parameters. *International Journal of Intelligent Engineering Informatics* 2010. doi:10.1504/IJIEI.2010.033530.
- [7] Srinivasan N, Sanyal A, Bheda T, Harshwardhan L. Design development and optimization of disc brake using generative design on fusion 360. In: 2022.
- [8] Zhang J, Gong X, Xie G, Yin L. Optimal machining parameters module development based on CAD/CAM system. In: 2010.
- [9] Fatriyana M. Cnc program and programming of cnc machine. 2020. doi:10.36706/JMSE.V7I1.37.
- [10] Agrisa HH. An Overview of process CNC Machining. 2020. doi:10.36706/JMSE.V6I2.32.
- [11] Mohamed SB, Ab Rashid R, Muhamad M, Ismail J. Cutting Parameters and the Machinability Performance. In: 2019.

- [12] Pandey R, Sharma N, Tomar A. A Recent Role of CAD/CAM in Designing, Developing and Manufacturing in Modern Manufacturing Technologies. *Imperial journal of interdisciplinary research* 2016.
- [13] Willis KDD, Pu Y, Luo J, et al. Fusion 360 gallery: a dataset and environment for programmatic CAD construction from human design sequences. *ACM Transactions on Graphics* 2021. doi:10.1145/3450626.3459818.
- [14] Lensgraf S, Mettu RR. Incorporating Kinematic Properties into Fused Deposition Toolpath Optimization. In: *Intelligent Robots and Systems*; 2018.
- [15] Dar AA, Anuradha N. Use of Taguchi method for optimisation of process parameters of option pricing model. *International Journal of Services, Economics and Management* 2020. doi:10.1504/IJSEM.2020.10029930.
- [16] Choubey A, Chaturvedi V, Vimal J. Optimization of process parameters of CNC Milling machine for mild steel using Taguchi design and Signal to Noise ratio Analysis. *Int J Eng Res Technol*. 2012;1(3):1–6.
- [17] Azim S, Noor S, Khalid QS, Khan AM, Pimenov DY. Sustainable manufacturing and parametric analysis of mild steel grade 60 by deploying CNC milling machine and Taguchi method. *Metals*. 2020;10(10):1303.
- [18] Ahmed SU, Arora R. Quality characteristics optimization in CNC end milling of A36 K02600 using Taguchi's approach coupled with ANN and GA. *J Inst Eng India Ser C*. 2019;100(6):957–65.
- [19] Singh PK, Saini P, Kumar D. Multi-response optimization of CNC end milling of AISI H11 alloy steel for rough and finish machining using TGRA. *Mater Today Proc*. 2020;26:421–7.
- [20] Bagci E, Aykut Ş. A study of Taguchi optimization method for identifying optimum surface roughness in CNC face milling of cobalt-based alloy (stellite 6). *Int J Adv Manuf Technol*. 2006;29(9):940–6.
- [21] Yakubu SO, Bello Y. Optimization of machining parameters of low carbon steel for turning operation using Taguchi analysis. *Niger J Trop Eng*. 2022;16(1):23–31.

- [22] Santhosh AJ, Tura AD, Jiregna IT, Gemechu WF. Optimization of CNC turning parameters using face centred CCD approach in RSM and ANN-genetic algorithm for AISI 4340 alloy steel. *Results Eng.* 2021;12:100296.
- [23] Patil S, Rao PS, Prabhudev MS, Khan MY. Optimization of cutting parameters during CNC milling of EN24 steel with Tungsten carbide coated inserts: A critical review. *Mater Today Proc.* 2022;56:769–74.
- [24] Tlhabadira I, Daniyan IA, Machaka R, Machio C. Modelling and optimization of surface roughness during AISI P20 milling process using Taguchi method. *Int J Adv Manuf Technol.* 2019;104(9–12):4387–95.
- [25] Asiltürk I, Neşeli S. Multi-response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis. *Measurement.* 2012;45(4):785–94.



lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

Informasi pribadi

Nama : Ihwan mukhtari Arifin
Tempat/Tanggal : Sungailiat, 22 Agustus 2003
Jenis Kelamin : laki-laki
Alamat Rumah : GG.raja basa, Parit Padang,
Sungailiat, Bangka, Kepulauan
Bangka Belitung
Email : ihwanmukhtari80@gmail.com
No. Hp/Wa : 0895620319729

Nama orang tua :

Ayah : Uce Arifin
Ibu : Dra.Nurhayati

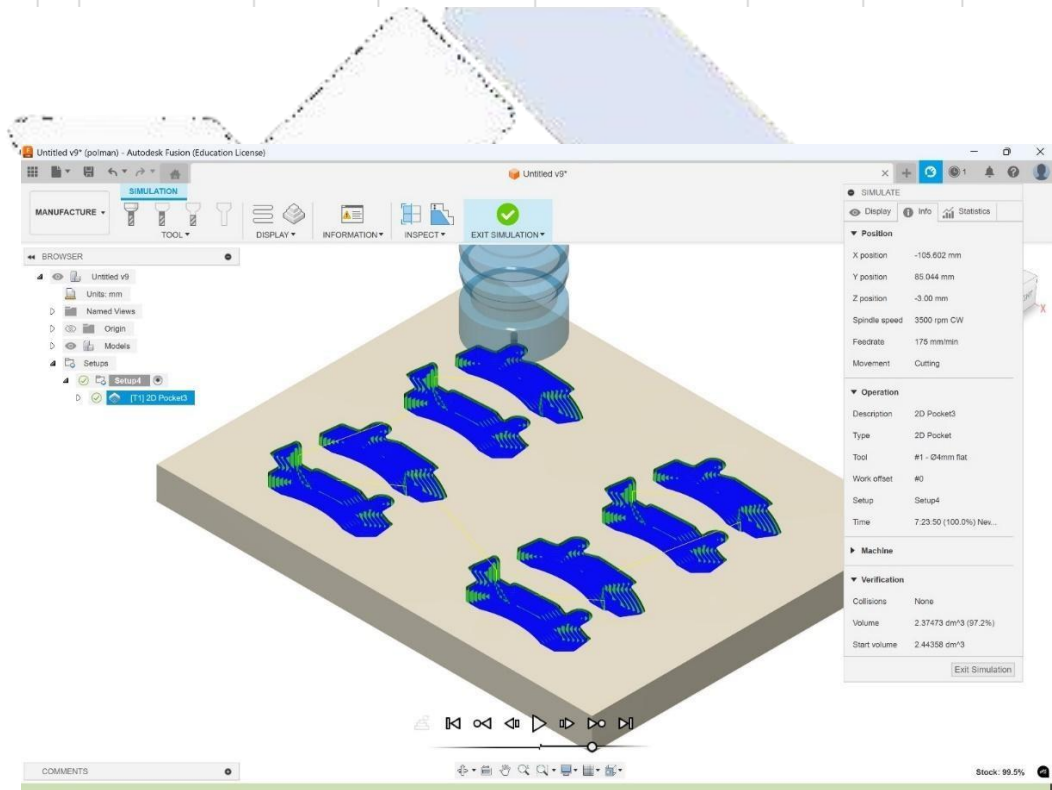
Riwayat Pendidikan :

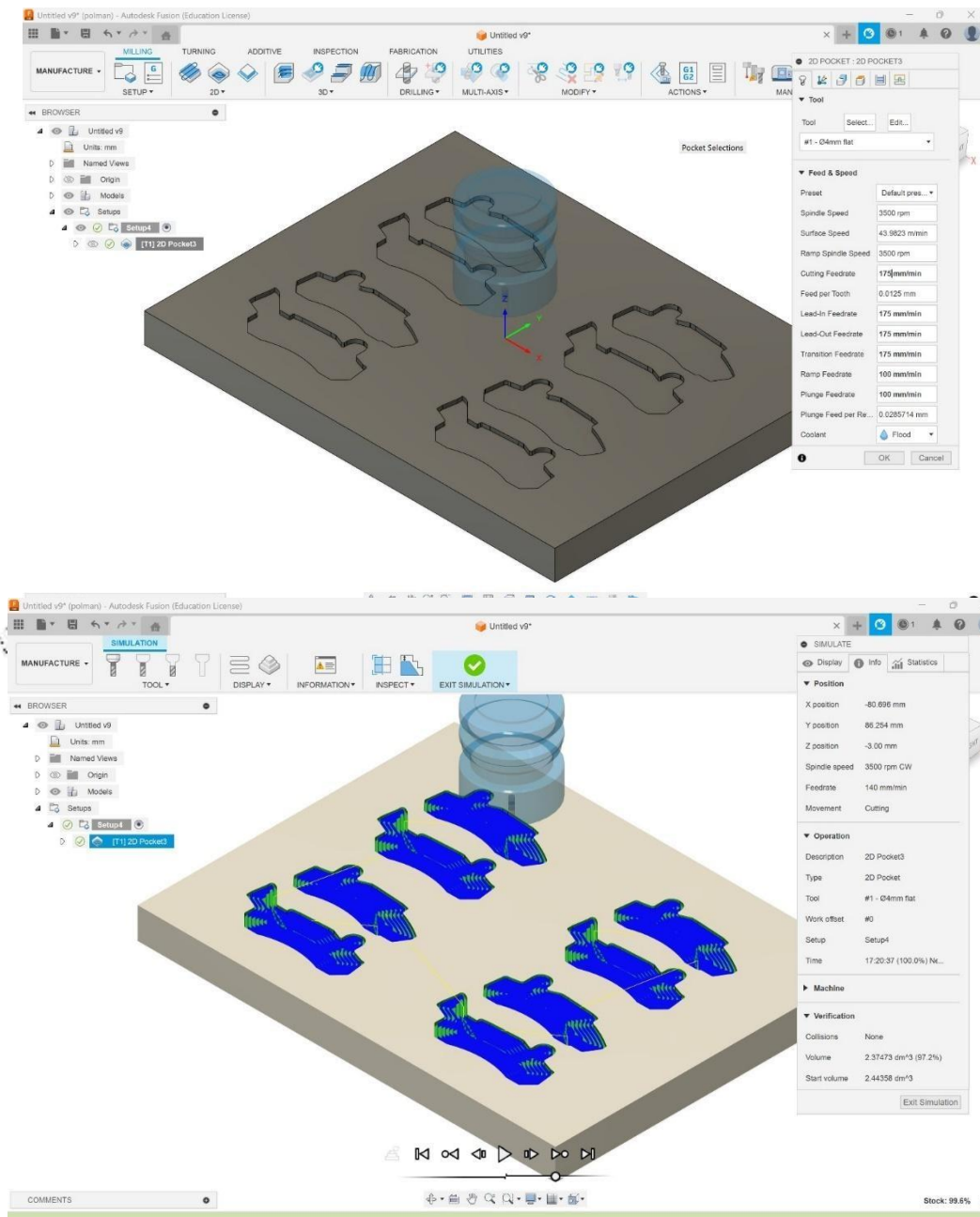
- MIN 2 BANGKA 2009-2016
- SMPN 5 Sungailiat 2016-2019
- SMK Muhammadiyah Sungailiat 2019-2022

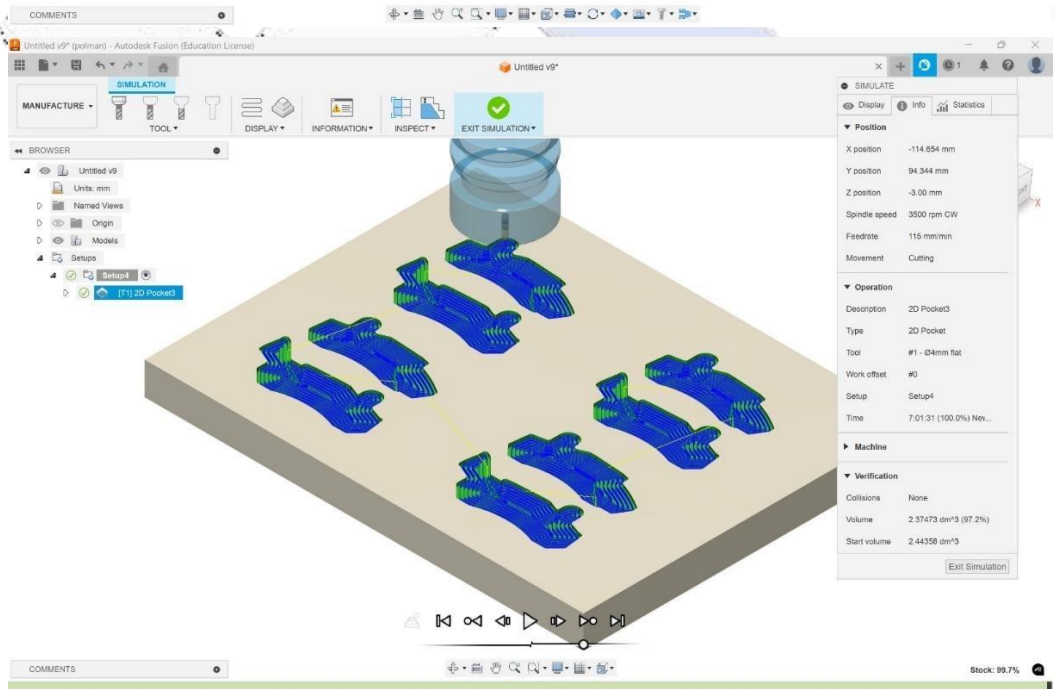
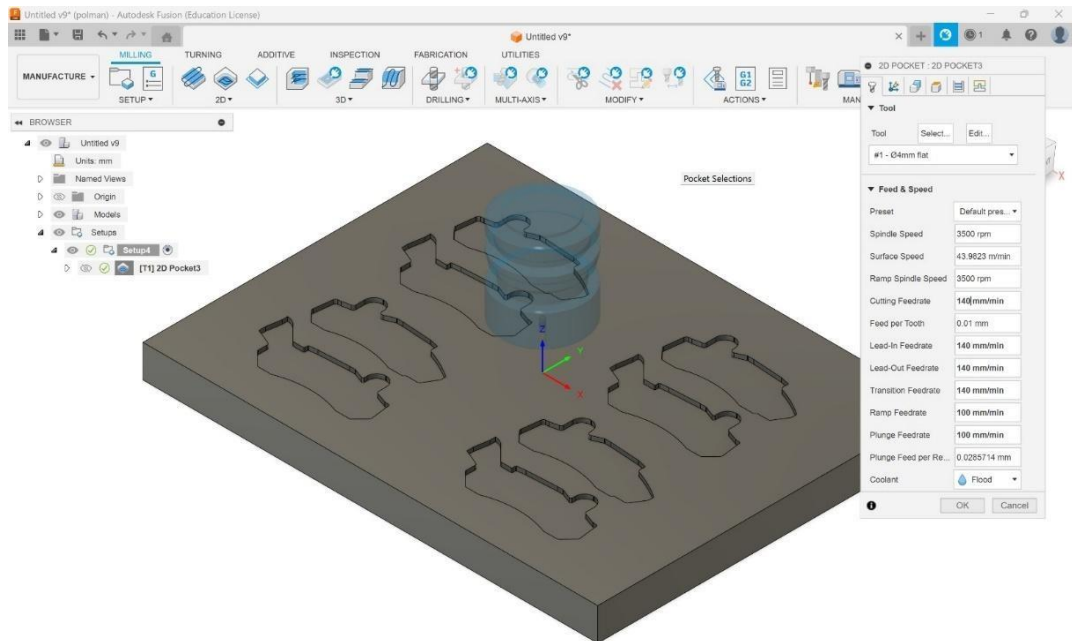


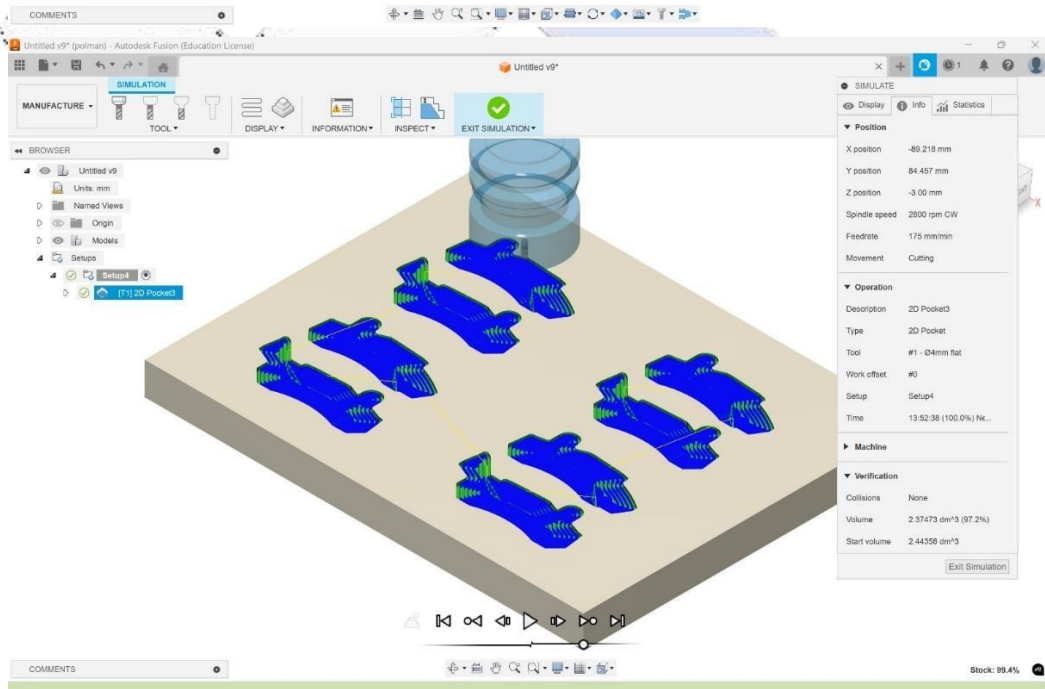
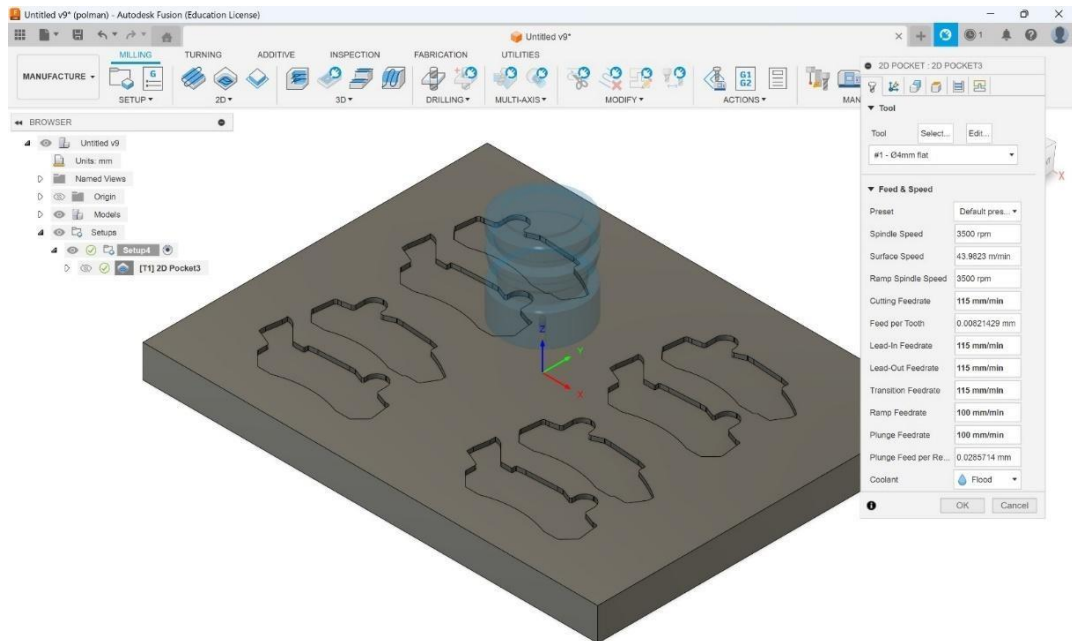
lampiran 2 Pengambilan data dan uji simulasi

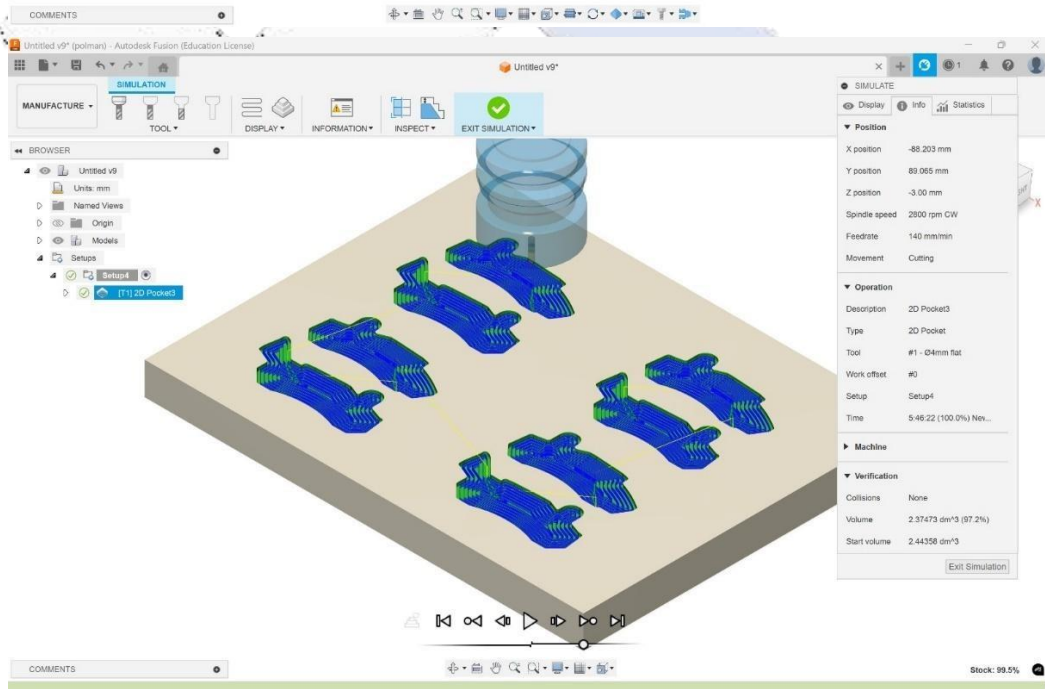
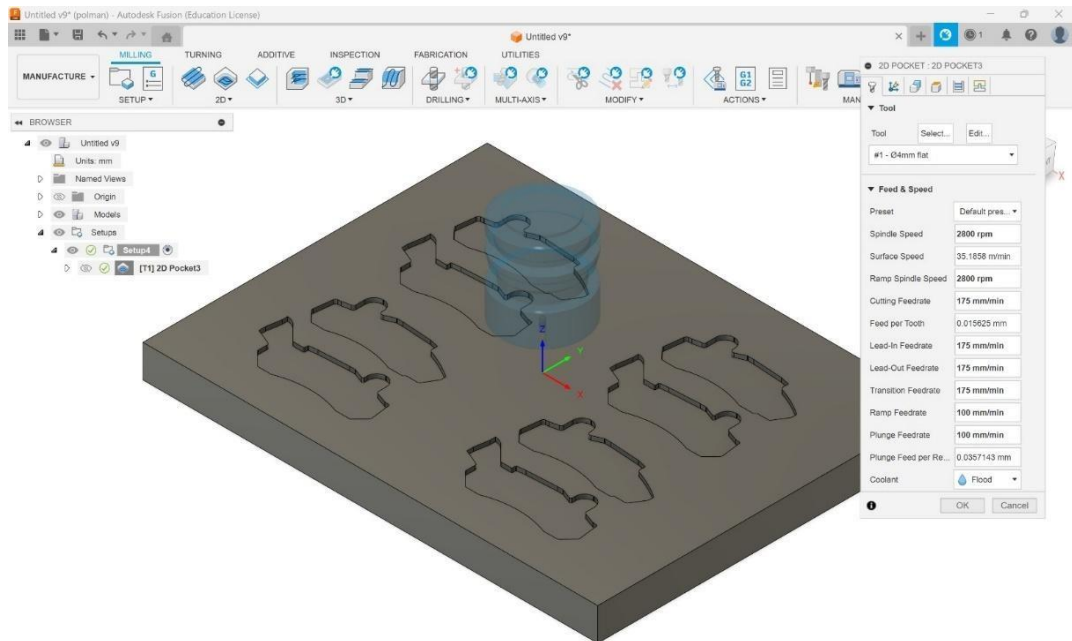
no	Parameter			data awal (waktu)	Replikasi		
	Spindle Speed	Feed Rate	Depth Of Cut		1	2	3
1	2300	115	0.2	76.002	76.002	76.002	76.002
2	2300	140	0.4	33.278	33.278	33.278	33.278
3	2300	175	0.6	16.633	16.633	16.633	16.633
4	2800	115	0.4	40.504	40.504	40.504	40.504
5	2800	140	0.6	20.782	20.782	20.782	20.782
6	2800	175	0.2	49.958	49.958	49.958	49.958
7	3500	115	0.6	25.291	25.291	25.291	25.291
8	3500	140	0.2	62.437	62.437	62.437	62.437
9	3500	175	0.4	26.63	26.63	26.63	26.63

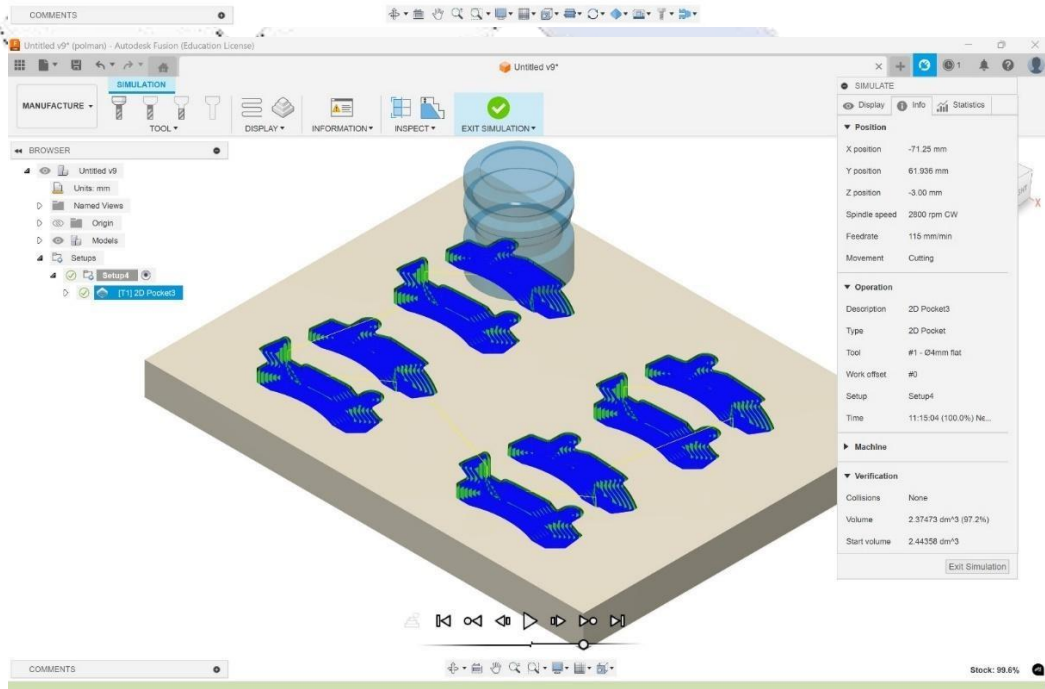
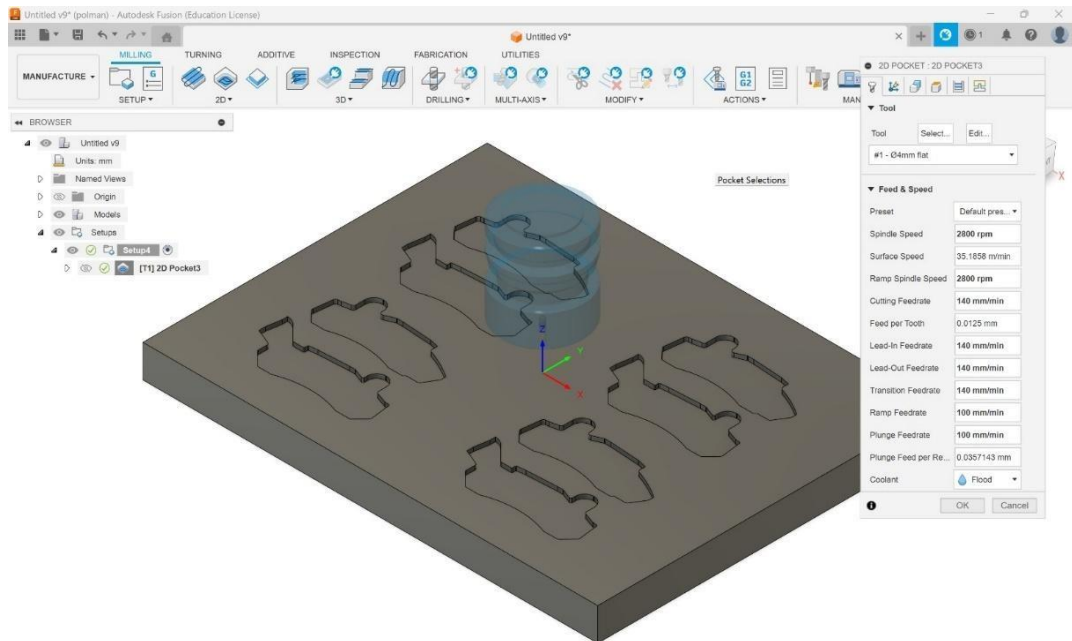


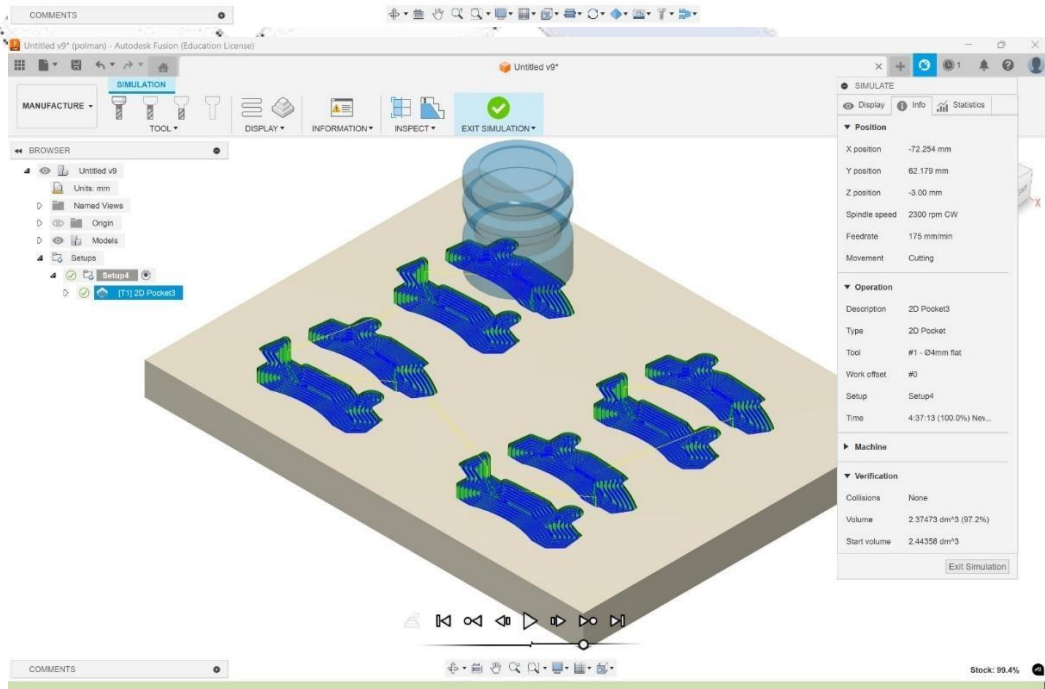
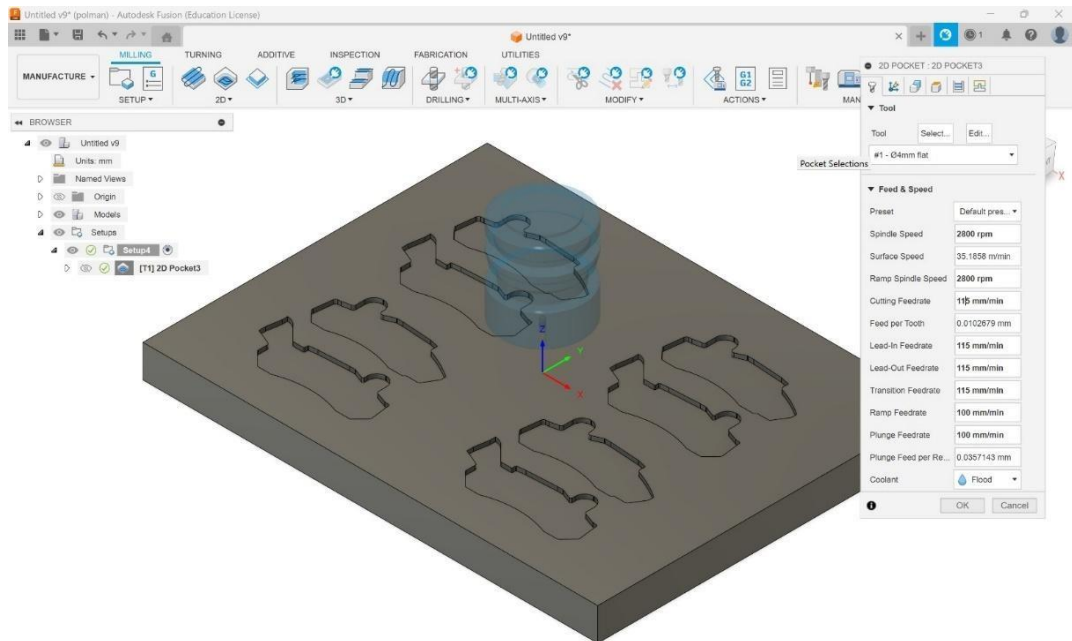


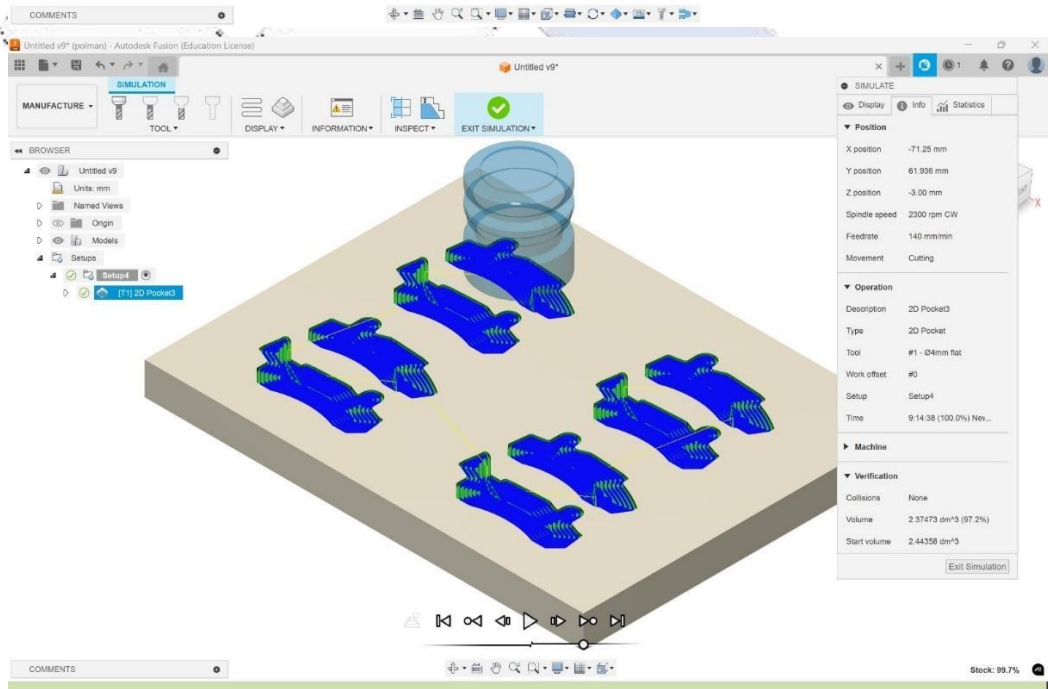
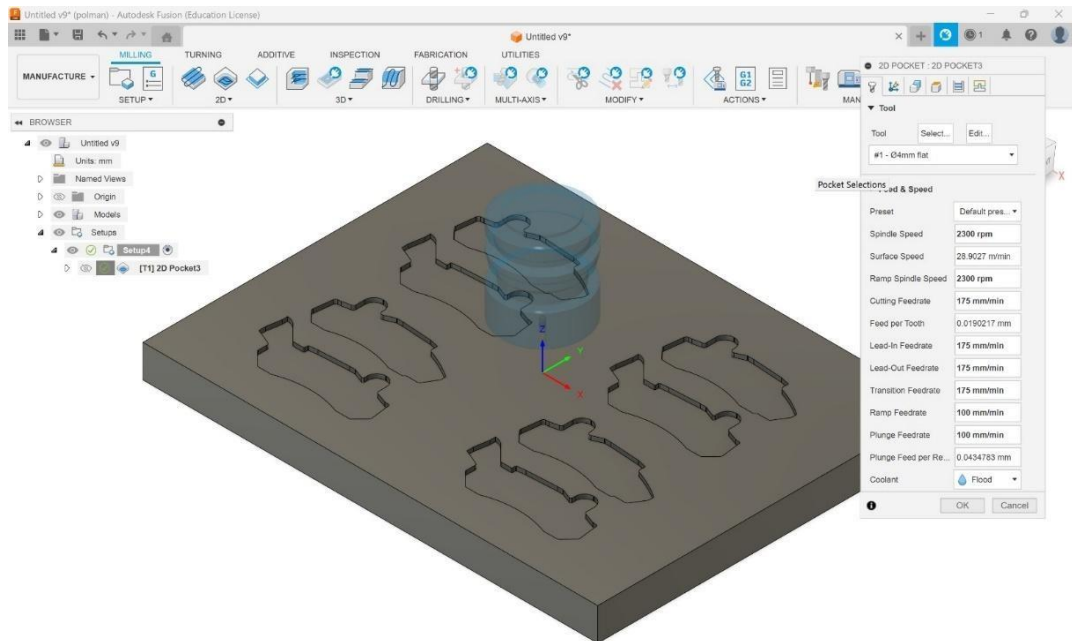


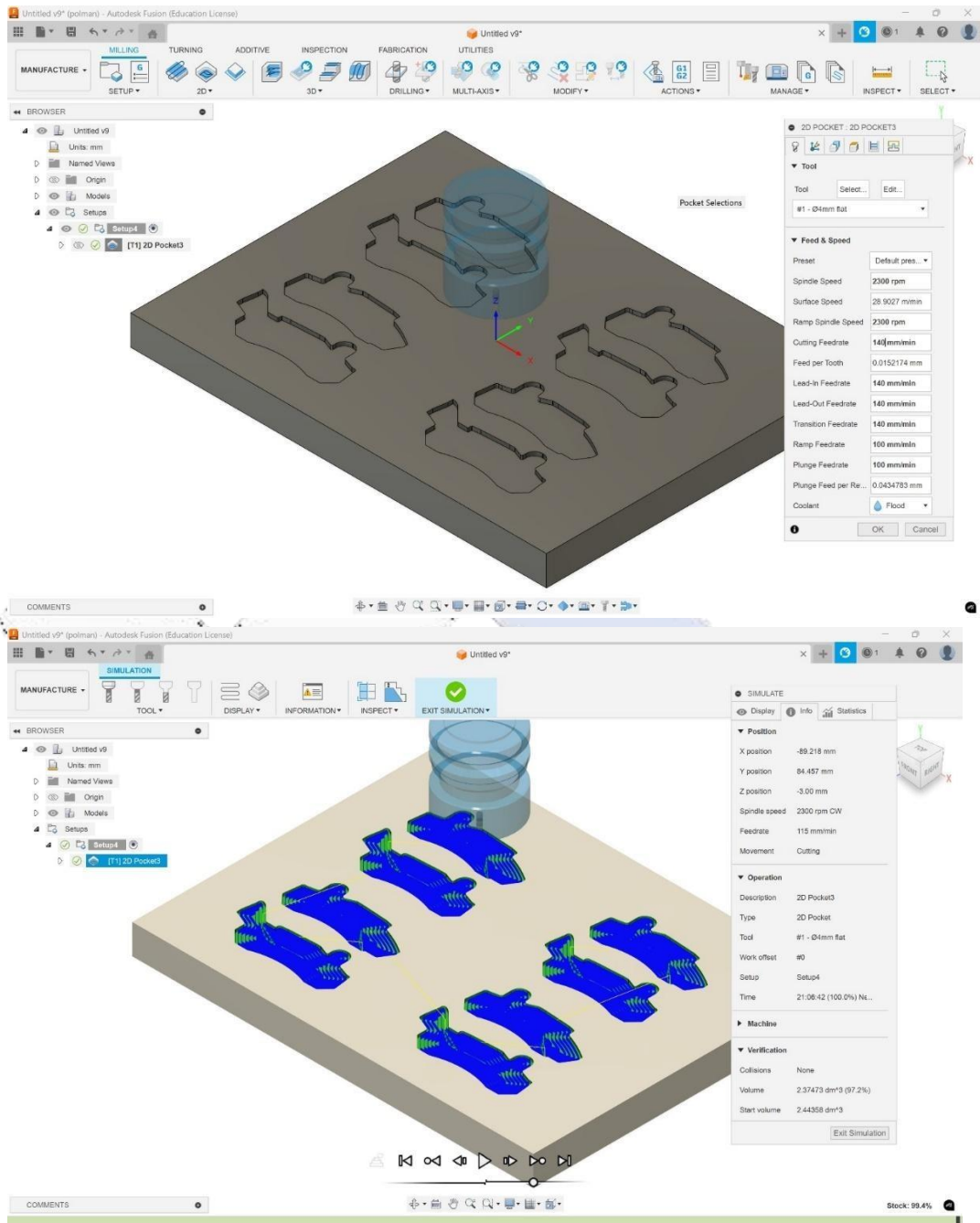


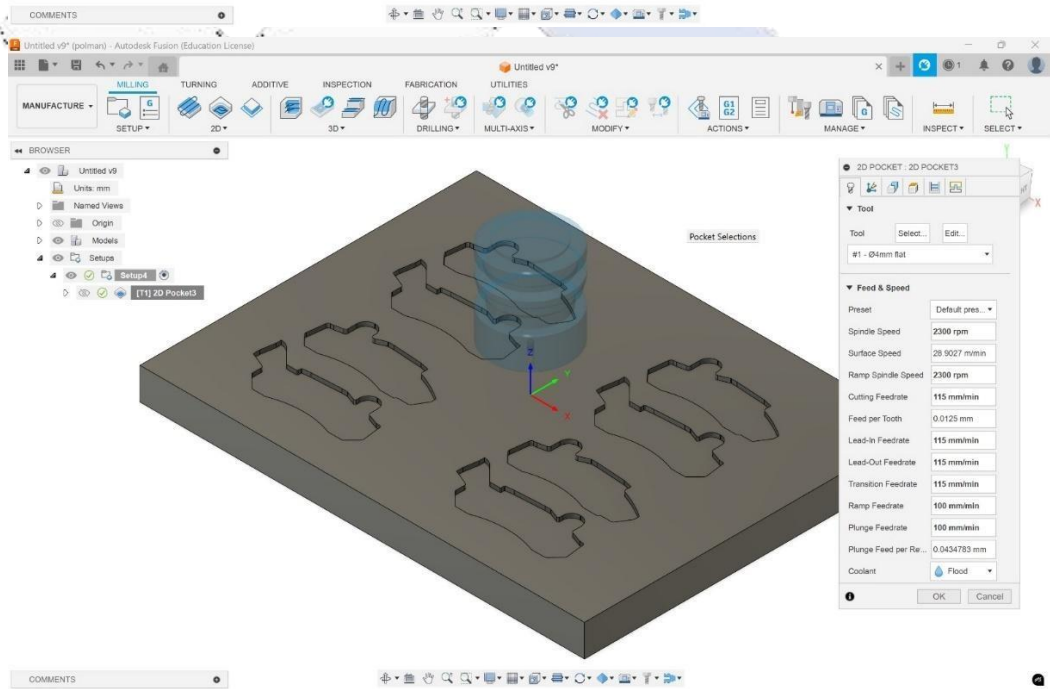
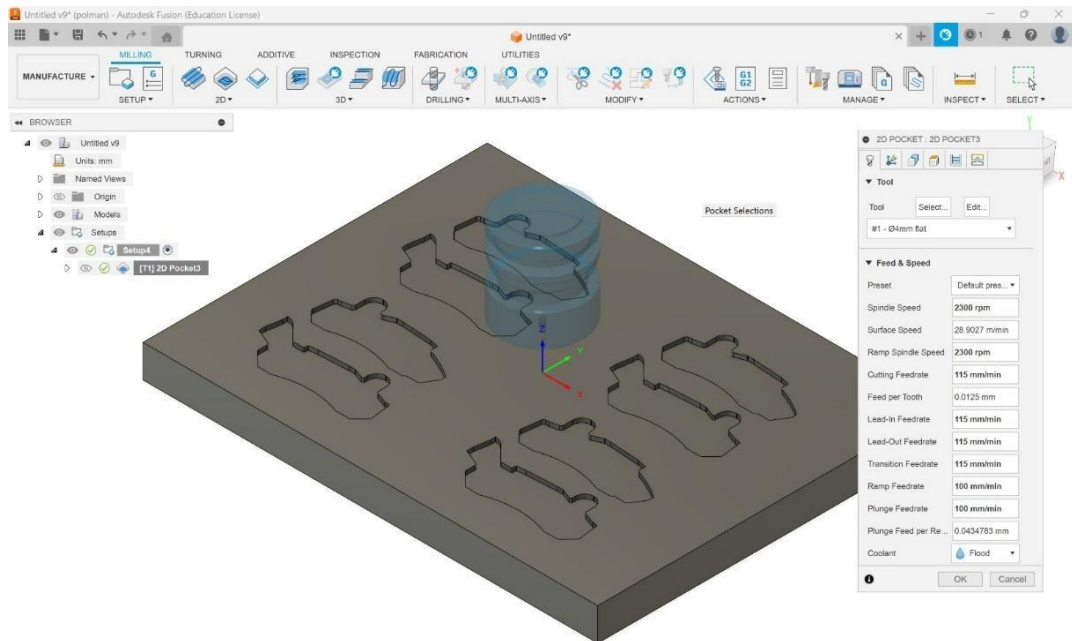












↓	C1	C2	C3	C4 	C5	C6
	spindle speed (RPM)	feed rate (mm/min)	depth of cut (mm)	time (detik)	SNRA1	MEAN1
1	2300	115	0.2	76.002	-37.6165	76.002
2	2300	140	0.4	33.278	-30.4431	33.278
3	2300	175	0.6	16.633	-24.4194	16.633
4	2800	115	0.4	40.504	-32.1500	40.504
5	2800	140	0.6	20.782	-26.3537	20.782
6	2800	175	0.2	49.958	-33.9721	49.958
7	3500	115	0.6	25.291	-28.0593	25.291
8	3500	140	0.2	62.437	-35.9088	62.437
9	3500	175	0.4	26.630	-28.5074	26.630

Taguchi Analysis: time (detik) versus spindle speed (RPM), feed rate (mm/min), depth of cut (mm)

* NOTE * Unable to perform linear model analysis.

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

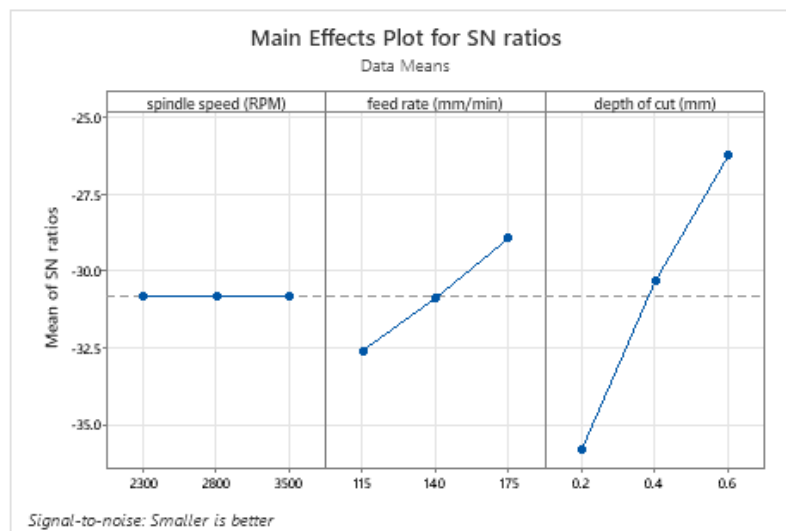
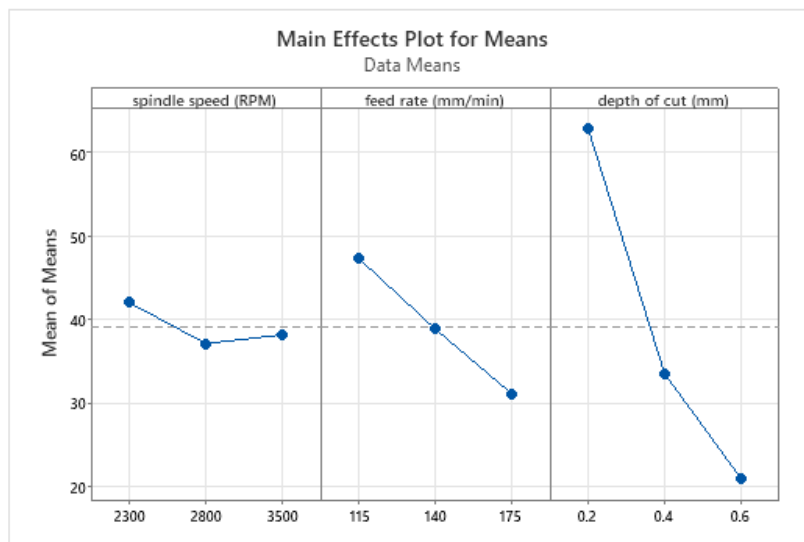
Level	spindle speed (RPM)	feed rate (mm/min)	depth of cut (mm)
1	-30.83	-32.61	-35.83
2	-30.83	-30.90	-30.37
3	-30.83	-28.97	-26.28
Delta	0.00	3.64	9.55
Rank	3	2	1

Response Table for Means

Level	spindle speed (RPM)	feed rate (mm/min)	depth of cut (mm)
1	41.97	47.27	62.80
2	37.08	38.83	33.47
3	38.12	31.07	20.90
Delta	4.89	16.19	41.90
Rank	3	2	1

Response Table for Standard Deviations

Level	spindle speed (RPM)	feed rate (mm/min)	depth of cut (mm)
1	*	*	*
2	*	*	*
3	*	*	*
Delta	*	*	*
Rank	2	2	2



* NOTE * Could not graph the specified residual type because MSE = 0 or the degrees of freedom for error = 0.

General Linear Model: time (detik) versus spindle speed (RPM), feed rate (mm/min), depth of cut (mm)

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
spindle speed (RPM)	Fixed	3	2300, 2800, 3500
feed rate (mm/min)	Fixed	3	115, 140, 175
depth of cut (mm)	Fixed	3	0.2, 0.4, 0.6

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
spindle speed (RPM)	2	39.82	19.91	1.00	0.500
feed rate (mm/min)	2	393.50	196.75	9.88	0.092
depth of cut (mm)	2	2773.48	1386.74	69.65	0.014
Error	2	39.82	19.91		
Total	8	3246.62			

Model Summary

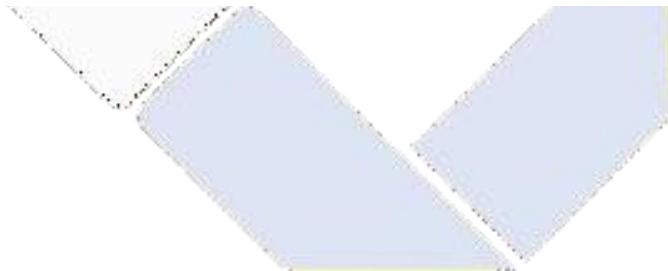
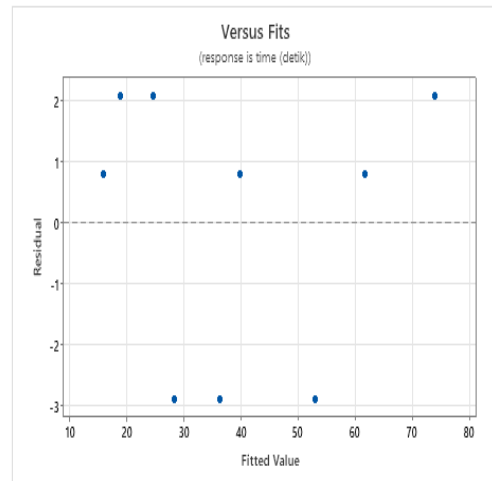
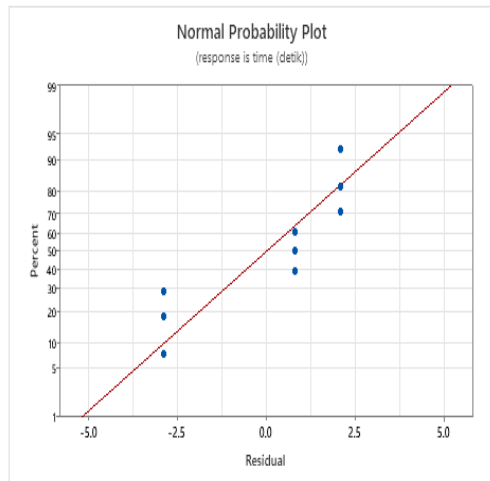
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.46222	98.77%	95.09%	75.16%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	39.06	1.49	26.26	0.001	
spindle speed (RPM)					
2300	2.91	2.10	1.39	0.300	1.33
2800	-1.98	2.10	-0.94	0.447	1.33
feed rate (mm/min)					
115	8.21	2.10	3.90	0.060	1.33
140	-0.22	2.10	-0.11	0.925	1.33
depth of cut (mm)					
0.2	23.74	2.10	11.29	0.008	1.33
0.4	-5.59	2.10	-2.66	0.117	1.33

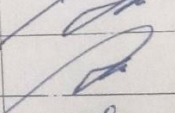
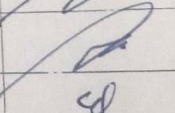
Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{time (detik)} = & 39.06 + 2.91 \text{ spindle speed (RPM)}_{2300} - 1.98 \text{ spindle speed (RPM)}_{2800} \\ & - 0.94 \text{ spindle speed (RPM)}_{3500} + 8.21 \text{ feed rate (mm/min)}_{115} \\ & - 0.22 \text{ feed rate (mm/min)}_{140} - 7.98 \text{ feed rate (mm/min)}_{175} \\ & + 23.74 \text{ depth of cut (mm)}_{0.2} - 5.59 \text{ depth of cut (mm)}_{0.4} \\ & - 18.16 \text{ depth of cut (mm)}_{0.6} \end{aligned}$$



lampiran 3 form bimbingan

FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK			
JUDUL	Optimasi Parameter Machining CNC Milling terhadap Waktu Proses Pada Pembuatan Cetakan Kampas Rem dengan Berbasis CAD/CAM		
Nama Mahasiswa	Ihwan Mukhtari Arifin NIM: 1042214		
Nama Pembimbing	1. Eko Yudo S.S.T., M.T 2. Nanda Pranandita, S.S.T., M.T 3.		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	11-2-2025	menyelesaikan Proyek akhir sampai BAB 3	
2	03-3-2025	revisi Bab 1 - BAB 2, menentukan Parameter	
3	10-3-2025	revisi Bab 3, menentukan spesimen uji	
4	24-6-2025	revisi Bab 1 - BAB 2	
5	26-6-2025	revisi BAB 3	
6	30-6-2025	revisi BAB 3	
7	3-7-2025	revisi BAB 3	
8			
9			
10			

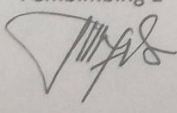
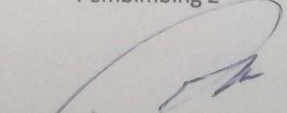
Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Komisi Proyek Akhir

lampiran 4 form monitoring

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2025	
JUDUL		optimasi parameter machining CNC milling terhadap waktu proses pada pembuatan cetakan kampas rem dengan Berbasis CAD/CAM	
Nama Mahasiswa		1. Iwan Mukhtar Arifin / NIM: 10422111 2. / NIM: 3. / NIM: 4. / NIM: 5. / NIM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1	23/04/2025	50%	ef
2	2/06/2025	40%	ef
3	3/07/2025	80%	ef

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / ~~BELUM~~ (coret yang tidak terpenuhi)

Mengetahui		
Pembimbing 1  (Dico. X)	Pembimbing 2  (Nanda P.)	Pembimbing 3 (.....)

Silahkan diatur kolom baru jika jumlah pembimbing lebih dari yang tersedia.

lampiran 5 form revisi

FORM-PPR-3-8: Form Revisi Laporan Akhir

 FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK 2024 / 2025																					
JUDUL :	Optimasi Parameter Machining CNC Milling Terhadap waktu proses pada Di Gukon Cetakan Kompas Rem dengan Ber basis CAD/CAM																				
Nama Mahasiswa :	<table border="0"> <tr> <td>1.</td> <td>Thuan Mukhtari Arifin</td> <td>NIM:</td> <td>1042214</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td></td> <td>NIM:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td></td> <td>NIM:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td></td> <td>NIM:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td></td> <td>NIM:</td> <td></td> </tr> </table>	1.	Thuan Mukhtari Arifin	NIM:	1042214	2.		NIM:		3.		NIM:		4.		NIM:		5.		NIM:	
1.	Thuan Mukhtari Arifin	NIM:	1042214																		
2.		NIM:																			
3.		NIM:																			
4.		NIM:																			
5.		NIM:																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bagian yang direvisi</th> <th>Halaman</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ada keada Makalah</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tutorial Simulasi proses</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Judul Ditinjau kembali</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Bagian yang direvisi	Halaman	Ada keada Makalah		Tutorial Simulasi proses		Judul Ditinjau kembali													
Bagian yang direvisi	Halaman																				
Ada keada Makalah																					
Tutorial Simulasi proses																					
Judul Ditinjau kembali																					
Sunggailat, 11 Juli 2024 Penguji <i>(Gus Dharma)</i>																					
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa <table border="1"> <tr> <td> Mengetahui, Pembimbing Utama (.....) </td> <td> Sunggailat, 24 Juli 2024 Penguji <i>(Gus Dharma)</i> </td> </tr> </table>		Mengetahui, Pembimbing Utama (.....)	Sunggailat, 24 Juli 2024 Penguji <i>(Gus Dharma)</i>																		
Mengetahui, Pembimbing Utama (.....)	Sunggailat, 24 Juli 2024 Penguji <i>(Gus Dharma)</i>																				

FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK	
JUDUL :	
Nama Mahasiswa :	1. <u>Ihwan Muchtari A</u> NIM: <u>1092219</u> 2. _____ NIM: _____ 3. _____ NIM: _____ 4. _____ NIM: _____ 5. _____ NIM: _____
Bagian yang direvisi	Halaman
1. Perubahan Referensi dirubah semua 2. Batas per. masalah tambahkan kata simulasi, dan aplikasi Auto desk Fusion 360	
Sunggailiat, _____ Penguji (.....)	
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui, Pembimbing Utama (.....)	Sunggailiat, _____ Penguji (.....)

lampiran 6 cek plagiasi

LAPORAN PROYEK AKHIR - fixs - Copy.docx

ORIGINALITY REPORT

13%	13%	4%	5%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.polman-babel.ac.id Internet Source	3%
2	ajes.uoanbar.edu.iq Internet Source	1%
3	repository.its.ac.id Internet Source	1%
4	idr.nitk.ac.in Internet Source	1%
5	troindia.in Internet Source	1%
6	www.lieta.org Internet Source	1%
7	repository.ub.ac.id Internet Source	<1%
8	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC Student Paper	<1%
9	espace.curtin.edu.au Internet Source	<1%
10	ouci.dntb.gov.ua Internet Source	<1%
11	www.scribd.com Internet Source	<1%

12	id.123dok.com Internet Source	<1 %
13	docplayer.info Internet Source	<1 %
14	Kuldeep Kumar, Rajesh Kumar Verma. "Nature-inspired grasshopper optimization algorithm (GOA) for predictive modeling and machinability evaluation of laminated polymer nanocomposites", Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design, 2022 Publication	<1 %
15	repository.stiesia.ac.id Internet Source	<1 %
16	Submitted to University of Wollongong Student Paper	<1 %
17	adoc.pub Internet Source	<1 %
18	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
19	library.binus.ac.id Internet Source	<1 %
20	repositori.usu.ac.id Internet Source	<1 %
21	www.wwjournal.ir Internet Source	<1 %
22	chipethza.blogspot.com Internet Source	<1 %
23	protesismg.com Internet Source	<1 %

24	m.moam.info Internet Source	<1 %
25	research-report.umm.ac.id Internet Source	<1 %
26	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
27	123dok.com Internet Source	<1 %
28	digilibadmin.unismuh.ac.id Internet Source	<1 %
29	garuda.kemdikbud.go.id Internet Source	<1 %
30	idr.l1.nitk.ac.in Internet Source	<1 %
31	journal.umy.ac.id Internet Source	<1 %
32	marinebon.org Internet Source	<1 %
33	repositorium.sdum.uminho.pt Internet Source	<1 %
34	repository.ibs.ac.id Internet Source	<1 %
35	www.mdpi.com Internet Source	<1 %
36	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
37	achmadarifin.com Internet Source	<1 %

lampiran 7 poster

