

**PENGARUH VARIASI PARAMETER MESIN CNC MILLING
TERHADAP *MATERIAL REMOVAL RATE* PADA DUDUKAN
CETAKAN KAMPAS REM**

PROYEK AKHIR

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



Disusun oleh:

Hadi Usman NIM: 1042211

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2024/2025**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI PARAMETER MESIN CNC MILLING
TERHADAP MATERIAL REMOVAL RATE PADA DUDUKAN CETAKAN
KAMPAS REM

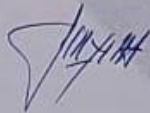
Oleh:

Hadi usman / 1042211

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

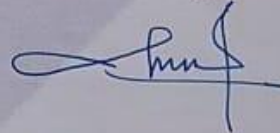
Menyetujui,

Pembimbing 1



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

Pembimbing 2



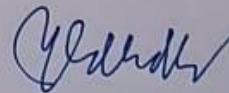
(Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng)

Penguji 1



(Harwadi, S.S.T., M.T.)

Penguji 2



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

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Hadi Usman

NIM: 1042211

Dengan Judul : PENGARUH VARIASI PARAMETER MESIN CNC
MILLING TERHADAP *MATERIAL REMOVAL RATE*
PADA DUDUKAN CETAKAN KAMPAS REM

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

Sungailiat, 3 Juli 2025

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Hadi Usman

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter proses pemesinan CNC milling terhadap Material Removal Rate (MRR) menggunakan metode Taguchi. Parameter yang diteliti meliputi putaran spindel, gerak makan, dan kedalaman pemakanan, masing-masing pada tiga level. Eksperimen dirancang menggunakan metode Taguchi L9. Analisis dilakukan melalui perhitungan rasio signal-to-noise (S/N), analisis varians (ANOVA), dan uji kenormalan data. Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan dari ketiga variabel terhadap MRR pada taraf signifikansi 5% karena nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ (19,00). Variabel kedalaman pemakanan memberikan kontribusi terbesar sebesar 7,39%, sedangkan dua variabel lainnya memiliki kontribusi negatif. Nilai kontribusi error sebesar 92,99% menunjukkan adanya faktor lain yang belum diamati dalam penelitian. Kombinasi parameter optimal untuk MRR tertinggi adalah putaran spindel 2388 rpm, gerak makan 191 mm/menit, dan kedalaman pemakanan 2,67 mm, dengan nilai prediksi MRR sebesar 90,0766 dan interval kepercayaan $\pm 0,4126$. Data hasil eksperimen memenuhi asumsi kenormalan ($p\text{-value} > 0,150$).

Kata kunci : CNC Milling, MRR, Taguchi, ANOVA, Signal-to-Noise Ratio

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of CNC milling process parameters on the Material Removal Rate (MRR) using the Taguchi method. The parameters investigated include spindle speed, feed rate, and depth of cut, each at three levels. The experiment was designed using the Taguchi L9 orthogonal array. Analysis was carried out through signal-to-noise (S/N) ratio calculations, analysis of variance (ANOVA), and normality tests. The results showed that none of the three variables significantly affected the MRR at a 5% significance level since $F_{count} < F_{table}$ (19.00). The depth of cut variable contributed the most with a value of 7.39%, while the other two had negative contributions. The high error contribution of 92.99% indicates the presence of other unobserved influencing factors. The optimal parameter combination for the highest MRR is a spindle speed of 2388 rpm, feed rate of 191 mm/min, and depth of cut of 2.67 mm, with a predicted MRR value of 90.0766 and a confidence interval of ± 0.4126 . The experimental data passed the normality test ($p\text{-value} > 0.150$).

Keywords : CNC Milling, MRR, Taguchi, ANOVA, Signal-to-Noise Ratio

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh. Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan taufiq dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyusun laporan proyek akhir ini dengan judul "PENGARUH VARIASI PARAMETER MESIN CNC MILLING TERHADAP *MATERIAL REMOVAL RATE* PADA DUDUKAN CETAKAN KAMPAS REM" dan dapat menyelesaikan Program Studi D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya, serta semoga semua umatnya senantiasa dapat menjalankan syari'at-syari'atnya, Aamiin.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa dalam penyusunan laporan Proyek Akhir ini banyak kekurangan mengingat terbatasnya kemampuan penulis, namun berkat rahmat Allah SWT, serta pengarahan dari berbagai pihak, akhirnya laporan proyek akhir ini dapat diselesaikan. Harapan penulis semoga laporan proyek akhir ini dapat bermanfaat untuk kepentingan Bersama.

Sehubungan dengan itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kelancaran serta kesehatan yang dimana penulis bisa menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini.
2. Ayah dan Umi tercinta serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang serta doa yang tiada hentinya kepada penulis.
3. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D selaku direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah banyak memberikan kemudahan dalam menyelesaikan pendidikan.
4. Bapak Eko Yudo, S.S.T., M.T dan Bapak Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan

memberi saran - saran dalam pembuatan dan penyusunan laporan proyek akhir ini.

5. Dosen dan Staf Pengajar di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah mendidik, membina dan mengantarkan penulis untuk menempuh kematangan dalam berfikir dan berperilaku.
6. Teman-teman seperjuangan dan semua pihak yang telah memberikan bantuannya.
7. Sahabat-sahabat yang selalu memberikan support selama ini dan mitra kerja penulis selama mengerjakan proyek akhir ini yang selalu berjuang bersama- sama.

Dalam penyusunan laporan proyek akhir ini, penulis menyadari bahwa terdapat banyak sekali kekurangan serta kesalahan, keterbatasan, kemampuan, dan juga pemahaman yang kurang maka penulis mohon maaf yang sebesar – besarnya.

Penulis sangat antusias dan terima baik atas kritik dan saran apabila terdapat kesalahan penulisan pada laporan proyek akhir. Hal ini demi perbaikan yang bersifat membangun serta memberikan pemahaman lebih yang penulis belum begitu mengerti dan paham. Demikian laporan yang penulis buat, penulis mengucapkan terima kasih dan berharap semoga dengan adanya proyek akhir yang penulis buat dapat menambah wawasan untuk kita semua dan teruntuk para pembaca

Sungailiat, 3 Juli 2025

Hadi Usman

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1. Mesin CNC <i>Milling</i>	5
2.2.1. Pengertian dan Prinsip Kerja	5
2.1.2. Jenis-Jenis Mesin CNC <i>Milling</i>	7
2.1.3. Fungsi Dalam Dunia Industri Manufaktur	7
2.2. Material	8
2.2.1. Unsur Baja dan Sifat Mekanik Baja S45C	8
2.2.2. Sifat Mekanik Baja S45C	9
2.3. Parameter Pemesinan	10
2.3.1. Kecepatan Potong (<i>Cutting Speed</i>)	10
2.3.2. Kecepatan Pemakanan (<i>Feed Rate</i>)	11
2.3.3. Kedalaman Pemotongan (<i>Depth of Cut</i>)	11
2.4. <i>Material Removal Rate</i> (MRR)	11

2.4.1.	Pengertian dan Rumus	11
2.4.2.	Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi MRR	12
2.4.3.	Hubungan MRR Dengan Parameter Pemesinan	12
2.5.	Dudukan Cetakan Kampas Rem	12
2.5.1.	Fungsi dan Peran Dalam Sistem Pengereman.....	12
2.5.2.	Material dan Proses Manufaktur	13
2.6.	Penelitian Terdahulu.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		16
3.1.	Diagram Alir Penelitian (<i>Flowchart</i>)	16
3.2.	Identifikasi Masalah	17
3.3.	Studi Literatur	17
3.4.	Desain Percobaan.....	17
3.5.	Alat dan Bahan.....	18
3.5.1.	Alat Penelitian.....	18
3.5.2.	Bahan Penelitian.....	20
3.6.	Prosedur Penelitian	21
3.7.	Teknik Pengumpulan Data	23
3.8.	Teknik Analisis Data	24
BAB IV PEMBAHASAN.....		26
4.1.	Pengambilan Data Hasil Percobaan	26
4.1.1.	Data <i>Material Removal Rate</i> (MRR)	27
4.1.2.	Data Hasil <i>Material Removal Rate</i> (MRR) Error! Bookmark not defined.	
4.1.3.	Hasil Perhitungan Eksperimen Terhadap Respon MRR Error! Bookmark not defined.	
4.2.	Penentuan Kombinasi Untuk Respon Optimal Error! Bookmark not defined.	
4.3.	Analisis Varian dan Persen Kontribusi... Error! Bookmark not defined.	
4.3.1.	Analisa Varian Rata-Rata MRR Error! Bookmark not defined.	
4.4.	Hasil Prediksi Nilai MRR Permukaan dan Interval Keyakinan..... Error! Bookmark not defined.	
4.5.	Perhitungan Rasio S/N Dari Respon Error! Bookmark not defined.	

4.6.	Pengaruh Level Dari Faktor Terhadap Variansi MRRError! Bookmark not defined.	
4.6.1.	Analisis Variansi dan Persen Kontribusi Untuk S/N Rasio.... Error! Bookmark not defined.	
4.6.2.	Prediksi Rasio S/N MRR yang Optimal Error! Bookmark not defined.	
4.7.	Uji Kenormalan Data (Menggunakan Uji <i>Kolmogorof-Smirnov</i>).. Error! Bookmark not defined.	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		29
5.1.	Kesimpulan	29
5.2.	Saran.....	30
DAFTAR PUSTAKA.....		31

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Macam-Macam Kode G dan M Serta Kegunaannya	6
2. 2 Unsur Baja dan Sifat Mekanik Baja S45C	9
2. 3 Sifat Mekanik Baja S45C	9
2. 4 <i>Cutting Speed Cutter Carbide</i>	10
3. 1 Spesifikasi Mesin CNC <i>Milling Lagun</i> MC-750	18
3. 2 Spesifikasi Timbangan Digital	20
3. 3 Penentuan Parameter Bebas dan Level	22
3. 4 Rancangan Parameter Percobaan	22
3. 5 Volume Material Yang Terbuang	23
3. 6 Nilai MRR	24
4. 1 Data Eksperimen	27
4. 2 Data Hasil <i>Material Removal Rate</i>	Error! Bookmark not defined.
4. 3 Hasil Perhitungan Eksperimen Terhadap Respon MRR	Error! Bookmark not defined.
4. 4 Nilai Rata-Rata Masing-Masing Faktor Terhadap MRR	Error! Bookmark not defined.
4. 5 Variabel Untuk Respon Optimal	Error! Bookmark not defined.
4. 6 Analisis Varian Rata-Rata MRR	Error! Bookmark not defined.
4. 7 Persen Kontribusi	Error! Bookmark not defined.
4. 8 Rasio S/N Untuk Respon	Error! Bookmark not defined.
4. 9 Respon Rasio S/N MRR Dari Pengaruh Faktor	Error! Bookmark not defined.
4. 10 Analisis Variansi Rasio S/N MRR	Error! Bookmark not defined.
4. 11 Persen Kontribusi Rasio S/N	Error! Bookmark not defined.
4. 12 Hasil ANOVA	Error! Bookmark not defined.
4. 13 Kondisi Hipotesis Nol Terhadap Respon MRR	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Baja S45C	9
3. 1 Diagram Alir Penelitian	16
3. 2 Mesin CNC <i>Milling Lagun MC-750</i>	18
3. 3 <i>End Mill</i> tipe <i>Carbide</i>	19
3. 4 Jangka Sorong	19
3. 5 Timbangan Digital.....	20
3. 6 Benda Kerja.....	20
4. 1 Hasil <i>Software Minitab</i>	Error! Bookmark not defined.
4. 2 <i>Probability Plot of MRR</i>	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2: Data *Software Minitab*

Lampiran 3: Sertifikat Bahan

Lampiran 4: Histori Pengerjaan

Lampiran 5: Penimbangan Spesimen

Lampiran 6: Hasil Cek Plagiasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi manufaktur saat ini sangat pesat, seiring dengan meningkatnya permintaan pasar akan produk dengan bentuk kompleks dan presisi tinggi. Dalam dunia industri modern, kecepatan produksi serta kualitas hasil merupakan dua hal krusial yang menentukan daya saing. Salah satu teknologi manufaktur yang mengalami perkembangan signifikan adalah mesin CNC (*Computer Numerical Control*) *milling*, yang mampu menghasilkan berbagai macam bentuk komponen dengan ketepatan tinggi secara otomatis (Mokhtar et al., 2020).

Dalam pemrosesan komponen-komponen teknik, termasuk dudukan cetakan kampas rem, pemilihan metode pemesinan dan pengaturan parameter menjadi hal yang sangat penting. Proses CNC *milling* memungkinkan pemesinan kontur kompleks dengan toleransi yang ketat dan efisiensi waktu pengerjaan yang tinggi. Hal ini sejalan dengan kebutuhan industri otomotif, di mana kecepatan produksi dan keakuratan dimensi merupakan syarat utama (Yadav & Patnaik, 2019).

Salah satu parameter penting dalam proses pemesinan adalah *Material Removal Rate* (MRR), yaitu jumlah material yang dihilangkan dalam satuan waktu. MRR yang tinggi menunjukkan efisiensi proses pemesinan, tetapi harus tetap memperhatikan kualitas permukaan dan umur alat potong (Muthukrishnan et al., 2021). Oleh karena itu, pengaturan parameter pemesinan seperti kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan makan (*feed rate*), dan kedalaman potong (*depth of cut*) menjadi penentu utama dalam pencapaian MRR yang optimal.

Beberapa studi menunjukkan bahwa variasi parameter mesin CNC *milling* sangat memengaruhi nilai MRR. Menurut penelitian Mukherjee et al. (2014),

kedalaman potong memiliki pengaruh paling signifikan terhadap MRR, diikuti oleh kecepatan makan. Hal ini karena semakin dalam pemotongan, semakin besar volume material yang terbuang dalam satu kali lintasan. Namun, peningkatan MRR harus disertai dengan pertimbangan terhadap gaya potong dan getaran mesin untuk menjaga stabilitas proses.

Saputra (2024) menegaskan bahwa penggunaan parameter yang tepat, seperti diameter pahat dan *feed rate*, dapat memberikan hasil pemotongan yang presisi dan permukaan yang halus. Dalam konteks produksi dudukan cetakan kampas rem, pemilihan parameter yang sesuai dapat meningkatkan efisiensi produksi tanpa mengorbankan kualitas akhir komponen.

Penelitian sebelumnya oleh Parmadhika (2021) juga mengungkap bahwa pemilihan parameter pemesinan yang tepat dapat meningkatkan MRR secara signifikan, sehingga berdampak langsung terhadap waktu siklus dan biaya produksi. Di sisi lain, Jekki et al. (2022) menggunakan metode Taguchi untuk mengoptimalkan parameter pemesinan pada material AISI 1045 dan menemukan bahwa kombinasi tertentu dari putaran *spindle*, *feed rate*, dan *depth of cut* memberikan hasil MRR tertinggi.

Mesin CNC milling modern memiliki tiga sumbu utama (X, Y, dan Z) yang memungkinkan gerakan pemotongan secara simultan dalam berbagai arah. Keunggulan ini memungkinkan pengerjaan benda kerja seperti dudukan cetakan kampas rem dilakukan dalam waktu yang lebih singkat dan hasil yang konsisten (Bohari, 2023).

Berdasarkan pentingnya efisiensi proses pemesinan serta minimnya kajian eksperimental pada komponen dudukan cetakan kampas rem secara spesifik, penelitian ini menjadi sangat relevan. Terutama untuk mengevaluasi dan mengidentifikasi parameter mesin CNC *milling* yang paling berpengaruh terhadap MRR, guna menunjang produksi komponen otomotif yang berkualitas dan efisien.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini akan difokuskan pada pengaruh variasi parameter CNC *milling* terhadap nilai MRR pada dudukan cetakan

kampas rem, sehingga diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengambilan keputusan teknis di lini produksi serta pengembangan teknologi pemesian yang lebih efisien

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi parameter kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan makan (*feed rate*), dan kedalaman potong (*depth of cut*) terhadap *Material Removal Rate* (MRR) pada proses pemesian CNC *milling*?
2. Di antara ketiga parameter tersebut, parameter manakah yang memberikan pengaruh paling signifikan terhadap nilai MRR dalam pemesian dudukan cetakan kampas rem?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menentukan parameter mesin CNC *Milling* yang optimal untuk mencapai nilai MRR baja S45C yang tinggi pada proses pemesian dudukan cetakan kampas rem.
2. Mengetahui pengaruh variasi parameter kecepatan pemotongan (*Cutting Speed*), Kecepatan spindle (*Spindle Speed*) dan kedalaman pemotongan (*Depth Of Cut*) mesin CNC *Milling* terhadap *Material Removal Rate* (MRR) baja S45C pada proses pemesian dudukan cetakan kampas rem.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan fokus, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Proses pemesian yang diteliti adalah proses *milling* menggunakan mesin CNC *milling 3-axis*.

2. Benda kerja yang digunakan material Carbon Steel S45C untuk pembuatan dudukan cetakan kampas rem.
3. Parameter proses yang divariasikan meliputi:
 - Kecepatan potong (*cutting speed*)
 - Kecepatan makan (*feed rate*)
 - Kedalaman potong (*depth of cut*)
4. Fokus analisis adalah pada hasil *Material Removal Rate* (MRR). Penelitian ini tidak mencakup pengaruh parameter terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*), gaya pemotongan, maupun keausan alat.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Mesin CNC *Milling*

2.2.1. Pengertian dan Prinsip Kerja

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) *milling* merupakan mesin perkakas yang dikendalikan secara otomatis oleh komputer melalui kode numerik (*G-code*). Mesin ini digunakan untuk melakukan proses pemotongan material dengan akurasi tinggi pada berbagai bidang permukaan dan bentuk geometris yang kompleks. Prinsip kerja mesin CNC *milling* adalah menggerakkan alat potong secara relatif terhadap benda kerja sepanjang tiga sumbu utama, yaitu X (horizontal), Y (vertikal), dan Z (kedalaman) secara simultan dan terprogram (Zhou et al., 2020).

Program pemesinan pada CNC dirancang menggunakan *software* CAD/CAM, yang kemudian diterjemahkan menjadi instruksi numerik yang dibaca oleh kontroler mesin. Hal ini memungkinkan pencapaian hasil yang konsisten dan presisi tinggi, terutama dalam produksi massal dan manufaktur komponen kritis.

A. Penentuan sumbu X

Sumbu X dilakukan dengan mengacu pada arah memanjang meja mesin dan dipilih dalam orientasi horizontal. Untuk memastikan arah sumbu X, terlebih dahulu dilihat orientasi sumbu Z secara horizontal. Pada mesin dengan pahat berputar, sumbu Z bergerak ke arah kanan benda kerja. Sedangkan pada mesin dengan benda kerja yang berputar, sumbu X sejajar dengan arah gerak radial pahat dan menjauhi *spindle*. Penentuan Sumbu Y

B. Penentuan sumbu Y

Orientasi dan arah positif sumbu Y ditetapkan menurut kaidah tangan kanan setelah sumbu Z dan X ditentukan, menurut kaidah tangan kiri bila Y' ditentukan berdasarkan orientasi Z' dan X'.

C. Penentuan Sumbu Z

Sumbu Z merupakan arah dari spindle yang posisinya tegak lurus terhadap meja mesin. Apabila *spindle* dapat dimiringkan atau berputar pada sumbu lain, maka posisi *spindle* tersebut ditetapkan sebagai sumbu Z pada sudut tertentu, sehingga sejajar dengan salah satu sumbu utama dalam sistem koordinat mesin. Hal ini terutama berlaku ketika *spindle* dapat diarahkan tegak lurus terhadap permukaan.

Tabel 2. 1 Macam-Macam Kode G dan M Serta Kegunaannya

No	Kode	Kegunaan
1.	G00	Gerak pemosisian bebas.
2.	G01	Gerak pahat untuk memotong benda kerja secara lurus.
3.	G02	Perintah pergerakan pemakanan melingkar searah jarum jam.
4.	G03	Pergerakan pemakanan melingkar berlawanan arah jarum jam.
5.	G10	Perintah memprogram data input.
6.	G15	Pembatalan perintah polar.
7.	G16	Perintah koordinat polar.
8.	G17	Pemililihan pada bidang X-Y (interpolasi helical).
9.	G48	Menurunkan ganda offset tool.
10.	G52	Seting local koordinat benda kerja.
11.	G69	Pembatalan sumbu koordinat.
12.	G94	Kecepatan potong permenit/mm.
13.	G99	Kembali titik R.
14.	G18	Perintah memilih pada bidang Y-Z.
15.	G19	Perintah memilih pada bidang X-Z.
16.	G20	Perintah input pada satuan inch.

No	Kode	Kegunaan
17.	M00	Pemberhentian program.
18.	M01	Program opsional berhenti.
19.	M05	<i>Spindle</i> OFF (spindel stop).
20.	M28	Kembali kerefrensi spindle.
21.	M29	Proses typing.
22.	M30	Akhirkan program/ reset.
23.	M98	Panggil sub program.
24.	M99	Akhiri sub program.

2.1.2. Jenis-Jenis Mesin CNC *Milling*

Mesin CNC *milling* tersedia dalam berbagai konfigurasi tergantung pada jumlah sumbu yang dapat digerakkan:

- *3-Axis Milling*: Mesin dasar dengan gerakan pada sumbu X, Y, dan Z. Cocok untuk pemesinan bidang datar dan kontur sederhana.
- *4-Axis* dan *5-Axis Milling*: Memungkinkan gerakan rotasi tambahan pada benda kerja atau alat potong, sehingga dapat memproses geometri yang lebih kompleks dan efisien.

Penelitian ini menggunakan mesin CNC *milling 3-axis*, karena merupakan tipe paling umum dan relevan dalam proses pembuatan cetakan dudukan kampas rem.

2.1.3. Fungsi Dalam Dunia Industri Manufaktur

Dalam industri, mesin CNC *milling* berperan penting dalam pembuatan komponen otomotif, aerospace, cetakan presisi, dan suku cadang mesin. Keunggulan mesin ini meliputi kecepatan pengerjaan, fleksibilitas terhadap variasi bentuk, akurasi tinggi, serta efisiensi produksi yang lebih baik dibandingkan pemesinan manual. Mesin ini juga memungkinkan otomatisasi yang mengurangi

keterlibatan operator dan risiko kesalahan manusia (Prabakaran & Karthikeyan, 2021).

2.2. Material

Material yang digunakan sebagai specimen benda uji adalah jenis material S45C yang umum digunakan sebagai material berbagai produk permesinan. Karena material S45C memiliki keunggulan dalam kemampuan untuk proses permesinan (*machine ability*) & kemampuan untuk dilas (*weld ability*) yang baik, dan juga memiliki kemampuan untuk berbagai proses perlakuan panas (*heat treatment*).

Material S45C adalah jenis baja karbon kekuatan menengah (*medium strength steel / mild steel / medium carbon steel*). (Syaifullah, desember 2015)

Baja S45C tergolong dalam jenis baja karbon menengah yang memiliki kandungan karbon sekitar 0,42 hingga 0,48%, serta banyak dimanfaatkan untuk pembuatan komponen mesin dan berbagai keperluan industri lainnya. S45C merupakan jenis baja yang distandardisasi menurut JIS (*Japanese Industrial Standard*) dengan kode JIS G4051.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter pemesinan yang sesuai saat melakukan proses CNC *milling* menggunakan material S45C.

Huruf "S" pada S45C berarti "*steel*" (dalam bahasa Jerman: *stahl*, dalam bahasa Inggris: *steel*), sedangkan angka 45C menunjukkan kandungan karbon sekitar 0,45%. Oleh karena itu, S45C dapat diartikan sebagai baja struktural dengan kandungan karbon sekitar 0,45%, yang termasuk dalam klasifikasi baja karbon menengah. (MULYADI, 2022)

2.2.1. Unsur Baja dan Sifat Mekanik Baja S45C

Adapun unsur kandungan yang terdapat pada baja S45C menurut standar JIS G4051 dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 2 Unsur Baja dan Sifat Mekanik Baja S45C

Unsur	%	Sifat Mekanik Lainnya
Karbon	0,42~0,48	<i>Tensile strength</i> (kekuatan tarik)
Mangan	0,60~0,90	<i>Yield strength</i> (kekuatan hasil)
Sulfur	Maks. 0,035	<i>Elongation</i> (pemanjangan)
Fosfor	Maks. 0,030	<i>Reduktion in area</i> (pengurangan sifat)
Silican	0,15~0,35	<i>Hardness</i> (kekerasan)

Sumber: JIS (*Japanese International Standard*)

2.2.2. Sifat Mekanik Baja S45C

Adapun unsur kandungan yang terdapat pada baja S45C menurut standar JIS G4051 dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Baja S45C

Sifat Mekanik	Keterangan
Kekuatan Tarik	569~686 N/mm ²
Kekuatan Luluh	343~490 N/mm ²
Meregang	17~20 %/mm
Kekerasan	201~269



Gambar 2. 1 Baja S45C

2.3. Parameter Pemesinan

Parameter pemesinan adalah variabel-variabel penting dalam proses pemotongan yang mempengaruhi hasil akhir pemesinan, termasuk efisiensi, keausan alat, kualitas permukaan, dan tentu saja, *Material Removal Rate* (MRR). Tiga parameter utama yang diteliti dalam penelitian ini adalah:

2.3.1. Kecepatan Potong (*Cutting Speed*)

Cutting speed adalah kecepatan relatif antara permukaan benda kerja dan pahat potong, biasanya diukur dalam m/min. *Cutting speed* mempengaruhi pembentukan chip dan suhu di zona potong. Semakin tinggi cutting speed, semakin cepat proses pemotongan, namun dapat mempercepat keausan pahat bila tidak dikontrol dengan baik (Sharma & Jha, 2020).

Tabel 2. 4 *Cutting Speed Cutter Carbide*

Material Benda Kerja	<i>Cutting Speed</i> (Vc)	Keterangan
Aluminium	200 – 600 <i>m/min</i>	Material lunak, cocok untuk kecepatan tinggi
Baja Karbon (<i>Carbon Steel</i>)	80 – 200 <i>m/min</i>	Tergantung kekerasan (low – medium carbon)
Baja Paduan (<i>Alloy Steel</i>)	70 – 150 <i>m/min</i>	Kekerasan lebih tinggi, kecepatan menengah
Baja Tahan Karat (<i>Stainless Steel</i>)	60 – 140 <i>m/min</i>	Gunakan pendingin, rawan getas
Besi Cor (<i>Cast Iron</i>)	80 – 150 <i>m/min</i>	Hindari kecepatan terlalu tinggi
Tembaga (<i>Copper</i>)	150 – 300 <i>m/min</i>	Konduktif, bisa panas berlebih
Kuningan (<i>Brass</i>)	180 – 400 <i>m/min</i>	Cepat & bersih, minim getaran
Titanium	30 – 80 <i>m/min</i>	Sangat keras, butuh coolant & tool khusus

Material Benda Kerja	Cutting Speed (Vc)	Keterangan
Inconel / Superalloy	20 – 50 m/min	Sangat abrasif dan sulit dipotong

2.3.2. Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*)

Feed rate adalah kecepatan pergerakan pahat ke arah benda kerja dalam satuan mm/min. Parameter ini menentukan laju pemakanan dan mempengaruhi beban mekanik pada pahat. *Feed rate* yang terlalu rendah menghasilkan waktu siklus yang lama, sedangkan feed yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan permukaan dan deformasi termal (Kumar et al., 2019)

2.3.3. Kedalaman Pemotongan (*Depth of Cut*)

Depth of cut mengacu pada ketebalan material yang dipotong dalam satu lintasan. Parameter ini secara langsung berpengaruh terhadap MRR dan gaya potong. *Depth of cut* yang besar akan meningkatkan produktivitas tetapi juga meningkatkan gaya potong dan getaran mesin. Oleh karena itu, pemilihan *depth of cut* harus mempertimbangkan kekuatan pahat dan stabilitas proses (Mukherjee et al., 2014). Ketiga parameter ini saling berinteraksi dan menentukan karakteristik proses pemesinan, termasuk laju pemotongan material dan kualitas produk akhir.

2.4. Material Removal Rate (MRR)

2.4.1. Pengertian dan Rumus

Material Removal Rate (MRR) adalah ukuran kuantitatif dari efisiensi pemesinan, yang menunjukkan volume material yang dihilangkan dalam satuan waktu. Dalam proses *milling*, MRR dapat dihitung menggunakan rumus (Sharma & Yadava, 2016):

$$MRR = v_f \times a_p \times w$$

Keterangan:

v_f = *feed rate* (mm/min)

a_p = *depth of cut* (mm)

w = lebar pemotongan atau diameter *cutter* (mm)

Nilai MRR yang tinggi mencerminkan efisiensi produksi yang tinggi, tetapi tetap harus diseimbangkan dengan kualitas hasil dan umur alat potong.

2.4.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi MRR

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi nilai MRR meliputi:

- Parameter pemesinan: *cutting speed*, *feed rate*, dan *depth of cut*.
- Jenis dan kekerasan material: material keras cenderung menghasilkan MRR yang lebih rendah.
- Kondisi alat potong: keausan pahat dapat menurunkan efisiensi pemotongan.
- Pendinginan dan pelumasan: sistem *coolant* yang baik dapat meningkatkan stabilitas pemotongan dan memperpanjang umur alat. (Khan et al., 2021).

2.4.3. Hubungan MRR Dengan Parameter Pemesinan

Hubungan antara parameter pemesinan dan MRR bersifat linier pada banyak kondisi. *Depth of cut* adalah parameter yang paling berpengaruh terhadap peningkatan MRR, diikuti oleh *feed rate* dan *cutting speed* (Mukherjee et al., 2014). Dengan meningkatkan kedalaman potong, volume material yang dipotong per waktu meningkat secara signifikan, asalkan mesin dan alat potong dapat menahan beban tambahan tersebut.

2.5. Dudukan Cetakan Kampas Rem

2.5.1. Fungsi dan Peran Dalam Sistem Pengereman

Dudukan cetakan kampas rem merupakan bagian penting dari proses pencetakan kampas rem, berfungsi sebagai landasan atau tempat presisi dalam cetakan mold. Komponen ini harus memiliki kestabilan dimensi, kekakuan struktural, dan presisi tinggi untuk menjamin hasil cetakan kampas rem yang seragam dan sesuai spesifikasi desain.

2.5.2. Material dan Proses Manufaktur

Material yang digunakan untuk dudukan cetakan adalah baja karbon menengah seperti S45C yang memiliki kekuatan mekanis tinggi, ketahanan aus, dan mudah diproses secara konvensional maupun CNC. Proses manufakturnya meliputi pemesinan dengan CNC *milling*, pengeboran, dan penghalusan akhir agar sesuai dengan dimensi cetakan (Liu et al., 2020).

2.6. Penelitian Terdahulu

Mengenai pengaruh parameter pemesinan terhadap *Material Removal Rate* (MRR) pada proses CNC *milling* telah banyak dilakukan. Berbagai pendekatan, metode, dan objek material digunakan untuk menganalisis efisiensi proses pemesinan. Berikut ini adalah rangkuman 10 penelitian terdahulu yang relevan dengan topik ini.

Mukherjee et al. (2014) dalam jurnal *Procedia Engineering* melakukan studi berjudul "*Effect of Machining Parameters on MRR and Surface Roughness*". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *cutting speed*, *feed rate*, dan *depth of cut* terhadap nilai MRR dan kekasaran permukaan dalam proses *milling*. Dengan metode eksperimen *factorial design*, hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman potong merupakan parameter yang paling dominan mempengaruhi MRR, diikuti oleh *feed rate* dan *cutting speed*.

Parmadhika (2021) meneliti "Pengaruh Parameter Pemesinan terhadap MRR pada CNC *Milling*" yang diterbitkan dalam Jurnal Mekatronika dan Otomasi. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental pada mesin CNC 3-axis untuk mengevaluasi pengaruh variasi *feed rate* dan *depth of cut*. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi *feed rate* tinggi dan *depth of cut* besar memberikan MRR tertinggi, tetapi perlu dikendalikan untuk menghindari keausan alat.

Yadav dan Patnaik (2019) dalam *Materials Today: Proceedings* mengkaji kinerja mesin CNC *milling* dalam artikel "*Performance Analysis of CNC Milling Operations: A Review*". Penelitian ini merupakan kajian pustaka dari berbagai eksperimen sebelumnya. Mereka menyimpulkan bahwa parameter pemesinan

berperan besar dalam menentukan efisiensi dan hasil akhir, dan menekankan pentingnya pengendalian *cutting speed* dan *feed rate* dalam mengoptimalkan produktivitas.

Sihombing (2022) melakukan penelitian eksperimental yang diterbitkan dalam Jurnal Teknik Mesin dan Industri, berjudul "Optimasi Laju Pembuangan Material AISI 1045 pada Bubut CNC dengan Metode Taguchi". Penelitian ini menggunakan material AISI 1045 dan metode Taguchi untuk menentukan kombinasi parameter terbaik. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi putaran 1200 rpm, laju pemakanan 2 mm/putaran, dan *depth of cut* 0,2 mm menghasilkan MRR tertinggi, membuktikan efektivitas Taguchi dalam pemilihan parameter optimal.

Sharma dan Yadava (2016) dalam *Journal of Materials Processing Technology* mengembangkan model optimasi menggunakan *artificial neural networks* (ANN) dalam penelitian berjudul "*Modeling and Optimization of MRR and Tool Wear in CNC Milling*". Mereka menemukan bahwa *feed rate* dan *depth of cut* paling signifikan mempengaruhi MRR dan keausan alat, dan ANN mampu memodelkan hubungan kompleks antar parameter.

Bohari (2023) dalam bukunya Teknik Pemesinan CNC *Milling* Dasar menjelaskan prinsip kerja dan parameter penting dalam proses *milling* CNC. Buku ini menguraikan bahwa pengaturan parameter yang akurat dapat mempercepat proses, meningkatkan kualitas, dan menurunkan biaya produksi, serta pentingnya pemahaman kontrol numerik dalam industri manufaktur modern.

Saputra (2024) dalam Jurnal Teknologi Mesin meneliti "Pengaruh Diameter *Cutter* dan *Feed Rate* terhadap Akurasi CNC *Milling*". Penelitian ini menekankan bahwa *feed rate* yang tinggi dapat meningkatkan MRR namun berpotensi menurunkan akurasi dimensi, sehingga diperlukan keseimbangan antara kecepatan dan presisi tergantung pada tujuan pemesinan.

Khan et al. (2021) dalam *Materials Today: Proceedings* menyajikan penelitian berjudul "*Optimization of CNC Milling Using Taguchi Approach*". Penelitian ini menggunakan desain Taguchi untuk menentukan kombinasi

parameter terbaik untuk meningkatkan MRR dan kualitas permukaan. Hasilnya menunjukkan bahwa Taguchi sangat efektif dalam mengidentifikasi kombinasi parameter optimum untuk proses milling yang efisien.

Prabakaran dan Karthikeyan (2021) dalam studi literatur berjudul "*Recent Developments in CNC Milling Optimization*" yang diterbitkan di *Materials Today: Proceedings*, meninjau perkembangan terkini dalam teknik optimasi CNC *milling*. Mereka mengidentifikasi bahwa metode-metode statistik seperti Taguchi, RSM (*Response Surface Methodology*), dan ANN menjadi pendekatan dominan dalam penelitian optimasi pemesinan.

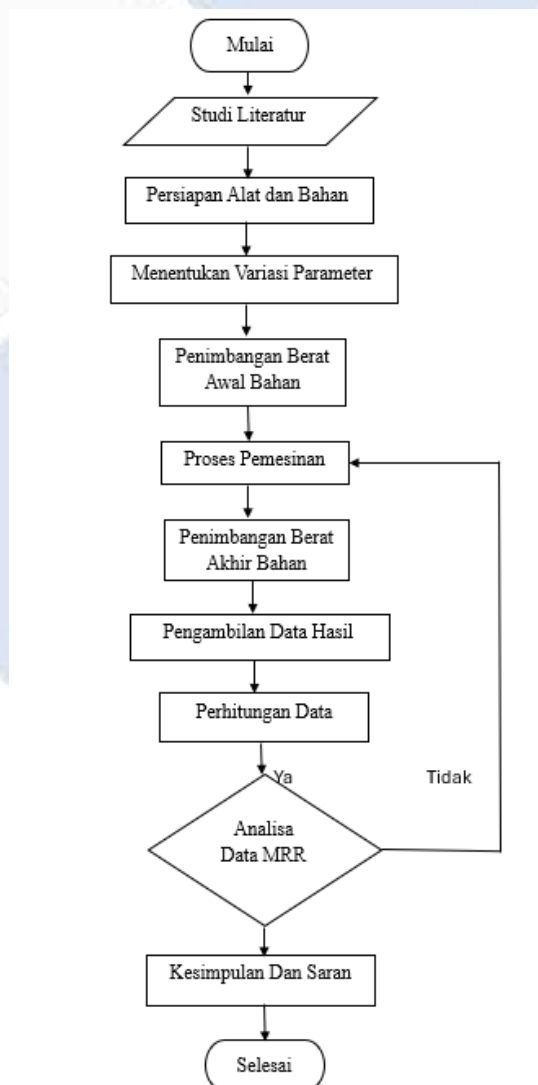
Muthukrishnan et al. (2021) dalam *Journal of Advanced Manufacturing Systems* meneliti hubungan antara MRR dan keausan alat potong dalam artikel "*Analysis of MRR and Tool Wear in CNC Milling*". Penelitian ini menunjukkan bahwa *depth of cut* memiliki dampak paling besar terhadap MRR, sedangkan *feed rate* lebih memengaruhi umur alat potong. Penelitian ini menekankan pentingnya menemukan titik optimal antara kecepatan produksi dan umur alat.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)

Tahapan penelitian yang dilakukan mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Identifikasi Masalah

Tahap awal dalam suatu penelitian dimulai dengan mengenali suatu fenomena yang layak untuk dikaji lebih lanjut. Proses identifikasi masalah dilakukan dengan cara menemukan persoalan-persoalan yang terlihat atau terdeteksi. Untuk mendukung hal tersebut, peneliti kemudian mengumpulkan berbagai data pendukung yang bisa diperoleh melalui kegiatan observasi, studi literatur, maupun survei pendahuluan.

3.3. Studi Literatur

Setelah permasalahan berhasil diidentifikasi, tahapan berikutnya yang dilakukan peneliti adalah melakukan studi literatur. Studi literatur ini bertujuan untuk menggali teori-teori yang relevan dengan permasalahan yang telah ditemukan, serta berfungsi sebagai landasan referensi yang mendukung jalannya penelitian.

3.4. Desain Percobaan

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari hasil eksperimen. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Variabel bebas (independen):
 - *Cutting speed* (m/min)
 - *Feed rate* (mm/min)
 - *Depth of cut* (mm)
- Variabel terikat (dependen):
 - *Material Removal Rate* (MRR), yang diukur dalam satuan mm^3/min .
- Variabel kontrol:
 - Jenis dan spesifikasi pahat potong (*Carbide*, diameter 8 mm)
 - Jenis material benda kerja (*Carbon steel S45C*)

3.5. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

3.5.1. Alat Penelitian

1. Mesin CNC Milling Lagun MC-750

Mesin CNC yang akan digunakan pada penelitian yaitu menggunakan mesin CNC Milling Lagun MC-750. Mesin ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Mesin CNC Milling Lagun MC-750

Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin CNC Milling Lagun MC-750

<i>Factor</i>	<i>Keterangan</i>
<i>Manufacturer</i>	Lagun
<i>Model</i>	MC-750
<i>Year of Manufacture</i>	1997
<i>Axes (X-Y-Z)</i>	750x410x510 mm
<i>Table height form the floor</i>	750 mm
<i>Table dimensions</i>	900x400 mm
<i>Min/ max distance from spindle to table</i>	150-600 mm
<i>Distance between table centre and column</i>	195-605 mm
<i>Distance from centre axis to the column</i>	400 mm
<i>Max table weight</i>	450 kg
<i>Spindle cone</i>	MAS-403-BT 40
<i>Spindle speed</i>	60-6000 rpm
<i>Precision positioning</i>	+/- 0.005 mm
<i>Repeatability</i>	+/- 0.005 mm

2. Pahat Potong (*Cutter*)

Jenis pahat: *End mill tipe carbide*, diameter ($\varnothing 8$ mm) *cutter* digunakan dalam kondisi baru agar hasil MRR akurat:



Gambar 3. 3 *End Mill* tipe *Carbide*

3. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter dan panjang dari benda kerja sebelum dan sesudah dilakukannya proses *milling*. Berikut gambar 3.4 Jangka Sorong



Gambar 3. 4 Jangka Sorong

4. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat material benda kerja yang terbuang saat sesudah melakukan proses CNC *milling*. Timbangan digital ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Timbangan Digital

Tabel 3. 2 Spesifikasi Timbangan Digital

Kapasitas	500g x 0,01g
Ketelitian	1 gr
Power	2 x AA Dize Alkaline Battery

3.5.2. Bahan Penelitian

1. Benda Kerja

Material: (*Carbon steel S45C*) ukuran awal benda kerja disesuaikan dengan kebutuhan pemesinan dan volume pengukuran MRR.



Gambar 3. 6 Benda Kerja

3.6. Prosedur Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian dilakukan secara sistematis dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapan Alat dan Bahan

Menyiapkan mesin CNC *Milling* Lagun MC-750, benda kerja Baja *Carbon* S45C, *cutter endmill* diameter 8 mm, alat ukur Jangka sorong, dan parameter pemesinan yang akan diuji.

2. Penentuan Kombinasi Parameter Pemesinan

Dalam proses CNC *milling*, kombinasi parameter pemesinan meliputi *cutting speed* (kecepatan potong), *feed rate* (kecepatan makan), dan *depth of cut* (kedalaman potong). Kombinasi ini disusun untuk menentukan pengaruh masing-masing parameter terhadap hasil pemesinan, seperti *Material Removal Rate* (MRR). Penentuan parameter adalah langkah penting dalam merancang penelitian karena akan mempengaruhi bagaimana data dikumpulkan, analisis dilakukan, dan kesimpulan dihasilkan. Dalam Tabel 3.3 ditampilkan penentuan parameter bebas dan level yang digunakan dalam penelitian.

$$Spindle\ Speed = \frac{1000 \times vc}{\pi \times d}$$

$$n = \frac{1000 \times 60}{3.14 \times 8} = 2.388,53\ rpm$$

$$n = \frac{1000 \times 65}{3.14 \times 8} = 2.587,57\ rpm$$

$$n = \frac{1000 \times 70}{3.14 \times 8} = 2.786,62\ rpm$$

Tabel 3. 3 Penentuan Parameter Bebas dan Level

Level	Kecepatan pemakanan (mm/menit)	Kedalaman pemakanan (mm)	Kecepatan spindel (mm/putaran)
1	191	1,6	2388
2	413	2,0	2587
3	668	2,67	2786

Tabel 3. 4 Rancangan parameter percobaan penelitian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. 4 Rancangan Parameter Percobaan

Level	<i>Spindle speed</i>	<i>Feed rate</i>	<i>Depth of cut</i>
1	2388	191	1,6
2	2388	413	2
3	2388	668	2,67
4	2587	191	2
5	2587	413	2,67
6	2587	668	1,6
7	2786	191	2,67
8	2786	413	1,6

3. Pelaksanaan Proses Pemesinan

Dalam penelitian ini, proses pemesinan dilaksanakan menggunakan mesin CNC *Milling Lagun MC-750*. Sebanyak 27 spesimen baja S45C dipersiapkan dengan ukuran lebar 15 mm dan panjang 58 mm. Proses persiapan melibatkan penggunaan alat bantu seperti palu karet, kunci L, obeng, alat tulis, serta pelumas oli. Proses *milling* memanfaatkan pahat *endmill* berdiameter 8 mm. Sebelum spesimen dipasang pada penjepit (cekam), program CNC *Milling* disusun terlebih

dahulu untuk memastikan pemasangan benda kerja kokoh dan siap untuk proses pemotongan. Pemotongan kemudian dilakukan sesuai dengan program CNC yang telah disiapkan sebelumnya, menggunakan kombinasi parameter pemesinan yang sudah ditentukan. Setelah seluruh proses pemotongan selesai, mesin CNC dimatikan dan masing-masing spesimen uji diberi nomor sebagai penanda bahwa benda kerja tersebut telah diproses melalui tahapan milling.

4. Pengukuran MRR

MRR dihitung berdasarkan rumus:

$$MRR = v_f \times a_p \times w$$

Di mana:

v_f = *feed rate (mm/min)*

a_p = *depth of cut (mm)*

w = lebar pemotongan atau diameter *cutter (mm)*

MRR juga dapat dihitung berdasarkan pengurangan volume atau massa benda kerja sebelum dan sesudah pemesinan, jika diperlukan validasi silang.

3.7. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui beberapa metode pengukuran berikut:

- Pengukuran Volume Material yang Terbuang

Menghitung selisih dimensi (atau massa) benda kerja sebelum dan sesudah pemesinan, lalu dikonversi ke volume.

Tabel 3. 5 Volume Material Yang Terbuang

Sempel	Berat awal(gram)	Berat akhir (gram)	Hasil
Data awal			
1	168,36	162,92	5,44
2	159,68	152,50	7,18
3	156,04	146,57	9,47
4	148,80	141,95	6,85
5	151,19	143,09	8,1

Sempel	Berat awal(gram)	Berat akhir (gram)	Hasil
6	147,34	142,76	4,58
7	140,60	131,55	9,05
8	138,42	133,18	5,24
9	131,81	126,93	4,88
Replikasi 1			
1	160,68	155,18	5,5
2	141,10	135,02	6,08
3	155,30	145,86	9,44
4	150,81	143,55	7,26
5	153,07	144,00	9,07
6	145,51	139,81	5,7
7	135,79	126,84	8,95
8	138,33	133,60	4,73
9	133,10	126,93	6,17
Replikasi 2			
1	160,94	154,68	6,26
2	138,93	131,10	7,83
3	148,22	137,96	10,26
4	150,32	143,33	6,99
5	153,59	144,77	8,82
6	146,34	140,78	5,56
7	136,81	127,72	9,09
8	138,13	134,00	4,13
9	130,29	124,37	5,92

3.8. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh masing-masing parameter terhadap nilai MRR, dengan langkah sebagai berikut:

- Perhitungan Nilai MRR

Setiap kombinasi parameter dihitung nilai MRR-nya menggunakan rumus volume per satuan waktu.

Tabel 3. 6 Nilai MRR

Eksperimen	<i>Spindle speed</i>	<i>Feed rate</i>	<i>Depth of cut</i>	Data awal	Replikasi 1	Replikasi 2	Rata-Rata
1	2388	191	1,6	5,44	5,5	6,26	5,73
2	2388	413	2	7,18	6,08	7,83	7,03

Eksperimen	<i>Spindle speed</i>	<i>Feed rate</i>	<i>Depth of cut</i>	Data awal	Replikasi 1	Replikasi 2	Rata-Rata
3	2388	668	2,67	9,47	9,44	10,26	9,72
4	2587	191	2	6,85	7,26	6,99	7,03
5	2587	413	2,67	8,1	9,07	8,82	8,66
6	2587	668	1,6	4,58	5,7	5,56	5,28
7	2786	191	2,67	9,05	8,95	9,09	9,03
8	2786	413	1,6	5,24	4,73	4,13	4,7
9	2786	668	2	4,88	6,17	5,92	5,65

- Perbandingan Data MRR

Hasil MRR dibandingkan antar kombinasi parameter untuk mengetahui pola hubungan dan efektivitas masing-masing variasi.

- Analisis Grafik dan Tabulasi

Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik (misalnya grafik batang atau garis) untuk memvisualisasikan pengaruh parameter. Jika diperlukan, dapat dilanjutkan dengan analisis statistik sederhana (misalnya: ANOVA atau regresi linear) untuk mengetahui signifikansi pengaruh parameter.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengatur kombinasi beberapa variabel proses pada mesin CNC *Milling* Lagun MC-750. Variabel-variabel proses yang diperkirakan memiliki pengaruh terhadap respon *Material Removal Rate* (MRR) meliputi kecepatan putaran *spindle* (A), kecepatan pemakanan atau *feed rate* (B), serta kedalaman potong (C).

Adapun langkah – langkah pengambilan data eksperimen:

1. Pencatatan berat awal benda kerja. Pengukuran berat awal dilakukan sebelum proses *milling* dimulai. Setiap benda kerja ditimbang sebanyak tiga kali sebagai replikasi untuk memastikan akurasi data. Setelah semua pengukuran selesai, hasil penimbangan tersebut dihitung rata-ratanya. Data lengkap mengenai berat awal benda kerja dapat dilihat pada Lampiran 2.
2. Pencatatan waktu dan data proses pemesinan benda kerja. Pengambilan data waktu proses dilakukan mulai dari saat *cutter* pertama kali mengenai permukaan benda kerja hingga pahat menyelesaikan seluruh proses pembubutan. Lama proses pemesinan dihitung dari selisih antara waktu awal *cutter* menyentuh benda kerja dengan waktu akhir *cutter* selesai memotong. Setiap pengambilan data dilakukan sebanyak dua kali replikasi, kemudian hasilnya dihitung rata-rata. Rincian lengkap terkait waktu proses pemesinan benda kerja dapat dilihat pada Lampiran 3.
3. Pencatatan berat akhir benda kerja. Setelah proses pembubutan selesai, dilakukan penimbangan ulang pada masing-masing benda kerja untuk mendapatkan data berat akhirnya. Setiap benda kerja ditimbang sebanyak tiga kali sebagai replikasi untuk memperoleh hasil yang akurat. Selanjutnya,

hasil penimbangan tersebut dihitung rata-ratanya. Data lengkap mengenai berat akhir benda kerja dapat dilihat pada Lampiran 4.

4. Pengambilan data MRR Pengambilan data MRR dilakukan dengan cara perhitungan menggunakan rumus yaitu:

$$MRR = \frac{\text{Volume Material yang Terbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu Proses (min)}} \quad (4.1)$$

Masing-masing data dilakukan dengan dua kali replikasi. Untuk hasil perhitungan data MRR dapat dilihat pada lampiran 5.

Setelah melalui empat proses tahapan diatas maka hasil perhitungan eksperimen terhadap respon MRR dapat dilihat pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3.

4.1.1. Data Material Removal Rate (MRR)

Tabel 4. 1 Data Eksperimen

No. Spesimen	Parameter			Massa awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Waktu Proses Pengerjaan (s)
	<i>Spindle speed</i>	<i>Feeding</i>	Kedalaman Pemakanan			
1	2388	191	1,6	168,36	162,92	53,08
2	2388	413	2	159,68	152,50	53,12
3	2388	668	2,67	156,04	146,57	53,10
4	2587	191	2	148,80	141,95	42,78
5	2587	413	2,67	151,19	143,09	42,80
6	2587	668	1,6	147,34	142,76	42,80
7	2786	191	2,67	140,60	131,55	28,90
8	2786	413	1,6	138,42	133,18	28,91
9	2786	668	2	131,81	126,93	28,88
10	2388	191	1,6	160,68	155,18	58,03
11	2388	413	2	141,10	135,02	58,03
12	2388	668	2,67	155,30	145,86	58,00

No. Spesimen	Parameter			Massa awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Waktu Proses Pengerjaan (s)
	<i>Spindle speed</i>	<i>Feeding</i>	Kedalaman Pemakanan			
13	2587	191	2	150,81	143,55	58,20
14	2587	413	2,67	153,07	144,00	58,18
15	2587	668	1,6	145,51	139,81	58,20
16	2786	191	2,67	135,79	126,84	28,00
17	2786	413	1,6	138,33	133,60	27,58
18	2786	668	2	133,10	126,93	28,01
19	2388	191	1,6	160,94	154,68	1.02,40
20	2388	413	2	138,93	131,10	1.02,40
21	2388	668	2,67	148,22	137,96	1.02,38
22	2587	191	2	150,32	143,33	52,20
23	2587	413	2,67	153,59	144,77	52,18
24	2587	668	1,6	146,34	140,78	52,18
25	2786	191	2,67	136,81	127,72	34,30
26	2786	413	1,6	138,13	134,00	34,50
27	2786	668	2	130,29	124,37	34,45

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Kombinasi parameter optimal untuk mencapai nilai MRR tertinggi diperoleh pada kombinasi:
 - Putaran Spindel: 2388 *rpm* (Level 1)
 - *Feed Rate*: 191 mm/menit (Level 1)
 - *Depth of Cut*: 2,67 mm (Level 3)

MRR optimal diprediksi sebesar 90,0766 dengan interval keyakinan 95% $\pm 0,4126$. Nilai S/N tertinggi pada eksperimen ke-3 menunjukkan bahwa kedalaman pemakanan (C) paling berpengaruh terhadap peningkatan MRR.

2. Variasi parameter pemesinan CNC *milling* yang terdiri dari putaran spindel (A), gerak makan (B), dan kedalaman pemakanan (C) menunjukkan pengaruh yang berbeda terhadap nilai *Material Removal Rate* (MRR). Berdasarkan hasil analisis varians (ANOVA), ketiga variabel tersebut secara statistik tidak berpengaruh signifikan terhadap MRR karena nilai F_{hitung} masing-masing lebih kecil dari F_{tabel} sebesar 19,00 pada taraf signifikansi 5%. Meskipun demikian, variabel kedalaman pemakanan (C) memiliki nilai F_{hitung} tertinggi yaitu 0,03008 serta kontribusi relatif terbesar sebesar 7,39% dibandingkan dengan variabel lainnya, sehingga dapat dikatakan bahwa C memiliki pengaruh relatif lebih besar terhadap MRR.

5.2. Saran

1. Untuk aplikasi industri nyata, hasil kombinasi parameter optimum yang diperoleh sebaiknya divalidasi lebih lanjut dengan pengujian performa produksi jangka panjang untuk memastikan konsistensi nilai MRR yang tinggi.
2. Disarankan untuk melakukan analisis biaya dan waktu proses pada parameter optimal untuk mengetahui efisiensi pemesinan secara menyeluruh, tidak hanya berdasarkan aspek teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- Bohari, A. (2023). *Teknik Pemesinan CNC Milling Dasar*. Jakarta: Teknik Industri Press.
- Jekki, D. P., & Sihombing, J. D. (2022). Optimasi Laju Pembuangan Material pada Bubut CNC dengan Metode Taguchi. *Jurnal Teknik Mesin dan Industri*, 10(2), 134–142.
- Mokhtar, A., Saputra, A. R., & Anwar, S. (2020). CNC Machining Optimization: An Overview. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 21(6), 1053–1063.
- Mukherjee, I., Sahu, J. K., & Kuar, A. S. (2014). Effect of machining parameters on MRR and surface roughness in milling: A case study. *Procedia Engineering*, 97, 29–36.
- Muthukrishnan, N., Prabakaran, G., & Kuppan, P. (2021). Analysis of MRR and tool wear in CNC milling using high speed steel tools. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 20(1), 23–34.
- Parmadhika, R. A. (2021). Pengaruh Parameter Proses Pemesinan terhadap MRR pada CNC Milling. *Jurnal Mekatronika dan Otomasi*, 6(1), 44–50.
- Saputra, D. (2024). Pengaruh Diameter Cutter dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Akurasi CNC Milling. *Jurnal Teknologi Mesin*, 12(1), 77–83.
- Yadav, M., & Patnaik, A. (2019). Performance analysis of CNC milling operations: A review. *Materials Today: Proceedings*, 18(6), 4209–4214.
- Khan, A. M., Raza, S. H., & Rafaqat, M. (2021). Optimization of CNC milling process using Taguchi approach. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3597–3602. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.380>
- Kumar, R., Singh, S., & Kumar, P. (2019). A study on the effect of machining parameters on MRR and surface roughness in CNC milling. *Journal of Applied Engineering Research*, 14(3), 659–664.

- Liu, Y., Zhang, L., & Li, X. (2020). Design and development of high-strength tooling for brake pad molding. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 854–861.
- Prabakaran, C., & Karthikeyan, R. (2021). Review on recent developments in CNC milling process optimization. *Materials Today: Proceedings*, 45, 2898–2903.
- Sharma, A., & Jha, M. K. (2020). Analysis of machining parameters in CNC milling using response surface methodology. *International Journal of Mechanical Engineering*, 9(4), 112–120.
- Sharma, S., & Yadava, V. (2016). Modeling and optimization of MRR and tool wear in CNC milling using artificial neural networks. *Journal of Materials Processing Technology*, 238, 331–343.
- Yadav, M., & Patnaik, A. (2019). Performance analysis of CNC milling operations: A review. *Materials Today: Proceedings*, 18, 4209–4214.
- Zhou, C., Wang, Y., & Huang, L. (2020). Overview of high-efficiency CNC machining and process planning. *Procedia CIRP*, 88, 273–278.
- Khan, A. M., Raza, S. H., & Rafiqat, M. (2021). Optimization of CNC milling process using Taguchi approach. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3597–3602.
- Kumar, R., Singh, S., & Kumar, P. (2019). Effect of machining parameters on MRR and surface roughness in CNC milling. *Journal of Applied Engineering Research*, 14(3), 659–664.
- Prabakaran, C., & Karthikeyan, R. (2021). Review on CNC milling process optimization. *Materials Today: Proceedings*, 45, 2898–2903.
- Sharma, S., & Yadava, V. (2016). Modeling and optimization of MRR and tool wear in CNC milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 238, 331–343.

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



1. Daftar Pribadi

Nama Lengkap : Hadi Usman

Tempat, Tanggal Lahir : Pangkal Pinang, 28 Januari 2002

Alamat : Jl. Berlian 6, Kel. Sriwijaya, Kec. Girimaya,
Pangkal Pinang

Jenis Kelamin : Laki-Laki

Agama : Islam

Telp : -

HP : 087851123483

Email : usmanadi230@gmail.com

2. Riwayat Pendidikan

SDN 56 Pangkal Pinang	2008 – 2014
MTS Mambaul Ulum Bata-Bata Pamekasan Madura	2014 – 2017
SMK Mambaul Ulum Bata-Bata Pamekasan Madura	2017 – 2020

Sungailiat, 3 Juli 2025

Hadi Usman

Lampiran 2 Data *Software Minitab*

Linear Model Analysis: SN ratios versus Spindle speed; Feed rate; Depth of cut

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16,6216	0,1559	106,635	0,000
Spindle 2388	0,6636	0,2204	3,010	0,095
Spindle 2587	0,0925	0,2204	0,419	0,716
Feed rat 191	0,4504	0,2204	2,043	0,178
Feed rat 413	-0,2445	0,2204	-1,109	0,383
Depth of 1,60	-2,2690	0,2204	-10,293	0,009
Depth of 2,00	-0,3152	0,2204	-1,430	0,289

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0,4676	98,91%	95,65%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Spindle speed	2	3,0614	3,0614	1,5307	7,00	0,125
Feed rate	2	0,9151	0,9151	0,4575	2,09	0,323
Depth of cut	2	35,7779	35,7779	17,8890	81,81	0,012
Residual Error	2	0,4373	0,4373	0,2187		
Total	8	40,1918				

Linear Model Analysis: Means versus Spindle speed; Feed rate; Depth of cut

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6,98111	0,1509	46,255	0,000
Spindle 2388	0,51222	0,2134	2,400	0,138
Spindle 2587	0,00889	0,2134	0,042	0,971
Feed rat 191	0,28222	0,2134	1,322	0,317
Feed rat 413	-0,18444	0,2134	-0,864	0,479
Depth of 1,60	-1,74444	0,2134	-8,173	0,015
Depth of 2,00	-0,41111	0,2134	-1,926	0,194

Model Summary

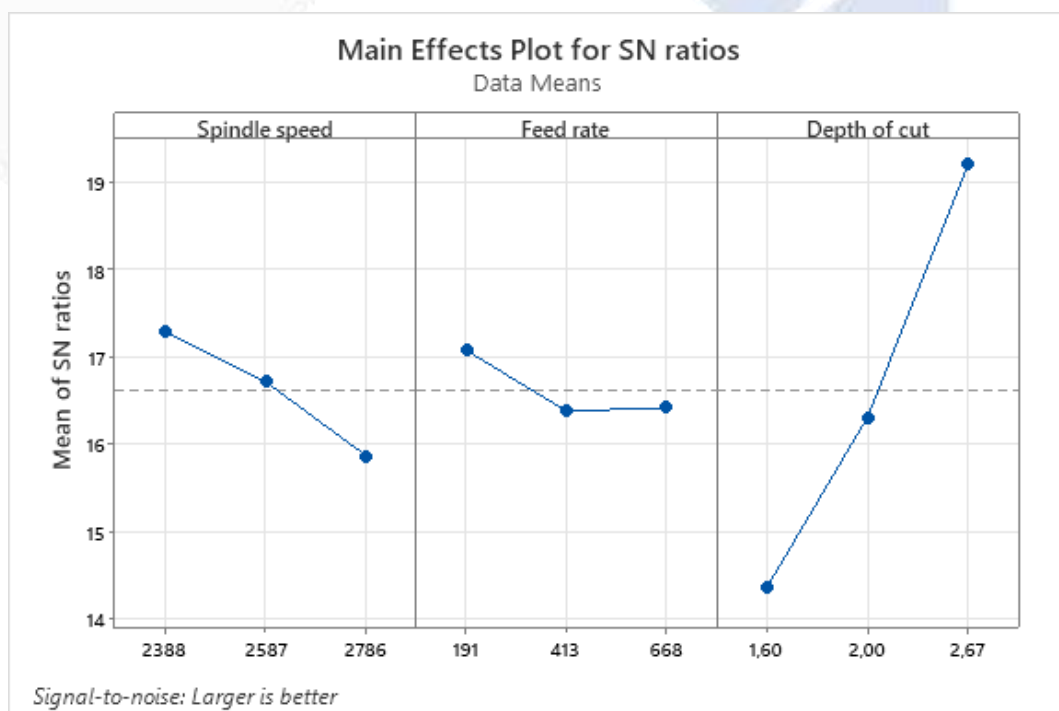
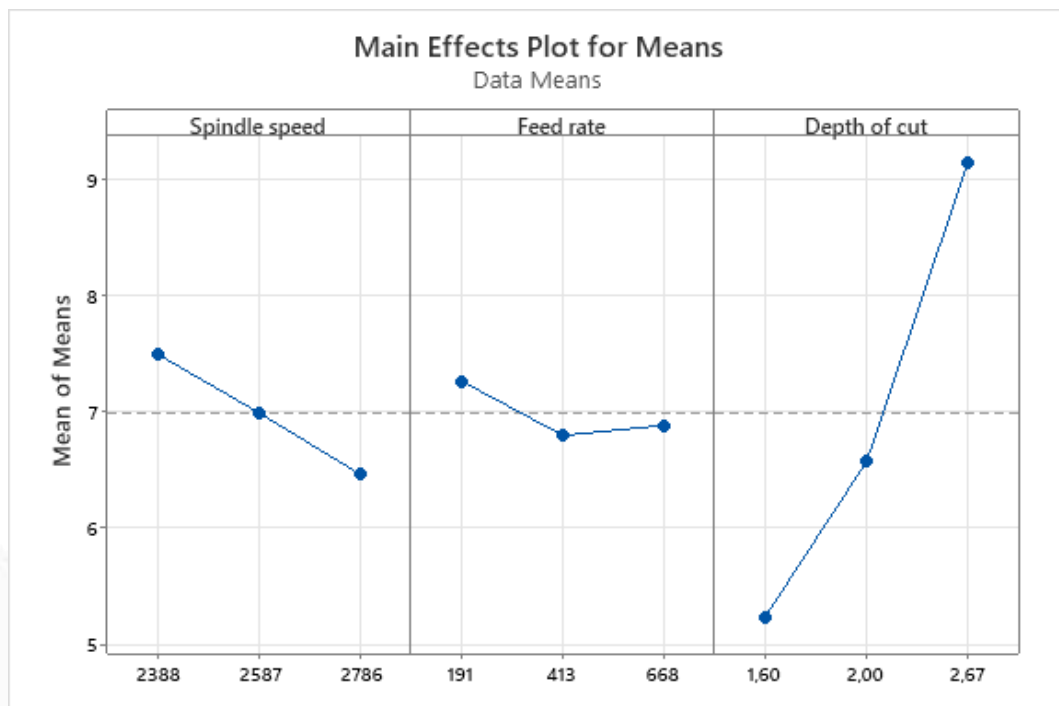
S	R-Sq	R-Sq(adj)
0,4528	98,42%	93,68%

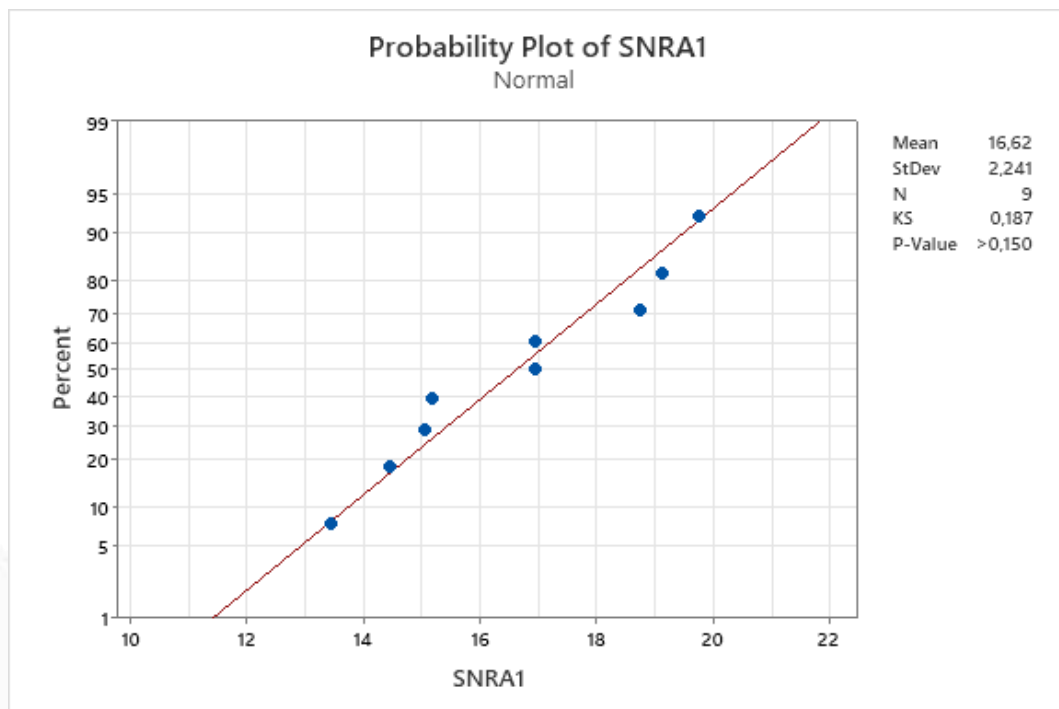
Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Spindle speed	2	1,6020	1,6020	0,8010	3,91	0,204
Feed rate	2	0,3697	0,3697	0,1848	0,90	0,526
Depth of cut	2	23,5756	23,5756	11,7878	57,50	0,017
Residual Error	2	0,4100	0,4100	0,2050		
Total	8	25,9573				

Response Table for Means

Level	Spindle speed	Feed rate	Depth of cut
1	7,493	7,263	5,237
2	6,990	6,797	6,570
3	6,460	6,883	9,137
Delta	1,033	0,467	3,900
Rank	2	3	1





Lampiran 3 Sertifikat Bahan

[illegible]

Lampiran 4 Histori Pengerjaan



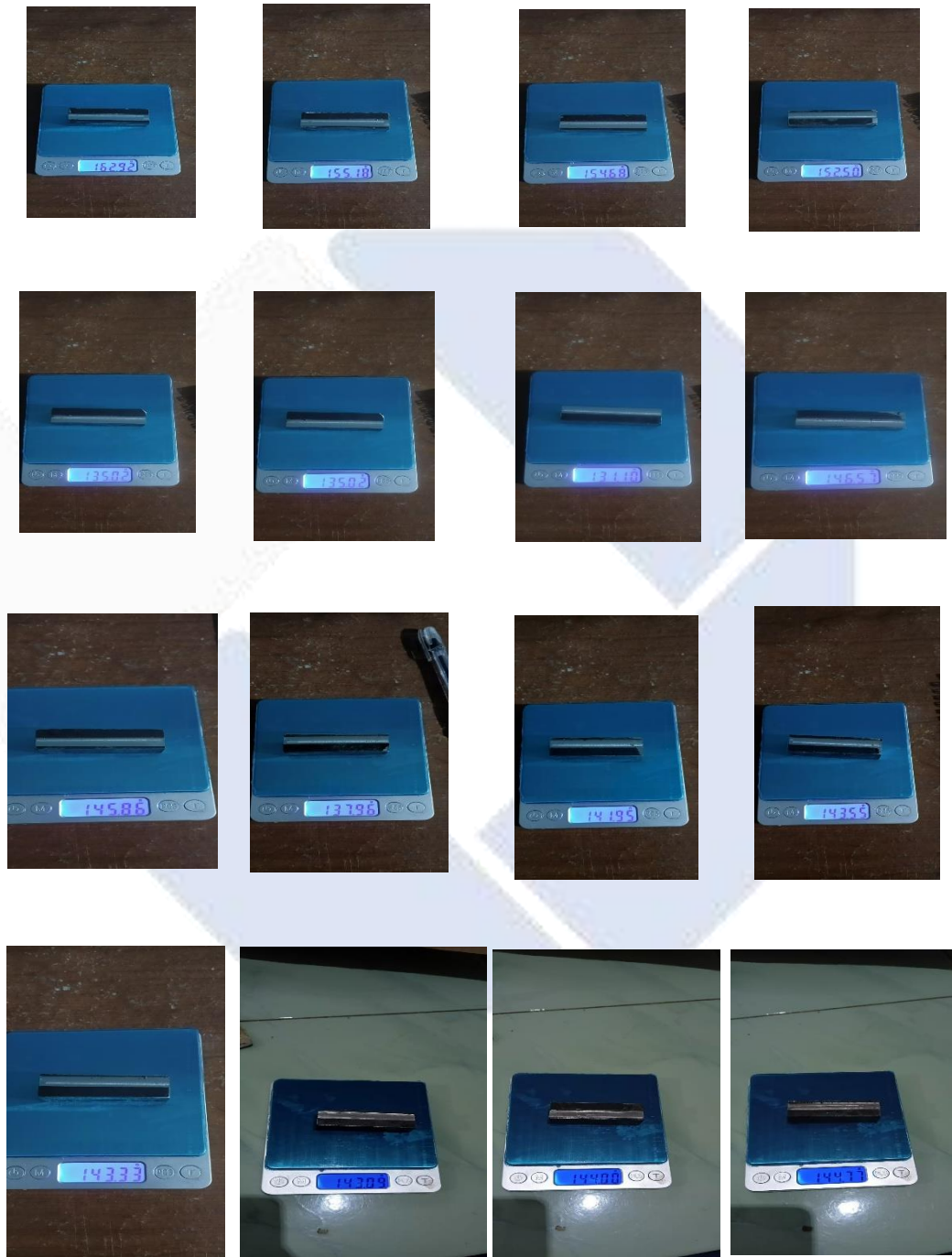
Lampiran 5 Penimbangan Spesimen

Gambar Berat Awal Sebelum Proses Pemesinan



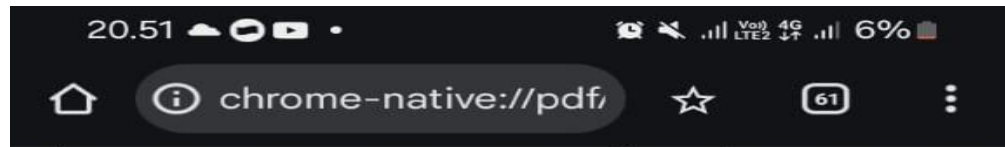


Gambar Berat Akhir Setelah Proses Pemesinan





Lampiran 6 Hasil Cek Plagiasi



Proyek_Akhir_Hadi_Usman1-1752068500091			
ORIGINALITY REPORT			
20%	20%	2%	4%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS
PRIMARY SOURCES			
1	repository.polman-babel.ac.id	17%	
	Internet Source		
2	pdfcoffee.com	1%	
	Internet Source		
3	repository.ppns.ac.id	1%	
	Internet Source		
4	Submitted to Universitas Tadulako	1%	
	Student Paper		
5	jtrm.polman-bandung.ac.id	1%	
	Internet Source		
Exclude quotes On			
Exclude bibliography On			
Exclude matches < 1%			

Proyek_Akhir_Hadi_Usman1-1752068500091

PAGE 1

PAGE 1

