

**OPTIMALISASI PARAMETER PADA MESIN *CNC MILLING*
TERHADAP *MATERIAL REMOVAL RATE* YANG AKAN
DIGUNAKAN UNTUK MEMBUAT CETAKAN
KAMPAS REM DEPAN**

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:

Afgi Finofal NIM:1042134

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA
BELITUNG
TAHUN 2024**

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMALISASI PARAMETER PADA MESIN *CNC MILLING* TERHADAP *MATERIAL REMOVAL RATE* YANG AKAN DIGUNAKAN UNTUK MEMBUAT CETAKAN KAMPAS REM DEPAN

Oleh:

Afgi Finofal/1042134

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

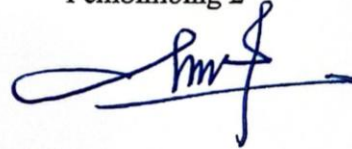
Menyetujui,

Pembimbing 1



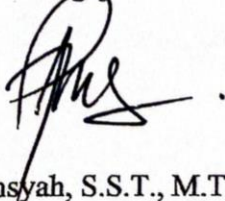
Eko Yudo, S.S.T., M.T.

Pembimbing 2



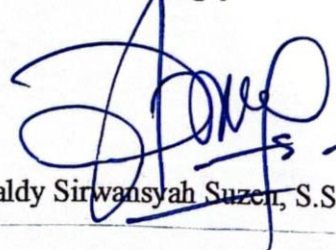
Dr.Sukanto., S.S.T., M.Eng.

Penguji 1



Erwansyah, S.S.T., M.T.

Penguji 2



Zaldy Sirwansyah Suzen, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Afgi Finofal NIM: 1042134

Dengan Judul : Optimalisasi Parameter Pada Mesin *CNC Milling* Terhadap
Material Removal Rate Yang Akan Digunakan Untuk
Membuat Cetakan Kampas Rem Depan

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.

Mahasiswa
1. Afgi Finofal

Sungailiat 25, juli 2024



Tanda tangan

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter proses terhadap Material Removal Rate (MRR) dalam pemesinan CNC Milling pada material baja S50C. Parameter proses yang dikaji meliputi kecepatan putaran (RPM), Kecepatan pemakanan (feeding), dan kedalaman pemotongan (depth of cut). Desain percobaan menggunakan metode Taguchi dengan matriks Orthogonal Array L9 (3^3), yang mencakup pengulangan sebanyak tiga kali untuk memastikan keandalan data. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan memiliki pengaruh paling signifikan terhadap peningkatan MRR, dengan kontribusi sebesar 84,75%. Nilai MRR optimal diperoleh pada kombinasi parameter proses kecepatan putaran 3.184 rpm, kecepatan pemakanan 105 mm/min, dan kedalaman pemotongan 0.6 mm. pemilihan parameter proses yang tepat dapat meningkatkan efisiensi penghilangan material dalam proses pemesinan CNC Milling. Penelitian ini memberikan panduan bagi praktisi untuk menentukan parameter yang optimal guna mencapai hasil maksimal dalam pengolahan material.

Kata kunci: CNC; MRR; S50C; Taguchi

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of process parameters on the Material Removal Rate (MRR) in CNC milling machining of S50C steel material. The process parameters examined include spindle speed (RPM), feeding, and depth of cut. The experimental design uses the Taguchi method with an L9 (3^3) Orthogonal Array matrix, including three repetitions to ensure data reliability. The analysis results show that the depth of cut has the most significant impact on increasing MRR, contributing 84.75%. The optimal MRR value is achieved with the process parameter combination of spindle speed at 3,184 rpm, feeding at 105 mm/min, and depth of cut at 0.6 mm. Selecting the appropriate process parameters can enhance the efficiency of material removal in CNC milling machining. This research provides guidance for practitioners to determine optimal parameters to achieve maximum results in material processing.

Keywords: CNC; MRR; S50C; Taguchi

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkat, dan hidayahnya sehingga Proyek Akhir yang berjudul “Optimalisasi Parameter Proses Mesin *CNC Milling* Terhadap *Material Removal Rate* Yang Akan Digunakan Untuk Membuat Cetakan Kampas Rem Depan” ini dapat diselesaikan dengan baik. Proyek akhir ini dilaksanakan salah satunya bertujuan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan di Program Studi DIV Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang terlibat atas bantuan, arahan, bimbingan, dan dorongan selama proses proyek akhir ini dilaksanakan, khususnya kepada :

1. Baginda Nabi Muhammad SAW beserta Keluarga Para Sahabat.
2. Kedua Orang penulis, Bapak Hendra dan Ibu Nurvinadia yang selalu memberikan dukungan, semangat, doa, materi, didikan, dan motivasi dalam melaksanakan pendidikan yang luar biasa ini sehingga bisa bertahan sampai saat ini.
3. Bapak Eko Yudo, S.S.T., M.T. dan Bapak Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng selaku dosen wali pembimbing yang selalu menemani, membimbing, mengarahkan selama pelaksanaann proyek akhir ini.
4. Bapak Eko Yudo, S.S.T., M.T. selaku Dosen Wali yang selalu menjadi wali mahasiswa atas kendala-kendala yang dihadapi di perkuliahan.
5. Bapak I Made Andik Setiawan, S.Tr., M.Eng., Ph.D. Selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
6. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
7. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. Selaku Kepala Program Studi D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
8. Seluruh Pegawai dan staff Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, khususnya kepada PLP yang selalu sigap membantu.
9. Kepada rekan seperjuangan DIV TMM yang selalu menemani dikala suka dan duka perkuliahan.

Dan tanpa mengurangi rasa hormat dan terima kasih, kepada seluruh pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih karena berkat kalian juga proyek akhir ini dapat terselesaikan.

Pada laporan ini tentunya masih banyak kekurangan dan kesalahan baik dari penulisan maupun unsur kebahasaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dipersilahkan demi laporan yang lebih baik lagi kedepannya. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan juga penulis.



Sungailiat, 10 Juli 2024
Penulis

Afgi Finofal

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1. <i>Computer Numerical Control (CNC)</i>	4
2.1.1. Cara Kerja mesin <i>CNC Miling</i>	4
2.1.2. Program <i>CNC</i>	6
2.2. Parameter Proses	7
2.2.1. Kedalaman pemotongan	7
2.2.2. Kecepatan Potong (V_c)	8
2.2.3. Kecepatan putaran.....	8
2.3. Karakteristik Baja S50C	9
2.4. <i>Material Removal Rate</i>	10
2.5. Metode <i>Taguchi</i>	10
2.5.1. Matriks <i>Orthogonal Array</i>	11
2.5.2. Analisis Dalam Metode <i>Taguchi</i>	13
2.5.3. Analisis <i>Signal to Noise Rasio</i> (S/N Rasio).....	14
2.5.4. Uji Normalitas.....	15

2.5.5. Uji Homogenitas	16
2.5.6. Uji Rata-rata.....	16
2.5.7. Penelitian Sebelumnya.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Diagram Alir.....	20
3.2. Identifikasi Masalah	21
3.3. Study Literatur.....	21
3.4. Desain Eksperimen.....	21
3.5. Pengambilan Data.....	24
3.6. Menghitung S/N Rasio	25
3.7. Melakukan Analisa Hasil Penelitian	25
3.8. Persiapan Alat dan Bahan.....	25
3.8.1. Mesin <i>CNC MILLING</i>	25
3.8.2. Timbangan Digital	26
3.8.3. Mata Potong.....	27
3.8.4. Jangka Sorong (<i>Vernier Caliper</i>).....	27
3.9. Pembuatan Sampel	28
3.9.1. Baja S50C	29
3.9.2. Tempat Pelaksanaan	29
3.10. Pengujian Sampel	30
BAB IV PEMBAHASAN.....	31
4.1. Pengambilan Data Hasil Percobaan.....	31
4.2. Analisis <i>Varians Taguchi</i>	34
4.2.1. Analisis <i>Varians Mean</i> Terhadap Respon <i>MRR</i>	34
4.2.2. Perhitungan Level <i>Means</i> Terhadap Respon	36
4.2.3. Analisis Varian Rata-rata/ <i>Means</i>	37
4.2.4. Persen Kontribusi Rasio S/N	38
4.3. Perhitungan Rasio S/N Dari Respon	40
4.3.1. Perhitungan Level Nilai S/N Rasio Terhadap Respon.....	43
4.3.2. Analisis Variasi Rasio S/N	44
4.3.3. Persen Kontribusi Rasio S/N	45
4.4. Uji Normalitas	46

4.5. Uji Dua Variansi (Homogenitas).....	47
4.6. Pembahasan	47
4.7. Analisa.....	47
BAB V KESIMPULAN	48
5.1. Kesimpulan.....	48
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Macam-Macam Kode G Serta Fungsinya	6
Tabel 2.2 Macam-Macam Kode M Serta Fungsinya	7
Tabel 2.3 Klasifikasi Baja Karbon	10
Tabel 2.4 Contoh <i>Orthogonal array</i> untuk L9	13
Tabel 3.1 Parameter Variabel Bebas	22
Tabel 3.2 Derajat kebebasan faktor dan level	23
Tabel 3.3 Rancangan Eksperimen berdasarkan <i>Orthogonal array</i> L9	23
Tabel 3.4 Rancangan Eksperimen Berdasarkan Matriks Ortogonal L9	24
Tabel 3.5 Spesifikasi Mesin <i>CNC Milling</i>	26
Tabel 4.1 Data Rata-Rata Berat <i>MRR</i>	32
Tabel 4.2 Data Hasil Berat <i>MRR</i>	33
Tabel 4.3 Hasil Eksperimen	34
Tabel 4.4 Data hasil perhitungan <i>MRR</i> L9	35
Tabel 4.5 Data hasil pengukuran <i>MRR</i> dengan <i>software statistic</i>	35
Tabel 4.6 Respon Parameter Terhadap <i>Means</i>	35
Tabel 4.7 Hasil <i>Anova</i>	37
Tabel 4.8 Keputusan uji	38
Tabel 4.9 Nilai Persen Kontribusi <i>Mean</i>	39
Tabel 4.10 Rasio S/N untuk respon <i>MRR</i>	41
Tabel 4.11 Respon Rasio S/N Parameter Terhadap <i>Mean</i>	42
Tabel 4.12 Respon S/N Parameter Terhadap Hasil Dari <i>MRR</i>	43
Tabel 4.13 Hasil <i>Anova</i>	44
Tabel 4.14 Keputusan Uji	44
Tabel 4.15 Persen Kontribusi Rasio S/N	46
Tabel 4.16 Hasil uji normalitas	46
Tabel 4.17 Hasil uji dua varian	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Cara Kerja Mesin <i>CNC Milling</i>	5
Gambar 3.1 Diagram Alir	20
Gambar 3.2 Mesin <i>CNC Milling</i>	25
Gambar 3.3 Timbangan Digital	26
Gambar 3.4 a. Pahat <i>Insert Carbide</i> dan b. <i>Holder</i>	27
Gambar 3.5 Jangka Sorong	28
Gambar 3.6 Pembuatan Sampel	28
Gambar 3.7 Baja S50C.....	29
Gambar 3.8 Laboratorium Permesinan Lanjut.....	30
Gambar 3.9 Pengujian Sampel.....	30
Gambar 4.1 Pengambilan data awal benda kerja	31
Gambar 4.2 Pengambilan data proses waktu pengerjaan benda kerja	32
Gambar 4.3 Grafik <i>mean</i> terhadap <i>MRR</i> dari tiap parameter dan level	36
Gambar 4.4 Grafik Respon Rasio S/N Untuk Masing-masing dari level tiap parameter.....	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan hasil produksi harus disertai dengan peningkatan kualitas, terutama dalam proses produksi yang melibatkan penggunaan mesin perkakas seperti mesin bubut, mesin skrap, mesin frais, dan mesin bor. Penggunaan mesin perkakas memungkinkan pembuatan komponen mesin yang lebih efisien serta menghasilkan tingkat presisi yang lebih tinggi. (Sihombing, 2022).

Salah satu contohnya adalah proyek akhir yang dapat berupa studi atau pengembangan desain, serta mencakup analisis terkait kehidupan sehari-hari maupun industri. Oleh karena itu, laporan akhir harus disesuaikan dengan kebutuhan industri, kebutuhan sehari-hari, dan juga sebagai media pendidikan.

Sektor produksi menggunakan proses pemesinan non-konvensional berbasis kontrol numerik komputer (*CNC*) untuk mengolah komponen dengan desain geometris yang rumit dan presisi tinggi. Proses ini membutuhkan *Material Removal Rate (MRR)* yang optimal, hasil potongan dengan permukaan yang halus, serta tingkat akurasi yang sangat presisi. (Saputra, 2024).

MRR adalah jumlah material yang terbuang dalam satuan waktu (mm^3/min) sesuai kondisi yang dibutuhkan dengan memaksimalkan masukan yang ada. Semakin besar nilai *MRR*, semakin besar pula produktivitas yang dicapai. Namun, perhitungan *MRR* ini dapat berlawanan dengan kondisi mesin itu sendiri, seperti daya putaran atau konsumsi daya, serta kondisi alat potong yang digunakan.

Studi yang dilakukan oleh (Mukherjee, et al., 2014) mencoba mengoptimalkan *MRR* pada material SAE 1020 menggunakan *CNC* bubut dengan metode *Taguchi*. Hasil studi menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan memiliki pengaruh tertinggi terhadap *MRR*, diikuti oleh kecepatan pemakanan. Meningkatkan kedalaman potong menghasilkan peningkatan *MRR*.

Kualitas produk pemesinan dipengaruhi secara signifikan oleh parameter yang dianggap sebagai tujuan manufaktur selama proses pemesinan, terutama *MRR*. *MRR* dianggap sebagai bagian yang mempengaruhi waktu pemesinan. Pada

penelitian yang dilakukan oleh (Ival, et al., 2021) menganalisis *MRR* pada proses *CNC Milling* terhadap material AISI 1045 dengan fokus pada pengaruh kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan dengan parameter yang digunakan yaitu kecepatan pemakanan dengan level 70 mm/min, 100 mm/min, dan 130 mm/min, dengan kedalaman pemotongan dengan level 0.16 mm, 0,20 mm, dan 0,26 mm. Hasil studi menunjukkan bahwa kombinasi parameter tersebut berpengaruh besar pada nilai *MRR*, di mana peningkatan kecepatan pemakanan dan kecepatan pemakanan meningkatkan *MRR*, sementara kedalaman potong berkontribusi terhadap volume material yang dapat dihilangkan. Kombinasi parameter yang optimal menghasilkan peningkatan *MRR* sebesar 25%, dengan hasil permukaan yang lebih halus. Studi ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses agar mencapai efisiensi produksi yang optimal pada material AISI 1045.

Dari uraian latar belakang diatas, variabel yang akan divariasikan dalam penelitian ini yaitu meliputi Kecepatan putaran, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemotongan.

1.2. Rumusan Masalah

Penulis akan merumuskan masalah penelitian berdasarkan uraian latar belakang yang telah disusun sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi kecepatan putaran, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemotongan mempengaruhi *MRR* dalam proses *CNC Milling*?
2. Bagaimana cara mengoptimalkan kecepatan putaran, Kecepatan pemakanan, dan Kedalaman pemotongan untuk mencapai efisiensi waktu yang optimal?

1.3. Tujuan Penelitian

Dengan mempertimbangkan pada rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini antara lain:

1. Untuk melihat kontribusi parameter terhadap *MRR* permukaan hasil proses Pemesinan.
2. Mengurangi waktu pemotongan dengan mengoptimalkan kecepatan pemakanan, kecepatan putaran, dan kedalaman pemotongan.

1.4. Batasan Masalah

Supaya tidak terlepas dari Tujuan Masalah yang telah ditetapkan, Batasan masalah penulis dapat dilihat di bawah ini sebagai berikut.

1. Menggunakan benda kerja dengan material jenis S50C
2. Menggunakan Benda Kerja dengan ukuran 50mm x 13mm x 20mm
3. menggunakan mesin *CNC Milling Lagun MC-750* untuk Proses pemesinan
4. Menggunakan Mata potong dengan pahat *insert carbide* type APMT1135 PDER – H2
5. Dalam penelitian ini, metode *Taguchi Orthogonal Array* akan digunakan untuk menganalisis data



BAB II

DASAR TEORI

2.1. *Computer Numerical Control (CNC)*

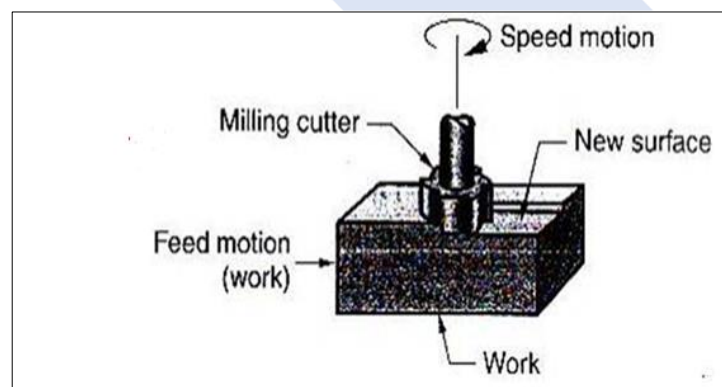
Saat ini, industri manufaktur mengandalkan penggunaan mesin *CNC* secara luas. *CNC* dilengkapi dengan sistem kontrol berbasis komputer yang mampu membaca berbagai bahasa pemrograman seperti *G-code*, *M-code*, *T-code*, *A-code*, dan lainnya, dan dapat menjalankan proses sesuai dengan program dan perancangan yang telah dibuat. (Hermana, et al., 2022). Mesin *CNC Milling* adalah perangkat Pemangkas yang dikendalikan oleh komputer dan dengan secara otomatis menjalankan proses produksi sesuai dengan instruksi yang diprogramkan dalam Perangkat lunaknya. Mesin ini dapat memenuhi berbagai jenis bahan yang digunakan (Jufriezaldi, et al., 2020). Berdasarkan berbagai uraian yang ada, penulis menyimpulkan bahwa mesin *CNC Milling* selain berfungsi krusial dalam produksi komponen untuk perakitan mesin, mesin *CNC Milling* juga berfungsi untuk memproduksi sparepart cadangan yang dapat digunakan untuk menggantikan bagian-bagian yang mengalami kerusakan karena penggunaan dalam jangka waktu tertentu.

2.1.1. Cara Kerja mesin *CNC Milling*

Pada tahun 1952, John Pearson dari Institut Teknologi Massachusetts mengembangkan mesin *CNC* untuk Angkatan Udara AS. Proyek ini bertujuan untuk memproduksi benda kerja kompleks yang rumit. Pada tahun 1973, harga mesin *CNC* sangat tinggi, sehingga hanya beberapa perusahaan yang menggunakannya karena mereka tidak siap untuk menginvestasikan dana dalam teknologi tersebut. Namun, seiring berjalannya waktu, kebutuhan akan produk dengan tingkat presisi tinggi terus meningkat. Banyak produk menjadi semakin sulit dibuat menggunakan mesin frais manual atau konvensional. Selain itu, hasil produk sering kali tidak memenuhi harapan akibat kesalahan manusia saat menggunakan mesin frais manual.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, mesin *CNC* menjadi solusi utama. Salah satu metode pemesinan yang umum dilakukan menggunakan mesin *CNC* adalah proses *Milling* dengan *endmill* berbentuk bola. Metode ini memungkinkan pembuatan komponen dengan tingkat akurasi dan kerumitan yang tinggi, menjadikannya pilihan yang efektif dalam industri modern. Gesekan antara pahat dan benda kerja merupakan komponen utama dalam proses pemesinan. Selama proses *Milling*, terdapat banyak gerakan yang saling terkait. Pada proses ini, Pergerakan meja mesin yang mendukung proses pemotongan menyebabkan bidang datar terbentuk. Rotasi alat potong mengurangi material benda kerja (*cutter*), sementara benda kerja tetap tercekam dengan kuat pada meja mesin. Kombinasi pergerakan alat potong dan meja mesin menghasilkan hasil pemesinan yang presisi (Prakoso, 2014).

Secara umum, mesin *CNC* bekerja berdasarkan program *CNC* yang dibuat oleh seorang programmer. Program tersebut dapat dimasukkan langsung melalui mesin atau disiapkan menggunakan perangkat lunak pemrograman *CNC* yang dikenal sebagai *G-Code*. Setelah program dibuat, programmer menjalankannya untuk menggerakkan alat-alat pada mesin sehingga dapat membentuk benda kerja sesuai dengan instruksi dalam program. Di sisi lain, proses yang dilakukan dengan sengaja dan terkontrol untuk mengubah kondisi guna menentukan suatu peristiwa atau kejadian tertentu, serta mengamati hasilnya, dikenal sebagai eksperimen (Widhiantoro, 2017).



Gambar 2.1 Cara Kerja Mesin *CNC Milling*

2.1.2. Program CNC

Sebelum memprogram mesin *CNC*, penting untuk memahami kode instruksi yang digunakan. Mesin *CNC* beroperasi dengan mengikuti instruksi-instruksi ini, termasuk pengaturan sumbu X, Y, dan Z.

a. **Sumbu X (Horizotal)**

1. Sumbu yang melalui garis tengah diagram atau grafik disebut sumbu X.
2. Gerakan horizontal dari kiri ke kanan atau sebaliknya dapat diatur pada mesin *CNC* dengan sumbu X..
3. Perubahan posisi sumbu X terjadi seiring berjalannya waktu selama proses Pemesinan.

b. **Sumbu Y (Vertikal)**

1. Sumbu Y bergerak dari atas ke bawah melalui garis gambar atau diagram.
2. Pada mesin *CNC*, sumbu Y mengontrol gerakan vertikal.
3. Ketika sumbu Y bergerak, mesin dapat mengubah posisi secara vertikal.

c. **Sumbu Z (Kedalaman)**

1. Sumbu Z adalah sumbu yang melakukan gerakan vertikal, mengontrol kedalaman pemotongan atau pergerakan ke atas dan ke bawah.
2. Pada mesin *CNC*, sumbu Z digunakan untuk mengatur kedalaman pemotongan atau pergerakan alat pemotong (pahat) secara vertikal.

Tabel 2.1 Macam-Macam Kode G Serta Fungsinya

No	Kode	Fungsi
1.	G00	Perintah gerak posisi bebas
2.	G01	Perintah gerakan dengan pemakanan (Kecepatan pemakanan) secara lurus
3.	G02	Perintah gerakan memotong berputar searah jarum jam
4.	G03	Gerakan pahat memotong berputar berlawanan arah jarum jam
5.	G04	Perintah bergerak dihentikan sesaat.
6.	G10	Perintah untuk menginput data program
7.	G15	Membatalkan perintah polar
8.	G16	Perintah untuk koordinat polar

No	Kode	Fungsi
9.	G17	Pemilihan pada bidang X-Y (interpolasi helikal)
10.	G48	Untuk menurunkan ganda <i>offset tool</i>
11.	G52	Mengatur lokal koordinat benda kerja
12.	G69	Pembatalan sumbu koordinat
14.	G94	Mengatur kecepatan pemakanan per menit
15.	G99	Kembali titik R.
16.	G20	Data dimasukan dalam satuan inci
17.	G21	Data dimasukan dalam satuan milimeter

Tabel 2.2 Macam-Macam Kode M Serta Fungsinya

No	Code	Fungsi
1.	M02	Program Berakhir
2.	M03	<i>Spindle ON</i> berputar searah jarum jam
3.	M04	<i>Spindle ON</i> berputar berlawanan arah jarum jam
4.	M05	<i>Spindle OFF</i> (Putaran mesin berhenti)
5.	M08	Menyalakan pendingin
6.	M09	Menghentikan pendingin
7.	M30	Menyelesaikan program dan mengembalikan posisi alat terakhir

2.2. Parameter Proses

Terdapat beberapa aspek parameter yang mempengaruhi suatu proses pemesinan *milling*, yaitu kedalaman pemotongan, kecepatan pemakanan, dan kecepatan putaran. Berikut penjelasan disertai rumus sebagai berikut.

2.2.1. Kedalaman pemotongan

Kedalaman pemotongan adalah jarak yang diukur secara tegak lurus antara permukaan yang tidak di pemotongan dan permukaan benda kerja yang dikerjakan. Dalam proses pemesinan, pemilihan kedalaman pemotongan yang sesuai sangat penting untuk memastikan kualitas hasil pemesinan dan ketahanan alat potong (pahat). Kedalaman pemotongan yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan pahat

menjadi patah atau mengurangi umur pakai pahat. Oleh karena itu, pemrograman dan pengaturan parameter ini harus dilakukan dengan cermat untuk mencapai hasil yang optimal. Kecepatan pemakanan dan diameter pahat terkait erat dengan kedalaman pemotongan. Dengan kecepatan pemakanan yang lebih tinggi, diameter pahat yang digunakan semakin kecil dan kedalaman pemotongan benda kerja semakin kecil..

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Di mana:

- a = Kedalaman pemotongan (mm)
- d_o = Diameter awal (mm)
- d_m = Diameter akhir (mm)

2.2.2. Kecepatan Potong (V_c)

Velocity cutting atau juga dikenal sebagai kecepatan potong (V_c), adalah kemampuan alat potong untuk menyayat material atau benda kerja dengan aman dan menghasilkan tatal dalam satuan panjang persatuan waktu (m/menit). Pada proses *milling*, perhitungan nilai kecepatan potong atau *Velocity Cutting* ini dapat dilihat pada rumus berikut:

$$V_c = \pi . d . n \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana:

- V_c = Kecepatan pemotongan
- π = Nilai konstanta
- d = Diameter Alat Potong
- n = Kecepatan putaran (Rpm)

2.2.3. Kecepatan putaran

Kecepatan putaran mesin (n) dipengaruhi oleh kecepatan pemakanan. Kecepatan pemakanan bergantung pada jenis pahat dan benda kerja. kecepatan pemakanan untuk *insert carbide milling* adalah 50 m/min, 55 m/min, dan 60 m/min. Karena satuan kecepatan pemakanan adalah m/menit, sedangkan diameter pahat atau benda kerja dalam milimeter, maka rumusnya sebagai berikut:

$$n = \frac{1000.vc}{\pi.d} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

n : Kecepatan putaran

vc : Kecepatan pemakanan

π : Nilai konstanta (3,14)

d : Diameter Alat Potong

2.3. Karakteristik Baja S50C

Baja S50C tergolong dalam kategori baja karbon menengah, dengan konsentrasi karbon berkisar antara 0,47% hingga 0,53%. Material ini populer di industri karena beragam keunggulannya. Salah satu aplikasi utamanya adalah dalam sektor otomotif, di mana baja ini sering digunakan untuk memproduksi komponen seperti roda gigi pada kendaraan bermotor.

Keistimewaan baja S50C terletak pada kombinasi sifat-sifat unggulnya. Material ini dikenal memiliki kemampuan pemesinan (*machinability*) yang baik, artinya relatif mudah diproses menggunakan mesin-mesin produksi. Selain itu, baja ini juga memiliki ketahanan aus (*wear resistance*) yang baik, menjadikannya cocok untuk komponen yang mengalami gesekan. Dari segi sifat mekanik, baja S50C berada pada tingkat menengah, menawarkan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan yang sesuai untuk berbagai aplikasi industri.

Dalam S50C, komposisi kimia termasuk C 0,47-0,53%, Cr maksimum 0,25%, Mn 0,60–0,90%; Si 0,15-0,35%, P maksimum 0,035%, S 0,035%, Ni 0,25%, dan Cu 0,25%. Sering digunakan untuk komponen seperti *gear*, *crankshaft*, *chain link*, dan komponen lain yang memerlukan kekuatan tinggi dan ketahanan aus yang sangat baik. (Nugroho, et al., 2023).

Tabel 2.3 Klasifikasi Baja Karbon

jenis dan kelas	kadar karbon (%)	kekuatan luluh (kg/mm ³)	kekuatan tarik	Perpanjangan (kg/mm ³)	kekerasan brinell	penggunaan
Baja Karbon Rendah	0.08	18-28	Dec-36	40-30	95-100	Pelat tipis,
	0.08-0.12	36-42	36-42	40-30	80-120	Batang, Kawat
	0.12-0.20	38-48	38-48	36-24	100-130	Kontruksi Umum
	0.20-0.30	44-55	44-55	32-22	112-145	
Baja Karbon Keras	0.30-0.40	50-60	50-60	30-17	140-170	Alat-alat
	0.40-0.50	58-70	58-70	26.14	160-200	Mesin perkakas
	0.50-0.80	65-100	65-100	20-11	185-235	Rel, Pegas dan Kawat Piano

2.4. *Material Removal Rate*

Tingkat pembuangan material, yang juga dikenal sebagai *MRR* merupakan Besar material yang dihilangkan dari benda kerja dalam satuan waktu tertentu. *MRR* dapat dihitung dengan mengukur volume material yang dibuang atau dengan membandingkan massa benda kerja sebelum dan sesudah proses pemesinan. Parameter proses sangat memengaruhi nilai *MRR*. Kecepatan pemakanan pada *CNC Milling* berbanding lurus dengan laju pembuangan material. Semakin tinggi tingkat kecepatan pemakanan, semakin besar pula *MRR* yang terjadi pada benda kerja (Septiaji, 2016).

2.5. *Metode Taguchi*

Metode *Taguchi* adalah pendekatan inovatif dalam teknik yang dirancang untuk meningkatkan kinerja produk dan proses serta mengurangi biaya dan penggunaan sumber daya. Metode ini mencapai tujuannya dengan membuat produk dan proses lebih tangguh terhadap berbagai variabel gangguan, seperti variasi bahan, peralatan, tenaga kerja, dan kondisi operasi. Dengan demikian, proses atau produk yang dihasilkan menjadi lebih kuat terhadap faktor-faktor tersebut, yang dikenal sebagai desain yang tangguh.

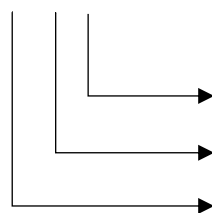
Berikut keunggulan metode *Taguchi* yang dapat dilihat seperti berikut (Sihombing, 2022):

1. *Taguchi* desain eksperimental lebih efektif karena memungkinkan penyelidikan yang mencakup banyak faktor dan ukuran.
2. Proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kuat terhadap faktor yang tidak dapat dikendalikan dapat dibuat melalui desain eksperimen *Taguchi*.
3. Metode *Taguchi* mengidentifikasi faktor respons dan tingkat kontrol yang menghasilkan respons optimal.

2.5.1. Matriks *Orthogonal Array*

Matriks *Orthogonal Array* merupakan matriks dengan sejumlah baris dan kolom. Setiap kolom merepresentasikan faktor atau kondisi yang dapat bervariasi di antara eksperimen yang berbeda. Karena setiap tingkat faktor tersusun secara seimbang dan tidak saling memengaruhi, *Orthogonal Array* berfungsi sebagai matriks yang menunjukkan hubungan antara faktor dan level tanpa terpengaruh oleh faktor maupun level lainnya. Sebagai contoh, *Orthogonal Array* dapat diberi nomor berdasarkan format tertentu.

L9 (3x 3)



Nomor Kolom

Nomor Level

Nomor Baris

Dimana :

1. Notasi L
Menyatakan informasi *Orthogonal array*.
2. Nomor baris
Menunjukkan jumlah eksperimen yang diperlukan untuk menggunakan *Orthogonal array*.

3. Nomor kolom
Menunjukkan jumlah faktor yang dilihat dalam *Orthogonal array*.
4. Nomor level
Menunjukkan jumlah level faktor.

Tabel OA dua level terdiri dari L4, L8, L12, L16, dan L32, sedangkan L9, L18, dan L27 terdiri dari tabel OA tiga level. Jumlah total derajat kebebasan menentukan jenis *array orthogonal* yang akan digunakan dalam percobaan. Definisi tingkat kebebasan berdasarkan:

1. Nilai faktor pertama yang diteliti dan hubungannya.
2. Tingkat nilai faktor yang diperiksa.
3. Penyelesaian percobaan yang diharapkan atau batas biaya.

Berikut beberapa keunggulan *Orthogonal array*, yaitu (Arfendi, 2021):

1. Kesimpulan dapat mencakup faktor kontrol beserta setiap tingkatnya secara keseluruhan.
2. Menggunakan prinsip faktor pecahan daripada prinsip fungsi penuh seperti eksperimen biasa, menghemat banyak eksperimen. Artinya, tidak perlu mencoba semua kombinasi lapisan. Penentuan matriks *orthogonal array* disesuaikan dengan masalah yang dirumuskan sebelumnya. Model *orthogonal array* standar harus digunakan untuk menentukan tingkat pengambilan data yang perlu dilakukan.
3. Analisis data sederhana melibatkan derajat kebebasan dan level variabel yang menentukan pemilihan matriks *orthogonal*. Matriks *orthogonal* memiliki kemampuan untuk mengevaluasi banyak variabel dengan jumlah percobaan yang minimal. Persamaan membentuk matriks *orthogonal*. Matriks *orthogonal* dapat dilambangkan dengan persamaan tertentu:

La (bc) dengan :

- | | |
|---|---------------------------------|
| L | = Rancangan bujur sangkar latin |
| a | = Banyaknya percobaan |
| b | = Banyaknya level variabel |
| c | = Banyaknya variabel |

Berikut beberapa manfaat *Orthogonal Array*, yaitu:

1. Keputusan dapat mencakup seluruh rentang parameter kontrol beserta setiap tingkatannya secara menyeluruh.
2. Menggunakan prinsip *fractional factorial* menghemat banyak waktu dalam pelaksanaan percobaan. daripada prinsip penuh operasional seperti percobaan biasa. Artinya, percobaan hanya perlu dilakukan pada beberapa kombinasi level. Pemilihan matriks *orthogonal array* dilakukan berdasarkan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, untuk memastikan solusi yang paling sesuai. Oleh karena itu, kita harus melihat model *orthogonal array* standar untuk menentukan tingkat pengambilan data mana yang harus dilakukan.
3. Kemudahan melakukan analisis data.

Tabel 2.4 Contoh *Orthogonal array* untuk L9

Nomor Percobaan	Parameter		
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

2.5.2. Analisis Dalam Metode *Taguchi*

Dalam metode *Taguchi*, dua jenis analisis digunakan untuk berbagai tujuan. Kedua jenis analisis dapat dilihat sebagai berikut:

a. ANOM (Analisis Rata-Rata)

Analisis anom, atau analisis rata-rata, berfungsi menentukan konfigurasi variabel kontrol yang menghasilkan performa optimal sesuai target. Salah satu keunggulannya adalah mengevaluasi rasio S/N rata-rata pada berbagai tahap proses dan variabel kontrol melalui diagram untuk menilai pengaruhnya terhadap hasil akhir.

b. ANOVA (analisis varian)

ANOVA, atau analisis varians, digunakan untuk mengidentifikasi hasil terbaik dari setiap variabel kontrol dalam proses dengan membandingkan total kuadrat dari satu parameter kontrol terhadap nilai parameter kontrol lainnya.

2.5.3. Analisis *Signal to Noise Rasio* (S/N Rasio)

Metode *Taguchi* menggunakan tiga jenis analisis untuk menentukan rasio S/N. Ketiga jenis analisis dapat dilihat sebagai berikut:

a. *Smaller is Better*

Analisis ini digunakan guna mengevaluasi kesalahan terhadap produk, di mana nilai idealnya adalah nol. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil kekasaran permukaan, semakin baik kualitasnya. Perhitungan dapat dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

b. *Large is Better*

Analisis ini merupakan kebalikan dari konsep “*Smaller is Better*” dan biasanya digunakan untuk menentukan kecepatan penghasilan *MRR* yang paling tinggi. *MRR* yang lebih besar menunjukkan bahwa proses produksi memiliki tingkat produktivitas yang lebih tinggi. Perhitungan *MRR* dapat dilakukan menggunakan rumus berikut.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

c. *Nominal the Better*

Analisis ini sering digunakan ketika nilai yang ditetapkan bersifat mutlak atau sangat diharapkan. Hasil yang diperoleh tidak boleh melebihi atau kurang dari nilai yang telah ditentukan sebelumnya. Salah satu contohnya adalah dimensi komponen mekanik dalam industri manufaktur.

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \frac{y^{-2}}{s^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\frac{dy \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

S^2 = Varian

N = Pengulangan setiap kombinasi

X_i = nilai dari kombinasi ke-n

$\bar{X}$ = nilai *mean* dari setiap kombinasi

d. *Sum of Square*

Besarnya perubahan rasio nilai S/N pada setiap level parameter kendali disebut *Sum of Square*. Nilai Sum of Square dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$SS = \sum_{i=1}^n (R_i - R)^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

N = jumlah level dari setiap *control factor*

R_i = nilai *S/N Rasio* pada level ke-n

R = nilai rata-rata *S/N Rasio* dari ke-3 level pada sebuah *control factor*

2.5.4. Uji Normalitas

Dilakukan Uji normalitas untuk mengukur apakah data berasal dari populasi yang memiliki distribusi normal. Penulis menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk menguji apakah data berdistribusi normal. (Arfendi, 2021).

- a. Hipotesis uji kenormalan data adalah:
H0: Data berdistribusi
H1: Data tidak berdistribusi normal
- b. Kriteria penolakan adalah: Tolak
H0: Jika nilai P-value $< \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$.

2.5.5. Uji Homogenitas

Menentukan uji homogenitas untuk mengevaluasi apakah kelompok dalam populasi memiliki variansi yang sama atau tidak. Kelompok yang memiliki variansi seragam diklasifikasikan sebagai homogen.

- a. Hipotesis uji dua variansi adalah :
H0: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
H1: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
- b. Kriteria penolakan adalah : Tolak H0, jika nilai P-value $< \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$.

2.5.6. Uji Rata-rata

Uji rata-rata hanya dapat menentukan apakah nilai rata-rata kombinasi awal dan kombinasi optimum sama atau tidak. Hipotesisnya untuk pengujiannya adalah (Arfendi, 2021):

- a. H0 : *MRR* benda kerja awal = *MRR* benda kerja Optimum
- b. H1 : *MRR* benda kerja awal > *MRR* benda kerja Optimum

Kriteria penolakan adalah :

H0 ditolak jika nilai p-value $< \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$

2.5.7. Penelitian Sebelumnya

Hasil dari sejumlah penelitian sebelumnya telah memberikan kontribusi yang berarti terhadap pengembangan teori dan aplikasi dalam bidang ini, sebagaimana akan dijelaskan dalam uraian berikut.

Pada Studi yang telah dilakukan oleh (Equbal, et al., 2022), menganalisis kinerja *CNC Milling* dalam pemesinan stainless steel AISI 316 menggunakan sisipan alat potong karbida. Parameter yang digunakan meliputi kecepatan potong dengan level 110 m/min, 165 m/min, 220 m/min, kecepatan pemakanan dengan level 0,10 mm/min, 0,15 mm/min, 0,20 mm/min, dan kedalaman pemotongan dengan level 0.4 mm, 0,8 mm, 1.20 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter tersebut berpengaruh signifikan terhadap *MRR*, di mana kedalaman pemotongan memberikan kontribusi terbesar terhadap peningkatan *MRR* sebesar 71,28%. Selain itu, kecepatan pemakanan dan kecepatan potong juga berpengaruh terhadap kualitas permukaan yang dihasilkan. Kombinasi parameter optimal menghasilkan peningkatan *MRR* yang signifikan, serta mendapatkan hasil permukaan yang lebih halus dan efisiensi produksi yang lebih tinggi pada stainless steel AISI 316. Penelitian ini mengkonfirmasi bahwa pemilihan parameter yang tepat sangat penting untuk meningkatkan kinerja proses pemesinan dan kualitas hasil produksi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Shagwira, et al., n.d.), menginvestigasi dampak parameter pemrosesan frais terhadap tingkat penghapusan material (*MRR*) dan kekasaran permukaan pada komposit *Polypropylene* dengan 80% berat debu *quarry*. Parameter yang diteliti meliputi kecepatan putaran dengan level 400 rpm, 800 rpm, 1200 Rpm, kecepatan pemakanan dengan level 60 mm/min, 120 mm/min, 180 mm/min, kedalaman potong dengan level 0.3 mm, 0.6 mm, 0.9 mm. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan pemakanan optimal berkisar antara 120 mm/min untuk keseimbangan antara *MRR* yang tinggi dan kekasaran yang moderat. Kedalaman potong terbaik adalah 0.9 mm, yang memberikan keseimbangan antara efisiensi pemotongan dan kualitas permukaan. Dengan memilih parameter *Milling* yang tepat, keseimbangan antara efisiensi pemotongan dan kualitas permukaan dapat dicapai secara efektif pada komposit polypropylene + 80% quarry dust.

Pada studi yang telah dilakukan oleh (Miftah, et al., 2023) bertujuan untuk mencari parameter optimal guna meminimalkan kekasaran permukaan dan memaksimalkan *MRR*. Parameter yang digunakan meliputi kecepatan spindle (600

rpm, 800 rpm, 1400 rpm), kecepatan pemakanan (15 mm/min, 33 mm/min, 50 mm/menit), dan kedalaman pemotongan (0,5 mm, 0,75 mm, 1,0 mm). Metode *Taguchi* digunakan untuk merancang eksperimen, sementara Grey Relational Analysis (GRA) mengoptimalkan nilai kekasaran permukaan dan *MRR* secara simultan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter yang paling optimal didapati oleh kecepatan putaran 1400 rpm, kecepatan pemakanan 15 mm/menit, dan kedalaman pemotongan 0,75 mm, yang menghasilkan permukaan lebih halus dan peningkatan signifikan pada *MRR*. Analisis *ANOVA* menunjukkan bahwa kecepatan spindle memiliki pengaruh terbesar terhadap hasil, diikuti oleh kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan. Penelitian ini membuktikan bahwa metode *Taguchi* dan GRA efektif untuk meningkatkan efisiensi proses pemesinan serta kualitas hasil secara simultan, sehingga relevan untuk aplikasi di industri manufaktur.

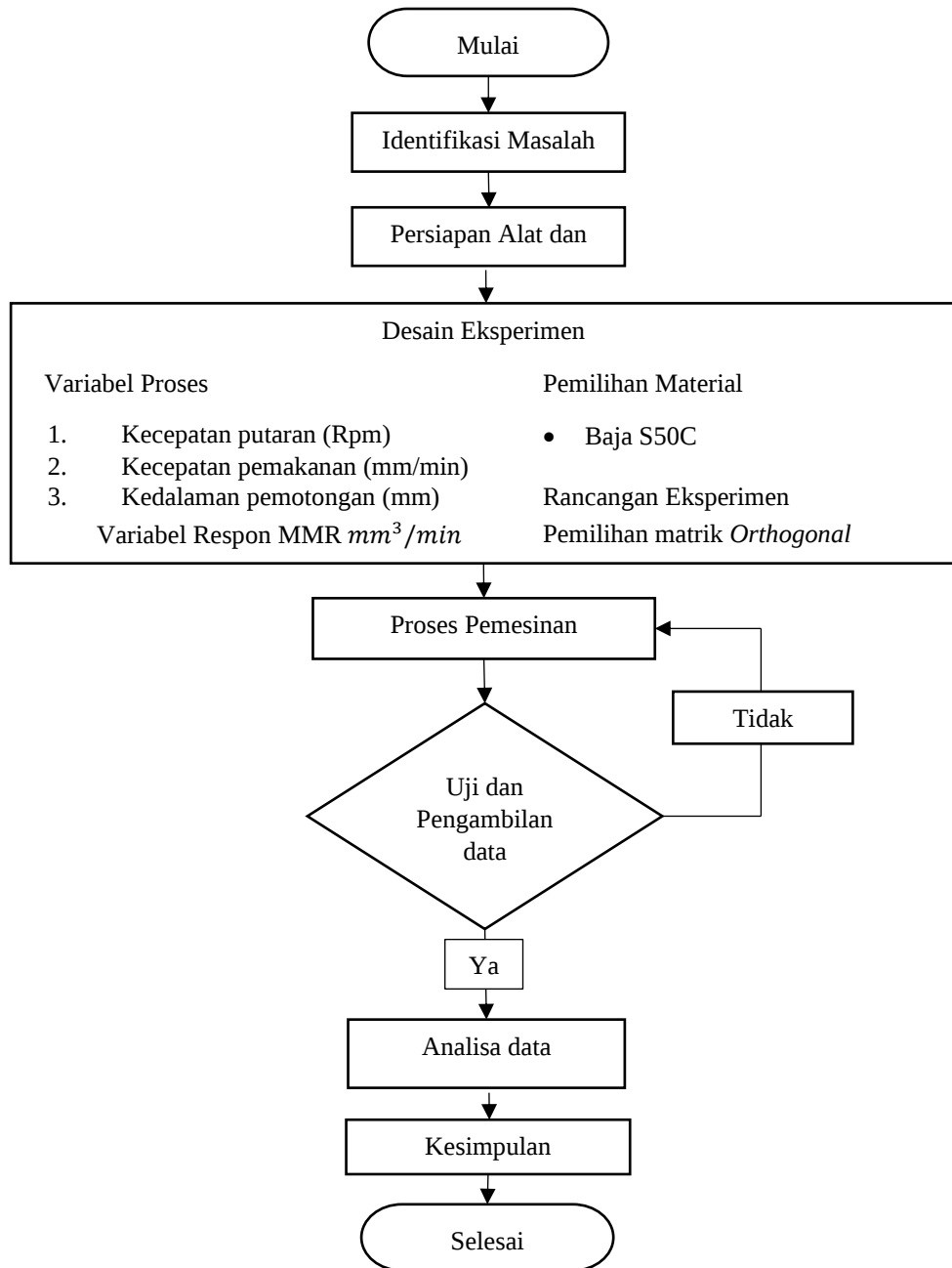
Pada penelitian yang dilakukan (Wambua, et al., 2022) yang berjudul “*Optimization of MRR and Surface Roughness in CNC Milling of Medical-Grade PMMA*” bertujuan untuk menentukan parameter pemesinan terbaik guna memaksimalkan *MRR* sekaligus menjaga kualitas permukaan pada proses *Milling* material PMMA kelas medis. Variasi parameter yang digunakan meliputi kecepatan spindle (1250 rpm, 2500 rpm, 3750 rpm, dan 5000 rpm), feed rate (50 mm/min, 100 mm/min, 200 mm/min, dan 350 mm/min), serta depth of cut (0.3 mm, 0.6 mm, 0.9 mm dan 1,2 mm). Dengan menggunakan metode *Taguchi*, penelitian ini menemukan bahwa kombinasi parameter terbaik, yaitu kecepatan putaran 1250 rpm, kecepatan pemakanan 150 mm/menit, dan kedalaman pemotongan 1,2 mm, menghasilkan *MRR* tertinggi tanpa mengorbankan kualitas permukaan. Kecepatan putaran sangat memengaruhi kekasaran permukaan, kecepatan pemakanan berdampak besar pada peningkatan *MRR*, sedangkan kedalaman pemotongan memiliki pengaruh sedang terhadap keduanya. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa pengaturan parameter pemesinan yang optimal mampu meningkatkan efisiensi pemesinan sekaligus memenuhi standar presisi dan kualitas yang dibutuhkan dalam industri medis.

Pada penelitian yang dilakukan (Satyanarayana, et al., n.d.) yang berjudul “*Optimization Of Machining Parameters of CNC Milling Operation for MRR and Surface Roughness on En-24 Steel Using Taguchi Method*” bertujuan untuk mengoptimalkan parameter pemesinan guna meningkatkan *MRR* dan mengurangi kekasaran permukaan pada proses *Milling* baja En-24. Parameter yang digunakan meliputi kecepatan spindle (750 rpm, 1050 rpm, 1350 rpm), kecepatan pemakanan (200 mm/min, 350 mm/min, 500 mm/min), dan kedalaman pemotongan (0.1 mm, 0.15 mm, 0.2 mm). Dengan menggunakan metode *Taguchi orthogonal array* L9, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi optimal adalah kecepatan putaran 1050 rpm, feed rate 500 mm/min, dan kedalaman potong 0.2 mm, yang menghasilkan *MRR* tertinggi sebesar 39,84% dan kekasaran permukaan terendah sebesar 49,94%. Kecepatan spindle memberikan kontribusi terbesar terhadap peningkatan *MRR*, sementara kecepatan pemakanan berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi parameter terbaik untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas proses pemesinan *CNC milling* baja En-24.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Berikut tahapan yang dilakukan penulis untuk mempermudah alur pengerjaan yang dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2. Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi fenomena yang dapat diteliti merupakan langkah pertama dan paling penting dalam proses analisis seorang peneliti. Setelah masalah diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah mencari solusi untuk menyelesaikannya. Untuk itu, peneliti akan mengumpulkan lebih banyak data guna mendukung informasi yang telah diperoleh. Informasi ini dapat diperoleh melalui observasi, buku, atau penelitian sebelumnya.

3.3. Study Literatur

Setelah masalah ditemukan, langkah berikutnya adalah mempelajari tujuan dari masalah tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang topik penelitian. Informasi ini dapat diperoleh dari buku, jurnal, internet, dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan subjek. mendapatkan data dan mempelajari teori yang dapat digunakan untuk menguraikan masalah dari tinjauan literatur ini.

3.4. Desain Eksperimen

Untuk penelitian ini, data primer yang dikumpulkan dari eksperimen digunakan. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Variabel Proses

Variasi kecepatan putaran, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemotongan adalah variabel proses yang nilainya dapat ditentukan secara mandiri oleh peneliti. Untuk penelitian ini, variabel-variabel ini akan digunakan. Dalam proses penelitian ini, parameter yang digunakan adalah:

- Kecepatan putaran (rpm)
- Kecepatan pemakanan (mm/min)
- Kedalaman Pemotongan (mm)

b. Variabel Respon

Variabel yang nilainya tidak dapat diprediksi sebelumnya dan dipengaruhi oleh perlakuan yang diterapkan disebut variabel respons. Nilai hanya dapat

diketahui setelah percobaan selesai. Dalam hal ini, variabel respons yang digunakan adalah *MRR* dalam satuan mm³/menit.

c. Variabel Noise

Variabel noise ialah variabel gangguan yang mempengaruhi respons, Variabel gangguan seperti suara mempengaruhi respons, tetapi sulit untuk dikontrol. Faktor suara yang mungkin terlibat dalam penelitian ini adalah suhu pahat dan benda kerja selama proses bubut. Karena faktor-faktor ini tidak disertakan dalam rancangan percobaan, data diambil dengan replikasi untuk mengurangi dampak variabel suara pada hasil penelitian..

d. Variabel Konstan

Faktor yang tidak menjadi subjek penelitian adalah variabel konstan. Nilai tetap sama selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian. Tidak menggunakan pendingin adalah faktor konstan yang digunakan dalam penelitian ini.

e. Rancangan Eksperimen

1. Pemilihan Level dari Variabel Proses

Sebelum memilih level, pertama-tama harus menentukan jenis proses *CNC Milling* yang akan digunakan dalam penelitian. Karena kategori pemesinan yang dipilih adalah proses finishing, jumlah level dan parameter harus disesuaikan dengan kategori tersebut.

2. Variabel bebas

Setting variabel proses pada penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Parameter Variabel Bebas

Parameter	Level		
	1	2	3
A Kecepatan putaran (RPM)	3.184	3.343	3.503
B Kecepatan pemakanan (mm/min)	100	105	110
C Kedalaman pemotongan (mm)	0.2	0.4	0.6

3. Pemilihan Matriks *Ortogonal*

Matriks *ortogonal* harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar dari total derajat kebebasan faktor dan level yang telah ditentukan. Tabel 3.2 menyajikan derajat kebebasan faktor dan level, serta perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan matriks ortogonal yang akan digunakan.

Tabel 3.2 Derajat kebebasan faktor dan level

No	Faktor	Jumlah level (k)	$u_{fi}(k-1)$
A	Kecepatan putaran (RPM)	3	2
B	Kecepatan pemakanan (mm/min)	3	2
C	Kedalaman pemotongan (mm)	3	2
Total Derajat Kebebasan			6

Secara keseluruhan, derajat kebebasan dari variabel proses dan level yang digunakan adalah 6, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.2. Oleh karena itu, matriks ortogonal L₉ adalah yang paling sesuai untuk digunakan sebagai rancangan percobaan. Rancangan ini memiliki tiga kolom dan sembilan baris, dan memungkinkan penggunaan untuk tiga variabel bebas. Tabel 3.3 menampilkan rincian rancangan percobaan untuk penelitian ini.

Tabel 3.3 Rancangan Eksperimen berdasarkan *Orthogonal array* L₉

No Percobaan	Parameter		
	Kecepatan putaran (RPM)	Kecepatan pemakanan (mm/min)	Kedalaman pemotongan (mm)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	1	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Eksperimen ini dilakukan secara acak dengan kombinasi variabel proses yang sesuai dengan desain percobaan, yang tertera dalam matriks ortogonal Tabel 3.3. Untuk melakukan pengacakan, fasilitas randomisasi angka yang tersedia pada perangkat lunak pengolahan data digunakan. Untuk menghindari gangguan, seperti suara, yang mungkin terjadi selama proses pemotongan, setiap kombinasi variabel proses direplikasi sebanyak dua kali. Tabel 3.4 menunjukkan susunan data yang dihasilkan saat data eksperimen dikumpulkan berdasarkan kombinasi pengaturan variabel yang sama.

Tabel 3.4 Rancangan Eksperimen Berdasarkan Matriks Ortogonal L9

No	Kecepatan putaran (Rpm)	Kecepatan pemakanan (mm/min)	kedalaman pemotongan (mm)
1.	3.184	100	0.2
2.	3.184	105	0.4
3.	3.184	110	0.6
4.	3.343	100	0.4
5.	3.343	105	0.6
6.	3.343	110	0.2
7.	3.503	100	0.6
8.	3.503	105	0.2
9.	3.503	110	0.4

3.5. Pengambilan Data

MRR dihitung menggunakan stopwatch, dimulai saat pahat pertama kali menyentuh benda kerja atau spesimen geram mulai tampak hingga proses pememesinan terakhir selesai. Massa benda kerja yang hilang akibat pemesinan oleh mesin *milling CNC* dihitung dengan mengurangi massa spesimen sebelum dan setelah pemotongan. Volume spesimen yang terbuang diperoleh dengan membagi massa yang hilang dengan massa jenis spesimen uji. kemudian dihitung dengan membagi volume spesimen yang terbuang dengan waktu pemesinan.

$$MRR = \frac{\text{Volume material yang erbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu proses(s)}} \quad (3.1)$$

3.6. Menghitung S/N Rasio

Jenis optimasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Large is Better*. Tujuan dari jenis optimasi ini adalah untuk melakukan perhitungan rasio S/N untuk menentukan nilai rasio S/N yang paling mempengaruhi *MRR*.

3.7. Melakukan Analisa Hasil Penelitian

ANOVA, juga dikenal sebagai analisis varian, digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh setiap parameter kontrol terhadap operasi. Nilai jumlah kuadrat dari masing-masing parameter kontrol dapat dibandingkan dengan nilai total keseluruhan parameter kontrol.

3.8. Persiapan Alat dan Bahan

Berikut alat yang digunakan dalam penelitian.

3.8.1. Mesin CNC MILLING

Penelitian ini menggunakan mesin *CNC Milling* Lagun untuk proses pemesinan. Mesin *CNC Milling* dapat dilihat pada gambar 3.2:



Gambar 3.2 Mesin *CNC Milling*

Spesifikasi mesin *CNC Milling* dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Spesifikasi Mesin *CNC Milling*

Factor	Keterangan
<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
Table dimensions	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

3.8.2. Timbangan Digital

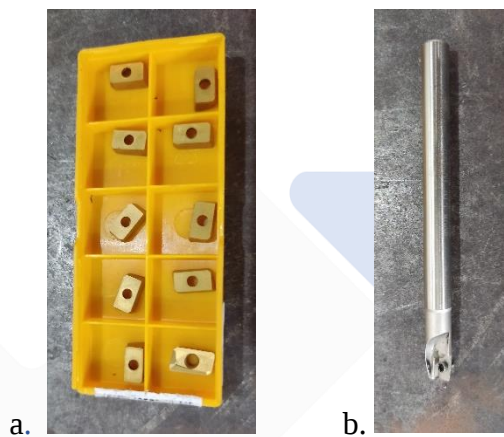
Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat material benda kerja saat sebelum dilakukan proses pemesinan dan sesudah melakukan proses pemesinan *CNC Milling*. Timbangan digital ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Timbangan Digital

3.8.3. Mata Potong

Jenis Mata potong yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pahat *insert carbide* APMT1135 PDER yang mempunyai kekasaran 92 HR diameter. Cutting conditions : M: S50C VC : 100-150 F : 0,10-0,25. Mata potong dan *holder* dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 a. Pahat *Insert Carbide* dan b. *Holder*

Insert carbide merupakan sebuah mata potong yang digunakan untuk memotong bagian permukaan dari benda kerja dengan sebagaimana yang kita inginkan. *Insert* dapat diganti dengan cara melepaskannya dari *holder* dan menggantinya dengan *insert* yang baru.

Holder ialah suatu alat yang digunakan untuk menahan mata potong supaya bisa melakukan pemotongan dan bisa melakukan pemotongan.

3.8.4. Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

Jangka sorong ini digunakan untuk mengukur benda kerja pada saat pengujian material dilakukan. Jangka sorong dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Jangka Sorong

3.9. Pembuatan Sampel

Pemilihan matriks adalah proses di mana faktor dan level matriks dipilih sedemikian rupa sehingga tidak mempengaruhi faktor lainnya. Data matriks yang telah disiapkan akan diolah untuk mencapai tujuan menyederhanakan proses kalkulasi. Pada penelitian ini penulis menggunakan ukuran sampel 50 x 13 x 20 mm. Proses pembuatan sampel dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pembuatan Sampel

3.9.1. Baja S50C

Pada pemilihan matriks ini, penulis menggunakan Baja S50C. Baja S50C memiliki kadar karbon sekitar 0,47% hingga 0,53%. Selain itu, baja ini juga mengandung sejumlah kecil elemen lain seperti silikon, mangan, sulfur, dan fosfor. S50C memiliki kekuatan yang baik, tahan terhadap deformasi plastik bahkan dalam beban yang signifikan, dan memiliki kekakuan yang baik untuk mempertahankan bentuk dan dimensi yang diinginkan selama penggunaan. material yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Baja S50C

3.9.2. Tempat Pelaksanaan

Pelaksanaan ini dilakukan di Laboratorium permesinan lanjut jurusan rekayasa mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dengan menggunakan mesin *CNC* untuk mendukung pengambilan data. Beberapa alat bantu tersedia untuk memfasilitasi proses tersebut. Tempat pelaksanaan dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Laboratorium Permesinan Lanjut

3.10. Pengujian Sampel

Dalam proses pengujian data, terdapat beberapa faktor yang dilakukan seperti pemeriksaan hasil yang telah diperoleh menggunakan alat berupa timbangan. Hasil benda kerja dari proses pengerjaan di mesin *CNC milling* yang akan diuji menggunakan Timbangan dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut ini:



Gambar 3.9 Pengujian Sampel

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Pengambilan Data Hasil Percobaan

Data penelitian dikumpulkan dengan mengkombinasikan variabel-variabel proses pada mesin *CNC Milling lagun MC 750*. Variabel-variabel proses yang dianggap mempengaruhi respons *MRR* meliputi kecepatan putaran, Kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemotongan.

Berikut ini adalah prosedur yang digunakan untuk mengumpulkan data dari eksperimen.:

a. Mengumpulkan data berat awal benda kerja

Sebelum pemesinan dimulai, berat awal setiap benda kerja ditimbang sebanyak tiga kali. Berat rata-rata benda kerja dihitung setelah penimbangan awal selesai. Gambar 4.1 menunjukkan proses pengambilan data awal benda kerja.



Gambar 4.1 Pengambilan data awal benda kerja

b. Pengumpulan data dan waktu proses pemesinan spesimen

Untuk setiap replikasi, data diambil dua kali. Waktu pengerjaan benda kerja dihitung dari waktu pahat *Milling* mulai menyentuh benda kerja sampai waktu pahat tidak menyentuh benda kerja, atau selisih antara keduanya. Hasilnya

dirata-ratakan. Gambar 4.2 menunjukkan cara pengambilan data proses waktu pengerjaan benda kerja.



Gambar 4.2 Pengambilan data proses waktu pengerjaan benda kerja

- c. Pengambilan data berat akhir benda kerja.

Setelah proses pemesinan selesai, setiap benda kerja ditimbang ulang tiga kali untuk mengetahui beratnya. Hasilnya kemudian dirata-ratakan.

- d. Pengambilan data *MRR*

Pengumpulan data *MRR* dilakukan melalui perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$MRR = \frac{\text{Volume material yang erbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu proses(s)}} \quad (4.1)$$

Data hasil pengukuran secara keseluruhan bisa dilihat pada Tabel. Tabel 4.1 menunjukkan hasil perhitungan eksperimen respon *MRR* setelah melalui tahapan-tahapan proses di atas yang akan disajikan pada berikut :

Tabel 4.1 Data Rata-Rata Berat *MRR*

No	Berat awal	Berat Akhir	Rata Rata
1	99.26	98.53	98.895
2	100.13	99.2	99.665
3	100.74	100.4	100.57
4	101.86	101.27	101.565
5	99.05	97.87	98.46
6	99,10	97.98	97.98
7	100.21	98.76	99.485

No	Berat awal	Berat Akhir	Rata Rata
8	100.08	98.33	99.205
9	90.13	88.72	89.425
10	101.11	99.25	100.18
11	98.01	95.9	96.955
12	102.09	100.17	101.13
13	98.89	98.36	98.625
14	101.03	100.11	100.57
15	101.42	100.88	101.15
16	103.03	102.25	102.64
17	100.42	98.85	99.635
18	103.36	101.84	102.6
19	100.4	99.04	99.72
20	99.75	98.37	99.06
21	96.99	96.7	96.845
22	98.84	98.42	98.63
23	100.98	100.73	100.855
24	99.74	99.31	99.525
25	101.6	99.82	100.71
26	100.83	99.22	100.025
27	100.52	98.52	99.52
28	100.81	100.37	100.59
29	100.4	100.09	100.245
30	97.38	96.84	97.11
31	97.03	96.5	96.765
32	99	98.32	98.66
33	100.11	99.56	99.835
34	100.98	100.16	100.57
35	100.29	99.54	99.915
36	100.3	99.62	99.96

Tabel 4.2 Data Hasil Berat *MRR*

No	berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	selisih	Volume (mm^3)	waktu (s)	<i>MRR</i> (mm^3/s)
1	99.26	98.53	0.73	92.99	38.56	2.41
2	99.05	97.87	1.18	150.32	33.61	4.47
3	90.13	88.72	1.41	179.62	32.01	5.61
4	98.89	98.36	0.53	67.52	34.96	1.93
5	100.42	98.85	1.57	200.00	33.66	5.94
6	96.99	96.7	0.29	36.94	31.94	1.16
7	101.6	99.82	1.78	226.75	35.63	6.36
8	100.4	100.09	0.31	39.49	33.22	1.19
9	100.11	99.56	0.55	70.06	35.52	1.97

Berikut cara menghitung *MRR* terhadap benda kerja dapat dilihat pada rumus berikut ini:

$$\text{Volume} = \frac{\text{selisih berat awal dan akhir (g)}}{\text{densitas material (g/mm}^3\text{)}}$$

$$\text{Volume} = \frac{99.26 - 98.53}{0.00785} = 92.99 \text{ mm}^3$$

$$\text{MRR} = \frac{\text{Volume material yang erbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu proses(s)}}$$

$$\text{MRR} = \frac{92.99}{38.56} = 2.41 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Tabel 4.3 Hasil Eksperimen

Eksperimen	Faktor			Replikasi					
	A	B	C	Data Awal	1	2	3	Mean	S/N
1	1	1	1	2.41	3.41	1.25	2.14	2.267	5.022
2	1	2	2	4.47	4.22	5.45	6.60	5.423	14.247
3	1	3	3	5.61	7.36	8.28	7.52	7.720	17.722
4	2	1	2	1.93	3.36	1.98	2.87	2.737	8.110
5	2	2	3	5.94	6.30	5.47	5.59	5.787	15.197
6	2	3	1	1.16	1.85	1.10	1.80	1.583	3.218
7	3	1	3	6.36	6.38	7.81	5.63	6.607	16.162
8	3	2	1	1.19	2.18	2.13	2.72	2.343	7.239
9	3	3	2	1.97	3.49	3.19	3.77	3.483	10.781

4.2. Analisis Varians Taguchi

Proses faktor dengan parameter kontribusi yang mempengaruhi reaksi *MRR* pada benda kerja diidentifikasi melalui analisis varians (*ANOVA*). *MRR*, yang menjadi fokus penelitian ini, dianalisis menggunakan *ANOVA* dalam studi ini.

4.2.1. Analisis Varians Mean Terhadap Respon *MRR*

Untuk menganalisis *mean variance MRR*, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Replikasi 1, Replikasi 2, dan Replikasi 3. Hasil rata-rata dari perhitungan tersebut ditampilkan pada Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.4 Data hasil perhitungan *MRR* L9

Matriks Orthogonal L₉									
Eksperimen	Faktor			Replikasi					
	A	B	C	Data Awal	1	2	3	Jumlah	Mean
1	1	1	1	2.41	3.41	1.25	2.14	6.80	2.267
2	1	2	2	4.47	4.22	5.45	6.60	16.27	5.423
3	1	3	3	5.61	7.36	8.28	7.52	23.16	7.720
4	2	1	2	1.93	3.36	1.98	2.87	8.21	2.737
5	2	2	3	5.94	6.30	5.47	5.59	17.36	5.787
6	2	3	1	1.16	1.85	1.10	1.80	4.75	1.583
7	3	1	3	6.36	6.38	7.81	5.63	19.82	6.607
8	3	2	1	1.19	2.18	2.13	2.72	7.03	2.343
9	3	3	2	1.97	3.49	3.19	3.77	10.45	3.483

Tabel 4.5 Data hasil pengukuran *MRR* dengan *software statistic*

Matriks Orthogonal L₉									
Eksperimen	Faktor			Replikasi					
	Kecepatan putaran (RPM)	Kecepatan pemakanan (mm/min)	Kedalaman pemotongan (mm)	Data awal	1	2	3	Jumlah	Mean
1	3184	100	0.2	2.41	3.41	1.25	2.14	6.80	2.267
2	3184	105	0.4	4.47	4.22	5.45	6.60	16.27	5.423
3	3184	110	0.4	5.61	7.36	8.28	7.52	23.16	7.720
4	3343	100	0.4	1.93	3.36	1.98	2.87	8.21	2.737
5	3343	105	0.6	5.94	6.30	5.47	5.59	17.36	5.787
6	3343	110	0.2	1.16	1.85	1.10	1.80	4.75	1.583
7	3503	100	0.6	6.36	6.38	7.81	5.63	19.82	6.607
8	3503	105	0.2	1.19	2.18	2.13	2.72	7.03	2.343
9	3503	110	0.4	1.97	3.49	3.19	3.77	10.45	3.483

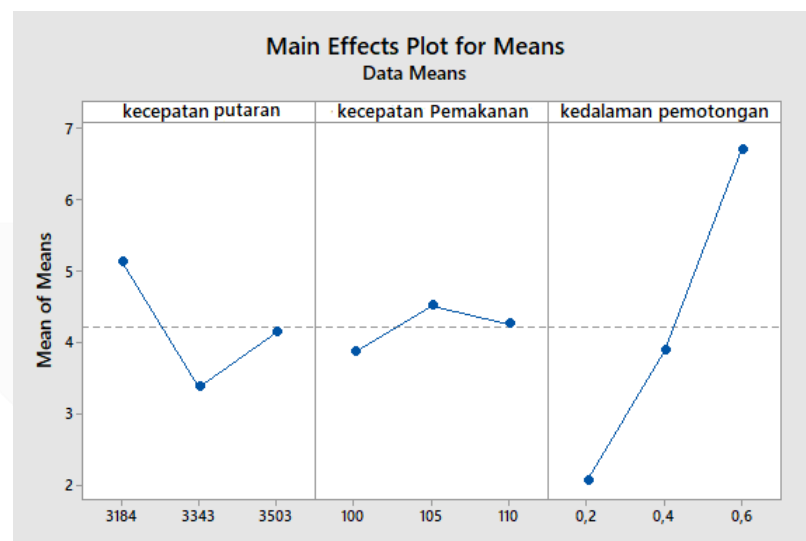
Nilai rata-rata untuk setiap parameter dapat ditemukan pada Tabel 4.4. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.6 di bawah ini:

Tabel 4.6 Respon Parameter Terhadap *Means*

Level	Kecepatan putaran	Kecepatan pemakanan	Kedalaman pemotongan
1	5.138	3.870	2.064
2	3.370	4.517	3.883
3	4.143	4.264	6.704
Delta	1.768	0.647	4.640
Rank	2	3	1

Kecepatan pemotongan dengan nilai selisih 4.640, kecepatan putaran dengan nilai selisih 1.768, dan kecepatan pemakanan dengan nilai selisih 0.647 adalah urutan ranking parameter dengan pengaruh terbesar terhadap *MRR*, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.6 dengan rata-rata respons untuk setiap parameter.

Berdasarkan Tabel 4.6 dibuat grafik yang menunjukkan besarnya hasil *MRR* pada setiap level untuk setiap parameter dibandingkan dengan nilai rata-rata yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 di bawah ini:



Gambar 4.3 Grafik *mean* terhadap *MRR* dari tiap parameter dan level

4.2.2. Perhitungan Level Means Terhadap Respon

Perhitungan kombinasi level parameter respons *MRR* dapat dilakukan dengan menggunakan hasil uji *MRR*. Hasil perhitungan rata-rata untuk setiap koefisien adalah Koefisien A, Koefisien B, dan Koefisien C. Contoh dan hasil perhitungan rata-rata setiap koefisien dapat dilihat pada perhitungan berikut: Contoh Perhitungan Rata-Rata untuk Faktor A (RPM) pada Level 1 memiliki nilai sebagai berikut:

$$\bar{\eta} V = \frac{2.267 + 5.423 + 7.720}{3}$$

$$\bar{\eta} V = 5.136$$

Perhitungan rata – rata untuk faktor A

$$A1 = 1/3 (2.267 + 5.423 + 7.720) = 5.136$$

$$A2 = 1/3 (2.737 + 5.787 + 1.583) = 3.369$$

$$A3 = 1/3 (6.607 + 2.343 + 3.483) = 4.144$$

Perhitungan rata – rata untuk faktor B

$$B1 = 1/3 (2.267 + 2.737 + 6.607) = 3,870$$

$$B2 = 1/3 (5.423 + 5.787 + 2.343) = 4.517$$

$$B3 = 1/3 (7.720 + 1.583 + 3.483) = 4.262$$

Perhitungan rata – rata untuk faktor C

$$C1 = 1/3 (2.267 + 1.583 + 2.343) = 2.064$$

$$C2 = 1/3 (5.423 + 2.737 + 3.483) = 3.881$$

$$C3 = 1/3 (7.720 + 5.787 + 6.607) = 6.704$$

4.2.3. Analisis Varian Rata-rata/*Means*

Untuk menentukan faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi nilai rata-rata, analisis perbedaan juga dapat dilakukan. Demikian pula, faktor-faktor yang mempengaruhi nilai-nilai *MRR* dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

General Linear Model: *Mean* versus kecepatan putaran ; Kecepatan pemakanan ; kedalaman pemotongan

Tabel 4.7 Hasil *Anova*

Factor	Type	Levels	Values
Kecepatan putaran	Fixed	3	3184;3343;3503
Kecepatan pemakanan	Fixed	3	100;105;110
Kedalaman pemotongan	Fixed	3	0.2;0,4;0,6

Source	D F	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F- Value	P- Value
Kecepatan putaran	2	4.712	12.12%	4.712	2.3560	6.90	0.050
Kedalaman pemotongan	2	32.799	84.37%	32.799	16.3993	48.06	0.002
Error	4	1.365	3.51%	1.365	0.3412		
Total	8	38.8755	100.00%				

Sumber: Hasil Perhitungan *Software Statistic*

Berdasarkan Tabel 4.7 Hasil *Anova* didapatkan keputusan uji hipotesis dengan distribusi *F-value* dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.8 Keputusan uji

Komparasi Terhadap Respon	F- Value	F-tabel (0,05;2;6)	Keputusan Uji
Kecepatan putaran	6.90	5.14	Ditolak
Kedalaman pemotongan	48.06	5.14	Ditolak

Sumber: Hasil Perhitungan

Kesimpulan:

Karena nilai *F-value* Kecepatan putaran dan Kedalaman pemotongan lebih besar dari *F-tabel* maka *H₀* ditolak, artinya parameter Kecepatan putaran dan Kedalaman pemotongan berpengaruh signifikan terhadap *MRR*.

4.2.4. Persen Kontribusi Rasio S/N

Perhitungan *SS'* dapat dilihat sebagai berikut untuk mengetahui jumlah kontribusi yang diberikan oleh masing-masing parameter.:

$$\begin{aligned}
 SS'_A &= SS'_A - MS_e (V_A) \\
 &= 4.712 - 0.3412 \\
 &= 4.3708
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS'_B &= SS'_B - MS_e (V_B) \\
 &= 32.799 - 0.3412 \\
 &= 32.4578
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_e &= SS'_T - SS'_A - SS'_B \\
 &= 37.511 - 4.3708 - 32.4578 \\
 &= 0.6824
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, rumus berikut digunakan untuk menghitung persen kontribusi masing-masing faktor :

$$\rho = \frac{SS'_{Faktor}}{SS'_T} \times 100 \%$$

$$\rho^A = \frac{4.3708}{37.511} \times 100 \% = 11.65\%$$

$$\rho^B = \frac{32.4578}{37.511} \times 100 \% = 86.53 \%$$

$$\rho^e = \frac{0.3412}{37.511} \times 100 \% = 0.91 \%$$

Hasil perhitungan dari persen kontribusi terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Nilai Persen Kontribusi *Mean*

<i>Source</i>	V	SS	MS	SS¹	P %
Kecepatan putaran	2	4.712	2.3560	4.712	11.65 %
Kedalaman pemotongan	2	32.799	16.3993	32.799	86.53 %
<i>Residual Error</i>	4	1.365	0.3412	1.365	0.91 %
Total	8	38.8755			100 %

Dari Tabel 4.9 perhitungan persen kontribusi parameter diatas menunjukkan bahwa faktor kedalaman pemotongan memiliki kontribusi yang paling besar terhadap nilai *MRR* dibandingkan dengan parameter RPM dan Kecepatan pemakanan yaitu sebesar 86,53 %.

4.3. Perhitungan Rasio S/N Dari Respon

Metode untuk mengubah data berulang menjadi ukuran varians disebut rasio signal-to-noise. Rasio ini bergantung pada jenis karakteristik kualitas dari setiap jawaban. Tujuan peningkatan kualitas properti adalah untuk memaksimalkan variasi *MRR* benda kerja. Diharapkan kualitas pembongkaran benda kerja sangat baik. Karakteristik *MRR* menunjukkan bahwa semakin tinggi laju pelepasan benda kerja, semakin baik. Rumus berikut menunjukkan hasil perhitungan untuk menghitung nilai rasio S/N.:

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{1}{y^2}$$

Keterangan :

Y_i = nilai *MRR*

n = jumlah replikasi (pengulangan)

Eksperimen 1

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{3.41^2} + \frac{1}{1.25^2} + \frac{1}{2.14^2} \right] \right] = 5.019$$

Eksperimen 2

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{4.22^2} + \frac{1}{5.45^2} + \frac{1}{6.60^2} \right] \right] = 14.248$$

Eksperimen 3

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{7.36^2} + \frac{1}{8.28^2} + \frac{1}{7.52^2} \right] \right] = 17.718$$

Eksperimen 4

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{3.36^2} + \frac{1}{1.98^2} + \frac{1}{2.87^2} \right] \right] = 8.096$$

Eksperimen 5

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{6.30^2} + \frac{1}{5.47^2} + \frac{1}{5.59^2} \right] \right] = 15.199$$

Eksperimen 6

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{1.85^2} + \frac{1}{1.10^2} + \frac{1}{1.80^2} \right] \right] = 3.226$$

Eksperimen 7

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{6.38^2} + \frac{1}{7.81^2} + \frac{1}{5.63^2} \right] \right] = 16.167$$

Eksperimen 8

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{2.18^2} + \frac{1}{2.13^2} + \frac{1}{2.72^2} \right] \right] = 7.243$$

Eksperimen 9

$$S / N \text{ Rasio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{3.49^2} + \frac{1}{3.19^2} + \frac{1}{3.77^2} \right] \right] = 10.779$$

Tabel 4.10 berikut menunjukkan hasil perhitungan rasio S/N sebelumnya, yang menunjukkan hasil respon *MRR* benda kerja dengan karakteristik kualitas yang lebih besar semakin baik (*Large is better*):

Tabel 4.10 Rasio S/N untuk respon *MRR*

No	Parameter			Data Awal	Nilai <i>MRR</i>			S/N
	Kecepatan putaran (RPM)	Kecepatan pemakanan (mm/min)	Kedalaman pemotongan (mm)		1	2	3	
1	3184	100	0.2	2.41	3.41	1.25	2.14	5.022
2	3184	105	0.4	4.47	4.22	5.45	6.60	14.247
3	3184	110	0.6	5.61	7.36	8.28	7.52	17.722
4	3343	100	0.4	1.93	3.36	1.98	2.87	8.110
5	3343	105	0.6	5.94	6.30	5.47	5.59	15.197
6	3343	110	0.2	1.16	1.85	1.10	1.80	3.218
7	3503	100	0.6	6.36	6.38	7.81	5.63	16.162
8	3503	105	0.2	1.19	2.18	2.13	2.72	7.239
9	3503	110	0.4	1.97	3.49	3.19	3.77	10.781

Dari Tabel 4.10 dapat mencari nilai dari rasio S/N pada tiap parameter dan dapat diperoleh hasil perhitungan respon dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut :

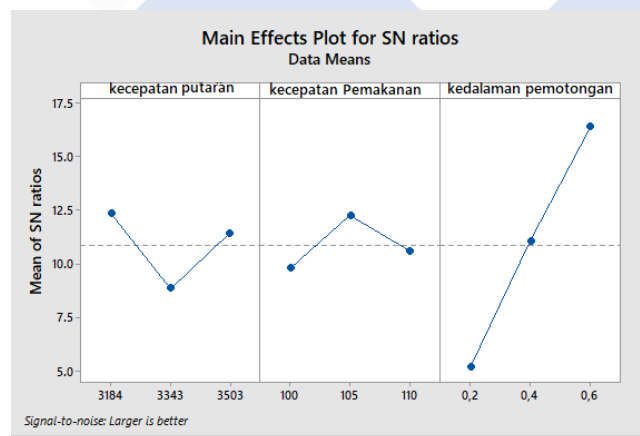
Tabel 4.11 Respon Rasio S/N Parameter Terhadap *Mean*

Level	Kecepatan putaran	Kecepatan pemakanan	Kedalaman pemotongan
1	5.138	3.87	2.064
2	3.37	4.517	3.883
3	4.143	4.264	6.704
Delta	1.768	0.647	4.64
Rank	2	3	1

Sumber: Hasil Perhitungan *Software Analysis*

Dari Tabel 4.11, terlihat bahwa nilai rasio signal-to-noise yang diperoleh pada setiap tingkat parameter menentukan peringkat parameter yang memiliki pengaruh terbesar terhadap laju penghilangan material. Urutan parameter yang memiliki dampak terbesar terhadap *MRR* adalah kedalaman pemotongan dengan selisih 4.64, kecepatan putaran dengan selisih 1.768, dan Kecepatan pemakanan dengan selisih 0.647.

Berdasarkan Tabel 4.11 dibuat grafik yang menunjukkan *MRR* maksimum pada setiap level untuk setiap parameter dibandingkan dengan nilai rata-rata yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Respon Rasio S/N Untuk Masing-masing dari level tiap parameter

Menurut Gambar 4.4, kita dapat menentukan plot dari nilai respon rasio signal-to-noise terhadap *MRR* pada setiap tingkat parameter proses dan memprediksi kombinasi parameter proses yang akan menghasilkan respon minimum. Kombinasi parameter proses untuk respon minimum ditampilkan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Respon S/N Parameter Terhadap Hasil dari *MRR*

Faktor	Tingkat Level	Nilai Level
Kecepatan putaran	3	3184
Kecepatan pemakanan	3	105
Kedalaman pemotongan	3	0.6

4.3.1. Perhitungan Level Nilai S/N Rasio Terhadap Respon

Perhitungan level rasio nilai S/N terhadap respon *MRR* dilakukan berdasarkan level masing-masing faktor:

Perhitungan rata – rata untuk faktor A

$$A1 = 1/3 (5.022 + 14.247 + 17.722) = 12.330$$

$$A2 = 1/3 (8.110 + 15.197 + 3.218) = 8.841$$

$$A3 = 1/3 (16.162 + 7.239 + 10.781) = 11.394$$

Perhitungan rata – rata untuk faktor B

$$B1 = 1/3 (5.022 + 8.110 + 16.162) = 9.764$$

$$B2 = 1/3 (14.247 + 15.197 + 7.239) = 12.227$$

$$B3 = 1/3 (17.722 + 3.218 + 10.781) = 10.573$$

Perhitungan rata – rata untuk faktor C

$$C1 = 1/3 (5.022 + 3.218 + 7.239) = 5.159$$

$$C2 = 1/3 (14.247 + 8.110 + 10.781) = 11.046$$

$$C3 = 1/3 (17.722 + 15.197 + 16.162) = 16.360$$

4.3.2. Analisis Variasi Rasio S/N

Analisis varians dapat digunakan untuk mengidentifikasi elemen-elemen yang secara signifikan mempengaruhi nilai rasio S/N, serta menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai rata-rata *MRR*. Analisis variasi yang mempengaruhi setiap parameter *MRR* disajikan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Anova

<i>Factor</i>	<i>Type</i>	<i>Levels</i>	<i>Values</i>
Kecepatan putaran	Fixed	3	3184;3343;3503
Kecepatan pemakanan	Fixed	3	100;105;110
Kedalaman pemotongan	Fixed	3	0.2;0.4;0.6

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Seq SS</i>	<i>Contribution</i>	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F-Value</i>	<i>P-Value</i>
Kecepatan putaran	2	19.561	8.95%	19.561	9.7807	15.31	0.061
Kecepatan pemakanan	2	9.456	4.33%	9.456	4.7282	7.40	0.119
Kedalaman pemotongan	2	188.348	86.14%	188.348	94.1742	147.38	0.007
<i>Error</i>	2	1.278	0.58%	1.278	0.6390		
Total	8	218.644	100.00%				

Tabel 4.14 Keputusan Uji

Komparasi Terhadap Respon	<i>F-Value</i>	<i>F-tabel</i> (0,05;2;6)	Keputusan Uji
Kecepatan putaran	15.31	5.14	Ditolak
Kecepatan pemakanan	7.40	5.14	Ditolak
Kedalaman pemotongan	147.38	5.14	Ditolak

Kesimpulan:

Karena nilai F_{value} Kecepatan putaran, kecepatan pemakanan dan Kedalaman pemotongan lebih besar dari nilai F_{tabel} maka H_0 ditolak, maka H_0 diterima artinya ketiga parameter tersebut berpengaruh signifikan terhadap MRR .

4.3.3. Persen Kontribusi Rasio S/N

Perhitungan SS' dapat ditunjukkan sebagai berikut untuk mengetahui nilai kontribusi masing-masing parameter:

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS'_A - MS_e(V_A) \\ &= 19.561 - 0.6390 \\ &= 18.922 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS'_A - MS_e(V_A) \\ &= 9.456 - 0.6390 \\ &= 8.817 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_C &= SS'_A - MS_e(V_A) \\ &= 188.348 - 0.6390 \\ &= 187.709 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_e &= SS'_T - SS'_A - SS'_B - SS'_C \\ &= 217.365 - 18.922 - 8.817 - 187.709 \\ &= 1.917 \end{aligned}$$

Selanjutnya, rumus berikut digunakan untuk menghitung persen kontribusi masing-masing faktor:

$$\rho = 1 + \frac{SS'_{Faktor}}{SS'_T} \times 100 \%$$

$$\rho^A = 1 + \frac{18.922}{217.365} \times 100 \% = 8.70 \%$$

$$\rho^B = 1 + \frac{8.817}{217.365} \times 100 \% = 4.06 \%$$

$$\rho^C = 1 + \frac{187.709}{217.365} \times 100 \% = 86,36 \%$$

$$\rho^e = 1 + \frac{1.917}{217.365} \times 100 \% = 0.88 \%$$

Hasil dari perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut:

Tabel 4.15 Persen Kontribusi Rasio S/N

<i>Source</i>	<i>V</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>SS</i> ¹	<i>P %</i>
A	2	19.561	9.7807	19.561	8.70 %
B	2	9.456	4.7282	9.456	4.06%
C	2	188.348	94.1742	188.348	86,36 %
Error	2	1.278	0.6390	1.278	0.88 %
Total	8	218.644			100 %

Dari tabel 4.15 Perhitungan persen kontribusi Rasio S/N untuk parameter di atas menunjukkan bahwa faktor kedalaman pemotongan memberikan kontribusi terbesar terhadap nilai *MRR*, sebesar 86,36 persen dibandingkan dengan parameter kecepatan putaran dan kecepatan pemakanan.

4.4. Uji Normalitas

Hipotesis uji kenormalan data:

H_0 : data berdistribusi normal (maka H_0 diterima)

H_1 : data tidak berdistribusi normal (maka H_0 ditolak)

Kriteria penolakan adalah :

Tolak H_0 : $P\text{-value} > F\text{-tabel } \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$

Terima H_1 : $P\text{-value} < F\text{-tabel } \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$

Kesimpulan :

Tabel 4.16 Hasil uji normalitas

Respon	<i>p-Value</i>	Kondisi	Data
Replikasi 1	0.248	Gagal Ditolak	Berdistribusi Normal
Replikasi 2	0.219	Gagal Ditolak	Berdistribusi Normal
Replikasi 3	0.363	Gagal Ditolak	Berdistribusi Normal

Dari Tabel 4.16 kriteria penolakan hasil uji normalitas untuk respon replikasi 1, replikasi 2, dan replikasi 3 dengan nilai *P-value* pada tiap-tiap variabel

proses < F-tabel sebesar = 0,05. Maka dapat disimpulkan bahwa ketiga data tersebut berdistribusi normal.

4.5. Uji Dua Variansi (Homogenitas)

Hipotesi uji dua variansi adalah :

$H_0 : \sigma^2 = \sigma^2_{22}$ maka Tolak H_0 (Homogen)

$H_1 : \sigma^2 \neq \sigma^2_{22}$ maka Terima H_0 (Tidak Homogen)

Kriteria penolakan adalah :

Tolak $H_0 : P\text{-value} > F\text{-tabel } \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$

Terima $H_1 : P\text{-value} < F\text{-tabel } \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$

Kesimpulan :

Tabel 4.17 Hasil uji dua varian

Respon	<i>p-Value</i>	Kondisi H_0	Data
<i>MRR</i>	0.518	Ditolak	Homogen

Tabel 4.17 menunjukkan hasil uji dua varian untuk respon *MRR* ketiga replikasi berdasarkan kriteria penolakan. Jika $P\text{-value} < F\text{-tabel}$, maka variansi sama atau homogen dengan kondisi H_0 .

4.6. Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapatkan, maka dapat disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap rata-rata *MRR* maksimum adalah kecepatan putaran 3.184 rpm, Kecepatan pemakanan 105 mm/min dan kedalaman pemakan 0.6 mm.

4.7. Analisa

Berdasarkan nilai F tabel sebesar 5.14 dan f_{hitung} dari masing variabel proses yang memiliki nilai tertinggi adalah kedalaman pemotongan dengan nilai 48.06 dengan keputusan uji yaitu ditolak yang mengartikan variabel kedalaman berpengaruh signifikan terhadap *MRR* dibandingkan dengan nilai F hitung pada variabel proses lainnya.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Melalui penerapan parameter pemesinan yang telah dioptimalkan dan berdasarkan analisis yang dilakukan, penelitian yang berjudul “Optimalisasi Parameter pada Mesin *CNC Milling* terhadap *MRR* untuk Membuat Cetakan Kampas Rem Depan” menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

Kontribusi variabel proses terhadap variansi respon *MRR* benda kerja yaitu Kedalaman pemotongan memiliki nilai persen kontribusi paling besar yaitu 86.14%, dan diikuti oleh kecepatan putaran dengan kontribusi sebesar 8.95% serta persen kontribusi terkecil yaitu kecepatan pemakanan sebesar 4.33%.

Pengaturan kombinasi level variabel-variabel proses pada Mesin *CNC Milling Lagun MC 750* yang tepat untuk mengoptimalkan respon *MRR* benda kerja yang optimal adalah sebagai berikut:

- a. Kecepatan putaran diatur sebesar 3184 rpm
- b. Kecepatan pemakanan 105 mm/min
- c. Kedalaman pemotongan 0.6 mm

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menerapkan metode optimasi *Taguchi*, dan pada studi berikutnya, dapat dieksplorasi dengan menggunakan metode yang berbeda.
2. Untuk memahami dampak dari analisis *Anova*, kedalaman pemotongan dapat ditingkatkan ke level yang lebih tinggi dibandingkan dengan level dalam penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Al, A. F. B. (2017). Pengaruh variasi kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman potong pada mesin bubut terhadap tingkat keausan pahat HSS. *Artikel Skripsi Universitas Nusantara PGRI Kediri*.
- Arfendi, A. (2021). Optimasi *material removal rate (MRR)* baja st 42 pada proses CNC turning dengan menggunakan metode *taguchi* (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- Equbal, A., Equbal, M. A., Equbal, M. I., Ravindrannair, P., Khan, Z. A., Badruddin, I. A., ... & Kittur, M. I. (2022). *Evaluating CNC milling performance for machining AISI 316 stainless steel with carbide cutting tool insert*. *Materials*, 15(22), 8051.
- Erick, W. (2021). *Analisis Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Laju Pengerjaan Material Pada Proses Pembubutan Baja AISI 1045* (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- Handoko, H., & Mudjijana, M. (2012). Pengaruh Feed Rate Terhadap Surface Roughness dan *Material Removal Rate* pada Operasi Bubut Bahan Austempered Ductile Iron. In *Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke* (Vol. 18, pp. 47-53).
- Hermana, R., Setyoadi, Y., & Aza, M. F. (2022). Kaji Eksprimental Pembandingan Ketelitian Mesin CNC Milling Dengan Kontrol SMC Dan Mesin CNC Milling Dengan Kontrol ESP32 Wifi. *Majalah Ilmiah Gema Maritim*, vol, 24, 105-113.
- Ival, I., Kurniawan, Z., & Erwanto, E. (2021, August). Analisis *Material Removal Rate* Pada Proses CNC Milling Terhadap Material Aisi 1045. In *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan* (Vol. 1, pp. 273-279).
- Jufrizaldy, M., Ilyas, I., & Marzuki, M. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Milling Menggunakan System Kontrol Grbl Untuk Pembuatan Layout Pcb. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(1), 37-44.
- Miftah, N. A., Atmaja, D. S. E., & Oktafiani, A. (2023). Optimasi Nilai Surface Roughness dan *Material Removal Rate* Pemesinan Milling Hauw Gan ZX 7550Z Menggunakan Metode *Taguchi* dan Grey Relational Analysis. *eProceedings of Engineering*, 10(3).
- Mukherjee, S., Kamal, A., & Kumar, K. (2014). *Optimization of material removal rate during turning of SAE 1020 material in CNC lathe using Taguchi technique*. *Procedia Engineering*, 97, 29-35.

- Mukholladun, W. (2016). Optimalisasi Laju Pembuangan Material Aisi 1045 Pada Bubut Dengan Variasi Laju Pemakanan Dan Kedalaman Potong.
- Noviana, A. (2024). Optimasi Parameter Pemesinan Menggunakan Metode *Taguchi* Untuk Nilai Kekasaran Permukaan Dan Laju Penghilangan Material Pada Proses Bubut Material Brass 36000 (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana Jakarta).
- Nugroho, G. S., Sutrisno, S., & Darmanto, S. (2023). Analisa Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Baja S50C. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, 9(1), 62-69.
- Prakoso, I. (2014). Analisa Pengaruh Kecepatan Feeding Terhadap Kekasaran Permukaan Draw Bar Mesin *Milling* Aciera Dengan Proses CNC Turning. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 3(3), 1-6.
- Pratama, C., & Susanti, N. A. (2022). Pengaruh Umur Pahat Terhadap Laju Pembuangan Material Baja St 70 Pada Bubut CNC Dengan Program Absolut Menggunakan Metode *Taguchi*. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(03), 47-54.
- Saputra, A. (2024). Penerapan Teknik CNC dalam Proses Manufaktur. *Tugas Mahasiswa Program Studi Mesin*, 1(1).
- Satyanarayana, K., Kumar, V. T., Rathod, R., Shafi, M. D., Chary, S., Alkhayyat, A., & Khanduja, M. (2023). Optimization Of Machining Parameters of CNC *Milling* Operation for *Material Removal Rate* and *Surface Roughness* on En-24 Steel Using *Taguchi* Method. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 391, p. 01011). EDP Sciences.
- Septiaji, P. (2016). Analisa Pehitungan *MRR*, Overcut, Dan Ketirusan Pada Stainless Steel 304 Dan Aluminium 1100 Dengan Pengaruh Variasi Tegangan Dan Gap Pada Proses Electro-Chemical Machining (ECM) Menggunakan Elektroda Terisolasi. *Jurnal. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*.
- Shagwira, H., Wambua, J., Mwema, F. M., Akinlabi, E., & Jen, T. C. (2022). Investigation into the effects of *Milling* input parameters on the *material removal rate* and surface roughness of polypropylene+ 80 wt.% quarry dust composite during machining. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 8(sup4), 2410-2424.
- Sidi, P., & Wahyudi, M. T. (2013). Aplikasi metoda *taguchi* untuk mengetahui optimasi kebulatan pada proses bubut CNC. *Rekayasa Mesin*, 4(2), 101-108.
- Sihombing, J. D. P., Napitupulu, R., & Sateria, A. (2022, February). Analisis *Material Removal Rate (Mrr)* Baja Skd 11 Pada Proses Cnc Turning Dengan

Menggunakan Metode *Taguchi*. In *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan* (Vol. 2, No. 01, pp. 491-497).

Wambua, J. M., Mwema, F. M., Tanya, B., & Jen, T. C. (2022). *CNC Milling of Medical-Grade PMMA: Optimization of Material Removal Rate and Surface Roughness*. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering (IJMMME)*, 12(1), 1-15.

Widhiantoro, D. (2017). Pengaruh Spindle Speed dan Feed Rate terhadap Kekasaran Permukaan AL 6061 Melalui Proses *CNC Milling* sinumeric Type 802S. *Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang*.

Zainuddin, Z. Analisis Tingkat Kekasaran Permukaan Pada Hasil Pemesinan Mesin *Milling* Dengan Variasi Tinggi Pencekaman Benda Kerja Dan Tinggi Pemasangan *Endmill Cutter*. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 20(2), 17-24.



Lampiran 1

Daftar Riwayat Hidup



Informasi Pribadi

Nama : Afgi Finofal
NPM : 1042134
Tempat Tanggal Lahir : Kelapa, 15 november 2003
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Prodi/Jurusan/Kelas : D-IV/Teknik Mesin dan Manufaktur/3 TMMB
Alamat : Jl Raya Kelapa, RT/06 RW/03 Kecamatan Kelapa
Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka
Belitung

Nama Orang Tua

Ayah : Hendra
Ibu : Nurvinadia
Nomor Hp : 085783514782
Email : afgifinofal@gmail.com
Golongan Darah : B

Riwayat Pendidikan

SD Negeri 1 Kelapa (2009-2015)
SMP Negeri 1 Kelapa (2015-2018)
SMK Negeri 1 Kelapa (2018-2021)

Lampiran 2

Data Hasil Timbangan Berat Awal (Gram) Benda Kerja

No	1	2	3	Rata-Rata
A1	99.26	99.27	99.26	99.26
A2	99.05	99.06	99.05	99.05
A3	90.13	90.13	90.14	90.13
A4	98.9	98.89	98.89	98.89
A5	100.42	100.42	100.43	100.42
A6	96.99	96.99	97	96.99
A7	101.6	101.61	101.6	101.60
A8	100.4	100.41	100.4	100.40
A9	100.11	100.12	100.11	100.11

No	1	2	3	Rata-Rata
B1	100.14	100.13	100.13	100.13
B2	99,11	99,10	99,10	100.10
B3	101.11	101.12	101.11	101.11
B4	101.04	101.03	101.03	101.03
B5	103.37	103.36	103.36	103.36
B6	98.84	98.84	98.85	98.84
B7	100.84	100.83	100.83	100.83
B8	97.38	97.39	97.38	97.38
B9	100.98	100.98	100.99	100.98

No	1	2	3	Rata-Rata
C1	100.75	100.74	100.74	100.74
C2	100.21	100.21	100.22	100.21
C3	98.01	98.01	98.02	98.013
C4	101.43	101.42	101.42	101.42
C5	100.4	100.41	100.4	100.40
C6	100.99	100.98	100.98	100.98
C7	100.52	100.53	100.52	100.52
C8	97.03	97.04	97.03	97.033
C9	100.29	100.29	100.3	100.29

No	1	2	3	Rata-Rata
D1	101.86	101.85	101.86	101.85
D2	100.08	100.09	100.08	100.08
D3	102.09	102.09	102.1	102.09
D4	103.04	103.03	103.03	103.03
D5	99.75	99.76	99.75	99.75
D6	99.75	99.74	99.74	99.74
D7	100.81	100.82	100.81	100.81
D8	99	99	99.01	99.00
D9	100.3	100.3	100.31	100.30

Lampiran 3

Data Hasil Timbangan Berat Akhir (Gram) Benda Kerja

No	1	2	3	Rata-Rata
A1	98.53	98.54	98.53	98.53
A2	97.87	97.88	97.87	97.87
A3	88.72	88.72	88.73	88.72
A4	98.36	98.37	98.36	98.36
A5	98.85	98.85	98.86	98.85
A6	96.71	96.7	96.7	96.70
A7	99.83	99.82	99.82	99.82
A8	100.1	100.09	100.09	100.09
A9	99.56	99.56	99.57	99.56

No	1	2	3	Rata-Rata
B1	99.11	99.2	99.2	99.17
B2	97.98	97.99	97.98	97.98
B3	99.25	99.25	99.26	99.25
B4	100.11	100.12	100.11	100.11
B5	101.84	101.85	101.84	101.84
B6	98.42	98.42	98.43	98.42
B7	99.22	99.23	99.22	99.22
B8	96.85	96.84	96.84	96.84
B9	100.16	100.17	100.16	100.16

No	1	2	3	Rata-Rata
C1	100.41	100.4	100.4	100.40
C2	98.76	98.76	98.77	98.763
C3	95.9	95.91	95.9	95.90
C4	100.88	100.89	100.88	100.88
C5	99.04	99.04	99.05	99.04
C6	100.73	100.74	100.73	100.73
C7	98.52	98.53	98.52	98.52
C8	96.52	96.5	96.5	96.50
C9	99.54	99.54	99.55	99.54

No	1	2	3	Rata-Rata
D1	101.27	101.28	101.27	101.27
D2	98.34	98.33	98.33	98.33
D3	100.17	100.18	100.17	100.17
D4	102.25	102.26	102.25	102.25
D5	98.38	98.37	98.37	98.37
D6	99.31	99.31	99.32	99.31
D7	100.37	100.37	100.38	100.37
D8	98.32	98.32	98.33	98.32
D9	99.62	99.63	99.62	99.62

Lampiran 4

Data Hasil Proses Pengambilan Waktu Pengerjaan

No	Kecepatann spindle (rpm)	Kecepatan Pemakanan (mm/min)	kedalaman pemtongan (mm)	waktu
1	3.184	100	0.2	34.56
2	3.184	100	0.2	34.72
3	3.184	100	0.2	34.62
4	3.184	100	0.2	34.27
5	3.184	105	0.4	33.61
6	3.184	105	0.4	33.82
7	3.184	105	0.4	33.88
8	3.184	105	0.4	33.79
9	3.184	110	0.6	32.01
10	3.184	110	0.6	32.18
11	3.184	110	0.6	32.45
12	3.184	110	0.6	32.51
13	3.343	100	0.4	34.96
14	3.343	100	0.4	34.83
15	3.343	100	0.4	34.67
16	3.343	100	0.4	34.59
17	3.343	105	0.6	31.66
18	3.343	105	0.6	31.55
19	3.343	105	0.6	31.7
20	3.343	105	0.6	31.43
21	3.343	110	0.2	29.54
22	3.343	110	0.2	29.71
23	3.343	110	0.2	29
24	3.343	110	0.2	29.43
25	3.503	100	0.6	32.63
26	3.503	100	0.6	32.15
27	3.503	100	0.6	32.64
28	3.503	100	0.6	32.61
29	3.503	105	0.2	31.22
30	3.503	105	0.2	31.59
31	3.503	105	0.2	31.7
32	3.503	105	0.2	31.85
33	3.503	110	0.4	29.52
34	3.503	110	0.4	29.94
35	3.503	110	0.4	29.95
36	3.503	110	0.4	29.7

Lampiran 5

Data Hasil Pertimbangan *MRR*

No	Berat awal	Berat Akhir	Rata Rata
1	99.26	98.53	98.895
2	100.13	99.2	99.665
3	100.74	100.4	100.57
4	101.86	101.27	101.565
5	99.05	97.87	98.46
6	99,10	97.98	97.98
7	100.21	98.76	99.485
8	100.08	98.33	99.205
9	90.13	88.72	89.425
10	101.11	99.25	100.18
11	98.01	95.9	96.955
12	102.09	100.17	101.13
13	98.89	98.36	98.625
14	101.03	100.11	100.57
15	101.42	100.88	101.15
16	103.03	102.25	102.64
17	100.42	98.85	99.635
18	103.36	101.84	102.6
19	100.4	99.04	99.72
20	99.75	98.37	99.06
21	96.99	96.7	96.845
22	98.84	98.42	98.63
23	100.98	100.73	100.855
24	99.74	99.31	99.525
25	101.6	99.82	100.71
26	100.83	99.22	100.025
27	100.52	98.52	99.52
28	100.81	100.37	100.59
29	100.4	100.09	100.245
30	97.38	96.84	97.11
31	97.03	96.5	96.765
32	99	98.32	98.66
33	100.11	99.56	99.835
34	100.98	100.16	100.57
35	100.29	99.54	99.915
36	100.3	99.62	99.96

Lampiran 6

Data hasil perhitungan *MRR*

no	berat awal (gram)	berat akhir (gram)	selisih	Volume (mm ³)	waktu (s)	<i>MRR</i> (mm ³ /s)
A1	99.26	98.53	0.73	92.99	38.56	2.41
A2	99.05	97.87	1.18	150.32	33.61	4.47
A3	90.13	88.72	1.41	179.62	32.01	5.61
A4	98.89	98.36	0.53	67.52	34.96	1.93
A5	100.42	98.85	1.57	200.00	33.66	5.94
A6	96.99	96.7	0.29	36.94	31.94	1.16
A7	101.6	99.82	1.78	226.75	35.63	6.36
A8	100.4	100.09	0.31	39.49	33.22	1.19
A9	100.11	99.56	0.55	70.06	35.52	1.97

no	berat awal (gram)	berat akhir (gram)	selisih	Volume (mm ³)	waktu (s)	<i>MRR</i> (mm ³ /s)
B1	100.13	99.2	0.93	118.4713	34.72	3.41
B2	99.10	97.98	1.12	142.6752	33.82	4.22
B3	101.11	99.25	1.86	236.9427	32.18	7.36
B4	101.03	100.11	0.92	117.1975	34.83	3.36
B5	103.36	101.84	1.56	198.7261	31.55	6.30
B6	98.84	98.42	0.42	53.50318	28.91	1.85
B7	100.83	99.22	1.61	205.0955	32.15	6.38
B8	97.38	96.84	0.54	68.78981	31.59	2.18
B9	100.98	100.16	0.82	104.4586	29.94	3.49

no	berat awal (gram)	berat akhir (gram)	selisih	Volume (mm ³)	waktu (s)	<i>MRR</i> (mm ³ /s)
C1	100.74	100.4	0.34	43.3121	34.62	1.25
C2	100.21	98.76	1.45	184.7134	33.88	5.45
C3	98.01	95.9	2.11	268.7898	32.45	8.28
C4	101.42	100.88	0.54	68.78981	34.67	1.98
C5	100.4	99.04	1.36	173.2484	31.7	5.47
C6	100.98	100.73	0.25	31.84713	29	1.10
C7	100.52	98.52	2	254.7771	32.64	7.81
C8	97.03	96.5	0.53	67.51592	31.7	2.13
C9	100.29	99.54	0.75	95.5414	29.95	3.19

