

**ANALISIS PENGARUH PARAMETER PEMESINAN CNC
BUBUT TERHADAP MRR DAN KEKASARAN PERMUKAAN
PADA MATERIAL ST 37 MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI
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:
Nova Rifqhi Syahputra NIM: 1042222

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PARAMETER PEMESINAN CNC BUBUT TERHADAP MRR DAN KEKASARAN PERMUKAAN PADA MATERIAL ST 37 MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Oleh:

Nova Rifqhi Syahputra / 1042222

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



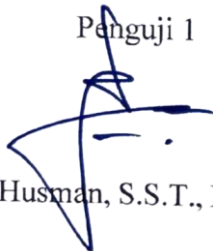
(Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng.)

Pembimbing 2



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

Penguji 1



(Husman, S.S.T., M.T.)

Penguji 2



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

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Nama di bawah ini menyatakan dan menandatangani dokumen ini:

Nama Mahasiswa : Nova Rifqhi Syahputra NIM: 1042222

Mengangkat Judul : ANALISIS PENGARUH PARAMETER PEMESINAN
CNC BUBUT TERHADAP MRR DAN KEKASARAN
PERMUKAAN PADA MATERIAL ST 37
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI

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

Tanda Tangan

Nama Mahasiswa

1. Nova Rifqhi Syahputra

ABSTRAK

Dalam industri manufaktur modern, efisiensi proses dan kualitas permukaan menjadi aspek penting dalam mendukung produktivitas. Pengaturan parameter pemesinan secara optimal pada proses bubut CNC diperlukan guna mencapai hasil yang presisi dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan putaran spindel, gerak pemakanan (feeding), dan kedalaman potong terhadap Material Removal Rate (MRR) dan kekasaran permukaan material ST 37. Metode Taguchi dengan orthogonal array L9 digunakan untuk merancang eksperimen. Pengujian dilakukan menggunakan dua jenis pahat insert carbide: DNMG 150608-MA dan CNMG 120408-MK. Data MRR diperoleh dari selisih massa benda kerja sebelum dan sesudah pembubutan, dibagi waktu pemotongan. Kekasaran permukaan diukur menggunakan Surface Roughness Tester dengan tiga kali pengukuran per spesimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter terbaik untuk pahat DNMG menghasilkan kekasaran permukaan sebesar $2,933 \mu\text{m}$ dan MRR sebesar $1.072,8 \text{ mm}^3/\text{s}$. Sedangkan pada pahat CNMG, nilai kekasaran permukaan terbaik adalah $2,933 \mu\text{m}$, dan MRR tertinggi mencapai $1.032,5 \text{ mm}^3/\text{s}$.

Kata kunci: CNC, ST37, MRR, Kekasaran_Permukaan, Taguchi

ABSTRACT

In modern manufacturing industries, process efficiency and surface quality are critical aspects in supporting productivity. Optimal setting of machining parameters in CNC turning is essential to achieve precise and efficient results. This study aims to analyze the influence of spindle speed, feed rate, and depth of cut on the Material Removal Rate (MRR) and surface roughness of ST 37 steel. The Taguchi method with an L9 orthogonal array was employed to design the experiments. Testing was conducted using two types of carbide insert tools: DNMG 150608-MA and CNMG 120408-MK. MRR data were obtained from the difference in specimen mass before and after turning, divided by the cutting time. Surface roughness was measured using a Surface Roughness Tester, with three repetitions for each specimen. The results showed that the optimal parameter combination using the DNMG insert produced a surface roughness of 2.933 μm and an MRR of 1,072.8 mm^3/s . Meanwhile, the CNMG insert also achieved the best surface roughness of 2.933 μm , with a maximum MRR of 1,032.5 mm^3/s .

Keywords: CNC, ST37, MRR, Surface_Roughness, Taguchi

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 “ANALISIS PENGARUH PARAMETER PEMESINAN CNC BUBUT TERHADAP MRR DAN KEKASARAN PERMUKAAN PADA MATERIAL ST 37 MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI” serta berhasil menyelesaikan Program Studi D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Selawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, serta para sahabat beliau, dan semoga seluruh umatnya senantiasa istiqamah dalam menjalankan ajaran-ajaran Islam. Aamiin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan Proyek Akhir ini masih memiliki berbagai kekurangan, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis. Namun demikian, atas izin dan rahmat Allah SWT serta bimbingan dari berbagai pihak, laporan ini akhirnya dapat diselesaikan. Penulis berharap karya ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi semua pihak yang berkepentingan bersama.

Berkaitan dengan hal tersebut, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Keluarga penulis yaitu Ibu Lisna Sari Ningrum selaku ibunda penulis dan Bapak Bambang Sukoco selaku ayahanda penulis, Mita Pratiwi selaku kakak penulis, serta seluruh keluarga yang dengan sepenuh hati selalu memberikan dukungan, doa, dan motivasi yang tak ternilai harganya.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. Selaku Direktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah banyak memberikan kemudahan dalam menyelesaikan pendidikan.
3. Bapak Yudi Oktriadi, S.Tr. M.Eng dan Yuli Dartha S.S.T., M.T yang telah berperan sebagai dosen pembimbing dengan memberikan pendampingan, petunjuk, dan masukan selama proses penulisan proyek akhir ini.

4. Para dosen dan tenaga pengajar di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah memberikan pendidikan, pembinaan, serta kontribusi dalam membentuk kedewasaan penulis secara intelektual dan sikap
5. Terimakasih kepada Bapak Ahmad Afriadi yang telah memberikan bantuan dalam pelaksanaan kegiatan pada mesin CNC.
6. Sahabat-sahabat yang selalu memberikan support dan motivasi kepada penulis.
7. Prabowo Agung Pribadi, Devrans Pasa, Martin, Toto Aiwa selaku rekan dan sahabat penulis yang selalu mendukung dan memberikan semangat serta membantu dalam penyusunan laporan proyek akhir ini.
8. Seluruh rekan-rekan dari kelas TMM A & TMM B angkatan 2022

Penulis menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi, dan memohon maaf apabila terdapat nama yang tidak disebutkan secara langsung. Penulis juga menyadari bahwa penulisan proyek akhir ini masih jauh dari kata sempurna dikarenakan penulis adalah manusia biasa yang tidak luput dari kesalahan. Karena yang benar hanya datang dari Allah SWT dan yang salah datang dari penulis sendiri. Oleh sebab itu, sangat diharapkan segala petunjuk, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar dapat menunjang pengembangan dan perbaikan penulis selanjutnya.

Penulis juga berharap laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak yang berkepentingan terkhusus bagi perkembangan ilmu teknologi pada umumnya,

Sungailiat, 3 Jan 2025

Tanda Tangan

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
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
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1. Mesin CNC.....	5
2.1.1. Mesin CNC Turning.....	5
2.1.2. Prinsip Kerja Mesin CNC <i>Turning Training Unit 2 Axis</i>	6
2.1.3. Pemrograman Mesin CNC Turning	8
2.1.3.1.Metode Pemrograman Mesin CNC	8
2.1.3.1.Bahasa Pemrograman Mesin CNC	9

2.1.4.	Parameter Mesin CNC Turning.....	11
2.2.	Pahat Carbide	11
2.2.1.	Material Pahat Carbide.....	13
2.3.	Karakteristik Baja ST 37	13
2.4.	<i>Material Removal Rate</i> (MRR)	14
2.5.	Kekasaran Permukaan	14
2.5.1.	Parameter-Parameter Kekasaran Permukaan	14
2.5.2.	Toleransi Harga Kekasaran Permukaan	16
2.6.	Variabel Proses	17
2.6.1.	Kecepatan Spindel.....	17
2.6.2.	Gerak Makan.....	18
2.6.3.	Kedalaman potong	18
2.7.	Metode <i>Taguchi</i>	18
2.7.1.	Uji Konfirmasi	24
2.7.2.	Uji Normalitas.....	24
2.7.3.	Uji Homogenitas	25
2.7.4.	Uji Rata-Rata.....	25
BAB III	METODE PELAKSANAAN.....	26
3.1.	Diagram Alir Penelitian (<i>Flowchart</i>)	26
3.2.	Identifikasi Masalah	27
3.2.1.	Studi literatur.....	27
3.3.	Menentukan Variabel.....	27
3.3.1.	Variabel Respon	27
3.3.2.	Variabel Proses	27
3.3.3.	Variabel Tetap.....	30

3.4.	Persiapan Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.4.1.	Alat Penelitian.....	30
3.4.2.	Bahan Penelitian.....	33
3.5.	Proses Pemesinan	34
3.6.	Pengambilan dan Uji Data.....	35
3.6.1.	Pengambilan Data Kekasaran Permukaan	35
3.6.2.	Pengambilan Data MRR	36
3.7.	Analisa Data Hasil Penelitian.....	37
3.8.	Hasil dan Kesimpulan	37
BAB IV	PEMBAHASAN.....	38
4.1.	Proses Pengambilan Data Percobaan.....	38
4.2.	Pengolahan Data hasil kekasaran permukaan	39
4.2.1.	Data kekasaran Pahat DNMG 150608-MA	39
4.2.2.	Perhitungan langsung rata-rata terhadap respon	40
4.2.3.	Data Hasil Kekasaran Pahat CNMG 120408-MK	41
4.2.4.	Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon	43
4.2.5.	Analisis Varian Rata – rata.....	48
4.2.6.	Kenormalan Data	52
4.3.	Pengolahan Data <i>Material Removal Rate</i>	54
4.3.1.	Data <i>Material Removal Rate</i> pahat DNMG150608-MA	55
4.3.2.	Data hasil <i>Material Removal Rate</i> pahat DNMG150608-MA.....	56
4.3.3.	Hasil perhitungan eksperimen terhadap respon MRR DNMG150608-MA.....	57
4.3.4.	Data <i>Material Removal Rate</i> Pahat CNMG120408-MK	58
4.3.5.	Data hasil material removal rate CNMG120408-MK.....	59

4.3.6. Hasil perhitungan eksperimen terhadap respon MRR CNMG120408-MK.....	60
4.3.7 Perhitungan langsung rata-rata terhadap respon	60
4.3.8 Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon	62
4.4. Analisa Varian Rata –Rata MRR.....	67
4.4.1. Analisis Varian Rata – Rata MRR Pahat DNMG 150608 – MA	67
4.4.2. Analisis Varian Rata –Rata MRR CNMG 120408 – MK	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Macam-macam Kode G Serta Kegunaanya	10
2. 2 Klasifikasi Alat Potong <i>Carbide</i>	12
2. 3 Harga Kekasaran Rata-rata Dengan Nilai Toleransi	16
2. 4 Contoh <i>Orthogonal Array</i> untuk L9	22
3. 1 Pahat DNMG 150608-MA	28
3. 2 Sampel Percobaan Pahat DNMG 150608-MA	28
3. 3 Pahat CNMG 120408-MK	29
3. 4 Sampel Percobaan Pahat CNMG 120408-MK	29
3. 5 Variabel Tetap	30
4. 1 Data Hasil Kekasaran Pahat DNMG 150608-MA	39
4. 2 Respon Parameter Terhadap <i>Mean</i>	40
4. 3 Data Hasil Kekasaran Pahat CNMG 120408-MK	41
4. 4 Respon Parameter Terhadap <i>Mean</i> (CNMG)	41
4. 5 Respon <i>Means</i> Parameter Terhadap Hasil Dari Kekaasaran Permukaan	43
4. 6 <i>Ratio S/N untuk Respon</i>	44
4. 7 Hasil Anova	44
4. 8 Respon Ratio S/N Parameter Terhadap <i>Smaller is Better</i>	44
4. 9 Rasio S/N Untuk Respon	46
4. 10 hasil Anova	46
4. 11 Respon Ratio S/N Parameter Terhadap <i>Smaller is Better</i>	46
4. 12 Respon S/N Parameter Terhadap Hasil Dari Kekasaran Permukaan	47
4. 13 Analisis ANOVA (DNMG)	50
4. 14 Analisis ANOVA CNMG	52
4. 15 Data Material MRR pahat DNMG150608-MA	55
4. 16 Data Hasil Material MRR pahat DNMG150608-MA	56

4. 17 Hasil Perhitungan Eksperimen Terhaap Respon MRR Pahat DNMG150608-MA	57
4. 18 Data Material MRR pahat CNMG120408-MK	58
4. 19 Data Hasil Material MRR CNMG120408-MK.....	59
4. 20 Hasil Perhitungan Eksperimen Terhadap Respon MRR CNMG120408-MK	60
4. 21 Respon Parameter terhadap Mean Pahat DNMG.....	61
4. 22 Respon Parameter Terhadap <i>Mean</i> Pahat CNMG.....	62
4. 23 S/N Rasio Untuk MRR DNMG	63
4. 24 Respon S/N Rasio Untuk MRR DNMG Terhadap <i>Smaller Is Better</i>	64
4. 25 S/N Rasio Untuk MRR CNMG.....	65
4. 26 Respon S/N Rasio Untuk MRR CNMG Terhadap <i>Smaller Is Better</i>	66
4. 27 ANOVA MRR Pahat DNMG	68
4. 28 ANOVA MRR Pahat CNMG	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Sumbu Utama Kordinat X dan Y Mesin Bubut <i>CNC Turning</i>	6
2. 2 Metode Incremental	9
2. 3 Metode <i>Absolute</i>	9
2. 4 Kekasaran Permukaan Teknis Perekaman Khusus.....	15
3. 1 Diagram Alir Pelaksanaan.....	26
3. 2 Mesin Gergaji Potong	30
3. 3 Mesin Bubut CNC MORI SEIKI SL-25	31
3. 4 Spesifikasi Mata Potong CNMG.....	31
3. 5 Spesifikasi Mata Potong DNMG	32
3. 6 Jangka Sorong	32
3. 7 Timbangan Digital.....	33
3. 8 <i>Surface Roughness Tester</i>	33
3. 9 Benda Uji Baja ST 37	33
3. 10 Posisi pengambilan Data Kekasaran	36
3. 11 Pengambilan Data Kekasaran.....	36
3. 12 Pengambilan Data MRR	37
4. 1 Grafik Mean Terhadap Kekasaran Permukaan Dari Tiap Parameter dan Level	42
4. 2 Grafik Respon Rasio S/N Untuk Maing-Masing dari Level Tiap Parameter.	47
4. 3 <i>Probability Plot Of SNRA1</i>	53
4. 4 <i>Probability Plot Of SNRA1</i>	54

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Daftar Riwayat Hidup
- Lampiran 2 : Sertifikat Material
- Lampiran 3 : Proses Permesinan
- Lampiran 4 : Pengambilan Data Kekasaran
- Lampiran 5 : Pengambilan Data MRR
- Lampiran 6 : Poster
- Lampiran 7 : Hasil Cek Plagiasi



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Proses pemesinan merupakan salah satu mekanisme yang paling penting untuk menunjang dunia manufaktur. Sekitar 80% dari total proses produksi industri menggunakan proses pemesinan (Azib, 2017). Proses pemesinan adalah suatu proses manufaktur dimana suatu benda dibentuk dengan cara menghilangkan atau membuang sebagian material dari benda yang dikerjakan (A, Wulandari, & A, 2021). Di zaman sekarang ini dunia manufaktur dituntut untuk menghasilkan produk yang berkualitas dengan produktivitas yang tinggi sehingga menghemat waktu. Oleh karena itu, perlu dilakukannya peningkatan produktivitas sesuai permintaan pasar (K, 2020).

Di masa yang telah maju ini sebagian besar fitur teknis dibuat oleh mesin. Hal ini dikarenakan untuk menghemat waktu pembuatan serta efisiensi tenaga kerja sehingga mengurangi biaya produksi (C, 2009). Salah satu perlengkapan mesin yang digunakan adalah mesin bubut. Mesin bubut merupakan salah satu tipe mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda dengan diputar (Indrawan, 2020). Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) adalah salah satu mesin konvensional yang mempunyai keunggulan dibandingkan mesin perkakas yang sejenis. Mesin bubut CNC dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu akurasi dimensi, keausan pahat, dan kualitas dari kekasaran permukaan adalah faktor-faktor yang dapat diproses. Diantara berbagai kondisi, proses kekasaran permukaan merupakan parameter utama untuk menentukan kualitas suatu benda kerja atau produk. Berdasarkan hal di atas proses pemesinan cnc memerlukan tingkat penghilangan material yang besar untuk menghemat waktu serta kekasaran tekstur pemotongan yang halus agar kualitas produk tetap terjaga.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sihombing, 2022) melakukan penelitian yang melibatkan parameter pemotongan yaitu kecepatan spindel, kedalaman

pemakanan, dan gerak makan pada proses pembubutan CNC Baja SKD 11 menggunakan metode Taguchi. Hasil dari penelitian ini adalah *setting* kombinasi level dari setiap variabel proses yang berpengaruh pada respon yaitu MRR terbaik adalah putaran spindel sebesar 210 put/min, kedalaman pemakanan diatur sebesar 1,5 mm, dan gerak makan diatur sebesar 0,05 mm/rev. Penelitian yang dilakukan oleh (Gilbran, Oktriadi, & Yudo, 2024) melakukan penelitian yang melibatkan kombinasi parameter kecepatan spindel, kedalaman pemakanan, dan feeding pada proses bubut CNC dengan material ST-60. Berdasarkan penelitian ini, kombinasi parameter yang menghasilkan respon nilai MRR optimal yaitu kedalaman pemakanan level 3 (2.5 mm), feeding level 3 (0.22 mm/rev), dan putaran spindel level 3 (3.184 rpm) dan dari ketiga parameter ini, parameter yang paling berpengaruh terhadap respon nilai MRR adalah kedalaman pemakanan dengan selisih 4,22 dan yang berpengaruh kecil adalah kecepatan spindel dengan selisih nilai 1,98.

Penerapan metode Taguchi untuk mengoptimalkan parameter bubut telah banyak diadopsi oleh beberapa peneliti. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Ananta, Nurrohkayati, Mujianto, & Waluyo, 2022), parameter yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan pada pembubutan konvensional material ST 37 adalah gerakan pemakanan dengan persentase sebesar 43,23%. Kekasaran yang optimal diperoleh dari kombinasi parameter kecepatan spindel 235 rpm, gerakan pemakanan 0,059 mm/rad, kedalaman pemotongan 0,5 mm, pendingin menggunakan oli dan sudut buang muka mata pahat 10° yang menghasilkan nilai rata-rata kekasaran permukaan 3,279 µm. Penelitian yang dilakukan (Syach, Nurrohkayati, & Pranoto, 2022) tentang kekasaran permukaan pada proses pembubutan konvensional material ST 37, menunjukkan jika kecepatan putaran spindel semakin tinggi dan gerakan pemakanan semakin rendah maka didapatkan hasil kekasaran yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan putaran spindel yang rendah dan gerak pemakanan yang tinggi. Untuk menghasilkan kekasaran yang optimal dimana kecepatan spindel 345 rpm, gerak pemakanan 0,051 mm/rad, kedalaman pemotongan 1 mm, pendinginan kering, dan gerakan eretan otomatis. Penelitian lain yang dilakukan (Pambudi, Abdillah,

& Andriyanto, 2022) tentang pengaruh kecepatan putaran spindel terhadap kekasaran permukaan benda kerja ST 37 pada proses bubut menunjukkan bahwa semakin cepat putaran spindel dan juga semakin lambat kecepatan pemakanan, maka benda kerja akan menunjukkan hasil yang halus.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi fokus dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana parameter proses pemesinan seperti kecepatan putaran spindel, *feeding*, dan kedalaman pemakanan mempengaruhi *Material Removal Rate* (MRR) pada benda kerja material ST 37?
2. Bagaimana parameter proses pemesinan seperti kecepatan putaran spindel, *feeding*, dan kedalaman pemakanan mempengaruhi kekasaran permukaan pada benda kerja material ST 37?

1.3. Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh parameter proses pemesinan terhadap *Material Removal Rate* (MRR) pada benda kerja material ST 37.
2. Mengetahui pengaruh parameter proses pemesinan terhadap kekasaran permukaan pada benda kerja material ST 37.

1.4. Batasan Masalah

Berikut ini adalah beberapa batasan masalah yang ditetapkan penelitian ini agar hasil penelitian tidak melenceng dari tujuan penelitian serta membantu peneliti mendapatkan hasil yang terbaik:

1. Baja ST 37 akan digunakan sebagai bahan benda kerja untuk penelitian ini.
2. Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini berukuran Ø25 x 100 mm.
3. Menggunakan mesin bubut CNC Mori Seiki SL-25.
4. Menggunakan Pahat *Insert Carbide* DNMG 150608-MA dan *Insert Carbide* CNMG 120408-MK.
5. Peralatan pengukuran yang digunakan meliputi timbangan digital, Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210, v-block, dial indicator 1/1000, serta jangka sorong.

6. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Kecepatan spindel (RPM) = 1.379 RPM; 1.567 RPM; 1.755 RPM, Gerak pemakanan $f = 0,20 \text{ mm/rev}$; $0,22 \text{ mm/rev}$, $0,24 \text{ mm/rev}$ dan Kedalaman pemakanan $a_p = 0,5 \text{ mm}$; 1 mm ; $1,5 \text{ mm}$.
7. Penulis akan menggunakan variasi kecepatan spindel gerak pemakanan, dan kedalaman pemakanan sebagai variasi proses dalam penelitian ini untuk menguji *Material Removal Rate* (MRR) dan kekasaran material.
8. Menggunakan metode Taguchi bertujuan untuk meningkatkan ketepatan hasil penelitian dan mencapai kondisi proses yang optimal.
9. Perhitungan dilakukan dengan bantuan kalkulator, sedangkan pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* dan *software* Minitab.

1.5. Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah beberapa manfaat dari penelitian ini:

1. Mendapatkan pengaturan kecepatan spindel, gerak pemakanan, dan kedalaman pemakanan yang tepat sehingga menghasilkan *Material Removal Rate* (MRR) dan kekasaran permukaan material terbaik.
2. Menjadikan sumbur referensi di masa depan berkaitan dengan kekasaran permukaan material dan *Material Removal Rate* (MRR).
3. Membantu dan mempermudah operator CNC Bubut dalam pembubutan sehingga menghasilkan produk dengan kualitas terbaik.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Mesin CNC

Mesin CNC merupakan salah satu lampiran 1 dari sekian banyak jenis mesin 5ndustry yang digunakan untuk memproduksi komponen dalam jumlah yang banyak secara cepat (Untoro, Andriyanto, & Sunarso, 2020).sesuai dengan namanya mesin CNC menggunakan sistem kendali komputer untuk mengendalikan mesin agar menghasilkan produk yang presisi dan akurat. Tata letak kode yang telah di standarisasi dalam kode pemesinan CNC memungkinkan mesin untuk beroperasi sesuai dengan perintah yang telah diberikan. Penggunaan mesin CNC memiliki keunggulan dibandingkan mesin konvesional dikarenakan mesin CNC memiliki kemampuan untuk memproduksi komponen dalam jumlah besar dengan waktu yang singkat serta memiliki tingkat kepresisian dan akurasi yang sangat baik. Hal ini menyebabkan produsen mampu memenuhi permintaan konsumen baik secara kuantitas dan kualitas dengan memanfaatkan peralatan CNC.

2.1.1. Mesin CNC Turning

Mesin bubut adalah mesin perkakas yang digunakan untuk melaksanakan suatu proses pemesinan sehingga menghasilkan suatu produk (Nugroho, 2009). Sementara itu mesin CNC *Turning* merupakan mesin perkakas yang dikendalikan dengan sisitem kendali komputer dengan memasukkan kode-kode numerik. Pengendali proses pada mesin CNC mengoperasikan motor servo yang menggerakkan pahat, memungkinkan proses pemesinan berlangsung hingga produk terbentuk sesuai kode program yang diinput operator. Untuk benda kerja logam berwujud silinder, proses ini dilaksanakan pada mesin CNC *Turning* (Masalik & Susandi, 2022).

Secara garis besar, mesin CNC *Turning* dibagikan menjadi 2 jenis sebagai berikut:

1. Mesin Bubut CNC *Training Unit* (TU)
2. Mesin Bubut CNC *Production Unit* (PU)

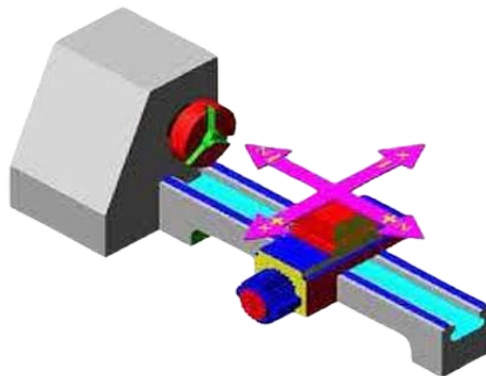
Kedua jenis mesin bubut ini memiliki prinsip kerja yang sama, akan tetapi penggunaannya di lapangan yang membuat kedua jenis mesin bubut ini berbeda. Mesin CNC *Training Unit* hanya digunakan untuk pelatihan pemrograman dan pengoperasian dasar serta digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang ringan dengan bahan yang relatif sangat lunak. Mesin tipe ini dilengkapi dengan EPS (*External Programming System*) untuk mendukung pengoperasian mesin. Sementara mesin CNC *Production Unit* digunakan untuk produksi massal. Mesin ini dilengkapi dengan aksesoris tambahan seperti sistem pembuka otomatis dengan menggunakan prinsip kerja hidrolis dan pembuangan tatal.

2.1.2. Prinsip Kerja Mesin CNC *Turning Training Unit 2 Axis*

Prinsip operasi mesin CNC *Turning* tidak berbeda dengan mesin bubut konvensional, di mana terdapat gerakan dasar melintang dan horizontal yang bekerja pada sistem koordinat sumbu Z serta sumbu X. Benda kerja dipasang pada pencekam yang berputar, sementara pahat bergerak sejajar dengan sumbu benda kerja pada posisi tertentu.

Gambar berikut menunjukkan arah pergerakan mesin bubut konvensional maupun CNC:

1. Sumbu X melambangkan pergerakan melintang yang tegak lurus terhadap sumbu putar
2. Sumbu Z melambangkan pergerakan memanjang terhadap sumbu putar.



Gambar 2. 1 Sumbu Utama Koordinat X dan Y Mesin Bubut *CNC Turning*.

Bagian-bagian utama dari mesin CNC *Turning* adalah sebagai berikut:

1. Kepala Tetap (*Headstock*)

Mesin bubut CNC memiliki perbedaan dengan mesin bubut konvensional, terutama pada bagian kepala tetap (*fixed head*). Spindel pada koordinat X dan Y dilengkapi 10 roda gigi yang berfungsi mengatur motor penggerak dalam memutar spindel serta mengontrol kecepatan mesin. Pada sistem CNC, kecepatan mesin dikendalikan secara otomatis lewat program yang diinput dari panel kontrol. Benda kerja yang akan diproses dijepit menggunakan chuck atau pencekam untuk menjaganya tetap aman.

2. Cekam (*Chuck*)

Chuck berfungsi sebagai alat penjepit benda kerja agar tidak lepas saat proses pemesinan. Benda kerja harus dicekam dengan kuat agar hasil pekerjaan maksimal serta menghindari kecelakaan kerja akibat benda kerja yang lepas saat proses pemesinan.

3. Meja Mesin CNC (*CNC Lathe Bed*)

Bagian ini berfungsi sebagai alas bagi *toolpost* atau *turret* secara vertikal dan horizontal. Umumnya, meja pada mesin CNC diproduksi melalui proses pengerasan material sehingga permukaannya lebih tahan terhadap keausan akibat gesekan.

4. Kepala Lepas (*Tailstock*)

Kepala lepas berguna sebagai pendukung dari *chuck*. Bagian ini sering dipakai sebagai penstabil putaran benda kerja panjang. Penggunaan *tailstock* juga dapat membantu meningkatkan daya cekam benda kerja.

5. *Tailstock Quil*

Tailstock quil digunakan untuk mengoptimalkan cengkaman pada benda kerja. Hidrolik/pneumatik berfungsi menjadi bagian tambahan pada *tailstock quil*. Supaya cekaman semakin kuat, *tailstock quil* diperlukan karena posisi ujung *tailstock* hanya dekat dengan benda kerja.

6. Panel Kontrol CNC (*CNC Control Panel*)

Panel kontrol cnc merupakan bagian terpenting dari mesin CNC karena bagian ini merupakan otak dari mesin CNC. Setiap program CNC yang akan

dimasukkan akan menggunakan panel kontrol sebagai titik masuknya. Semua kendali dari mesin CNC oleh operator dijalankan secara terpusat di panel kendali ini melalui penekanan tombol yang ada di atasnya. Dari penyalan mesin hingga mematikan mesin semuanya dikendalikan dari panel kontrol ini.

7. Pedal Kaki (*Foot Switch* atau *Foot Pedal*)

Fungsi pedal kaki adalah sebagai pengendali chuck dan tailstock. Dengan pedal ini, operator dapat membuka-tutup chuck, memajukan atau memundurkan tailstock, serta mempermudah pemasangan dan pelepasan benda kerja.

8. *Tool Turret*

Peran dari *Tool Turret* menggantikan peran kedudukan pada mesin bubut konvensional. Alat potong yang akan digunakan dipasang pada *tool turret*. Jenis dari *tool turret* menentukan jumlah dan bentuk dari alat potong yang akan dipasang.

2.1.3. Pemrograman Mesin CNC Turning

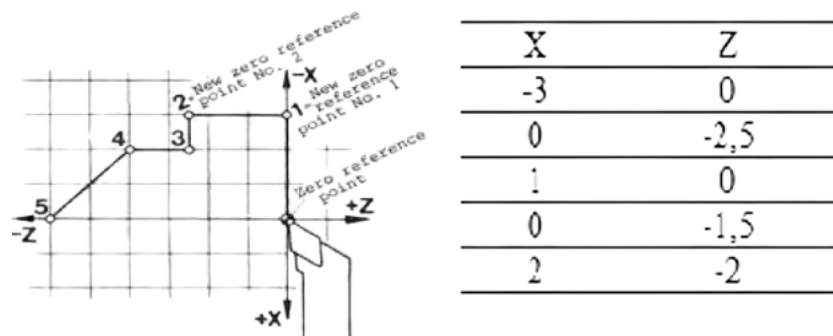
Program CNC terdiri atas serangkaian perintah yang diatur dalam blok secara berurutan agar mesin dapat melaksanakan tugas sesuai masukan yang diberikan. Saat menyiapkan program pada mesin CNC Turning, ada beberapa aspek yang harus diperhatikan.

2.1.3.1. Metode Pemrograman Mesin CNC

Dalam pemrograman CNC terdapat dua jenis pemrograman, yaitu sebagai berikut:

1. Metode *Incremental*

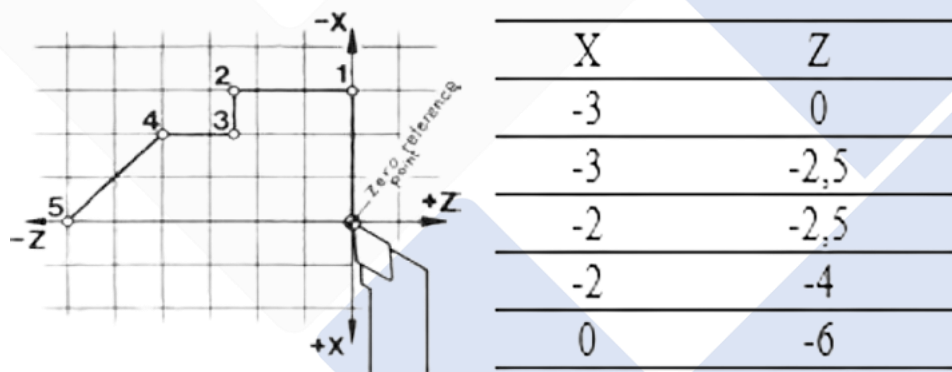
Metode *incremental* menjadikan titik akhir program sebagai acuan untuk dimensi berikutnya, sebab titik referensi selalu berubah. Agar lebih mudah dipahami, biasanya pemrograman CNC dengan metode ini dijelaskan melalui gambar.



Gambar 2. 2 Metode Incremental

2. Metode *Absolute*

Metode absolute menggunakan satu titik acuan tetap sebagai dasar semua dimensi. Titik ini tidak berubah posisinya. Untuk mempermudah pemahaman pemrograman metode absolute, biasanya ditampilkan gambar.



Gambar 2. 3 Metode *Absolute*

2.1.3.1. Bahasa Pemrograman Mesin CNC

Kode pemrograman adalah deretan instruksi berformat numerik yang dimasukkan ke dalam program pada mesin CNC Turning. Format numerik tersebut berupa kombinasi huruf dan angka yang diinput oleh operator dan kemudian dibaca oleh Unit Kontrol Mesin (MCU). MCU menerjemahkan kode-kode tersebut sehingga mesin dapat mengeksekusi perintah sesuai tujuan pemrograman.

Kode G dan kode M pada mesin CNC disusun berdasarkan standar yang ditetapkan oleh International Organization for Standardization (ISO) maupun lembaga internasional lainnya. Masing-masing kode memiliki fungsi dan tujuan

tertentu. Angka numerik yang mengikuti huruf kode memberikan detail tambahan mengenai perintah yang dimaksud. Daftar kode beserta fungsinya dapat dilihat pada tabel berikut. (Sunding, 2011).

Tabel 2. 1 Macam-macam Kode G Serta Kegunaanya

Kode	Fungsinya
a. Kode G	
G00	Perintah gerakan cepat untuk memposisikan alat potong
G01	Perintah gerakan lurus untuk proses pemotongan
G02	Perintah gerakan melingkar untuk proses pemotongan melingkar searah jarum jam
G03	Perintah gerakan melingkar untuk proses pemotongan melingkar berlawanan arah jarum jam
G04	Perintah penghentian pemotongan sesaat
G40	Perintah untuk membatalkan kompensasi radius
G41	Perintah untuk pembubutan diameter dalam
G42	Perintah untuk pembubutan diameter luar
G54	Sistem pemilihan untuk titik nol benda kerja
G70	Perintah <i>finishing</i>
G71	Perintah pemakanan berulang secara otomatis
G84	Perintah siklus pembubutan memanjang
G88	Perintah siklus pembubutan melintang
G90	Perintah pergerakan <i>absolute</i>
G91	Perintah pergerakan <i>incremental</i>
G92	Pembubutan ulir
G96	Mengatur kecepatan potong
G97	Pengaturan kecepatan potong konstan <i>off</i>
b. Kode M	
M02	Program akhir
M03	<i>Spindle ON</i> dengan searah putaran jarum jam
M04	<i>Spindle ON</i> dengan berlawanan arah putaran jarum jam

M05	<i>Spindle OFF</i> (spindel stop)
M06	Perintah pergantian alat potong (<i>tools</i>)
M08	Menghidupkan pendingin
M09	Mematikan pendingin
M30	Akhir program dan mengembalikan posisi <i>tool</i> terakhir

2.1.4. Parameter Mesin CNC Turning

Sama dengan mesin bubut konvensional, mesin CNC *Turning* memiliki tiga parameter utama. Tiga parameter utama dalam tiap proses pembubutan adalah kecepatan spindel, pergerakan umpan, dan kedalaman pemotongan. Tetapi terdapat faktor lain juga yang memiliki dampak besar pada proses pembubutan seperti bahan benda kerja dan jenis perkakas, namun ketiga parameter diatas dapat langsung diatur oleh operator mesin bubut (Widarto, 2008).

2.2. Pahat Carbide

Di era modern ini, pahat karbida umumnya telah menggantikan pahat baja berkecepatan tinggi. Hal ini disebabkan kemampuan potong karbida yang 3–5 kali lebih tinggi dibandingkan baja HSS. Pahat karbida dianggap efektif dan efisien karena memiliki kekerasan tinggi, ketahanan aus unggul, modulus yang besar, serta konduktivitas termal yang baik pada berbagai suhu. Karbida biasanya diproduksi melalui proses metalurgi serbuk, yang melibatkan sintering atau pengepresan isostatik panas (HIP) untuk menyatukan partikel-partikelnya menggunakan bahan pengikat.

Tungsten carbide merupakan jenis karbida pertama yang dikembangkan. Dalam proses pembuatannya, serbuk *tungsten carbide* distabilkan menggunakan bahan pengikat logam — umumnya kobalt. Karena serbuk karbida memiliki titik leleh yang sangat tinggi, partikel-partikelnya tetap padat saat pengikatan berlangsung sementara kobalt yang berfungsi sebagai perekat mengalami pelelehan. Pelelehan pengikat ini menyebabkan butiran karbida saling terikat membentuk komposit berstruktur matriks logam. Dua bentuk alat potong karbida yang umum ditemui adalah mata bor padat dan mata bor berinsersi yang dilekatkan atau dibrazing pada badan pegangan perkakas.

Karbida digolongkan menjadi dua kelas utama: karbida untuk pemotongan baja dan karbida untuk pemotongan non-baja. Karbida kelas untuk baja dirancang agar lebih tahan terhadap keausan akibat panas dan pembentukan kawah, sedangkan karbida non-baja difokuskan pada ketahanan terhadap aus abrasif. Karbida kelas baja umumnya dipakai untuk memotong bahan baja, sementara karbida non-baja digunakan pada material non-baja seperti besi tuang dan logam non-besi. Untuk mendapatkan sifat yang sesuai, karbida non-baja seringkali dibuat dari perpaduan tungsten carbide murni dan kobalt. Selain tungsten carbide dan kobalt, penambahan zat seperti titanium (TiC) dan tantalum (TaC) dilakukan pada semen karbida untuk kelas baja. Dalam pengelompokan semen karbida juga terdapat kategori kelas C yang dipisahkan dari kelas baja maupun non-baja; tipe C1 sampai C4 dalam kelompok ini bukan berbasis baja.

Internasional Organization of Standardization (ISO) telah mengembangkan dan menetapkan standar-standar untuk mengelompokkan alat potong *carbide*, seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2. 2 Klasifikasi Alat Potong *Carbide*

Kode ISO	Kode Warna	
P	Biru	Digunakan untuk memotong material seperti baja karbon dan baja paduan rendah yang membentuk keseluruhan panjang
M	Kuning	Digunakan untuk memotong logam besi, seperti baja tahan karat, yang pecah menjadi potongan panjang dan pendek
K	Merah	Untuk memotong pada bahan besi, non besi, dan non logam seperti kuningan, besi tuang, dan bahan lainnya

2.2.1. Material Pahat Carbide

Bahan dasar perkakas karbida biasanya berupa *tungsten carbide* (WC) yang dikombinasikan dengan kobalt (Co) dan diberi lapisan seperti titanium nitrida (TiN), titanium carbide (TiC), titanium karbonitrida (TiCN), aluminium oksida (Al_2O_3), serta pelapis lainnya. Proses pelapisan umumnya dilakukan melalui dua metode utama, yaitu PVD dan CVD. Lapisan yang dihasilkan oleh CVD cenderung memiliki ikatan lebih kuat dibandingkan PVD. Selain menghambat difusi, lapisan tersebut berfungsi sebagai pelumas padat yang mengurangi gaya gesek dan panas saat pemotongan. Dengan demikian, perkakas berlapis menunjukkan peningkatan ketahanan dan kekerasan, sehingga memperkecil aus dan gesekan pada alat.

Peralatan pemotong berbahan karbida tersedia dalam dua jenis, yaitu tanpa lapisan dan dengan lapisan pelindung. Saat ini, sekitar dua pertiga dari total pemakaian perkakas karbida merupakan jenis yang telah diberi lapisan.

Terdapat berbagai jenis pelapis untuk alat pemotong karbida, dan tiga jenis karbida yang umum digunakan yaitu:

1. Lapisan *titanium nitrida* (TiN) membantu meminimalkan gesekan antara alat pemotong dan benda kerja.
2. Lapisan *titanium carbide* (TiC) dapat memaksimalkan ikatan antara bahan pelapis dengan bahan yang dilapisi.
3. Ketahanan dari alat potong terhadap keausan abrasif dapat ditingkatkan dengan penggunaan lapisan *aluminium oksida* (Al_2O_3). Biasanya, salah satu dari dua metode yang digunakan untuk melapisi karbida: desposisi uap kimia atau CVD, atau desposisi uap fisik atau CVD

2.3. Karakteristik Baja ST 37

Baja St 37 adalah baja karbon rendah yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi teknik. Ini memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%, yang menjadikannya mudah untuk dilakukan proses pengelasan dan pengerjaan. Standar DIN 17-100 menetapkan klasifikasi baja karbon berdasarkan kekuatan tarik, dan baja St 37 memiliki kekuatan tarik antara 650-800 N/mm², serta tingkat kekerasan sekitar 170 HB. Keunggulan utama baja St 37 adalah kemampuannya

untuk digunakan langsung tanpa perlakuan panas tambahan, kecuali jika ada persyaratan khusus.

2.4. Material Removal Rate (MRR)

Material Removal Rate merupakan jumlah dari massa benda yang terkikis dalam persatuan waktu yang secara langsung dapat diperlihatkan dari produktivitas proses (Septiaji, 20116). Metode untuk membentuk cekungan kecil pada permukaan benda kerja dikenal dengan istilah MRR. Sepanjang penelitian, parameter proses yang digunakan merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai MRR. Nilai MRR sendiri dihitung sebagai volume material yang terbangun per satuan waktu (mm^3/menit), dengan persamaan sebagai berikut:

$$MRR = \frac{\text{Volume Material Terbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu proses (s)}} \quad (2.1)$$

2.5. Kekasaran Permukaan

Kehalusan permukaan merupakan salah satu karakteristik geometris yang diharapkan pada sebuah komponen. Namun, mencapai kondisi permukaan yang benar-benar sempurna hampir mustahil dilakukan. Banyak faktor yang memengaruhi hal ini, di antaranya keterampilan operator serta performa mesin produksi. Dengan adanya perkembangan teknologi, berbagai upaya terus dilakukan untuk menciptakan peralatan yang mampu menghasilkan komponen dengan tingkat kehalusan tinggi, sesuai standar metrologi yang ditetapkan berdasarkan penelitian para ahli dalam bidang pengukuran geometri.

2.5.1. Parameter-Parameter Kekasaran Permukaan

Agar dapat memahami dalam penggunaan parameter-parameter permukaan, terdapat beberapa hal yang harus dipahami sebagai berikut:

1. Profil Geometris Ideal

Profil ini menggambarkan bentuk geometri permukaan yang ideal, namun pada praktiknya sulit dicapai karena dipengaruhi oleh berbagai faktor dalam proses pembuatannya. Secara teoritis, profil geometri ideal dapat berbentuk garis lurus, lingkaran, maupun kurva.

2. Profil Referensi

Profil referensi berfungsi sebagai acuan dalam menganalisis karakteristik permukaan suatu benda kerja. Profil ini memiliki bentuk yang serupa dengan profil geometri ideal, namun posisinya disesuaikan sehingga tepat bersinggungan dengan puncak tertinggi dari profil hasil pengukuran pada panjang sampel yang diamati.

3. Profil Terukur

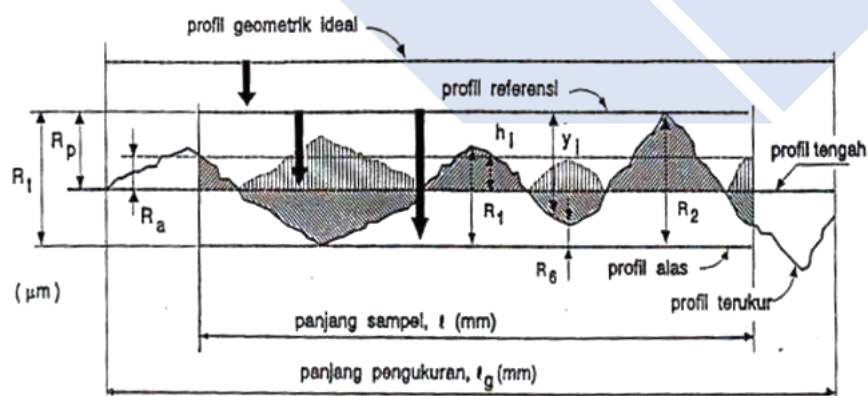
Profil terukur adalah bentuk permukaan yang diperoleh melalui proses pengukuran. Data dari profil ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis karakteristik kekasaran permukaan pada hasil pemesinan.

4. Profil Dasar

Profil dasar adalah profil referensi yang dipindahkan ke bawah hingga sejajar dengan titik terendah dari profil hasil pengukuran.

5. Profil Tengah

Profil tengah adalah profil yang diposisikan sedemikian rupa sehingga luas area antara profil tersebut dengan profil terukur di bagian atas sama dengan luas area di bagian bawahnya. Profil ini berfungsi sebagai profil referensi yang digeser ke bawah secara tegak lurus terhadap profil geometri ideal, sehingga mampu membagi penampang permukaan menjadi dua bagian dengan luas yang seimbang.



Gambar 2. 4 5 Kekasaran Permukaan Teknis Perekaman Khusus

$$Ra = \frac{y1 + y2 + y3 + \dots + yn}{n}$$

Keterangan:

Ra = Kekasaran permukaan rata-rata (μm)

y = Jarak Profil Referensi ke Profil Terukur

n = Jumlah Titik Jarak Profil

2.5.2. Toleransi Harga Kekasaran Permukaan

Nilai rata-rata aritmatika kekasaran permukaan (Ra) memiliki toleransi yang setara dengan toleransi dimensi, baik untuk poros maupun lubang. Oleh karena itu, tingkat kekasaran dibagi menjadi kelas N1 hingga N12 sesuai dengan besarnya nilai kekasaran masing-masing. Umumnya, toleransi Ra berada sekitar 25% hingga 50% lebih tinggi dari nilai nominalnya.

Tabel 2. 3 Harga Kekasaran Rata-rata Dengan Nilai Toleransi

Kelas Kekasaran	Harga C.L.A. (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi N-25%+50%	Panjang Sampel (μm)
N1	1	0.0025	0.02-0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04-0.08	
N3	4	0.0	0.08-0.15	0.25
N4	8	0.2	0.15-0.3	
N5	16	0.4	0.3-0.6	
N6	32	0.8	0.6-1.2	
N7	63	1.6	1.2-2.4	
N8	125	3.2	2.4-4.8	0.8
N9	250	6.3	4.8-9.6	
N10	500	12.5	9.6-18.75	2.5
N11	1000	25.0	18.75-37.5	
N12	2000	50.0	37.5-75.0	8

2.6. Variabel Proses

Dasar perhitungan, rumus, serta tabel parameter pemotongan dalam proses pemesinan dijadikan acuan bagi berbagai teknologi pemotongan, termasuk pada mesin bubut. Adapun parameter pemotongan yang digunakan selama proses pembubutan adalah sebagai berikut:

2.6.1. Kecepatan Spindel

Kecepatan spindel adalah parameter yang berhubungan dengan pergerakan benda kerja terhadap spindel mesin, yang biasanya dinyatakan dalam satuan putaran per menit (*revolutions per minute/rpm*). Kecepatan potong salah satu hal diprioritaskan dalam proses pemesinan CNC *Turning*. Rumus untuk mendapatkan kecepatan potong ialah sebagai berikut (Groover & P, 2010):

$$V_c = \pi \times d \times n \times 1000 \left(\frac{\text{m}}{\text{menit}} \right) \quad (2.3)$$

Dimana:

V_c = Kecepatan potong (m/menit)

d = Diameter benda kerja (mm)

n = putaran spindel (rpm)

$\pi = 3,14$

Kecepatan potong dipengaruhi oleh beberapa faktor, yang secara umum dapat dijelaskan di bawah ini:

- Bahan dari benda kerja yang akan diproses yang dimana kecepatan potong akan semakin rendah apabila nilai kekuatan bahan dari benda kerja tersebut tinggi.
- Jenis alat potong yang digunakan yang dimana nilai dari kecepatan pemotongan akan semakin tinggi apabila nilai dari kekuatan jenis alat potong juga tinggi.
- Kecepatan penyayatan dimana nilai dari kecepatan pemotongan akan semakin besar apabila nilai dari kecepatan penyayatan kecil.
- Kedalaman penyayatan dimana nilai dari kecepatan pemotongan akan semakin besar apabila nilai kedalaman penyayatan semakin tipis

2.6.2. Gerak Makan

Gerak makan adalah jarak yang dilalui pahat untuk setiap satu kali putaran benda kerja. Besaran ini dinyatakan dalam milimeter per revolution (mm/rev) dan dilambangkan dengan huruf f (feed). Nilai gerak makan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis material benda kerja, kemampuan mesin, bentuk pahat, material pahat, serta tingkat kehalusan permukaan yang diinginkan. Persamaan gerak makan dapat dituliskan sebagai berikut: (Groover & P, 2010):

$$Vf = f \times n \left(\frac{mm}{menit} \right) \quad (2.4)$$

Dimana:

Vf = Kecepatan pemakanan (mm/menit)

f = gerak makan (mm/putaran)

n = putaran spindel (rpm)

2.6.3. Kedalaman potong

Kedalaman potong merupakan besaran yang menunjukkan tebal material benda kerja yang terambil oleh pahat. Dengan kata lain, kedalaman pemotongan adalah dimensi penurunan pahat ke dalam benda kerja saat proses pembubutan berlangsung. Nilai ini dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut: (Groover & P, 2010):

$$a = do - dm \text{ (mm)} \quad (2.5)$$

Dimana:

do = Diameter Awal (mm)

dm = Diameter Akhir (mm)

2.7. Metode Taguchi

"Metode Taguchi merupakan suatu pendekatan yang dirancang untuk menekan penggunaan biaya dan sumber daya, sekaligus meningkatkan kualitas produk maupun proses. Untuk mencapai tujuan tersebut, metode ini berfokus pada upaya membuat produk atau proses menjadi tidak peka terhadap variasi variabel, seperti jenis material, tenaga kerja, peralatan produksi, maupun kondisi operasi. Penerapan metode Taguchi dilakukan dengan memanfaatkan matriks ortogonal untuk mengumpulkan data karakteristik, yang selanjutnya digunakan dalam

mengevaluasi kinerja kualitas dan menentukan parameter proses yang optimal. (Kondo, C., Souza, Ribeiro, & Alves, 2018). Hal ini lah yang menyebabkan metode ini disebut perancangan kokoh (*robust design*).

Pada tahap perancangan produksi, metode Taguchi digunakan dalam aktivitas pengendalian secara offline. Menurut Taguchi, pemenuhan toleransi atribut kualitas produk saja tidak cukup untuk memperoleh hasil produksi yang optimal. Produk yang dianggap terbaik adalah produk dengan karakteristik yang dirancang dengan tepat sesuai tujuan yang ingin dicapai. Oleh sebab itu, kerugian tetap dapat muncul meskipun karakteristik produk berada dalam batas toleransi namun berfluktuasi di sekitar nilai target.

Terdapat tiga konsep utama yang diperkenalkan oleh Genichi Taguchi, seorang konsultan pengendalian mutu, dalam rangka menghasilkan produk yang andal serta berkualitas (*robust performance*), yaitu:

1. *Quality Robustness*

Produk sebaiknya dirancang dengan kualitas yang baik sejak awal, bukan hanya bergantung pada proses inspeksi. Selain itu, produk juga harus mampu bertahan terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikendalikan.

2. *Target Oriented Quality*

Kualitas dapat dicapai dengan cara meminimalkan deviasi atau penyimpangan terhadap nilai target yang telah ditetapkan.

3. *Quality Loss Function*

Biaya kualitas perlu dihitung berdasarkan besarnya penyimpangan dari standar, dengan memperhitungkan kerugian pada keseluruhan sistem. Taguchi menegaskan bahwa peningkatan kualitas paling efektif dilakukan sejak tahap perancangan, sehingga produk yang dirancang dengan baik akan memberikan kinerja optimal. Dengan demikian, kualitas tidak hanya ditentukan oleh kesesuaian terhadap batas toleransi, melainkan juga oleh seberapa kecil deviasi produk dari nilai target desain.

A. Matriks *Orthogonal Array*

Orthogonal Array merupakan rancangan eksperimen faktorial yang memungkinkan setiap faktor dievaluasi secara independen dari faktor lainnya,

suatu kondisi yang dikenal sebagai orthogonalitas. Struktur Orthogonal Array berbentuk tabel dengan baris dan kolom, di mana baris menyatakan jumlah percobaan yang berkaitan dengan faktor yang diamati. Melalui pendekatan ini, Taguchi dapat menilai pengaruh suatu faktor terhadap nilai rata-rata sekaligus meminimalkan variasinya. Selain itu, interaksi antar faktor juga dapat dianalisis dengan memanfaatkan orthogonal array. Karena jumlah level dari setiap faktor seimbang untuk tiap kombinasi, maka desain ini disebut Orthogonal Array. Dengan demikian, efek yang muncul dari satu faktor dapat dibedakan dari faktor lain. Pemilihan matriks orthogonal ditentukan berdasarkan derajat kebebasan dari parameter dan jumlah level yang digunakan. Matriks ini memungkinkan evaluasi beberapa parameter dengan jumlah eksperimen minimal, serta umumnya dilambangkan dalam bentuk khusus.



Keterangan:

1. Notasi L

Informasi *Orthogonal Array*

2. Nomor Baris

Penentuan jumlah percobaan dalam penggunaan Orthogonal Array didasarkan pada kombinasi faktor dan level yang terlibat dalam eksperimen.

3. Nomor Kolom

Jumlah faktor yang diteliti dalam suatu percobaan dapat dinyatakan melalui Orthogonal Array.

4. Nomor Level

Nomor level menyatakan jumlah level faktor. Untuk dua tahap, tabel OA terdiri dari L₄, L₈, L₁₂, L₁₆, dan L₃₂, dan untuk tiga tahap, tabel OA terdiri dari L₉, L₁₈, dan L₂₇.

Pemilihan jenis susunan orthogonal array pada suatu eksperimen ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan. Perhitungan derajat kebebasan tersebut didasarkan pada beberapa ketentuan berikut:

1. Jumlah faktor utama dan interaksi yang diamati.
2. Banyaknya tingkat faktor yang diamati.
3. Solusi pengujian yang diinginkan atau kendala biaya.

Matriks L8 terdiri atas 8 percobaan, sementara matriks L27 mencakup 27 kombinasi, dan seterusnya. Angka pada nama matriks menunjukkan jumlah percobaan yang dilakukan dari keseluruhan kemungkinan kombinasi. Pemilihan orthogonal array dengan dua level didasarkan pada jumlah tingkatan faktor yang digunakan. Untuk faktor dengan tiga level, digunakan orthogonal array tiga tingkat. Namun, apabila dalam satu eksperimen terdapat faktor dengan dua level dan faktor lain dengan tiga level, maka jumlah percobaannya akan lebih besar. Orthogonal array sendiri memiliki sejumlah keunggulan sebagai berikut:

- a. Kesimpulan yang diperoleh dapat mencakup keseluruhan rentang parameter kontrol beserta setiap level yang diuji.
- b. Metode ini lebih efisien dari segi biaya karena menggunakan prinsip faktorial parsial dibandingkan faktorial penuh sebagaimana pada penelitian konvensional. Dengan demikian, hanya kombinasi level tertentu yang perlu diuji, bukan seluruh kemungkinan. Pemilihan level ditentukan melalui model Orthogonal Array standar pada saat pengumpulan data. Faktor-faktor yang telah dijelaskan sebelumnya juga dipertimbangkan dalam penentuan matriks Orthogonal Array yang digunakan.
- c. Memberikan kemudahan dalam proses analisis data.

Tabel 2. 4 Contoh *Orthogonal Array* untuk L9

Eksperimen	Parameter		
1	A	A	A
2	A	B	B
3	A	C	C
4	B	A	B
5	B	B	C
6	B	C	A
7	C	A	C
8	C	B	A
9	C	C	B

B. Analisis Dalam Metode *Taguchi*

Dalam penerapannya, metode Taguchi menggunakan dua jenis analisis dengan tujuan yang berbeda, yaitu:

1. ANOM (*Analysis of Mean*)

ANOM atau analisis rata-rata dipakai untuk menentukan kombinasi parameter kontrol yang dapat memberikan hasil optimal. Melalui penggunaan grafik, nilai rata-rata rasio S/N pada setiap level dan faktor kontrol dibandingkan. Dari perbandingan tersebut dapat diketahui apakah suatu faktor kontrol berpengaruh nyata terhadap proses atau tidak.

2. ANOVA (*Analysis of Variance*)

Analisis varians digunakan untuk menilai seberapa besar kontribusi masing-masing parameter kontrol terhadap proses yang berlangsung. Besarnya pengaruh faktor tersebut dihitung dengan cara membandingkan jumlah kuadrat dari parameter kontrol dengan total jumlah kuadrat semua parameter.

C. Optimasi *Signal to Noise Rasio (S/N Ratio)*

Dalam metode Taguchi, optimasi proses dilakukan dengan mempertimbangkan nilai rasio *signal-to-noise* (S/N). Konsep dasarnya adalah bahwa kondisi terbaik akan tercapai apabila nilai S/N Ratio dapat dimaksimalkan.

Rasio ini menjadi ukuran perbandingan antara sinyal dan gangguan (*noise*) pada faktor kontrol. Hasil eksperimen dengan berbagai kombinasi parameter kontrol menghasilkan nilai S/N yang berbeda untuk setiap kombinasi. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan apakah faktor kontrol memiliki pengaruh yang signifikan (dikategorikan sebagai sinyal) atau justru pengaruhnya kecil (dikategorikan sebagai *noise* atau gangguan). Secara umum, terdapat tiga tipe S/N Ratio yang sering digunakan dalam optimasi masalah statis, yaitu:

1. *Smaller the better*

Optimalisasi dalam jenis ini biasanya digunakan untuk memperbaiki cacat produk yang dimana harga optimal, jika memungkinkan, harusnya nol. Jenis ini juga dapat digunakan untuk mencari waktu produksi yang paling cepat dan produktif. Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus:

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \times \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (2.6)$$

2. *Larger the better*

Berbalikan dengan optimasi lebih kecil – lebih baik (*smaller the better*), optimasi jenis ini menemukan kecepatan produksi chip (MRR) terbesar adalah skenario yang sering dioptimalkan dengan cara ini; semakin tinggi MRR, maka semakin produktif proses pembuatannya. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \times \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (2.7)$$

3. *Nominal the better*

Pengoptimalan umumnya diterapkan ketika nilai yang ditargetkan bersifat absolut atau harus dicapai secara presisi. Dengan demikian, hasil tidak boleh melebihi maupun berada di bawah nilai yang ditentukan, misalnya pada dimensi komponen mekanis di industri manufaktur, perbandingan unsur kimia dalam suatu campuran pada industri kimia, dan contoh lainnya. Adapun rumus yang digunakan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log \frac{y^{-2}}{s^2} \quad (2.8)$$

$$S^2 = \frac{dy \sum_{i=1}^n (x1 - x2)^2}{n - 1} \quad (2.9)$$

Dimana:

S^2 = Varian

N = jumlah pengulangan dari setiap kombinasi

X_i = nilai dari kombinasi -n

$\bar{X}$ = nilai rata-rata dari setiap kombinasi

2.7.1. Uji Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan tahap akhir dalam proses perancangan eksperimen. Pada tahap ini, kombinasi level dan faktor tertentu yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya diuji kembali. Berbeda dengan percobaan awal, uji konfirmasi umumnya menggunakan jumlah sampel yang lebih besar. Tujuannya adalah untuk memvalidasi hasil yang diperoleh selama tahap analisis.

Apabila pada eksperimen sebelumnya digunakan desain faktorial parsial dengan resolusi rendah, maka percobaan tambahan perlu dilakukan untuk menyempurnakan hasil. Karena adanya potensi pencampuran (aliasing) antar kolom dalam matriks, maka hasil awal perlu dianggap sebagai indikasi sementara sampai diperkuat oleh uji verifikasi lainnya. Kemungkinan adanya kombinasi level dan faktor yang lebih optimal bisa saja tersembunyi dalam matriks ortogonal, terutama bila beberapa faktor berkontribusi terhadap variansi. Oleh sebab itu, pengujian ulang terhadap kombinasi faktor dan level diposisikan sebagai tujuan utama dari eksperimen konfirmasi.

2.7.2. Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk memastikan bahwa data penelitian berasal dari populasi yang berdistribusi normal. Dalam penelitian ini, pengujian normalitas dilakukan dengan metode Kolmogorov-Smirnov.

1. Hipotesis uji kenormalan data adalah:

H_0 : data terdistribusi

H_1 : data tidak terdistribusi

2. Kriteria penolakan adalah : S

Tolak H_0 , jika nilai $P_{\text{-value}} < \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0.05$.

2.7.3. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah kelompok-kelompok populasi memiliki kesamaan atau perbedaan. Suatu populasi dianggap homogen apabila setiap kelompok di dalamnya memiliki varians yang serupa.

1. Hipotesis uji dua variasi adalah:

$$H_0 : \sigma^2 = \sigma^2$$

$$H_1 : \sigma^2 \neq \sigma^2$$

2. Kriteria penolakan adalah:

Tolak H_0 jika jika nilai $P_{\text{-value}} < \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0.05$.

2.7.4. Uji Rata-Rata

Uji rata-rata dilakukan untuk mengetahui apakah dua kombinasi memiliki nilai rata-rata yang sama atau berbeda. Tujuan utama dari pengujian ini adalah memastikan tingkat kesesuaian antara rata-rata hasil kombinasi nilai dengan rata-rata dari kombinasi optimal.

Hipotesis pengujian adalah:

$$H_0 : \text{MRR benda kerja awal} = \text{MRR benda kerja optimum}$$

$$H_1 : \text{MRR benda kerja awal} > \text{MRR benda kerja optimum}$$

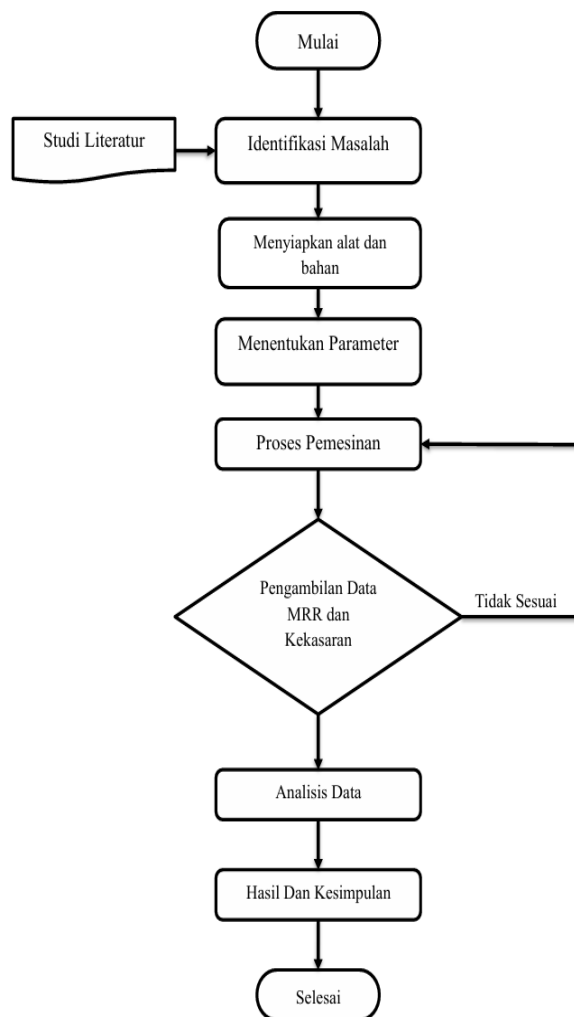
$$H_0 \text{ jika jika nilai } P_{\text{-value}} < \alpha \text{ dan } \alpha = 5\% = 0.05.$$

BAB III

METODE PELAKSANAAN

3.1. Diagram Alir Pelaksanaan (*Flowchart*)

Tahapan proses pelaksanaan yang akan dilakukan dapat dilihat pada diagram alir/*flow chart* berikut ini :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pelaksanaan

3.2. Identifikasi Masalah

Langkah awal yang paling penting dalam sebuah penelitian adalah ketika peneliti mengamati suatu fenomena yang berpotensi untuk dikaji. Setelah permasalahan tersebut teridentifikasi, proses penentuan masalah dapat dirumuskan dengan lebih jelas. Dari sini, peneliti mulai mengumpulkan berbagai informasi yang dapat memperkuat alasan dilaksanakannya penelitian. Sumber informasi tersebut dapat berasal dari literatur seperti buku, hasil observasi langsung, maupun data dari survei-survei sebelumnya.

3.2.1. Studi literatur

Setelah masalah berhasil diidentifikasi, langkah berikutnya adalah melakukan kajian literatur untuk memperdalam pemahaman terkait persoalan yang diteliti. Kajian ini mencakup penelusuran berbagai sumber seperti buku, jurnal, internet, serta penelitian terdahulu yang relevan. Tujuan dari studi literatur adalah memperoleh informasi serta landasan teoritis yang dapat dijadikan kerangka pemikiran dalam menjelaskan dan membahas permasalahan penelitian.

3.3. Menentukan Variabel

3.3.1. Variabel Respon

Variabel respons adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel proses selama percobaan berlangsung. Dalam penelitian ini, variabel yang menjadi fokus adalah kekasaran permukaan dan laju penghilangan material (MRR) pada hasil pembubutan menggunakan mesin CNC.

3.3.2. Variabel Proses

Perubahan pada variabel respons sangat dipengaruhi oleh variabel proses. Variasi pada kecepatan spindel (rpm), laju pemakanan (mm/rev), dan kedalaman pemotongan (mm) yang digunakan sebagai variabel proses dalam penelitian ini disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3. 1 Pahat DNMG 150608-MA

Kode	Variabel Proses	Level		
		1	2	3
A	Kecepatan putaran spindel (<i>rpm</i>)	1.379	1.567	1.755
B	Kecepatan pemakanan (<i>feeding</i>)	0.20	0.22	0.24
C	Kedalaman pemakanan (<i>mm</i>)	0.5	1	1.5

Tabel 3. 2 Percobaan Pahat DNMG 150608-MA

No	Kecepatan Spindel (<i>rpm</i>)	Feeding (<i>mm/rev</i>)	Kedalaman Pemakanan (<i>mm</i>)
1	1.379	0.20	0.5
2	1.379	0.22	1
3	1.379	0.24	1.5
4	1.567	0.20	1
5	1.567	0.22	1.5
6	1.567	0.24	0.5
7	1.755	0.20	1.5
8	1.755	0.22	0.5
9	1.755	0.24	1

Tabel 3. 3 Pahat CNMG 120408-MK

Kode	Variabel Proses	Level		
		1	2	3
A	Kecepatan putaran spindel (<i>rpm</i>)	1.880	2.256	2.633
B	Kecepatan pemakanan (<i>feeding</i>)	0.20	0.22	0.24
C	Kedalaman pemakanan (mm)	0.5	1	1.5

Tabel 3. 4 Percobaan Pahat CNMG 120408-MK

No	Kecepatan Spindel (<i>rpm</i>)	Feeding (<i>mm/rev</i>)	Kedalaman Pemakanan (mm)
1	1.880	0.20	0.5
2	1.880	0.22	1
3	1.880	0.24	1.5
4	2.256	0.20	1
5	2.256	0.22	1.5
6	2.256	0.24	0.5
7	2.633	0.20	1.5
8	2.633	0.22	0.5
9	2.633	0.24	1

3.3.3. Variabel Tetap

Variabel yang dikendalikan langsung oleh peneliti disebut variabel tetap. Dalam penelitian ini, Insert Carbide dan Dromus B berperan sebagai variabel tetap, yang rinciannya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. 5 Variabel Tetap

NO	Variabel Tetap	Tipe
1	Mata Potong	CNMG 120408-MK
2	Mata Potong	DNMG 150608-MA
3	Dromus	Dromus B

3.4. Persiapan Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1. Alat Penelitian

Berikut ini merupakan beberapa alat yang akan digunakan dalam penelitian ini:

1. Mesin Gergaji Potong

Mesin gergaji potong yang digunakan untuk pembuatan dan pemotongan benda uji dalam penelitian ini adalah model DOALL C-916. Gambar berikut menunjukkan tampilan mesin gergaji potong DOALL C-916:



Gambar 3. 2 Mesin Gergaji Potong

2. Mesin *Turning* CNC

Mesin *Turning* yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin bubut CNC Mori Seiki SL-25 ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. 3 Mesin Bubut CNC MORI SEIKI SL-25

3. Mata Potong

Mata potong digunakan untuk melakukan proses penyayatan pada benda uji dalam pemesinan CNC Turning. Pada proses bubut CNC, ujung mata potong berfungsi memotong dan membentuk benda uji yang akan dianalisis. Dalam penelitian ini, Insert Carbide tipe DNMG dan CNMG digunakan sebagai mata potong. Keunggulan material seperti kekerasan tinggi pada berbagai temperatur, ketahanan aus yang baik, modulus tinggi, serta konduktivitas termal yang memungkinkan pemakaian yang efisien selama pemesinan. Spesifikasi mata potong Insert Carbide CNMG yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 4 Spesifikasi Mata Potong CNMG

1. Merek: Mitsubishi
2. Pahat: *Insert Carbide*
3. Tipe: CNMG 120408-MK
4. VC: 145 – 355 *m/min*
5. f: 0.20 – 0.55 *mm/rev*

Spesifikasi mata potong Insert Carbide tipe DNMG yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Spesifikasi Mata Potong DNMG

1. Merek: Mitsubishi
 2. Pahat: *Insert Carbide*
 3. Tipe: DNMG 150608-MA
 4. VC: 105 – 150 *m/min*
 5. f: 0.20 – 0.50 *mm/rev*
4. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur yang digunakan untuk menilai spesimen dalam penelitian ini. Kaliper dengan tingkat presisi 0,05 mm digunakan sebagai instrumen pengukuran. Gambar berikut menunjukkan tampilan jangka sorong:



Gambar 3. 6 Jangka Sorong

5. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat awal dan akhir benda uji setelah proses pembubutan. Alat ini berfungsi untuk menentukan perubahan massa yang diperlukan dalam perhitungan MRR.



Gambar 3. 7 Timbangan Digital

6. *Surface Roughness Tester*

Alat ini berfungsi untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan pada benda kerja atau material.



Gambar 3. 8 *Surface Roughness Tester*

3.4.2. **Bahan Penelitian**

1. Benda Kerja

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari baja ST 37. Spesimen yang dipakai memiliki ukuran diameter Ø25 mm dan panjang 100 mm. Gambar benda uji baja ST 37 ditunjukkan pada ilustrasi berikut:



Gambar 3. 9 Benda Uji Baja ST 37

2. Dromus

Dromus digunakan sebagai media pendingin selama proses pembubutan berlangsung.

3. Media Pelumas

Oli digunakan sebagai media pelumas dalam penelitian ini. Pelumas berfungsi melapisi permukaan benda uji setelah proses pemesinan untuk mencegah terjadinya korosi pada material.

3.5. Proses Pemesinan

Proses pemesinan benda uji baja ST 37 menggunakan mesin bubut CNC Mori Seiki SL-25 dengan parameter tetap yang telah ditentukan dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

1. Menyiapkan spesimen baja ST 37 berdiameter Ø25 mm dan panjang 100 mm. Penelitian ini menggunakan total 27 benda uji, termasuk tiga ulangan menggunakan desain L9 Taguchi. Dengan pengecaman 50 mm, panjang benda uji yang menonjol dari chuck adalah 50 mm, mengingat panjang pembubutan yang diperlukan sebesar 30 mm. Parameter pemesinan disesuaikan dengan tabel sampel dan dimasukkan ke program analisis karena tidak bersifat konstan.
2. Menyiapkan alat bantu yang diperlukan selama pembubutan, seperti handle chuck, obeng, spidol, dan oli.
3. Menyiapkan mata potong yang digunakan dalam proses pemesinan, yaitu DNMG 150608-MA dan CNMG 120408-MK.
4. Membuat dan menyiapkan program CNC sesuai dengan rencana penelitian.
5. Proses pembubutan pada mesin:
 - a. Menyalakan mesin CNC.
 - b. Memasang benda uji pada chuck dan memastikan benda uji tercekam dengan aman.
 - c. Memasang mata potong pada tool holder, kemudian menempatkannya diudukan mesin CNC.
6. Mesin CNC Turning melakukan penyayatan sesuai dengan parameter pada 9 sampel berbeda, kemudian diulang pada spesimen replikasi untuk setiap pemotongan.
7. Melakukan pembubutan sebanyak 27 spesimen menggunakan mata potong DNMG 150608-MA, kemudian membalik posisi benda kerja.

Selanjutnya, pembubutan dilakukan pada 27 spesimen menggunakan mata potong CNMG 120408-MK.

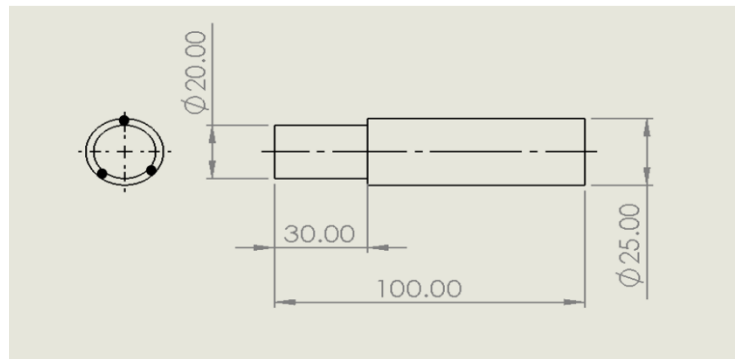
8. Mematikan mesin CNC Turning setelah seluruh proses pembubutan selesai.
9. Memberi nomor pada setiap benda uji yang telah selesai dibubut untuk mempermudah identifikasi.

3.6. Pengambilan dan Uji Data

3.6.1. Pengambilan Data Kekasaran Permukaan

Setelah proses pembubutan dilakukan terhadap spesimen uji, permukaan hasil pemesinan dianalisis menggunakan alat ukur kekasaran permukaan (*Surface Roughness Tester*) pada 3 titik masing-masing berjarak 120° pada permukaan benda kerja dapat dilihat pada gambar 3.10. Data hasil pengukuran kemudian didokumentasikan secara sistematis dan akurat berdasarkan kondisi nyata di lapangan. Dan berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian kekasaran permukaan:

1. Menyiapkan spesimen uji yang ingin diuji dan alat ukur *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-210.
2. Menyiapkan perlengkapan seperti: *V-Block* dan *Holder dial*.
3. Menyalakan alat ukur kekasaran permukaan untuk melakukan pengujian pada spesimen uji.
4. Melakukan kalibrasi terlebih dahulu terhadap alat ukur kekasaran permukaan agar hasil dari pengujian akurat dan maksimal.
5. Letakkan spesimen uji di atas *V-Block* dan pasang alat uji pada *holder dial*, serta atur ketinggian dial agar sesuai dengan spesimen uji.
6. Jalankan alat uji dengan menekan tombol START dan lihat nilai kekasarannya pada layar alat uji. Setelah itu catat hasil kekasaran permukaannya pada kertas dengan rapi dan cepat.
7. Lakukan ulang percobaan sebanyak dua puluh tujuh sampel dan ukur setiap benda kerja di tiga titik yang berbeda.



Gambar 3. 10 Posisi pengambilan Data Kekasaran



Gambar 3. 11 Pengambilan Data Kekasaran

3.6.2. Pengambilan Data MRR

Laju pemakanan material ditentukan melalui pengukuran waktu pemotongan menggunakan stopwatch. Pengukuran waktu dimulai ketika pahat mulai melakukan penyayatan terhadap permukaan spesimen uji baik saat kontak awal dengan benda kerja maupun ketika serpihan pertama terlihat dan dihentikan ketika proses penyayatan berakhir, yaitu ketika pahat kembali ke posisi semula.

Perbedaan massa spesimen sebelum dan sesudah pemotongan menunjukkan jumlah material yang terangkat selama proses pemesinan. Untuk menentukan volume material yang terbuang, massa yang hilang dibagi dengan durasi pemotongan. Nilai ini selanjutnya digunakan untuk menghitung material MRR.

Langkah-langkah perhitungan dimulai dengan menimbang massa awal spesimen uji menggunakan timbangan digital tipe SF-400C. Selanjutnya, selama proses pembubutan berlangsung, dilakukan pencatatan waktu mulai hingga akhir penyayatan. Setelah penyayatan selesai, massa akhir spesimen ditimbang kembali. Prosedur ini diulang pada seluruh spesimen uji hingga seluruh data terkumpul.

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai MRR adalah sebagai berikut:

$$MRR = \frac{\text{volume material yang terbangung (MM3)}}{\text{waktu proses mesin (s)}}$$



Gambar 3. 12 Pengambilan Data MRR

3.7. Analisa Data Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini, metode Taguchi diterapkan untuk menganalisis data melalui tahap pengumpulan, perhitungan, dan evaluasi menggunakan alat statistik seperti ANOVA dan pengujian hipotesis, serta penerapan rumus pada hasil eksperimen. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengidentifikasi variabel proses yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan MRR.

3.8. Hasil dan Kesimpulan

Pada bagian ini, penelitian menyajikan kesimpulan yang diambil berdasarkan temuan penelitian, dengan tujuan menjawab pertanyaan dan sasaran yang telah ditetapkan sebelumnya.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Proses Pengambilan Data Percobaan

Penelitian ini dilakukan melalui proses pemesinan menggunakan mesin CNC Turning Mori Seiki SL-25, dengan menerapkan variasi parameter pemotongan pada dua jenis pahat, yaitu DNMG dan CNMG. Untuk pahat DNMG, variasi kecepatan spindel (*spindle speed*) yang digunakan adalah 1.379 rpm, 1.567 rpm, dan 1.755 rpm. Parameter laju pemakanan (*feeding*) yang diterapkan adalah 0,20 mm/rev, 0,22 mm/rev, dan 0,24 mm/rev. Sedangkan kedalaman pemakanan (*depth of cut*) divariasikan pada tiga tingkat, yaitu 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Sementara itu, pada pahat jenis CNMG, variasi kecepatan putar yang digunakan adalah 1.880 rpm, 2.256 rpm, dan 2.633 rpm. Parameter laju pemakanan yang digunakan sama, yaitu 0,20 mm/rev, 0,22 mm/rev, dan 0,24 mm/rev, serta kedalaman pemakanan yang sama dengan pahat DNMG, yakni 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. setelah proses pemesinan selesai, dilakukan pengambilan data terhadap laju pemakanan material *Material Removal Rate* (MRR) dan pengujian kekasaran permukaan. Pengukuran MRR dilakukan dengan mencatat masa spesimen sebelum dan sesudah proses serta waktu pemesinan, lalu dihitung untuk memperoleh nilai MRR. Sementara itu, pengambilan data kekasaran permukaan spesimen uji dengan melakukan tiga kali replikasi pada tiga titik yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang valid. Kedua parameter hasil MRR dan kekasaran permukaan kemudian dianalisis dengan menggunakan metode *Taguchi* untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing variabel proses serta menentukan nilai optimumnya. Berikut ini adalah program yang digunakan pada benda kerja satu:

N1;

G00T0101;

G97S1379M03;

G00X30.Z5.;

M08;

G71U0.5R0.5;
 G71P100Q200U0.5W0.2F0.2;
 N100G00X20.Z5.;
 G70P100Q200;
 G00X100.Z100.;
 M05;
 M09;
 M30;

4.2. Pengolahan Data hasil kekasaran permukaan

Pengambilan data hasil kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-210. Pengambilan data kekasaran permukaan dilakukan pada tiga titik yang berbeda sehingga menghasilkan data yang valid.

4.2.1. Data kekasaran Pahat DNMG 150608-MA

Tabel 4. 1 Data Hasil Kekasaran Pahat DNMG 150608-MA

No	Kecepatan Spindel (rpm)	<i>Feeding</i> (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)	Kekasaran			Rata- rata
				1	2	3	
1	1379	0,20	0,5	1,120	0,982	1,553	1.218
2	1379	0,22	1,0	1,472	1,329	2,098	1.633
3	1379	0,24	1,5	1,894	2,073	1,852	1.939
4	1567	0,20	1,0	1,088	1,665	1,186	1.313
5	1567	0,22	1,5	2,006	1,408	1,804	1.739
6	1567	0,24	0,5	2,187	1,461	1,336	1.661
7	1755	0,20	1,5	1,313	1,593	1,170	1.358
8	1755	0,22	0,5	1,437	0,895	1,371	1.234
9	1755	0,24	1,0	2,105	2,230	2,150	2.161

4.2.2. Perhitungan langsung rata-rata terhadap respon

Rata-rata kekasaran permukaan untuk setiap kombinasi level parameter ditentukan melalui analisis data hasil pengujian secara langsung. Nilai rata-rata tersebut dihitung dengan mengelompokkan data sesuai dengan variasi level pada setiap faktor. Rincian perhitungannya disajikan pada bagian berikut ini:

A. Perhitungan rata-rata proses pemakanan DNMG 150608-MA

Perhitungan rata-rata untuk Faktor A (Kecepatan Spindel):

$$A1=1/3 (1,218 + 1,633 + 1,939) = 1,594$$

$$A2=1/3 (1,313 + 1,739 + 1,661) = 1,571$$

$$A3=1/3 (1,358 + 1,234 + 2,161) = 1,584$$

Perhitungan rata-rata untuk Faktor B (*Feeding*):

$$B1=1/3 (1,218 + 1,313 + 1,358) = 1,296$$

$$B2=1/3 (1,633 + 1,739 + 1,234) = 1,535$$

$$B3=1/3 (1,939 + 1,661 + 2,161) = 1,920$$

Perhitungan rata-rata untuk Faktor C (Kedalaman Pemakanan):

$$C1=1/3 (1,218 + 1,661 + 1,234) = 1,371$$

$$C2=1/3 (1,663 + 1,131 + 2,161) = 1,702$$

$$C3=1/3 (1,939 + 1,739 + 1,358) = 1,678$$

Dari hasil perhitungan manual rata rata kombinasi level dan pengaruh faktor terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat pada Tabel 4.2 :

Tabel 4. 2 Respon Parameter Terhadap *Mean*

Level	Kecepatan Spindel (<i>rpm</i>)	<i>Feeding</i> (<i>mm/rev</i>)	Kedalaman pemakanan (<i>mm</i>)
1	1,594	1,296	1,371
2	1,571	1,535	1,702
3	1,584	1,920	1,678
Delta	0,025	0,624	0,331
Ranking	3	1	2

Hasil analisis terhadap nilai rata-rata respon kekasaran permukaan yang diperoleh dari tabel menunjukkan bahwa parameter *Feeding* memiliki pengaruh paling dominan terhadap kekasaran permukaan, dengan selisih sebesar 0,624.

Faktor kedalaman pemakanan berada pada urutan selanjutnya dengan selisih sebesar 0,331. Sementara itu, parameter kecepatan spindel (*rpm*) memberikan pengaruh paling kecil, yaitu dengan selisih hanya 0,025.

4.2.3. Data Hasil Kekasaran Pahat CNMG 120408-MK

Tabel 4. 3 Data Hasil Kekasaran Pahat CNMG 120408-MK

No	Kecepatan Spindel (<i>rpm</i>)	<i>Feeding</i> (<i>mm/rev</i>)	Kedalaman pemakanan (<i>mm</i>)	Kekasaran			Rata-rata
				1	2	3	
1	1880	0,20	0,5	0,992	1,801	0,965	1.252
2	1880	0,22	1,0	0,821	1,111	0,664	0.865
3	1880	0,24	1,5	1,154	1,157	1,192	1.167
4	2256	0,20	1,0	1,561	1,117	1,628	1.435
5	2256	0,22	1,5	1,111	0,623	1,425	1.053
6	2256	0,24	0,5	1,743	1,478	1,262	1.494
7	2633	0,20	1,5	1,859	1,478	1,441	1.592
8	2633	0,22	0,5	0,835	1,320	1,089	1.081
9	2633	0,24	1,0	1,105	1,928	0,932	1.321

B. Perhitungan rata-rata proses pemakanan CNMG 120408-MK

Perhitungan rata-rata untuk Faktor A (Kecepatan Spindel):

$$A1=1/3 (1,252 + 0,865 + 1,167) = 1,094$$

$$A2=1/3 (1,435 + 1,053 + 1,494) = 1,327$$

$$A3=1/3 (1,592 + 1,081 + 1,321) = 1,331$$

Perhitungan rata-rata untuk Faktor B(*Feeding*)

$$B1=1/3 (1,252 + 1,435 + 1,592) = 1,426$$

$$B2=1/3 (0,865 + 1,053 + 1,081) = 0,999$$

$$B3=1/3 (1,167 + 1,494 + 1,321) = 1,327$$

Perhitungan rata-rata untuk Faktor C(Kedalaman Pemakanan)

$$C1=1/3 (1,252 + 1,494 + 1,081) = 1,275$$

$$C2=1/3 (0,865 + 1,435 + 1,321) = 1,207$$

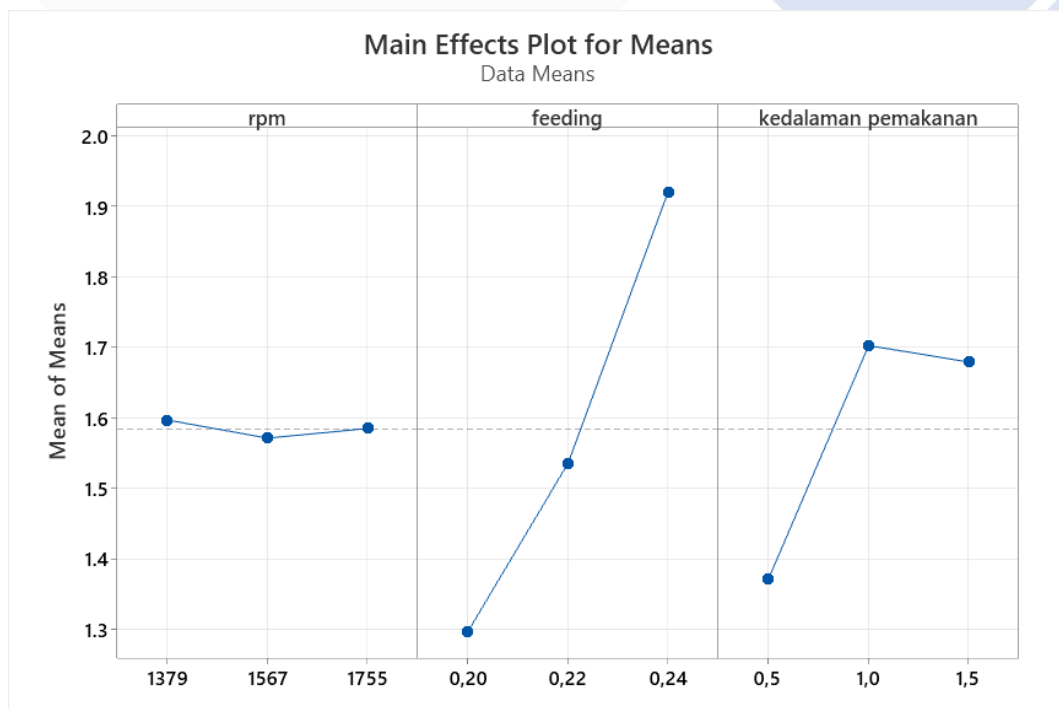
$$C3=1/3 (1,167 + 1,053 + 1,592) = 1,270$$

Tabel 4. 4 Respon Parameter Terhadap *Mean* (CNMG)

Level	Kecepatan Spindel	<i>Feeding</i>	Kedalaman pemakanan
-------	-------------------	----------------	---------------------

	(rpm)	(mm/rev)	(mm)
1	1,094	1,426	1,275
2	1,327	0,999	1,207
3	1,331	1,327	1,270
Delta	0,24	0,43	0,07
Ranking	2	1	3

Tabel tersebut menyajikan nilai rata-rata respon kekasaran permukaan pada tiap level parameter proses, yang menjadi dasar dalam menentukan urutan tingkat pengaruh masing-masing faktor. Parameter *feeding* tercatat sebagai faktor yang memberikan pengaruh paling signifikan terhadap kekasaran permukaan, dengan nilai selisih sebesar 0,43. Diikuti oleh kecepatan spindel (RPM) dengan selisih sebesar 0,24. Sementara itu, kedalaman pemakanan menunjukkan pengaruh paling rendah, yakni dengan selisih sebesar 0,07.



Gambar 4. 1 Grafik Mean Terhadap Kekasaran Permukaan Dari Tiap Parameter dan Level

Tabel 4.4 Respon parameter terhadap *mean* (CNMG) dilihat pada Gambar 4.1. Prediksi kombinasi parameter yang menghasilkan respons optimal terhadap kekasaran permukaan dapat ditentukan, sebagaimana disajikan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Respon *Means* Parameter Terhadap Hasil Dari Kekaasaran Permukaan

Parameter Bebas	Tingkat Level	Nilai Level
Kecepatan Spindel (rpm)	1	1379
Feeding (mm/rev)	3	0,24
Kedalaman Pemotongan (mm)	2	1,0

4.2.4. Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon

A. Perhitungan rasio S/N untuk pemakan DNMG 150608-MA

Pengujian 1 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,120^2 + 0,982^2 + 1,553^2) \right) = -1,884$$

Pengujian 2 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,472^2 + 1,329^2 + 2,098^2) \right) = -4,438$$

Pengujian 3 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,894^2 + 2,073^2 + 1,852^2) \right) = -5,76$$

Pengujian 4 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,088^2 + 1,665^2 + 1,186^2) \right) = -2,52$$

Pengujian 5 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (2,006^2 + 1,408^2 + 1,804^2) \right) = -4,90$$

Pengujian 6 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (2,187^2 + 1,461^2 + 1,336^2) \right) = -4,62$$

Pengujian 7 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,313^2 + 1,593^2 + 1,170^2) \right) = -2,74$$

Pengujian 8 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,437^2 + 0,895^2 + 1,371^2) \right) = -1,99$$

Pengujian 9 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (2,105^2 + 2,230^2 + 2,150^2) \right) = -6,70$$

Nilai rasio S/N yang diperoleh dari respons hasil pengamatan pada proses pemakanan menggunakan DNMG 150608-MA disajikan pada Tabel (4.6) berikut:

Tabel 4. 6 Ratio S/N untuk Respon

No	Kecepatan Spindel (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)	Kekasaran			S/N
				1	2	3	
1	1379	0,20	0,5	1,120	0,982	1,553	-1,884
2	1379	0,22	1,0	1,472	1,329	2,098	-4,438
3	1379	0,24	1,5	1,894	2,073	1,852	-5,76
4	1567	0,20	1,0	1,088	1,665	1,186	-2,52
5	1567	0,22	1,5	2,006	1,408	1,804	-4,90
6	1567	0,24	0,5	2,187	1,461	1,336	-4,62
7	1755	0,20	1,5	1,313	1,593	1,170	-2,74
8	1755	0,22	0,5	1,437	0,895	1,371	-1,99
9	1755	0,24	1,0	2,105	2,230	2,150	-6,70

Dari Tabel 4.6 didapatkan nilai dari *ratio* S/N pada tiap parameter berikut hasil perhitungan respon dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut :

Tabel 4. 7 Hasil Anova

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj Ms	F	P
Kecepatan Spindel (rpm)	2	5,4594	5,7594	2,8797	24,34	0,039
Feeding (mm/rev)	2	15,2888	15,2888	7,6444	64,62	0,015
Kedalaman Pemakanan (mm)	2	0,5122	0,5122	0,2561	2,16	0,316
Error	2	0,2366	0,2366	0,1183		
Total	8	21,7970				

Tabel 4. 8 Respon Ratio S/N Parameter Terhadap *Smaller is Better*

Response Table for signal to Noise Ratios Smaller is Better			
Level	Kecepatan Spindel (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)
1	-4,029	-2,381	-2,834
2	-4,014	-3,775	-4,553
3	-3,808	-5,696	-4,465

Delta	0,221	3,316	1,719
Rank	3	1	2

Peringkat pengaruh parameter terhadap kekasaran permukaan ditentukan melalui analisis rasio S/N per level, sebagai mana terlihat pada tabel 4.8. Dalam urutan pengaruh, *Feeding* merupakan faktor terkuat dengan delta 3,316, kedalaman pemakanan berada diposisi berikutnya dengan delta 1,719, kontribusi terkecil terhadap kekasaran permukaan terdapat pada kecepatan spindel dengan delta 0,221.

B. Perhitungan rasio S/N untuk pemakanan CNMG 120408-MK

Pengujian 1 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (0,992^2 + 1,801^2 + 0,965^2) \right) = -2,36$$

Pengujian 2 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (0,821^2 + 1,111^2 + 0,664^2) \right) = 1,06$$

Pengujian 3 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,154^2 + 1,157^2 + 1,192^2) \right) = -1,34$$

Pengujian 4 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,561^2 + 1,117^2 + 1,628^2) \right) = -3,24$$

Pengujian 5 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,111^2 + 0,623^2 + 1,425^2) \right) = -0,86$$

Pengujian 6 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,743^2 + 1,478^2 + 1,262^2) \right) = -3,56$$

Pengujian 7 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,859^2 + 1,478^2 + 1,441^2) \right) = -4,10$$

Pengujian 8 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (0,835^2 + 1,320^2 + 1,089^2) \right) = -0,82$$

Pengujian 9 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (1,105^2 + 1,928^2 + 0,932^2) \right) = -2,87$$

Nilai rasio S/N yang diperoleh dari respons hasil pengamatan pada proses pemakanan menggunakan CNMG 120408-MK disajikan pada Tabel 4.9 berikut:

Tabel 4. 9 Rasio S/N Untuk Respon

No	Kecepatan Spindel (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman pemakanan (mm)	Kekasaran			S/N
				1	2	3	
1	1880	0,20	0,5	0,992	1,801	0,965	-2,36
2	1880	0,22	1,0	0,821	1,111	0,664	1,06
3	1880	0,24	1,5	1,154	1,157	1,192	-1,34
4	2256	0,20	1,0	1,561	1,117	1,628	-3,24
5	2256	0,22	1,5	1,111	0,623	1,425	-0,86
6	2256	0,24	0,5	1,743	1,478	1,262	-3,56
7	2633	0,20	1,5	1,859	1,478	1,441	-4,10
8	2633	0,22	0,5	0,835	1,320	1,089	-0,82
9	2633	0,24	1,0	1,105	1,928	0,932	-2,87

Tabel 4. 10 hasil Anova

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj Ms	F	P
Kecepatan Spindel (rpm)	2	5,4594	5,7594	2,8797	24,34	0,039
Feeding (mm/rev)	2	15,2888	15,2888	7,6444	64,62	0,015
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj Ms	F	P
Kedalaman Pemakanan (mm)	2	0,5122	0,5122	0,2561	2,16	0,316
Error	2	0,2366	0,2366	0,1183		
Total	8	21,7970				

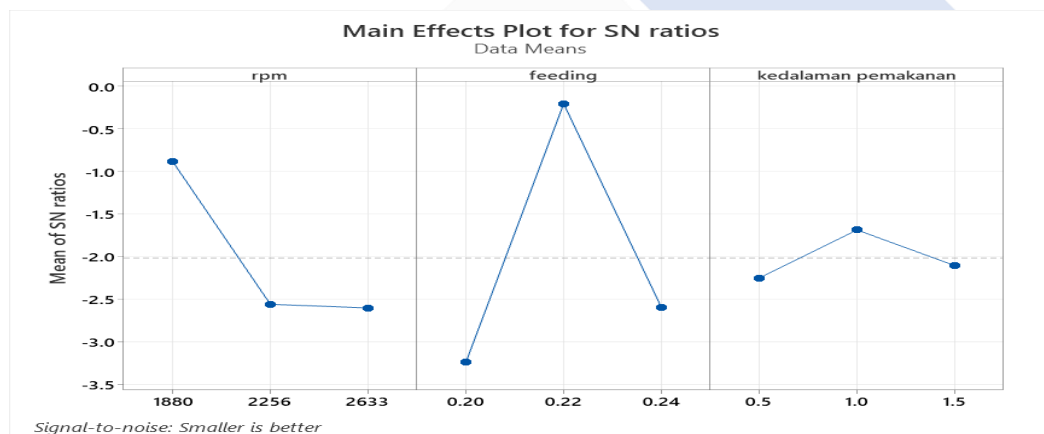
Tabel 4. 11 Respon Ratio S/N Parameter Terhadap *Smaller is Better*

<i>Response Table for signal to Noise Ratios Smaller is Better</i>			
Level	Kecepatan Spindel (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)
1	-0,8799	-3,2345	-2,2468
2	-2,5550	-0,2053	-1,6841
3	1,7180	-2,5930	-2,1020
Delta	1,7180	3,0292	0,5627

Rank	2	1	3
------	---	---	---

Peringkat pengaruh parameter terhadap kekasaran permukaan ditentukan melalui analisis rasio S/N per level, sebagai mana terlihat pada Tabel 4.11. Dalam urutan pengaruh, *Feeding* merupakan faktor terkuat dengan delta 3,0292, kecepatan spindle berada diposisi berikutnya dengan delta 1,7180, kontribusi terkecil terhadap kekasaran permukaan terdapat pada kedalaman pemakanan dengan delta 0,5627.

Berdasarkan Tabel 4.11 dibuat plot kominasi variable proses untuk menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimal pada setiap level setiap parameter. Nilai rata-rata ditunjukan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik Respon Rasio S/N Untuk Maing-Masing dari Level Tiap Parameter.

Berdasarkan gambar 4.2, diagram, yang menunjukkan bagaimana nilai rasio S/N merespon kekasaran permukaan pada setiap level parameter proses dapat digunakan untuk memperkirakan kombinasi parameter proses mana yang memiliki respon paling kecil. Kombinasi paramerer metode respon minimum ditunjukan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Respon S/N Parameter Terhadap Hasil Dari Kekasaran Permukaan

Parameter Bebas	Tingkat Level	Nilai Level
Kecepatan Spindel (rpm)	1	1880
Feeding (mm/rev)	2	0,22
Kedalaman Pemotongan	3	1,0

(mm)

4.2.5. Analisis Varian Rata – rata

Untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai rata-rata, digunakan metode Analisis Varians (ANOVA). Perhitungan ANOVA dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

A. Analisis varian terhadap rata – rata konsumsi pemakaian DNMG 150608-MA

Untuk perhitungan faktor A (RPM)

Jumlah kuadrat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$\begin{aligned}SS_A &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N} \\&= \frac{4,79^2}{3} + \frac{4,713^2}{3} + \frac{4,753^2}{3} - \frac{14,256^2}{9} \\&= 0,00099\end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$VA = 3 - 1 = 2$$

Mencari rata – rata digunakan rumus dibawah ini :

$$MS_A = \frac{SS_A}{VA} = \frac{0,00099}{2} = 0,000495$$

Perhitungan untuk faktor A, ketika dibagi dengan derajat kebebasannya, akan menghasilkan nilai yang diinginkan.

Untuk perhitungan faktor B (*Feeding*)

Jumlah kuadrat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$\begin{aligned}SS_B &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} - \frac{T^2}{N} \\&= \frac{3,889^2}{3} + \frac{4,606^2}{3} + \frac{5,761^2}{3} - \frac{14,256^2}{9} \\&= 0,5947\end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$VB = 3 - 1 = 2$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{VB} = \frac{0,5947}{2} = 0,2974$$

Perhitungan untuk faktor B, ketika dibagi dengan derajat kebebasannya, akan menghasilkan nilai yang diinginkan.

Untuk perhitungan faktor C (kedalaman pemotongan)

Jumlah kuadrat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$\begin{aligned}SS_C &= \frac{c_1^2}{n_{C1}} + \frac{c_2^2}{n_{C2}} + \frac{c_3^2}{n_{C3}} - \frac{T^2}{N} \\&= \frac{1,371^2}{3} + \frac{1,702^2}{3} + \frac{1,678^2}{3} - \frac{4,751^2}{9} \\&= 0,02271\end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$VC = 3 - 1 = 2$$

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = \frac{0,02271}{2} = 0,01136$$

Perhitungan untuk faktor C, ketika dibagi dengan derajat kebebasannya, akan menghasilkan nilai yang diinginkan.

Derajat kebebasan total :

$$\begin{aligned}V_T &= N - 1 \\&= 9 - 1 = 8\end{aligned}$$

Derajat kebebasan *error*:

$$\begin{aligned}V_E &= V_T - V_A - V_B - V_C = \\&= 8 - 2 - 2 - 2 = 2\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat total dapat dihitung dengan memanfaatkan rumus yang melibatkan penjumlahan nilai rata – rata hasil uji kekasaran permukaan.

$$\begin{aligned}SS_T &= \sum y^2 \\&= 1,218^2 + 1,633^2 + 1,939^2 + 1,313^2 + 1,739^2 + 1,661^2 \\&\quad 1,358^2 + 1,234^2 + 2,161^2 \\&= 23,462\end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat rata – rata, rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}S_m &= n \cdot \overline{y^2} \\&= 9 \cdot 1,584^2 \\&= 22,572\end{aligned}$$

Untuk mencari jumlah faktor error, rumus yang digunakan adalah:

$$SS_{factor} = SS_A + SS_B + SS_C$$

$$= 0,00099 + 0,5947 + 0,02271$$

$$= 0,6184$$

$$F - rasio = \frac{MS_{factor}}{MS_e}$$

Tabel 4. 13 Analisis ANOVA (DNMG)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj Ms	F	P
Kecepatan Spindel (rpm)	2	0,000998	0,000998	0,000499	0,01	0,986
Feeding (mm/rev)	2	0,595203	0,595203	0,297602	8,31	0,107
Kedalaman Pemakanan (mm)	2	0,205048	0,205048	0,102524	2,86	0,259
Error	2	0,071652	0,071652	0,035826		
Total	8	0,872901				

B. Analisis varian terhadap rata – rata konsumsi pemakanan CNMG 120408-MK

Untuk perhitungan faktor A (RPM)

Jumlah kuadrat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$\begin{aligned}
 SS_A &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N} \\
 &= \frac{3,284^2}{3} + \frac{3,982^2}{3} + \frac{3,994^2}{3} - \frac{11,260^2}{9} \\
 &= 3,561
 \end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$VA = 3 - 1 = 2$$

Mencari rata – rata digunakan rumus dibawah ini :

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{3,561}{2} = 1,7085$$

Perhitungan untuk faktor A, ketika dibagi dengan derajat kebebasannya, akan menghasilkan nilai yang diinginkan.

Untuk perhitungan faktor B (Feeding)

Jumlah kuadrat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$SS_B = \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$= \frac{4,279^2}{3} + \frac{2,999^2}{3} + \frac{3,982^2}{3} - \frac{11,260^2}{9}$$

$$= 0,304$$

Derajat kebebasan

$$VB = 3 - 1 = 2$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{VB} = \frac{0,304}{2} = 0,152$$

Perhitungan untuk faktor B, ketika dibagi dengan derajat kebebasannya, akan menghasilkan nilai yang diinginkan.

Untuk perhitungan faktor C (kedalaman pemotongan)

Jumlah kuadrat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$SS_C = \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$= \frac{3,827^2}{3} + \frac{3,621^2}{3} + \frac{3,812^2}{3} - \frac{11,260^2}{9}$$

$$= 0,017$$

Derajat kebebasan

$$VB = 3 - 1 = 2$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{VB} = \frac{0,017}{2} = 0,0085$$

Perhitungan untuk faktor C, ketika dibagi dengan derajat kebebasannya, akan menghasilkan nilai yang diinginkan.

Derajat kebebasan total:

$$V_T = N - 1$$

$$= 9 - 1 = 8$$

Derajat kebebasan *error*:

$$V_E = V_T - V_A - V_B - V_C =$$

$$= 8 - 2 - 2 - 2 = 2$$

Jumlah kuadrat total dapat dihitung dengan memanfaatkan rumus yang melibatkan penjumlahan nilai rata – rata hasil uji kekasaran permukaan.

$$SS_T = \sum y^2$$

$$= 1,252^2 + 0,865^2 + 1,167^2 + 1,435^2 + 1,053^2 + 1,494^2$$

$$1,592^2 + 1,081^2 + 1,321^2$$

$$= 14,530$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat rata – rata, rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} S_m &= n \cdot \overline{y^2} \\ &= 9 \cdot 1,251^2 \\ &= 14,085 \end{aligned}$$

Untuk mencari jumlah faktor error, rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} SS_{factor} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 3,561 + 0,304 + 0,017 \\ &= 3,882 \end{aligned}$$

$$F - rasio = \frac{MS_{factor}}{MS_e}$$

Tabel 4. 14 Analisis ANOVA CNMG

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj Ms	F	P
Kecepatan Spindel (rpm)	2	0,110009	0,110009	0,055004	5,48	0,154
Feeding (mm/rev)	2	0,299714	0,299714	0,149857	14,93	0,063
Kedalaman Pemakanan (mm)	2	0,008794	0,008794	0,004397	0,44	0,695
Error	2	0,020078	0,020078	0,010039		
Total	8	0,438594				

4.2.6. Kenormalan Data

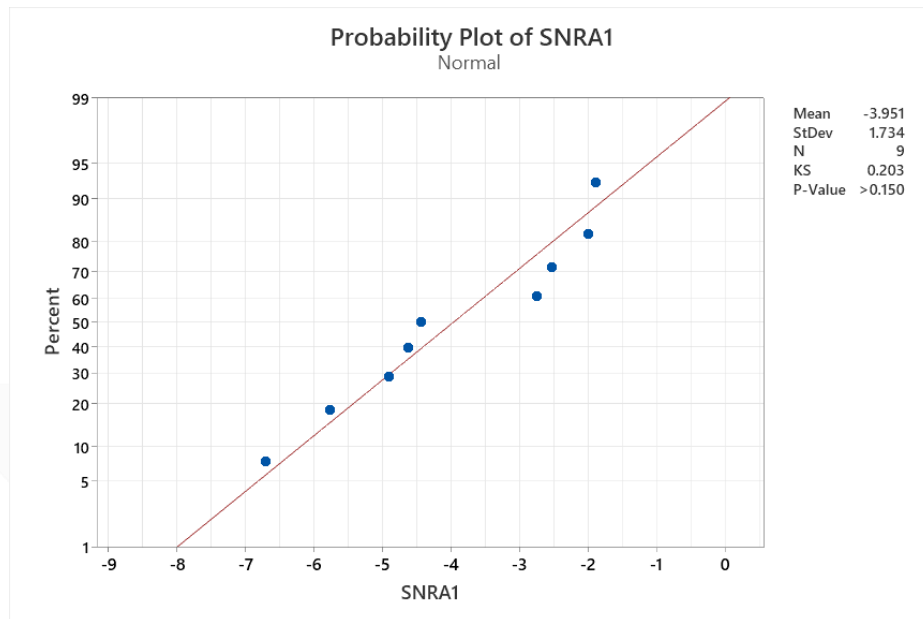
Untuk melakukan pengujian normalitas data, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

A. Pengujian normalitas data pada proses pemakanan menggunakan DNMG 150608-MA

1. Hipotesis:

- H0: Kumpulan data yang diteliti tidak menunjukkan adanya pola distribusi tertentu.
- H1: Kumpulan data yang diteliti memiliki suatu pola distribusi.

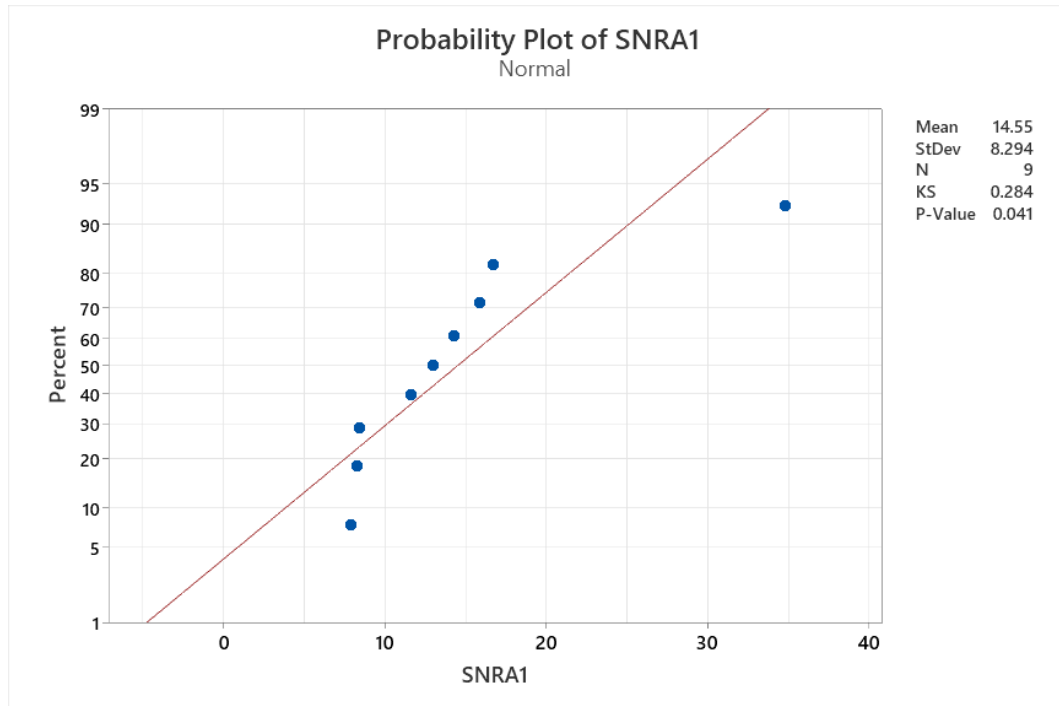
2. Hipotesis nol (H_0) akan ditolak apabila nilai p – value yang diperoleh lebih kecil dari Tingkat signifikansi (α) yang ditetapkan sebesar 10 % (0,10).
3. Hasil temuan dari pengujian Kolmogrov-Smirnov disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Probability Plot Of SNRA1

4. Kesimpulan dari pengujian kenormalan data yang telah dilakukan, diperoleh nilai p – value sebesar $> 0,150$. Dengan membandingkan nilai ini terhadap Tingkat signifikansi (α) yang ditetapkan sebesar 0,10, diketahui bahwa p – value $> 0,150$ lebih besar dari α (0,10). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa (H_1) di terima. Hal ini menunjukkan data yang diteliti memiliki suatu pola distribusi.
- B. Pengujian normalitas data pada proses pemakanan menggunakan CNMG
1. Hipotesis:
 - H_0 : Kumpulan data yang diteliti tidak menunjukkan adanya pola distribusi tertentu.
 - H_1 : Kumpulan data yang diteliti memiliki suatu pola distribusi.

2. Hipotesis nol (H_0) akan ditolak apabila nilai p – value yang diperoleh lebih kecil dari Tingkat signifikansi (α) yang ditetapkan sebesar 10 % (0,10).
3. Hasil temuan dari pengujian Kolmogrov-Smirnov disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 *Probability Plot Of SNRA1*

4. Kesimpulan dari pengujian kenormalan data yang telah dilakukan, diperoleh nilai p – value sebesar 0,041. Dengan membandingkan nilai ini terhadap Tingkat signifikansi (α) yang ditetapkan sebesar 0,10, diketahui bahwa p – value 0,041 lebih kecil dari α (0,10). Oleh karna itu, dapat disimpulkan bahwa (H_0) ditolak. Hal ini menunjukkan data yang diteliti tidak menunjukkan adanya pola distribusi tertentu.

4.3. Pengolahan Data *Material Removal Rate*

Untuk mencari data MMR menggunakan rumus seperti berikut ini:

$$MRR3 = (\text{Volume Material yang terbuang } mm^2)$$

$$S = (\text{Waktu Proses Mesin s})$$

Rumus volume material:

$$V = \frac{m}{p}$$

Dengan keterangan:

MRR : *Material Removal Rate* (mm^3/dt)

V : Volume material (mm^3)

M : Massa material (gram)

P : Massa jenis material (g/mm^3)

4.3.1. Data *Material Removal Rate* pahat DNMG150608-MA

Tabel 4. 15 Data Material MRR pahat DNMG150608-MA

No. Spesimen	Parameter			Massa awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Waktu Proses Pengerjaan (s)
	<i>Spindle Speed (rpm)</i>	<i>Feeding (mm/rev)</i>	Kedalaman Pemakanan (mm)			
1	1379	0,20	0,5	348.55	303.87	69.13
2	1379	0,22	1,0	350	305.56	42.38
3	1379	0,24	1,5	348.95	303.74	29.08
4	1567	0,20	1,0	350.82	298.32	40.41
5	1567	0,22	1,5	347.73	302.85	27.52
6	1567	0,24	0,5	344.15	300	50.42
7	1755	0,20	1,5	344.73	300	26.94
8	1755	0,22	0,5	349.1	306.47	49.91
9	1755	0,24	1,0	349.1	305.9	30.55
10	1379	0,20	0,5	350	306.07	69.9
11	1379	0,22	1,0	348.44	303.73	41.61
12	1379	0,24	1,5	350.45	303.57	29.02
13	1567	0,20	1,0	345.82	300.61	40.15
14	1567	0,22	1,5	346.82	301.76	27.4
15	1567	0,24	0,5	345.82	301.7	51.72
16	1755	0,20	1,5	350	306.06	26.99
17	1755	0,22	0,5	347.92	305	49.9

No. Spesimen	Parameter			Massa awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Waktu Proses Pengerjaan (s)
	<i>Spindle Speed (rpm)</i>	<i>Feeding (mm/rev)</i>	Kedalaman Pemakanan (mm)			
18	1755	0,24	1,0	349.53	307.15	30.66
19	1379	0,20	0,5	348.7	304.27	68.22
20	1379	0,22	1,0	348.7	303.6	41.51
21	1379	0,24	1,5	348.7	299.11	28.53
22	1567	0,20	1,0	349.42	305.27	40.86
23	1567	0,22	1,5	343.83	300	27.34
24	1567	0,24	0,5	346.34	301.24	51.68
25	1755	0,20	1,5	348.8	305.49	26.65
26	1755	0,22	0,5	350	307.55	50.38
27	1755	0,24	1,0	348.93	305.94	30.5

4.3.2. Data hasil *Material Removal Rate* pahat DNMG150608-MA

Tabel 4. 16 Data Hasil Material MRR pahat DNMG150608-MA

No. Spesimen	Selisih (gram)	waktu (s)	Massa jenis (g/mm ³)	Volume material yang terbuang (mm ³)	MRR mm ³ /s
1	44.68	69.13	0,0078	5728.205	82.86135
2	44.44	42.38	0,0078	5697.436	134.4369
3	45.21	29.08	0,0078	5796.154	199.3175
4	52.5	40.41	0,0078	6730.769	166.562
5	44.88	27.52	0,0078	5753.846	209.0787
6	44.15	50.42	0,0078	5660.256	112.2621
7	44.73	26.94	0,0078	5734.615	212.8662
8	42.63	49.91	0,0078	5465.385	109.5048
9	43.2	30.55	0,0078	5538.462	181.2917
10	43.93	69.9	0,0078	5632.051	80.57298
11	44.71	41.61	0,0078	5732.051	137.7566
12	46.88	29.02	0,0078	6010.256	207.1074

No. Spesimen	Selisih (gram)	waktu (s)	Massa jenis (g/mm ³)	Volume material yang terbangung (mm ³)	MRR mm ³ /s
13	45.21	40.15	0,0078	5796.154	144.3625
14	45.06	27.4	0,0078	5776.923	210.8366
15	44.12	51.72	0,0078	5656.41	109.366
16	43.94	26.99	0,0078	5633.333	208.7193
17	42.92	49.9	0,0078	5502.564	110.2718
18	42.38	30.66	0,0078	5433.333	177.2124
19	44.43	68.22	0,0078	5696.154	83.49683
20	45.1	41.51	0,0078	5782.051	139.293
21	49.59	28.53	0,0078	6357.692	222.8424
22	44.15	40.86	0,0078	5660.256	138.5281
23	43.83	27.34	0,0078	5619.231	205.5315
24	45.1	51.68	0,0078	5782.051	111.8818
25	43.31	26.65	0,0078	5552.564	208.3514
26	42.45	50.38	0,0078	5442.308	108.0252
27	42.99	30.5	0,0078	5511.538	180.7062

4.3.3. Hasil perhitungan eksperimen terhadap respon MRR DNMG150608-MA

Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Eksperimen Terhaap Respon MRR Pahat DNMG150608-MA

Eksperimen	Factor			Data awal	Replikasi		Jumlah	mean
	A	B	C		1	2		
1	1	1	1	82.86135	80.57298	83.49683	246.9312	82.31039
2	1	2	2	134.4369	137.7566	139.293	411.4865	137.1622
3	1	3	3	199.3175	207.1074	222.8424	629.2673	209.7558
4	2	1	2	166.562	144.3625	138.5281	449.4526	149.8175
5	2	2	3	209.0787	210.8366	205.5315	625.4468	208.4823
6	2	3	1	112.2621	109.366	111.8818	333.5099	111.17
7	3	1	3	212.8662	208.7193	208.3514	629.9369	209.979
8	3	2	1	109.5048	110.2718	108.0252	327.8018	109.2673
9	3	3	2	181.2917	177.2124	180.7062	539.2103	179.7368

4.3.4. Data Material Removal Rate Pahat CNMG120408-MK

Tabel 4. 18 Data Material MRR pahat CNMG120408-MK

No. Spesimen	Parameter			Massa awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Waktu Proses Pengerjaan (s)
	Spindle Speed (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)			
1	1880	0,20	0,5	395.52	303.87	46.97
2	1880	0,22	1,0	395.52	305.56	45.52
3	1880	0,24	1,5	394.65	303.74	45.7
4	2256	0,20	1,0	394.08	298.32	43.26
5	2256	0,22	1,5	394.57	302.85	46.84
6	2256	0,24	0,5	394.58	300	50.43
7	2633	0,20	1,5	396.94	300	52.21
8	2633	0,22	0,5	394.71	306.47	45.61
9	2633	0,24	1,0	395.9	305.9	46.8
10	1880	0,20	0,5	395.35	306.07	45.35
11	1880	0,22	1,0	394.42	348.55	45.98
12	1880	0,24	1,5	396.5	350	46.05
13	2256	0,20	1,0	393.03	348.95	47.21
14	2256	0,22	1,5	395.64	350.82	48.82
15	2256	0,24	0,5	396.26	347.73	50.44
16	2633	0,20	1,5	395.88	344.15	45.88
17	2633	0,22	0,5	395.88	344.73	47.96
18	2633	0,24	1,0	394.6	349.1	45.07
19	1880	0,20	0,5	394.6	349.1	45.9
20	1880	0,22	1,0	394.6	350	45.9
21	1880	0,24	1,5	394.6	348.44	45.9
22	2256	0,20	1,0	395.82	350.45	46.4

No. Spesimen	Parameter			Massa awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Waktu Proses Pengerjaan (s)
	Spindle Speed (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)			
23	2256	0,22	1,5	393.88	345.82	50.05
24	2256	0,24	0,5	397.06	346.82	50.72
25	2633	0,20	1,5	393.99	345.82	9.19
26	2633	0,22	0,5	395.36	350	45.36
27	2633	0,24	1,0	394.93	347.92	46

4.3.5. Data hasil material removal rate CNMG120408-MK

Tabel 4. 19 Data Hasil Material MRR CNMG120408-MK

No. Spesimen	Selisih (gram)	waktu (s)	Massa jenis (g/mm ³)	Volume material yang terbangun (mm ³)	MRR mm ³ /s
1	46.97	52.41	0,0078	6021.795	114.8978
2	45.52	30.35	0,0078	5835.897	192.2866
3	45.7	21.93	0,0078	5858.974	267.1671
4	43.26	42.76	0,0078	5546.154	129.7043
5	46.84	26.6	0,0078	6005.128	225.7567
6	50.43	18.25	0,0078	6465.385	354.2677
7	52.21	38.1	0,0078	6693.59	175.6848
8	45.61	23.09	0,0078	5847.436	253.2454
9	46.8	17.55	0,0078	6000	341.8803
10	45.35	51.35	0,0078	5814.103	113.225
11	45.98	31.7	0,0078	5894.872	185.9581
12	46.05	22.19	0,0078	5903.846	266.0589
13	47.21	43.34	0,0078	6052.564	139.6531
14	48.82	26.75	0,0078	6258.974	233.9803
15	50.44	18.1	0,0078	6466.667	357.2744
16	45.88	38.17	0,0078	5882.051	154.1014
17	47.96	23.08	0,0078	6148.718	266.4089
18	45.07	15.87	0,0078	5778.205	364.0961
19	45.9	51.45	0,0078	5884.615	114.3754
20	45.9	31.01	0,0078	5884.615	189.7651
21	45.9	20.83	0,0078	5884.615	282.5067

No. Spesimen	Selisih (gram)	waktu (s)	Massa jenis (g/mm ³)	Volume material yang terbangung (mm ³)	MRR mm ³ /s
22	46.4	43.94	0,0078	5948.718	135.3827
23	50.05	26.5	0,0078	6416.667	242.1384
24	50.72	18.05	0,0078	6502.564	360.2529
25	48,17	38.09	0,0078	6175,641	162,1329
26	45.36	23.76	0,0078	5815.385	244.7552
27	46	15.82	0,0078	5897.436	372.7836

4.3.6. Hasil perhitungan eksperimen terhadap respon MRR CNMG120408-MK

Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Eksperimen Terhadap Respon MRR CNMG120408-MK

Eksperimen	Factor			Data awal	Replikasi		Jumlah	mean
	A	B	C		1	2		
1	1	1	1	114.8978	113.225	114.3754	342.4982	114.1661
2	1	2	2	192.2866	185.9581	189.7651	568.0098	189.3366
3	1	3	3	267.1671	266.0589	282.5067	815.7327	271.9109
4	2	1	2	129.7043	139.6531	135.3827	404.7401	134.9134
5	2	2	3	225.7567	233.9803	242.1384	701.8754	233.9585
6	2	3	1	354.2677	357.2744	360.2529	1071.795	357.265
7	3	1	3	175.6848	154.1014	30.93214	360.7183	120.2394
8	3	2	1	253.2454	266.4089	244.7552	764.4095	254.8032
9	3	3	2	341.8803	364.0961	372.7836	1078.76	359.5867

4.3.7 Perhitungan rata-rata terhadap respon

Rata-rata MRR untuk setiap kombinasi level parameter ditentukan berdasarkan analisis langsung terhadap data hasil pengujian. Nilai rata-rata ini diperoleh dengan mengelompokkan data sesuai variasi level masing-masing faktor. Rincian perhitungannya disajikan sebagai berikut:

A. Perhitungan rata-rata proses pemakanan DNMG 150608-MA

Perhitungan rata-rata untuk Faktor A (Kecepatan Spindel):

$$A1=1/3 (82,310 + 137,162 + 209,755) = 143,076$$

$$A2=1/3 (149,817 + 208,482 + 111,17) = 156,49$$

$$A3=1/3 (209,979 + 109,2673 + 179,763) = 166,328$$

Perhitungan rata-rata untuk Faktor B (*Feeding*):

$$B1=1/3 (82,310 + 149,817 + 209,979) = 147,369$$

$$B2=1/3 (137,162 + 208,482 + 109,2673) = 151,638$$

$$B3=1/3 (209,755 + 111,17 + 179,763) = 166,888$$

Perhitungan rata-rata untuk Faktor C (Kedalaman Pemakanan):

$$C1=1/3 (82,310 + 111,17 + 109,2673) = 100,916$$

$$C2=1/3 (137,162 + 149,817 + 179,763) = 155,572$$

$$C3=1/3 (209,755 + 208,482 + 209,979) = 209,406$$

Hasil perhitungan manual rata-rata untuk setiap kombinasi level serta pengaruh faktor terhadap kekasaran permukaan disajikan pada Tabel 4.21 berikut:

Tabel 4. 21 Respon Parameter terhadap Mean Pahat DNMG

Level	Kecepatan Spindel (<i>rpm</i>)	<i>Feeding</i> (<i>mm/rev</i>)	Kedalaman pemakanan (<i>mm</i>)
1	143,076	1147,369	100,916
2	156,49	151,638	155,572
3	166,328	166,888	209,406
Delta	23,2516	19,518	108,49
Ranking	2	3	1

Hasil analisis terhadap nilai rata-rata respon MRR yang diperoleh dari tabel menunjukkan bahwa parameter kedalaman pemakanan memiliki pengaruh paling dominan terhadap MRR, dengan selisih sebesar 108,49. Faktor kecepatan putar berada pada urutan selanjutnya dengan selisih sebesar 23,2516. Sementara itu, *feeding* memberikan pengaruh paling kecil, yaitu dengan selisih hanya 19,518.

B. Perhitungan rata-rata proses pemakanan CNMG 150608-MA

Perhitungan rata-rata Faktor A (Kecepatan Spindel):

$$A1=1/3 (114,166 + 189,337 + 271,911) = 191,805$$

$$A2=1/3 (134,913 + 233,958 + 357,265) = 242,046$$

$$A3=1/3 (163,973 + 254,803 + 359,587) = 244,876$$

Perhitungan rata-rata Faktor B (*Feeding*):

$$B1=1/3 (114,166+ 134,913 + 163,973) = 123,106$$

$$B2=1/3 (189,337 + 233,958 + 254,803) = 226,033$$

$$B3=1/3 (271,911+ 357,265+ 359,587) = 329,588$$

Perhitungan rata-rata Faktor C (Kedalaman Pemakanan):

$$C1=1/3 (114,166+ 357,265+ 254,803) = 242,078$$

$$C2=1/3 (189,337 + 134,913 + 359,587) = 227,9$$

$$C3=1/3 (271,911+ 233,958 + 163,973) = 208,703$$

Tabel 4. 22 Respon Parameter Terhadap *Mean* Pahat CNMG

Level	Kecepatan Spindel (<i>rpm</i>)	Feeding (<i>mm/rev</i>)	Kedalaman pemakanan (<i>mm</i>)
1	191,805	1377,7	242,078
2	242,046	226,033	227,9
3	259,5	329,588	208,703
Delta	67,6	191,9	18,8
Ranking	2	1	3

Hasil analisis terhadap nilai rata-rata respon MRR yang diperoleh dari tabel menunjukkan bahwa parameter *Feeding* memiliki pengaruh paling dominan terhadap MRR, dengan selisih sebesar 191,9. Faktor kecepatan spindel (*RPM*) berada pada urutan selanjutnya dengan selisih sebesar 67,6. Sementara itu, kedalaman pemakanan memberikan pengaruh paling kecil, yaitu dengan selisih hanya 18,8.

4.3.8 Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon

A. Perhitungan rasio S/N untuk pemakan DNMG 150608-MA

Pengujian 1 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (82,864^2 + 80,573^2 + 83,4968^2) \right) = -38,3101$$

Pengujian 2 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (134,437^2 + 137,757^2 + 139,29^2) \right) = -42,7456$$

Pengujian 3 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (199,318^2 + 207,1074^2 + 222,8424^2) \right) = -46,4437$$

Pengujian 4 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (166,562^2 + 144,3625^2 + 138,5281^2) \right) = -43,5394$$

Pengujian 5 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (209,0787^2 + 210,8366^2 + 205,5315^2) \right) = -46,389$$

Pengujian 6 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (112,2621^2 + 109,366^2 + 111,8818^2) \right) = -40,9203$$

Pengujian 7 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (212,8662^2 + 208,7193^2 + 208,3514^2) \right) = -46,4439$$

Pengujian 8 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (109,5048^2 + 110,2718^2 + 108,0252^2) \right) = -40,7701$$

Pengujian 9 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (181,2917^2 + 177,2124^2 + 180,7062^2) \right) = -45,0932$$

Tabel 4. 23 S/N Rasio Untuk MRR DNMG

No	Kecepatan Spindel (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)	MRR			S/N
				1	2	3	
1	1379	0,20	0,5	82.861	80.572	83.496	- 38.31
2	1379	0,22	1,0	134.43	137.75	139.29	- 42.74
3	1379	0,24	1,5	199.31	207.10	222.84	- 46.44
4	1567	0,20	1,0	166.56	144.36	138.52	- 43.53
5	1567	0,22	1,5	209.07	210.83	205.53	- 46.38
6	1567	0,24	0,5	112.26	109.36	111.88	- 40.92
7	1755	0,20	1,5	212.86	208.71	208.35	-

No	Kecepatan Spindel (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)	MRR			S/N
				1	2	3	
							46.44
8	1755	0,22	0,5	109.50	110.27	108.02	-40.77
9	1755	0,24	1,0	181.29	177.21	180.70	-45.09

Perhitungan rata-rata S/N Rasio untuk Faktor A (Kecepatan Spindel):

$$A1=1/3 (-38,31 + (-42,74) + (-46,44)) = -42,4998$$

$$A2=1/3 (-43,53 + (-46,38) + (-40,92)) = -43,6139$$

$$A3=1/3 (-46,44 + (-40,77) + (-45,09)) = -44,1024$$

Perhitungan rata-rata S/N Rasio untuk Faktor B (Feeding):

$$B1=1/3 (-38,31 + (-43,53) + (-46,44)) = -42,7645$$

$$B2=1/3 (-42,74 + (-46,38) + (-40,77)) = -43,2992$$

$$B3=1/3 (-46,44 + (-40,92) + (-45,09)) = -44,1524$$

Perhitungan rata-rata S/N rasio untuk Faktor C (Kedalaman Pemakanan):

$$C1=1/3 (-38,31 + (-40,92) + (-40,77)) = -40,0$$

$$C2=1/3 (-42,74 + (-43,53) + (-43,59)) = -43,79$$

$$C3=1/3 (-46,44 + (-46,38) + (-40,77)) = -46,42$$

Tabel 4. 24 Respon S/N Rasio Untuk MRR DNMG Terhadap *Smaller Is Better*

<i>Response Table for signal to Noise Ratios Smaller is Better</i>			
Level	Kecepatan Spindel (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)
1	-42,5	-42,75	-40,0
2	-43,613	-43,30	-43,79
3	-44,1	-44,15	-46,42
Delta	1,61	1,39	64,2
Rank	2	3	1

Peringkat pengaruh parameter terhadap MRR ditentukan melalui analisis rasio S/N per level, sebagai mana terlihat pada Tabel Dalam urutan pengaruh,

kedalaman pemakanan merupakan faktor terkuat dengan delta 64,2, kecepatan spindel berada diposisi berikutnya dengan delta 1,61, kontribusi terkecil terhadap *feeding* terdapat pada RPM dengan delta 1,39.

B. Perhitungan rasio S/N untuk pemakanan CNMG 120408-MK

Pengujian 1 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (114,898^2 + 113,225^2 + 114,375^2) \right) = -41,150$$

Pengujian 2 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (192,287^2 + 185,958^2 + 189,765^2) \right) = -42,545$$

Pengujian 3 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (267,167^2 + 266,059^2 + 282,507^2) \right) = -48,6918$$

Pengujian 4 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (129,704^2 + 139,653^2 + 135,383^2) \right) = -42,6051$$

Pengujian 5 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (225,757^2 + 233,98^2 + 242,138^2) \right) = -47,3863$$

Pengujian 6 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (354,268^2 + 357,274^2 + 360,253^2) \right) = -51,06$$

Pengujian 7 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (175,685^2 + 154,101^2 + 162,133^2) \right) = -44,3082$$

Pengujian 8 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (253,245^2 + 266,409^2 + 244,755^2) \right) = -48,1294$$

Pengujian 9 :

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (341,88^2 + 364,096^2 + 372,784^2) \right) = -51,1218$$

Tabel 4. 25 S/N Rasio Untuk MRR CNMG

No	Kecepatan Spindel (rpm)	<i>Feeding</i> (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)	MRR			S/N
				1	2	3	
1	1880	0.20	0.5	114.898	113.225	114.375	- 41.15

No	Kecepatan Spindel (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)	MRR			S/N
				1	2	3	
2	1880	0.22	1.0	192.287	185.958	189.765	- 45.54
3	1880	0.24	1.5	267.167	266.059	282.507	- 48.69
4	2256	0.20	1.0	129.704	139.653	135.383	- 42.60
5	2256	0.22	1.5	225.757	233.980	242.138	- 47.38
6	2256	0.24	0.5	354.268	357.274	360.253	- 51.06
7	2633	0.20	1.5	175.685	154.101	162.133	- 44.30
8	2633	0.22	0.5	253.245	266.409	244.755	- 48.12
9	2633	0.24	1.0	341.880	364.096	372.784	- 51.12

Perhitungan rata-rata S/N Rasio untuk Faktor A (Kecepatan Spindel):

$$A1=1/3 (-41,15 + (-45,54) + (-48,69)) = -45,1294$$

$$A2=1/3 (-42,60 + (-47,38) + (-51,06)) = -47,0171$$

$$A3=1/3 (-44,30 + (-48,12) + (-51,12)) = -47,8531$$

Perhitungan rata-rata S/N Rasio untuk Faktor B (Feeding):

$$B1=1/3 (-41,15 + (-42,60) + (-44,30)) = -42,6881$$

$$B2=1/3 (-45,54 + (-47,38) + (-48,12)) = -47,0204$$

$$B3=1/3 (-48,69 + (-51,06) + (-51,12)) = -50,2912$$

Perhitungan rata-rata S/N rasio untuk Faktor C (Kedalaman Pemakanan):

$$C1=1/3 (-38,31 + (-40,92) + (-40,77)) = -46,7801$$

$$C2=1/3 (-42,74 + (-43,53) + (-43,59)) = -46,4241$$

$$C3=1/3 (-46,44 + (-46,38) + (-40,77)) = -46,7955$$

Tabel 4. 26 Respon S/N Rasio Untuk MRR CNMG Terhadap *Smaller Is Better*

Response Table for signal to Noise Ratios Smaller is Better			
Level	Kecepatan Spindel (rpm)	Feeding (mm/rev)	Kedalaman Pemakanan (mm)
1	-45,13	-42,68	-46,78

2	-47,01	-47,02	-46,42
3	-47,85	-50,29	-46,79
Delta	2,72	7,6	0,37
Rank	2	1	3

Peringkat pengaruh parameter terhadap MRR ditentukan melalui analisis rasio S/N per level, sebagai mana terlihat pada Tabel 4.26 dalam urutan pengaruh, *feeding* merupakan faktor terkuat dengan delta 7,6, kecepatan spindle berada diposisi berikutnya dengan delta 2,72, kontribusi terkecil terhadap *feeding* terdapat pada *rpm* dengan delta 0,37.

4.4. Analisa Varian Rata – Rata MRR

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan melalui metode Taguchi dan uji ANOVA, diperoleh bahwa variabel proses pemesinan memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon, yaitu kekasaran permukaan dan nilai *Material Removal Rate* (MRR). Dari hasil perhitungan rasio *Signal to Noise* (S/N) dan perbandingan antar level variabel proses, diketahui bahwa gerak pemakanan (*feeding*) menjadi faktor yang paling dominan terhadap peningkatan kekasaran permukaan, sedangkan kedalaman pemakanan merupakan faktor utama yang memengaruhi besarnya nilai MRR.

4.4.1. Analisis Varian Rata – Rata MRR Pahat DNMG 150608 – MA

Untuk menentukan faktor-faktor yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap nilai rata-rata, metode Analisis Varians (ANOVA) dapat digunakan. Langkah-langkah perhitungan ANOVA dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 SS_A &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N} \\
 &= \frac{429,228^2}{3} + \frac{469,47^2}{3} + \frac{492,983^2}{3} - \frac{1397,68^2}{9} \\
 &= 817,347
 \end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$VA = 3 - 1 = 2$$

Mencari rata – rata digunakan rumus dibawah ini :

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{817,347}{2} = 408,673$$

Untuk perhitungan faktor B (*Feeding*)

Jumlah kuadrat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$SS_B = \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$= \frac{442,107^2}{3} + \frac{454,912^2}{3} + \frac{500,663^2}{3} - \frac{1397,68^2}{9}$$

$$= 631,8$$

Derajat kebebasan

$$VB = 3 - 1 = 2$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{VB} = \frac{631,8}{2} = 315,881$$

Perhitungan untuk faktor B, ketika dibagi dengan derajat kebebasannya, akan menghasilkan nilai yang diinginkan.

Untuk perhitungan faktor C (kedalaman pemotongan)

Jumlah kuadrat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$SS_C = \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$= \frac{302,748^2}{3} + \frac{466,716^2}{3} + \frac{629,217^2}{3} - \frac{1397,68^2}{9}$$

$$= 176554,4$$

Derajat kebebasan

$$VC = 3 - 1 = 2$$

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = \frac{176554,4}{2} = 8827,7$$

Mencari SST

$$SST = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$SST = (82.31 - 155.29)^2 + (137.16 - 155.29)^2 + \dots + (179.74 - 155.29)^2 = 191133.7$$

$$SSE = SST - SSA - SSB - SSC$$

$$SSE = 191133,7 - 817,347 - 631,8 - 176554,4$$

$$SSE = 29,22$$

$$MSE = 29,22 / 2 = 14,61$$

Tabel 4. 27 Tabel ANOVA MRR Pahat DNMG

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj Ms	F	P
Kecepatan Spindel (rpm)	2	817,347	817,347	408,673	27,97	0,035

<i>Feeding</i> (mm/rev)	2	631,8	631,8	315,881	21,62	0,044
Kedalaman Pemakanan (mm)	2	17655,4	17655,4	8827,7	604,16	0,002
Erör	2	29,22	29,22	1461		
Total	8	191133,7				

Uji Hipotesa faktor A

- H_0 (Hipotesis nol):
Tidak ada pengaruh signifikan Faktor A terhadap respon.
- H_1 (Hipotesis alternatif):
Ada pengaruh signifikan Faktor A terhadap respon.

Analisa: F tabel dari alpha 0,05 adalah 19,00 dan F hitung adalah 27,97 berdasarkan hasil analisi jika F hitung lebih besar dari F tabel maka H_0 ditolak. Artinya faktor kecepatan putar berpengaruh terhadap hasil yang diberikan.

Uji Hipotesa faktor B

- H_0 (Hipotesis nol):
Tidak ada pengaruh signifikan Faktor b terhadap respon.
- H_1 (Hipotesis alternatif):
Ada pengaruh signifikan Faktor b terhadap respon.

Analisa: F tabel dari alpha 0,05 adalah 19,00 dan F hitung adalah 21,62 berdasarkan hasil analisi jika F hitung lebih besar dari F tabel maka H_0 ditolak. Artinya faktor *feeding* berpengaruh terhadap hasil yang diberikan.

Uji Hipotesa Faktor C

- H_0 (Hipotesis nol):
Tidak ada pengaruh signifikan Faktor C terhadap respon.
- H_1 (Hipotesis alternatif):
Ada pengaruh signifikan Faktor C terhadap respon.

Analisa: F tabel dari alpha 0,05 adalah 19,00 dan F hitung adalah 604,16 berdasarkan hasil analisi jika F hitung lebih besar dari F tabel maka H_0 ditolak. Artinya faktor Kedalaman pemakanan berpengaruh terhadap hasil yang diberikan.

4.4.2. Analisis Varian Rata –Rata MRR CNMG 120408 – MK

Untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memberikan pengaruh paling signifikan terhadap nilai rata-rata, digunakan metode Analisis Varians (ANOVA).

Perhitungan ANOVA dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

$$\begin{aligned}SS_A &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N} \\&= \frac{575,414^2}{3} + \frac{726,137^2}{3} + \frac{778,363^2}{3} - \frac{2079,91^2}{9} \\&= 7403,7\end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$VA = 3 - 1 = 2$$

Mencari rata – rata digunakan rumus dibawah ini :

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{7403,7}{2} = 3701,86$$

Untuk perhitungan faktor B (*Feeding*)

Jumlah kuadrat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}SS_B &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} - \frac{T^2}{N} \\&= \frac{413,052^2}{3} + \frac{678,098^2}{3} + \frac{988,763^2}{3} - \frac{2079,91^2}{9} \\&= 55356\end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$VB = 3 - 1 = 2$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B} = \frac{55356}{2} = 27678$$

Perhitungan untuk faktor B, ketika dibagi dengan derajat kebebasannya, akan menghasilkan nilai yang diinginkan.

Untuk perhitungan faktor C (kedalaman pemotongan)

Jumlah kuadrat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}SS_C &= \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} - \frac{T^2}{N} \\&= \frac{726,234^2}{3} + \frac{683,837^2}{3} + \frac{669,842^2}{3} - \frac{2079,91^2}{9} \\&= 574,826\end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$VC = 3 - 1 = 2$$

$$MS_c = \frac{SS_c}{v_c} = \frac{574,826}{2} = 287,413$$

Mencari SST

$$SST = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$SST = (114,166 - 231,101)^2 + (189,337 - 231,101)^2 + \dots + (359,557 - 231,101)^2 = 63837,6$$

$$SSE = SST - SSA - SSB - SSC$$

$$SSE = 63837,6 - 7403,72 - 55356 - 574,826$$

$$SSE = 503,082$$

$$MSE = 503,082 / 2 = 251,541$$

Tabel 4. 28 Tabel ANOVA MRR Pahat CNMG

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj Ms	F	P
Kecepatan Spindel (rpm)	2	7403,7	7403,7	3701,9	14,72	0,064
Feeding (mm/rev)	2	55356	55356	27678	110,03	0,009
Kedalaman Pemakanan (mm)	2	574,8	574,8	287,4	1,14	0,467
Eror	2	503,1	503,1	251,5		
Total	8	63837,6				

Uji Hipotesa faktor A

- H_0 (Hipotesis nol):
Tidak ada pengaruh signifikan Faktor A terhadap respon.
- H_1 (Hipotesis alternatif):
Ada pengaruh signifikan Faktor A terhadap respon.

Analisa: F tabel dari alpha 0,05 adalah 19,00 dan F hitung adalah 14,72 berdasarkan hasil analisi jika F hitung lebih kecil dari F tabel maka H_0 gagal ditolak. Artinya faktor kecepatan putar tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil yang diberikan.

Uji Hipotesa Faktor C

- H_0 (Hipotesis nol):
Tidak ada pengaruh signifikan Faktor b terhadap respon.

- H_1 (Hipotesis alternatif):

Ada pengaruh signifikan Faktor b terhadap respon.

Analisa: F tabel dari alpha 0,05 adalah 19,00 dan F hitung adalah 110,03 berdasarkan hasil analisis jika F hitung lebih besar dari F tabel maka H_0 ditolak. Artinya faktor *feeding* berpengaruh terhadap hasil yang diberikan.

Uji Hipotesa faktor C

- H_0 (Hipotesis nol):

Tidak ada pengaruh signifikan Faktor C terhadap respon.

- H_1 (Hipotesis alternatif):

Ada pengaruh signifikan Faktor C terhadap respon.

Analisa: F tabel dari alpha 0,05 adalah 19,00 dan F hitung adalah 1,14 berdasarkan hasil analisis jika F hitung lebih kecil dari F tabel maka H_0 gagal ditolak. Artinya faktor Kedalaman pemakanan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap hasil yang diberikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh parameter pemesinan CNC bubut terhadap *Material Removal Rate* (MRR) dan kekasaran permukaan pada material ST 37 dengan metode Taguchi, dapat disimpulkan bahwa:

Parameter yang mempengaruhi MRR adalah kedalaman pemotong paling berpengaruh terhadap MRR, disusul oleh *feeding* dan kecepatan spindel. Kombinasi parameter optimal (1755 *rpm*, 0,24 *mm/rev*, dan 1,5 mm) menghasilkan MRR tertinggi, dengan pahat DNMG sedikit lebih unggul di banding CNMG dalam efisiensi pemotongan. Pahat DNMG (1.072,8 mm³/s) sedikit lebih efisien di banding CNMG (1.032,5 mm³/s).

Parameter yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah *feeding*. *Feeding* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan, di mana nilai kekasaran meningkat seiring kenaikan *feeding*. Nilai kekasaran permukaan terbaik (terendah) pada jenis pahat DNMG diperoleh pada kombinasi parameter spindel 1379 *rpm*, *feeding* 0,20 *mm/rev*, dan kedalaman potong 0,5 mm, yaitu sebesar 1.128 µm. Nilai kekasaran permukaan terbaik (terendah) pada jenis pahat CNMG diperoleh pada kombinasi parameter spindel 1880 *rpm*, *feeding* 0,22 *mm/rev*, dan kedalaman potong 1,5 mm, yaitu sebesar 0,865 µm.

5.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan variabel seperti jenis pendingin, material pahat, atau sudut potong, serta melakukan uji ulang lebih dari tiga kali untuk hasil yang lebih akurat.
2. Penggunaan *software* seperti Minitab perlu dimaksimalkan untuk analisis data, dan hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan pengaturan parameter CNC bubut pada material ST 37 di industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Wulandari, R., & A, M. (2021). Pengaruh Variasi Putaran Mesin Terhadap Waktu Pengeboran Dengan Material Aluminium Al 6063 Pada Mesin Bor Duduk. *J. Mech. Eng*, 1-23.
- Ananta, E. M., Nurrohkayati, A. S., Mujiyanto, A., & Waluyo, H. T. (2022). OPTIMASI NILAI KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 37 BERDASARKAN PADA PARAMETER PROSES PEMBUBUTAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI. *Simposium Nasional RAPI XXI-2022 FT UMS*, 65-72.
- Arfendi. (2021). *OPTIMASI MATERIAL REMOVAL RATE (MRR) BAJA ST 42 PADA PROSES CNC TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI*. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Azib, F. B. (2017). Pengaruh Variasi Kecepatan Potong, Gerak Makan, Dan Kedalaman Potong Pada Mesin Bubut Terhadap Tingkat Keausan Pahat HSS. *J. Rekayasa Mesin*, 1-10.
- C, T. K. (2009). Analisis Efisiensi Dan Efektifitas Penggunaan Mesin Produksi Pada CV. Harapan Baru Surakarta,.
- Gilbran, A., Oktriadi, Y., & Yudo, E. (2024). Analisis Pengaruh Parameter Terhadap MRR Pada Benda Kerja di Mesin CNC Turning dengan Metode Taguchi. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 9-14.
- Groover, & P, M. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems*.
- Hartoko, & Pudyo, R. (2023). *Pengaruh Variasi Pisau Frais, Kecepatan Spindel dan Kedalaman Pemotongan terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Baja ST 37*. Universitas Islam Malang.
- Indrawan, E. (2020). Analisis Kualitas Geometri Mesin Bubut Maximat Super 11. *INVOTEK*, 71-80.

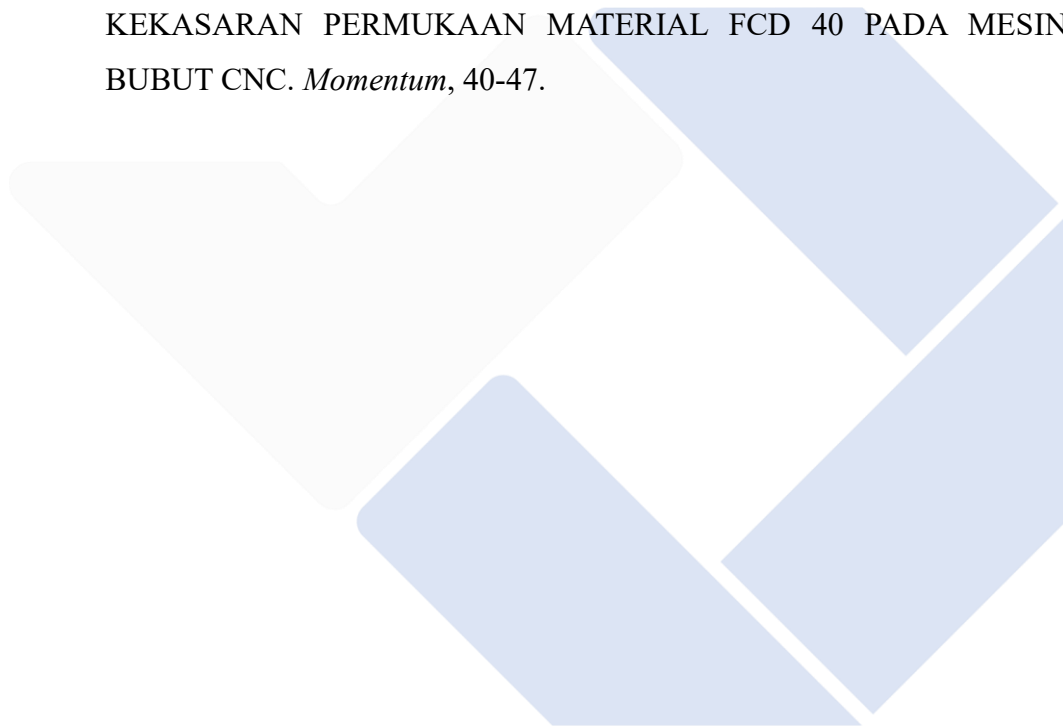
- K, P. (2020). Laju Sektor Manufaktur Lampauai Pertumbuhan Ekonomi. *Laju Sekt. Manufaktur Lampauai Pertumbuhan Ekon*, 1-23.
- Kondo, M. Y., C., P., Souza, J. V., Ribeiro, M. V., & Alves, M. C. (2018). Optimizing cutting parameters for cutting power and roughness in VAT32® turning with an experimental Al₂O₃ method. *Procedia CIRP*.
- Masalik, M. N., & Susandi, D. (2022). Proses Pembuatan Bhusing Inner Free Cutting dengan Menggunakan Mesin Bubut CNC DMC dan Mesin Bubut Milling. *Prosiding SENIATI*, 391-398.
- Nugroho, A. (2009). Pengaruh Gerak Makan dan Sudut Potong Utama Terhadap Hasil Kesilindrisan Permukaan Benda Kerja Pada Proses Bubut Silindris.
- Odenia, A. (2023). *RANCANG BANGUN MESIN COMPUTER NUMERICAL CONTROL (CNC) ROUTER 4 AXIS MENGGUNAKAN BOARD USB MACH 3 DAN MOTOR STEPPER NEMA-23 DENGAN APLIKASI MACH 3*. Lampung: Universitas Lampung.
- Pambudi, F., Abdillah, H., & Andriyanto, W. (2022). Analisis pengaruh kecepatan putaran spindel terhadap kekasaran permukaan benda kerja pada proses pengerjaan mesin bubut. *Dinamika Teknik Mesin*, 137-143.
- Ramadhan, M. H. (2023). Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Spindel Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST37 Pada Mesin CNC.
- Septiaji, P. (20116). *Aluminium 1100 Dengan Pengaruh Variasi Tegangan Dan Gap Pada Proses Electro-Chemical Machining (Ecm) Menggunakan Elektroda Terisolasi*. Yogyakarta: Jurnal. Yogyakarta Univ. Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sihombing, J. D. (2022). *ANALISA MATERIAL REMOVALRATE (MRR) BAJA SKD11 PADA PROSES CNC TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI*. Sungailiat: Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Sunding, A. (2011). *Modul CTS*. Sungailiat: Polman Babel.
- Syach, S., Nurrohkayati, A. S., & Pranoto, S. H. (2022). Optimasi parameter untuk kekasaran permukaan pada proses pembubutan baja ST37 dengan

menggunakan metode taguchi. *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, 114-120.

Untoro, D., Andriyanto, E., & Sunarso. (2020). *Mesin CNC dan Kegunaan Mesin CNC Dalam Dunia Industri*. Retrieved from Solo Abadi: <https://soloabadi.com/pengertian-mengenai-mesin-cnc-dan-kegunaan-mesin-cnc-dalam-dunia-industri/>

Widarto. (2008). *Teknik Pemesinan*. Jakarta: Depdiknas.

Zubaidi, A., Syafa'at, I., & Darmanto. (2012). ANALISIS PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN KECEPATAN PEMAKANAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL FCD 40 PADA MESIN BUBUT CNC. *Momentum*, 40-47.



Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



1. Daftar Pribadi

Nama Lengkap : Nova Rifqhi Syahputra
Tempat, Tanggal Lahir : Sungailiat, 24 November 2004
Alamat : Jl. Cendrawasih 2 NO 66 Kelurahan Sri Menanti,
Kecamatan Sungailiat, Kabupaten Bangka.
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Telp : -
HP : 0895604475118
Email : novarifqhisyahputra@gmail.com

2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 8 Sungailiat	2010 – 2016
SMP Negeri 5 Sungailiat	2016 – 2019
SMA Negeri 1 Sungailiat	2019 – 2022

Sungailiat, 3 Juli 2025

Nova Rifqhi
Syahputra

Lampiran 2 Sertifikat Material

MILL TEST CERTIFICATE

ISSUED TO : Cold Finished Co. Steel Round Bar, Ref to JIS G-3123
DESCRIPTION :
TOTAL QUANTITY : 2,716 Pcs

DELIVERY DATE : 08 s/d 17-Jan-25
TRANSPORT BY : Truck

NO.	NO. HEAT	GRADE	QTY Pcs.	SIZE (mm) Dia. x Length	CHEMICAL COMPOSITION / ANALYSIS						MECHANICAL PROPERTIES			
					C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	UTS N/mm ²	YIELD N/mm ²	ELONGATION %	HARDNESS	
1	824101620	SGD 290-D 10	825	22.225 mm (7/8") x 6000 mm	0.13 - 0.18	0.30 - 0.60	NA	0.014	0.006	380-740	NA	NA	Min 58	
2	824101622	SGD 290-D 10	900	19.05 mm (3/4") x 6000 mm	0.14	0.34	0.11	0.014	0.003	499.0	494.0	14.46	82	
3	824101621	SGD 290-D 10	991	25.40 mm (1") x 6000 mm	0.18	0.34	0.19	0.020	0.004	486.4	469.1	16.32	81	
					0.16	0.33	0.13	0.013		570.5	535.4	12.48	89	

REMARKS : WE HEREBY CERTIFY THAT THE PRODUCT LISTED HEREIN HAVE BEEN MANUFACTURED AND TESTED ACCORDING TO THE STANDARDS.

Lampiran 3 **Proses Pemesinan**



Lampiran 4 Pengambilan data kekasaran



Eksperimen 1



Lampiran 5 Pengambilan Data MRR



Lampiran 6 Poster



PROYEK AKHIR TAHUN 2025

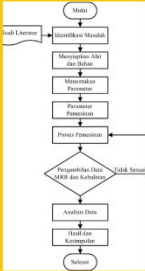
ANALISIS PENGARUH PARAMETER PEMESINAN CNC BUBUT TERHADAP MRR DAN KEKASARAN PERMUKAAN PADA MATERIAL ST 37 MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI



LATAR BELAKANG

- Proses pemesinan merupakan elemen penting dalam dunia manufaktur, di mana sebagian besar aktivitas produksi bergantung pada teknik ini untuk membentuk benda kerja melalui penghilangan sebagian material. Seiring meningkatnya tuntutan efisiensi dan kualitas, mesin bubut CNC banyak digunakan karena mampu memberikan akurasi dan produktivitas tinggi. Kualitas hasil pemesinan sangat dipengaruhi oleh parameter seperti kecepatan spindel, feeding, dan kedalaman potong. Di antara berbagai parameter, kekasaran permukaan menjadi indikator utama kualitas produk, sementara Material Removal Rate (MRR) menunjukkan efisiensi proses. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa parameter kedalaman pemakanan dan feeding sangat berpengaruh terhadap nilai MRR dan kekasaran permukaan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh parameter pemotongan terhadap MRR dan kekasaran permukaan pada material ST 37 dengan menggunakan metode Taguchi, guna memperoleh kombinasi parameter optimal pada proses bubut CNC.





KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh parameter pemesinan CNC bubut terhadap Material Removal Rate (MRR) dan kekasaran permukaan pada material ST 37 dengan metode Taguchi, dapat disimpulkan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah feeding (gerak pemakanan), sebagaimana ditunjukkan oleh nilai delta tertinggi pada hasil perhitungan rata-rata dan rasio S/N untuk pahat DNMG 150608-MA dan CNMG 120408-MK. Kombinasi parameter terbaik untuk menghasilkan kekasaran permukaan terendah pada pahat DNMG diperoleh pada RPM 1379, feeding 0,24 mm/rev, dan kedalaman pemakanan 1,0 mm, sesuai dengan hasil respon rasio S/N dan pengujian laboratorium.

NOVA RIFQHI SYAHPUTRA

YUDI OKTRIADI, S.TR., M.ENG)

YULI DARTHA S.S.T., M.T

Lampiran 7 Hasil Cek Plagiasi



Page 1 of 78 - Cover Page

Submission ID trn:oid::1:3337945357

Nova Rifqhi

Analisis pengaruh parameter pemesian CNC bubut terhadap Material Removal Rate (MRR) dan kekasaran permukaan pad...

Proyek Akhir 2025 D4

PA D4 2025

Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Document Details

Submission ID

trn:oid::1:3337945357

Submission Date

Sep 13, 2025, 8:04 PM GMT+7

Download Date

Sep 13, 2025, 8:26 PM GMT+7

File Name

CEK_PLAGIAT.docx

File Size

2.0 MB

75 Pages

13,174 Words

76,540 Characters



Page 1 of 78 - Cover Page

Submission ID trn:oid::1:3337945357

13% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

Top Sources

- 13%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

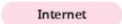
A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

13%  Internet sources
0%  Publications
0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1  Internet
repository.polman-babel.ac.id

13%