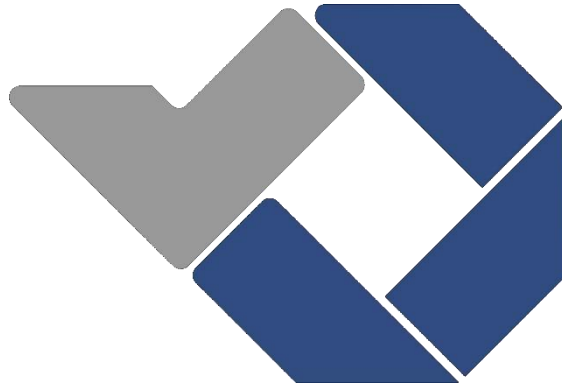


**ANALISIS PENGARUH PAHAT CNMG PADA PROSES  
BUBUT CNC TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA  
S45C DENGAN METODE TAGUCHI**

**PROYEK AKHIR**

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



Diusulkan Oleh

Zio Eldi Mahdan NIM :1042260

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

## LEMBARAN PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH PAHAT CNMG PADA PROSES BUBUT CNC TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA S45C DENGAN METODE TAGUCHI

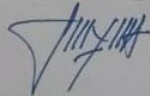
Oleh

Zio Eldi Mahdan/1042260

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

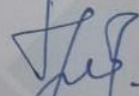
Menyetujui,

Pembimbing 1



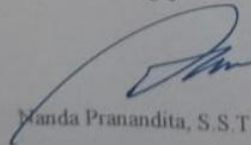
Eko Yudo, S.S.T., M.T.

Pembimbing 2



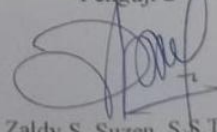
Zulfitriyanto, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Manda Pranandita, S.S.T., M.T.

Penguji 2



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

## **PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Zio Eldi Mahdan NPM :1042260

Dengan Judul : **ANALISIS PENGARUH PAHAT CNMG PADA PROSES BUBUT CNC TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA S45C DENGAN METODE TAGUCHI**

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

Sungailiat, 3 Juli 2024

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Zio Eldi Mahdan

## ABSTRAK

*Material baja S45C sering menjadi pilihan dalam pembuatan poros pada mesin pompa sentrifugal dari bidang industri karena kualitas permukaannya yang dapat dioptimalkan melalui proses pemesinan CNC bubut, Penelitian ini bertujuan mendapatkan type code pahat CNMG yang sesuai untuk kekasaran baja karbon S45C. dengan pendekatan menggunakan penelitian metode Taguchi. Parameter pemakanan yang dianalisis meliputi kecepatan spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pahat CNMG 120404, kecepatan pemakanan berpengaruh dominan terhadap kekasaran permukaan dengan kontribusi sebesar 76,45%. Sementara pada pahat CNMG 120408, kecepatan spindel memberikan kontribusi tertinggi, sebesar 33,51%. Kondisi pemotongan optimal yang menghasilkan kekasaran terendah diperoleh pada kecepatan spindel 1910 RPM, kecepatan pemakanan 0,168 mm/Rev, dan kedalaman potong 0,25 mm. Berdasarkan hasil pengujian, pahat CNMG 120404 menghasilkan kekasaran permukaan sebesar  $Ra\ 1,626\ \mu m$ , lebih halus dibandingkan CNMG 120408 yang sebesar  $Ra\ 1,744\ \mu m$ . Hal ini menunjukkan bahwa pahat dengan nose radius lebih kecil (0,4 mm) lebih sesuai digunakan untuk menghasilkan permukaan yang lebih halus pada baja karbon S45C.*

**Kata kunci:** *CNMG; kekasaran permukaan; Taguchi.*

## ***ABSTRACT***

*Material S45C carbon steel is commonly chosen for shaft manufacturing in centrifugal pump machines in the industrial sector due to its surface quality, which can be optimized through CNC turning processes. This study aims to determine the appropriate CNMG insert type code for achieving optimal surface roughness on S45C carbon steel using the Taguchi method. The machining parameters analyzed include spindle speed, feed rate, and depth of cut. The results indicate that for the CNMG 120404 insert, the feed rate has the most dominant influence on surface roughness, contributing 76.45%. Meanwhile, for the CNMG 120408 insert, spindle speed shows the highest contribution at 33.51%. The optimal cutting condition for achieving the lowest surface roughness was obtained at a spindle speed of 1910 RPM, a feed rate of 0.168 mm/rev, and a depth of cut of 0.25 mm. Based on the tests, the CNMG 120404 insert produced a surface roughness of Ra 1.626  $\mu\text{m}$ , which is smoother than the CNMG 120408 insert with Ra 1.744  $\mu\text{m}$ . This indicates that an insert with a smaller nose radius (0.4 mm) is more suitable for producing a smoother surface finish on S45C carbon steel.*

***Keywords:*** CNMG; surface roughness; Taguchi.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa. Berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis berhasil menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Pahat CNMG Pada Proses Bubut CNC Terhadap Kekasaran Permukaan Baja S45C Dengan Metode Taguchi” Penyusunan laporan akhir ini juga merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan pada jenjang Sarjana Terapan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung,

Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih yang mendalam kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, arahan, serta bimbingan selama proses penyusunan laporan ini, yaitu:

1. Dengan segala kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini sebagai wujud bakti dan cinta. Terima kasih tak terhingga kepada kedua orang tua saya, terima kasih pula kepada seluruh anggota keluarga atas dukungan, pengertian, dan suasana hangat yang selalu menyertai setiap langkah. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Eko Yudo, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama laporan akhir saya, yang telah bersedia untuk menyediakan waktu dan tenaga dalam proses pembimbingan laporan akhir ini sehingga dapat terselesaikan.
6. Zulfitriyanto, S.S.T., M.T, selaku dosen pembimbing pendamping laporan akhir saya, yang telah menyediakan waktu untuk membimbing dan memberikan masukan dan sarannya.

7. Seluruh dosen yang telah membantu dalam laporan akhir saya, yang tidak bisa saya ucapkan satu persatu.
8. PLP atau teknisi yang telah membantu dalam laporan akhir saya, yang tidak bisa saya ucapkan satu persatu.
9. Teman-teman semua khususnya teman seperjuangan yang saling mendukung satu sama lain agar sukses di masa depan.
10. Dengan rasa hormat dan terima kasih yang mendalam, saya menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada tim Bigetron Esport. Kalian bukan hanya tim idola, melainkan juga sumber inspirasi dan pelipur lara di tengah perjuangan menyelesaikan skripsi ini. Setiap pertandingan dan dedikasi kalian telah memberikan semangat serta pengingat akan pentingnya ketekunan. Terima kasih telah menemani perjalanan akademik saya. Semoga kalian terus berprestasi.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dikarenakan terbatasnya pengetahuan dan juga kemampuan penulis. Maka dari itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun agar dapat memperbaiki dan melakukan pengembangan penulisan laporan akhir ini di masa yang akan datang. Penulis berharap agar laporan akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang berkepentingan khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Sungailiat, 3 Juli 2024

Penulis

Zio Eldi Mahdan

## DAFTAR ISI

LEMBARAN PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT .....	iii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB 2 DASAR TEORI .....	5
2.1 Baja S45C .....	5
2.1.1 Pengertian Baja S45C .....	5
2.1.2 Sifat Mekanik Baja S45C.....	5
2.1.2 Unsur Baja S45C.....	6
2.2 Mesin Bubut CNC.....	6
2.2.3 Pengertian Bubut CNC.....	6
2.2.4 Prinsip Kerja Mesin Bubut CNC.....	7
2.2.5 Bagian-Bagian Utama Mesin CNC Bubut .....	7

2.2.6	Pemrograman CNC Bubut .....	11
2.2.7	Parameter Pengoperasian Mesin Bubut CNC .....	16
2.3	Kekasaran Permukaan.....	18
2.4	Dromus.....	22
2.5	Alat Potong Tipe CNMG .....	23
2.5.1	Pengertian Alat Potong CNMG.....	23
2.5.2	Arti Kode CNMG.....	23
2.4.3	Keuntungan Penggunaan Insert CNMG .....	25
2.5.3	Aplikasi dalam Pemesinan .....	26
2.6.	Metode Taguchi.....	27
2.6.1	Pengertian Metode Taguchi.....	27
2.6.2	Langkah-Langkah Metode Taguchi .....	27
2.6.3	Tahapan Desain Eksperimen Taguchi .....	29
2.7	Penelitian Terdahulu.....	35
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>37</b>
3.1	Tahapan Penelitian .....	37
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	38
3.3.	Alat dan Bahan Penelitian.....	39
3.3.1	Alat Penelitain.....	39
3.3.2	Bahan Penelitian.....	45
3.4	Parameter Penelitian.....	46
3.4.1	Parameter Terikat .....	46
3.4.2	Prameter Bebas.....	46
3.5	Matriks Ortogonal .....	47
3.4.3	Parameter Kontrol .....	48

3.4.4	<i>Noise</i> .....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		50
4.1	Proses Pemesinan .....	50
4.2	Data Hasil Percobaan .....	57
4.3	Metode Analisis.....	58
4.5	Pengambilan Data Hasil Percobaan .....	59
4.6	Analisis Varian Taguchi .....	65
4.6.1	Perhitungan Mean Terhadap Respon.....	65
4.6.2	Perhitungan Langsung Rata-rata Terhadap Respon .....	71
4.6.3	Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon .....	74
4.7	Analisis Varian Rata-rata.....	82
4.7	Analisis Varian <i>Rasio S/N</i> .....	87
4.8	Kenormalan Data .....	92
4.9	Persen Kontribusi Rata-rata Kekasaran Permukaan .....	94
4.10	Persen Kontribusi Rasio S/N Kekasaran Permukaan.....	97
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		101
5.1	Kesimpulan .....	101
5.2	Saran.....	102
DAFTAR PUSTAKA .....		103
LAMPIRAN.....		108

## DAFTAR TABEL

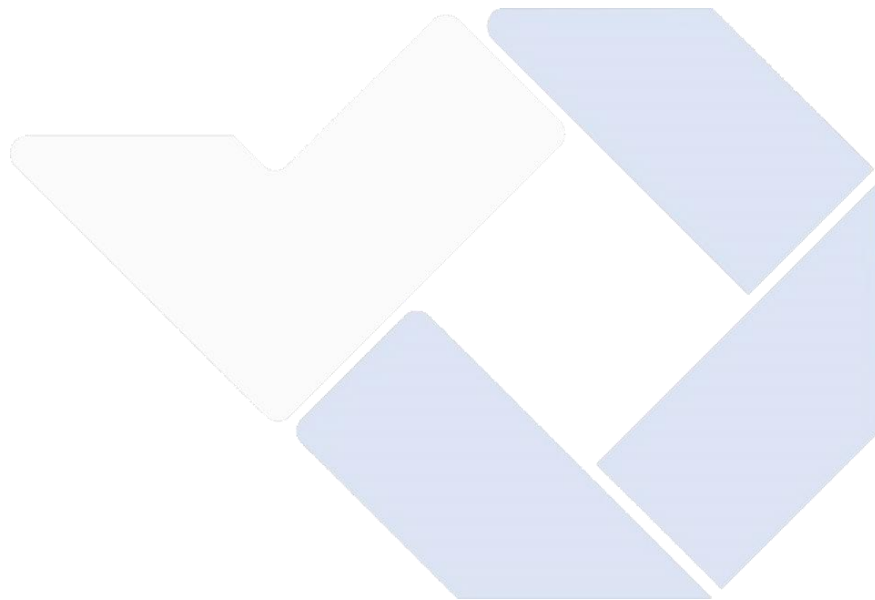
Tabel 2. 1 Sifat mekanik baja karbon S45C .....	5
Tabel 2. 2 Unsur baja karbon S45C .....	6
Tabel 2. 3 Kode G Pada Mesin Bubut CNC.....	13
Tabel 2. 4 Kode M pada Mesin Bubut CNC .....	16
Tabel 2. 5 Standarisasi simbol nilai kekasaran.....	21
Tabel 2. 6 Level-level matriks ortogonal .....	31
Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin CNC Turning SL-25 Mori Seiki .....	39
Tabel 3. 2 Spesifikasi Pahat Insert Carbide CNMG120408 – MA .....	42
Tabel 3. 3 Spesifikasi Pahat Insert Carbide CNMG120408 – MA .....	43
Tabel 3. 4 Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210 .....	44
Tabel 3. 5 Pahat Insert Carbide CNMG 120404-MA Daftar Prameter Dan Level .....	46
Tabel 3. 6 Pahat Insert Carbide CNMG 120408-MA Daftar Prameter Dan Level .....	46
Tabel 3. 7 Total Derajat Kebebasan Parameter Bebas.....	47
Tabel 3. 8 Matriks Ortogonal Untuk Taguchi L9(3 <sup>3</sup> ) .....	48
Tabel 3. 9 Daftar Parameter Kontrol .....	49
Tabel 4. 1 Form Data Hasil Percobaan.....	57
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Awal Kekasaran Permukaan Dari Pahat Insert Carbide CNMG 120404–MA.....	60
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Awal Kekasaran Permukaan Dari Pahat Insert Carbide CNMG 120408–MA.....	62
Tabel 4. 4 Data Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Pahat Insert Carbide CNMG 120404 – MA .....	65
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Pahat Insert Carbide CNMG 120408 – MA .....	67
Tabel 4. 6 Hasil pengolahan data kekasaran permukaan pemakanan menggunakan pahat tipe 120404–MA melalui software analisis .....	67

Tabel 4. 7 Hasil pengolahan data kekasaran permukaan pemakanan menggunakan pahat tipe 120408–MA melalui software analisis .....	68
Tabel 4. 8 Respon Parameter Terhadap Rata-Rata Pemakanan CNMG 120404 – MA .....	68
Tabel 4. 9 Respon Parameter Terhadap Rata-Rata Pemakanan CNMG 120408 – MA .....	69
Tabel 4. 10 Respon Rata-Rata Parameter Terhadap Hasil Kekasaran Permukaan	72
Tabel 4. 11 Respon Rata-Rata Parameter Terhadap Hasil Kekasaran Permukaan	73
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Rasio S/N Untuk Respon.....	75
Tabel 4. 13 Respon Rasio S/N Parameter Terhadap Rata-Rata.....	76
Tabel 4. 14 Respon Rasio S/N Terhadap Hasil Kekasaran Permukaan .....	78
Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Rasio S/N Untuk Respon.....	79
Tabel 4. 16 Respon Rasio S/N Parameter Terhadap Rata-Rata.....	80
Tabel 4. 17 Respon rasio S/N terhadap hasil kekasaran permukaan.....	81
Tabel 4. 18 Analisis Varian Rata-Rata.....	84
Tabel 4. 19 Analisis Varian Rata-Rata.....	86
Tabel 4. 20 Analisis Varian Rasio S/N .....	89
Tabel 4. 21 Analisis Varian Rasio S/N .....	92
Tabel 4. 22 Persen Kontribusi .....	95
Tabel 4. 23 Persen Kontribusi .....	97
Tabel 4. 24 Persen Kontribusi .....	98
Tabel 4. 25 Persen Kontribusi .....	100

## DAFTAR GAMBAR

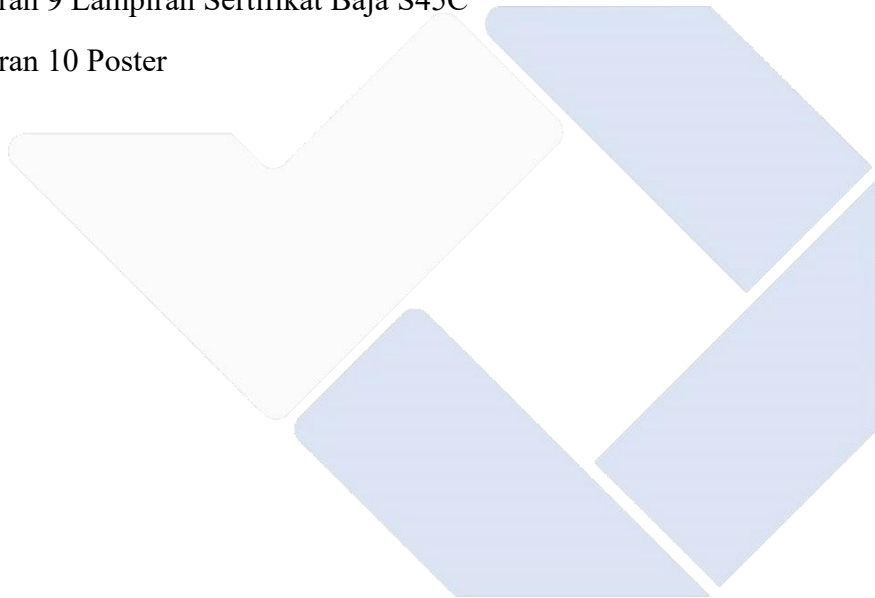
Gambar 2. 1 Mekanisme Arah Gerakan Mesin Bubut .....	7
Gambar 2. 2 Bagian – Bagian Mesin CNC .....	10
Gambar 2. 3 Metode Incremental .....	12
Gambar 2. 4 Metode Absolute .....	12
Gambar 2. 5 Profil Kekasaran Permukaan .....	19
Gambar 2. 6 Lebar Gelombang Dan Lebar Kekasaran Sumber (www.mfgrobots.com) .....	21
Gambar 2. 7 Ukuran Pahat CNMG .....	24
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	38
Gambar 3. 2 Mesin Bubut CNC MORI SEIKI SL-25 .....	41
Gambar 3. 3 Pahat Potong Insert Carbide CNMG120408 – MA .....	41
Gambar 3. 4 Pahat Potong Insert Carbide CNMG120404 – MA .....	42
Gambar 3. 5 Pahat Potong Insert Carbide CNMG120408 – MA .....	42
Gambar 3. 6 Pahat Potong Insert Carbide CNMG120404 – MA .....	43
Gambar 3. 7 Surface Roughness Tester .....	44
Gambar 3. 8 Jangka Sorong .....	45
Gambar 3. 9 Material Baja S45C .....	45
Gambar 4. 1 Baja S45C Diameter 25 mm .....	50
Gambar 4. 2 Setting Code G Sesuai Dengan Kombinasi Parameter .....	51
Gambar 4. 3 Pemasangan Benda Kerja .....	51
Gambar 4. 4 Pemasangan Alat Potong .....	52
Gambar 4. 5 Program CNC .....	52
Gambar 4. 6 Benda Kerja Setelah Proses Pemesinan CNC Bubut .....	53
Gambar 4. 7 Titik Pengambilan Kekasaran Permukaan .....	54
Gambar 4. 8 V - Block .....	54
Gambar 4. 9 Holder Dial .....	55
Gambar 4. 10 Kalibrasi Alat Ukur .....	55
Gambar 4. 11 Menyesuaikan Tinggi Antara Benda Kerja Dan Alat Ukur .....	56
Gambar 4. 12 Proses Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja .....	56

Gambar 4. 13 Grafik Menyajikan Hubungan Antara Rata-Rata Kekasaran Permukaan Dan Variasi Pada Setiap Level Parameter .....	70
Gambar 4. 14 Grafik Menyajikan Hubungan Antara Rata-Rata Kekasaran Permukaan Dan Variasi Pada Setiap Level Parameter .....	71
Gambar 4. 15 Grafik rasio S/N Grafik rasio S/N .....	77
Gambar 4. 16 Grafik Rasio S/N Grafik Rasio S/N .....	81
Gambar 4. 17 Grafik Pengujian Kenormalan Data .....	93
Gambar 4. 18 Grafik Pengujian Kenormalan Data .....	94



## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup
- Lampiran 2 Hasil Pengukuran
- Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 4 Tabel T
- Lampiran 5 Form Bimbingan
- Lampiran 6 Form Monitoring
- Lampiran 7 Form Revisi Laporan Akhir
- Lampiran 8 Bukti Bukan Plagiasi
- Lampiran 9 Lampiran Sertifikat Baja S45C
- Lampiran 10 Poster



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur di era globalisasi dan revolusi industri 4.0 menuntut peningkatan kualitas serta efisiensi dalam proses produksi. Salah satu proses manufaktur yang mendapatkan perhatian besar adalah pemesinan dengan menggunakan mesin bubut CNC (*Computer Numerical Control*) karena kemampuannya menghasilkan produk dengan toleransi dan presisi tinggi secara konsisten. Penggunaan mesin bubut semakin berkembang pesat seiring dengan meningkatnya otomatisasi di sektor industri. Mesin ini memiliki keunggulan dalam hal kecepatan tinggi dan akurasi dimensi yang baik, serta dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja secara signifikan. (Kurniawan *et al.*, 2020)

Dalam konteks ini, material baja S45C sering menjadi pilihan dalam aplikasi industri karena kualitas permukaannya yang dapat dioptimalkan melalui proses pemesinan. Karakteristik material ini memungkinkan analisis lebih lanjut terhadap kekasaran permukaan, yang menjadi parameter penting dalam menentukan presisi dan kualitas akhir komponen yang diproduksi. Baja S45C adalah baja karbon menengah dengan kandungan karbon 0,43% hingga 0,50%. Baja ini memiliki sifat mekanik yang baik, sehingga banyak digunakan dalam industri otomotif. Beberapa penerapannya meliputi pembuatan roda gigi, poros, dan bantalan pada kendaraan bermotor. Selain itu, S45C juga digunakan dalam komponen mesin yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan aus yang tinggi. (Kurniawan *et al.*, 2019) proses pemesinan baja S45C memerlukan pengaturan parameter yang tepat guna mencapai kualitas permukaan yang optimal, mengingat kekasaran permukaan yang berlebihan dapat mempengaruhi performa produk serta mengurangi umur pakai komponen yang dihasilkan.

Salah satu faktor krusial dalam mencapai kualitas permukaan yang baik adalah geometri pahat potong yang digunakan. Pahat potong tipe CNMG

(*Ceramic/Nitrided Multi-Geometry*) memiliki desain yang menawarkan keunggulan dalam hal efisiensi pemotongan dan pengendalian gaya potong, sehingga berpotensi menghasilkan permukaan yang lebih halus. Penelitian yang dilakukan (Fauzi & Sumbodo, 2021) proses pembubutan baja ST40 dilakukan menggunakan mesin bubut CNC Fanuc OiT Leadwell dan pahat karbida CNMG 120408-MA UE6020. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan terendah yang diperoleh adalah  $1,034 \mu\text{m}$ , yang dicapai pada pengaturan kecepatan potong sebesar 150 m/menit, kecepatan asutan 0,15 mm/rev, dan kedalaman pemakanan 0,25 mm. Sebaliknya, pengaturan dengan kecepatan potong 90 m/menit, kecepatan asutan 0,25 mm/rev, dan kedalaman pemakanan 0,75 mm menghasilkan kekasaran permukaan tertinggi. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa kombinasi parameter proses memiliki peran signifikan dalam menentukan kualitas permukaan. Penelitian ini juga membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan variabel bebas, seperti jenis pahat dan variasi geometri pahat, guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh parameter-parameter tersebut terhadap kekasaran permukaan.

Dalam upaya mengidentifikasi dan mengoptimalkan pengaruh parameter-parameter tersebut, metode Taguchi menjadi pilihan yang tepat. Metode Taguchi dikenal dengan pendekatan eksperimental yang sistematis dan efisien melalui penggunaan orthogonal array, serta kemampuan analisisnya yang mampu meminimalkan efek variabilitas (*noise*) sehingga menghasilkan parameter proses yang optimal. Penelitian yang pernah dilakukan oleh (Julianto *et al.*, 2023) menggunakan metode Taguchi dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi parameter proses yang optimal sehingga menghasilkan kekasaran permukaan terendah pada baja karbon. Variabel yang dianalisis meliputi kecepatan potong dengan tiga level (0,15 mm/put, 0,3 mm/put, dan 0,45 mm/put), kedalaman pemotongan dengan nilai masing-masing 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm, serta putaran spindel pada 2700 RPM, 2850 RPM, dan 3000 RPM. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji pengaruh bentuk variasi parameter-parameter tersebut terhadap nilai kekasaran permukaan material S45C.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menganalisis pengaruh penggunaan pahat potong tipe CNMG pada proses bubut CNC terhadap kekasaran permukaan baja S45C melalui pendekatan metode Taguchi. Diharapkan hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi teoritis dalam bidang teknik pemesinan, tetapi juga solusi praktis yang dapat diimplementasikan dalam industri untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kombinasi parameter proses permesinan pada bubut CNC mempengaruhi kekasaran permukaan baja karbon S45C?
2. Berapa besar kontribusi masing-masing parameter proses pemakanan terhadap kualitas permukaan hasil bubut?
3. Type pahat CNMG manakah yang paling sesuai untuk menghasilkan kekasaran permukaan optimal pada baja karbon S45C?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari Penelitian analisis pengaruh pahat CNMG pada proses bubut CNC terhadap kekasaran permukaan baja S45C dengan metode taguchi yaitu:

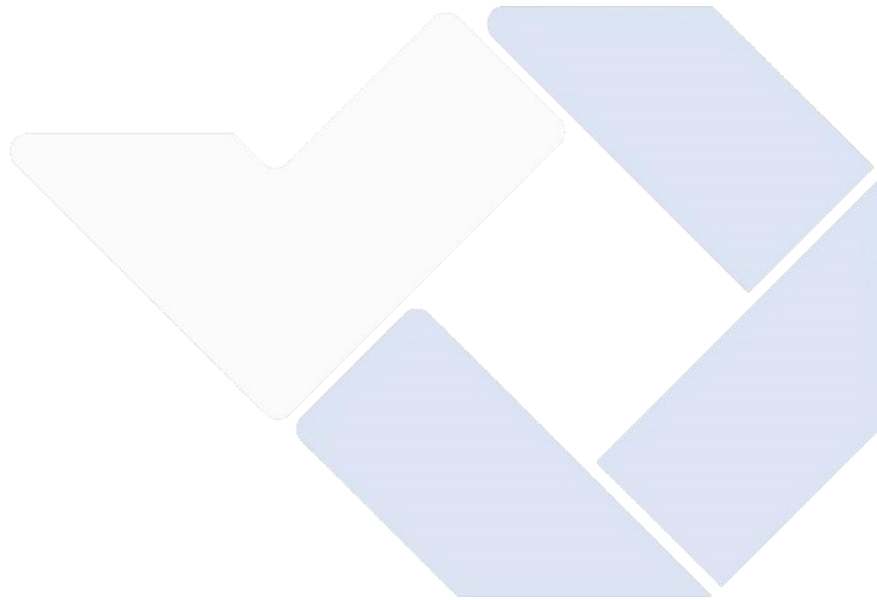
1. Mendapatkan kombinasi parameter proses permesinan optimal pada bubut CNC terhadap kekasaran permukaan baja karbon sedang S45C.
2. Mendapatkan nilai kontribusi dari masing - masing prameter
3. Mendapatkan type code pahat CNMG yang sesuai untuk kekasaran baja karbon S45C.

## **1.4 Batasan Masalah**

Proyek Akhir ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipersempit agar analisis tetap terfokus.

1. Benda kerja yang digunakan untuk proses bubut CNC yaitu baja S45C dengan diameter 25 mm dan panjang 100 mm.

2. CNC MORI SEIKI SL-25 adalah mesin bubut yang digunakan.
3. Pahat potong yang digunakan saat proses pembubutan CNC Pahat Bubut Insert Carbide CNMG 1210404 & CNMG 12104108
4. Parameter yang digunakan pada proses bubut CNC kecepatan spindle, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan.
5. Metode penelitian menggunakan metode taguchi.



## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Baja S45C

#### 2.1.1 Pengertian Baja S45C

Baja merupakan material yang esensial dalam berbagai sektor industri modern, mulai dari otomotif, konstruksi, hingga manufaktur komponen mesin. Salah satu jenis baja yang sering digunakan adalah baja karbon menengah, seperti baja S45C. Baja S45C diklasifikasikan sebagai *medium carbon steel* yang diproduksi sesuai standar JIS G 4051-2009 (Japan Industrial Standard), dengan kandungan karbon berkisar antara 0,42% hingga 0,52% (Elbi & Aldi Irwandi, 2023). Kadar karbon ini menempatkan S45C dalam kategori baja *hypoeutectoid*, yang berarti kandungan karbonnya lebih rendah dari 0,8%. Karakteristik ini memberikan keseimbangan optimal antara kekuatan dan keuletan, menjadikannya pilihan material yang serbaguna (Rizal Ainur Rachman and Mahendra Sakti, 2020).

#### 2.1.2 Sifat Mekanik Baja S45C

Komposisi sifat mekanik yang terdapat dalam baja S45C berdasarkan standar JIS dapat dilihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik Baja Karbon S45C

Sifat Mekanik	Keterangan
Kekuatan Tarik ( <i>Tensile Strength</i> )	570 – 720 (Mpa)
Kekuatan Luluh ( <i>Yield Strength</i> )	$\geq 343$ MPa
Kekerasan Brinell (HB)	160 – 229 HB
Perpanjangan ( <i>Elongation</i> )	16 – 20 %

Sumber : JIS (Japanese Industrial Standar)

### 2.1.2 Unsur Baja S45C

Berikut adalah unsur kimia dalam baja S45C berdasarkan standar JIS yang sering digunakan dalam industri manufaktur dan rekayasa teknik, dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini:

Tabel 2. 2 Unsur Baja Karbon S45C

Unsur	Simbol	Kadar (%)
Karbon	C	0,43
Silikon	Si	0,24
Mangan	Mn	0,77
Fosfor	P	0,010
Belerang	S	0,004
Kromium	Cr	0,34
Nikel	Ni	0,03
Tembaga	Cu	0,06

Sumber : JIS (Japanese Industrial Standar)

## 2.2 Mesin Bubut CNC

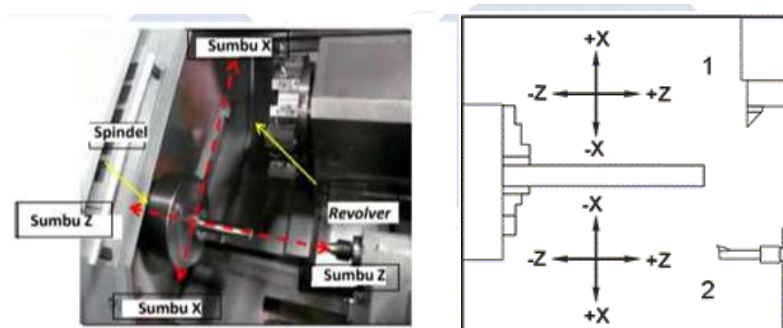
### 2.2.3 Pengertian Bubut CNC

Mesin Bubut CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan evolusi dari mesin bubut tradisional yang mengintegrasikan kontrol berbasis komputer melalui bahasa pemrograman numerik. Berbeda dengan mesin konvensional yang mengandalkan operasi manual (*putaran tangan*) atau mekanisme otomatis sederhana, sistem CNC bekerja berdasarkan perintah terprogram yang disimpan dalam media penyimpanan. Proses ini menerapkan prinsip otomatisasi canggih, dimana seluruh operasi mesin dijalankan secara abstrak melalui instruksi kode komputer, menjadikannya lebih presisi dan konsisten dibandingkan pendekatan konvensional. (Pakasi et al., 2024).

Pada prinsipnya, mesin bubut CNC adalah perangkat manufaktur yang menggunakan kode numerik sebagai perintah komputer untuk mengontrol proses pemakanan pahat terhadap benda kerja silindris yang berputar.

#### 2.2.4 Prinsip Kerja Mesin Bubut CNC

Mesin bubut CNC memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan mesin bubut manual. Benda kerja berputar sebagai gerakan utama, sementara alat potong digerakkan secara otomatis melalui sistem koordinat. Pergerakan pahat dilakukan pada dua arah, yaitu arah sumbu Z yang sejajar dengan sumbu putaran benda kerja, dan arah sumbu X yang tegak lurus terhadap sumbu tersebut. Dengan bantuan kontrol numerik, posisi alat potong dapat diatur secara tepat pada kedua sumbu, sehingga memungkinkan pembentukan benda kerja sesuai bentuk dan ukuran yang diinginkan, Koordinat untuk mesin bubut CNC ditampilkan pada Gambar 2.1:



Gambar 2. 1 Mekanisme Arah Gerakan Mesin Bubut

Sumber : (Arifin. A 2017 n.d)

#### 2.2.5 Bagian-Bagian Utama Mesin CNC Bubut

Mesin CNC bubut memiliki berbagai bagian utama dan memiliki fungsi penting, yang dapat dilihat langsung pada gambar 2.2:

##### 1. Cover

*Cover* pada mesin bubut CNC berfungsi untuk melindungi operator dan komponen mesin dari bahaya serta kotoran selama proses pemesinan. *Enclosure* menutupi seluruh area kerja untuk mencegah serpihan dan cairan pendingin keluar. *Way cover* melindungi rel gerak dari debu dan serpihan, sehingga menjaga keakuratan pergerakan. *Spindle cover* mencegah benda asing masuk ke

dalam spindle. *Chuck guard* melindungi operator dari risiko terlepasnya benda kerja saat berputar. *Tool turret cover* menjaga *turret* tetap bersih.

## 2. *Tool turret*

*Tool turret* adalah komponen mesin bubut CNC yang berfungsi sebagai tempat dudukan pahat-pahat pemotong. *Turret* ini dapat berputar secara otomatis untuk mengganti pahat sesuai dengan urutan pemesinan yang telah diprogram. Hal ini meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kecepatan dalam proses pemotongan logam..

## 3. *Spindle*

*Spindle* adalah poros utama pada mesin bubut CNC yang berfungsi memutar benda kerja selama proses pemesinan. *Spindle* digerakkan oleh motor dan dapat berputar dengan kecepatan tinggi sesuai pengaturan. Kualitas putaran *spindle* sangat memengaruhi presisi pemotongan, hasil akhir, dan efisiensi proses produksi.

## 4. *Headstock*

*Headstock* yang sering disebut sebagai kepala tetap, adalah bagian utama mesin bubut CNC yang terletak di ujung mesin dan berfungsi menopang serta menggerakkan *spindle*. Di dalam *headstock* terdapat motor penggerak, transmisi kecepatan, dan sistem kontrol *spindle*. Komponen ini sangat penting untuk kestabilan dan presisi selama proses pemesinan.

## 5. *Main drive motor*

*Main drive motor* dalam mesin bubut CNC, disebut juga penggerak utama, berfungsi memberikan tenaga putar kepada *spindle* melalui motor utama. Sistem ini dapat menggunakan motor listrik secara langsung atau melalui transmisi seperti roda gigi atau sabuk. Kinerja *main drive* memengaruhi kecepatan dan torsi pemotongan.

## 6. *Hydraulics*

*Hydraulics system* pada mesin bubut CNC adalah sistem hidrolik yang menggunakan tekanan fluida (biasanya oli) untuk menggerakkan atau mengendalikan komponen mesin. Sistem ini digunakan untuk mengoperasikan

*chuck* (cekam), *tool turret*, *tailstock*, dan komponen lainnya yang membutuhkan tenaga besar dengan kontrol yang presisi.

7. *Chuck*

*Chuck* adalah alat penjepit pada mesin bubut CNC yang berfungsi untuk memegang dan menahan benda kerja selama proses pemesinan. *Chuck* dipasang pada *spindle* dan berputar bersamaan dengannya. Terdapat berbagai jenis *chuck*, seperti *chuck* tiga rahang (*self-centering*) dan empat rahang (*independen*), tergantung pada kebutuhan.

8. *Bed*

*Bed* adalah rangka dasar mesin bubut CNC yang menopang seluruh komponen mesin, seperti *headstock*, *tailstock*, *carriage*, dan *tool turret*. *Bed* dirancang kuat dan kaku untuk menjaga kestabilan serta akurasi selama proses pemesinan. Permukaannya biasanya dilengkapi rel untuk pergerakan *carriage* dan *tailstock*.

9. *Frame*

*Frame* adalah kerangka utama mesin bubut CNC yang berfungsi menopang dan menyatukan semua komponen mesin, termasuk *bed*, *headstock*, dan motor. *Frame* harus kuat, kaku, dan tahan getaran untuk menjaga stabilitas, akurasi, serta umur panjang mesin selama proses pemesinan.

10. *Safety window*

*Safety window* adalah jendela pengaman pada mesin bubut CNC yang terbuat dari material transparan tahan benturan, seperti kaca laminated atau polikarbonat. Fungsinya memungkinkan operator mengawasi proses pemesinan sambil melindungi dari serpihan logam, cairan pendingin, dan potensi bahaya lainnya. Ini penting untuk keselamatan kerja.

11. *Carriage*

*Carriage* adalah bagian mesin bubut CNC yang bergerak di sepanjang *bed* dan berfungsi untuk menopang serta menggerakkan pahat pemotong saat proses pemesinan. *Carriage* membawa komponen seperti *cross slide* dan *tool post*, serta dapat bergerak secara otomatis atau manual mengikuti arah pemakanan (*feeding*).

12. *Electrical cabinet*

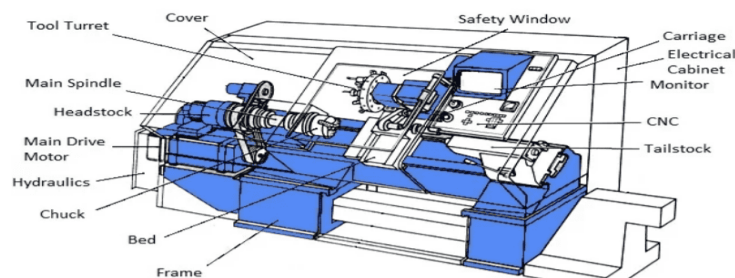
*Electrical cabinet* adalah lemari listrik pada mesin bubut CNC yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan dan perlindungan bagi semua komponen kelistrikan dan elektronik, seperti *inverter*, relai, kabel, sakelar, dan unit kontrol CNC. Lemari ini menjaga sistem tetap rapi, aman dari debu, panas, dan gangguan eksternal lainnya.

### 13. Monitor

Monitor pada mesin bubut CNC adalah layar tampilan yang digunakan untuk menampilkan antarmuka sistem kontrol. Melalui monitor ini, operator dapat memantau proses pemesinan, memasukkan program CNC (*G-code*), mengatur parameter, serta melihat pesan status atau peringatan. Monitor membantu pengoperasian mesin secara efisien dan presisi.

### 14. CNC

CNC (*Computer Numerical Control*) adalah sistem kontrol berbasis komputer yang digunakan untuk mengoperasikan mesin secara otomatis dengan memasukkan program berupa kode numerik (seperti *G-code*). Pada mesin bubut CNC, sistem ini mengontrol pergerakan pahat, spindle, dan komponen lainnya untuk menghasilkan benda kerja dengan presisi tinggi dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan mesin manual.



Gambar 2. 2 Bagian – Bagian Mesin CNC

Sumber: (Furqoni. 2022 n.d)

### 2.2.6 Pemrograman CNC Bubut

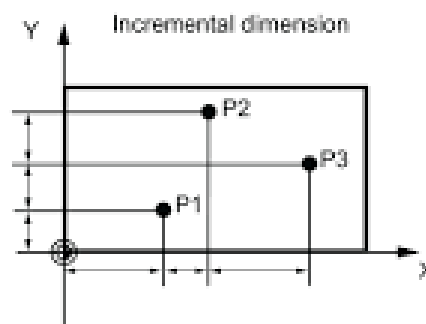
Pemrograman CNC bubut adalah proses pengaturan perintah numerik untuk mengoperasikan mesin bubut otomatis. Program dibuat dengan kode G dan M untuk mengatur pergerakan pahat, kecepatan spindel, serta pemakanan. Operator harus memahami urutan langkah, titik referensi, dan koordinat benda kerja agar hasil presisi. Pemrograman ini mempermudah produksi massal, meningkatkan efisiensi, mengurangi kesalahan, dan menghasilkan kualitas permukaan yang konsisten pada berbagai jenis material, beberapa contoh:

#### 1. Metode Pemrograman

Terdapat dua jenis utama teknik pemrograman CNC, salah satunya adalah:

##### a. Metode *Incremental*

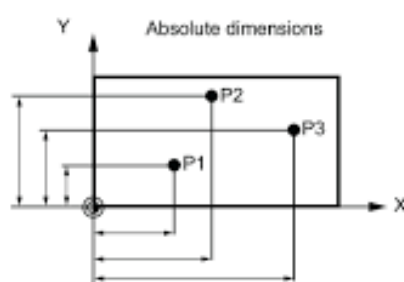
Dalam metode *incremental*, posisi akhir dari gerakan pahat digunakan sebagai acuan untuk perintah program selanjutnya. Titik referensi selalu berpindah mengikuti posisi terakhir pahat, yang kemudian menjadi titik awal untuk gerakan berikutnya. Keuntungan dari pendekatan ini adalah kemudahan dalam menyusun program karena setiap langkah bergantung pada posisi sebelumnya. Namun, kekurangannya terletak pada sensitivitas terhadap perubahan: jika satu titik atau bagian program diubah, maka seluruh urutan setelahnya juga akan terpengaruh. Berikut ini merupakan contoh penggunaan metode *incremental* dalam pemrograman, dapat dilihat pada gambar 2.3 :



Gambar 2. 3 Metode *Incremental*

## 2. Metode *absolute*

Metode *absolute* adalah sistem pemrograman CNC yang menggunakan satu titik acuan tetap sebagai dasar untuk semua pergerakan. Titik acuan ini, yang disebut titik nol atau *datum*, menjadi titik awal bagi semua instruksi gerakan. Titik nol dapat ditempatkan di salah satu sudut atau bagian luar benda kerja. Untuk memastikan posisi titik nol lebih presisi, sebaiknya digunakan alat bantu penjepit atau alat bantu pemasangan lainnya. Strategi ini memberikan keuntungan karena memungkinkan titik-titik lainnya tetap stabil meskipun terjadi perubahan pada salah satu bagian program. Titik acuan utama berada pada posisi nol, sehingga setiap gerakan dihitung dari titik tersebut. Namun, hal ini membuat proses penulisan program menjadi sedikit lebih kompleks. Berikut adalah contoh pemrograman dengan metode *absolute*, dapat dilihat pada gambar 2.4 :



Gambar 2. 4 Metode *Absolute*

Sumber: (Worlds n.d.)

Bahasa pemrograman adalah kumpulan perintah yang disusun menggunakan simbol, angka, dan huruf. Di dalam mesin perkakas CNC terdapat unit pengendali yang disebut MCU (*Machine Control Unit*), yang berfungsi untuk

mengenali dan menerjemahkan perintah dalam bentuk kode menjadi gerakan mesin sesuai dengan bentuk geometris benda kerja.

### 3. Bahasa Pemrograman

Bahasa pemrograman CNC bubut adalah sistem instruksi yang digunakan untuk mengendalikan mesin bubut CNC (*Computer Numerical Control*). Bahasa ini umumnya berbasis pada kode G (*G-code*) dan kode M (*M-code*), yang mengatur gerakan alat potong, kecepatan *spindle*, dan fungsi lainnya. Kode G mengatur gerakan mesin seperti pemotongan, pemindahan posisi, dan siklus pemotongan, sedangkan kode M mengontrol fungsi tambahan seperti menyalakan/mematikan *spindle* dan sistem pendingin.

Menurut jurnal *Pengaruh Penggunaan Bahasa Pemrograman CNC terhadap Efisiensi Produksi* (Romadhon & Edy, 2024), pemahaman yang baik tentang bahasa pemrograman CNC bubut dapat meningkatkan efisiensi produksi hingga 25%. Hal ini terjadi karena operator dapat mengoptimalkan jalur pemotongan dan mengurangi waktu siklus kerja. Selain itu, penggunaan simulasi pemrograman sebelum produksi nyata dapat meminimalkan kesalahan dan kerusakan pada mesin.

Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh ISO atau lembaga internasional lainnya, bahasa pemrograman dalam mesin CNC menggunakan kode G dan kode M. Setiap kode tersebut memiliki fungsi dan kegunaan tersendiri, yang diperjelas oleh angka yang mengikuti huruf kode tersebut. Kombinasi huruf dan angka ini menentukan perintah spesifik yang dijalankan oleh mesin CNC.

Beberapa bahasa kode G yang sering digunakan ditunjukkan di bawah ini pada Tabel 2.3:

Tabel 2. 3 Kode G Pada Mesin Bubut CNC

<b>Kode</b>	<b>Fungsi</b>
G00	Program digunakan untuk memindahkan alat potong dari satu titik ke titik lain dengan kecepatan maksimum mesin, tanpa memotong material.

<b>Kode</b>	<b>Fungsi</b>
G01	Program Digunakan untuk proses pemotongan dengan gerakan linear
G02	berfungsi untuk menggerakkan alat potong dalam lintasan melingkar searah jarum jam dari posisi saat ini ke titik akhir yang ditentukan, sambil melakukan pemotongan.
G03	untuk menggerakkan alat potong membentuk lintasan melingkar atau busur berlawanan arah jarum jam sambil melakukan pemotongan.
G04	Program yang digunakan untuk memberi jeda (pause) atau menahan gerakan alat selama waktu tertentu, tanpa gerakan spindle atau pahat.
G40	Program untuk menonaktifkan kompensasi radius pahat, yaitu koreksi otomatis jalur potong berdasarkan ukuran ujung pahat.
G41	mengaktifkan kompensasi radius pahat ke sisi kiri jalur pemotongan.
G42	Program mengaktifkan kompensasi radius pahat ke sisi kanan jalur pemotongan.
G54	digunakan untuk mengaktifkan sistem koordinat kerja pertama dari beberapa titik referensi yang bisa ditentukan pada mesin CNC.

<b>Kode</b>	<b>Fungsi</b>
G70	yang digunakan untuk mengatur satuan panjang menjadi inci (inch). Setelah kode ini aktif, semua nilai posisi, jarak, dan pemakanan akan dianggap dalam satuan inci, bukan milimeter.
G71	Pro yang digunakan untuk mengatur satuan pengukuran menjadi milimeter (mm).
G90	Pemogramaman berarti mesin akan membaca semua koordinat posisi sebagai jarak dari titik nol kerja (origin), bukan dari posisi terakhir alat potong.
G91	Pemogramaman yang mengatur mesin untuk membaca posisi berdasarkan jarak dari titik posisi saat ini, bukan dari titik nol absolut (origin)
G92	Program untuk mengatur posisi saat ini sebagai titik koordinat tertentu, tanpa benar-benar memindahkan alat. Ini berguna untuk menyinkronkan posisi mesin dengan sistem koordinat kerja yang diinginkan.
G96	Program kode G dalam CNC bubut yang mengaktifkan mode kecepatan potong konstan.
G97	Program CNC bubut yang digunakan untuk menonaktifkan kecepatan permukaan konstan (CSS/G96) dan mengatur putaran spindle (RPM) tetap sesuai nilai yang ditentukan.

Berbagai bahasa kode M dan fungsinya dapat dilihat pada tabel 2.4:

Tabel 2. 4 Kode M Pada Mesin Bubut CNC

Kode	Fungsi
M02	Program berakhir
M03	Program spindle on searah jarum jam
M04	Program spindle on berlawanan jarum jam
M08	Program Spindle off (stop)
M09	Program on colling
M30	Akhir program dan toll kembali posisi semula

### 2.2.7 Parameter Pengoperasian Mesin Bubut CNC

Dalam pengoperasian mesin bubut CNC, beberapa hal penting perlu diperhatikan, antara lain:

1. Kecepatan potong, yaitu kemampuan alat pemotong dalam mengikis material benda kerja dalam satuan panjang per menit, atau berdasarkan rasio antara panjang dan waktu. Kecepatan ini dipengaruhi oleh jenis alat potong yang digunakan serta karakteristik bahan benda kerja. Beberapa faktor yang memengaruhi kecepatan potong meliputi:
  - a. Material benda kerja Tingkat kekuatan material akan menentukan nilai kecepatan potong. Material yang lebih kuat cenderung membutuhkan kecepatan potong yang lebih rendah, sedangkan material yang lebih lunak memungkinkan kecepatan potong yang lebih tinggi.
  - b. Jenis alat potong Semakin tinggi kualitas atau daya tahan alat potong, maka kecepatan potong yang dapat digunakan juga akan lebih tinggi.
  - c. Kedalaman pemotongan (*depth of cut*) adalah parameter penting dalam proses bubut CNC yang memengaruhi kualitas permukaan, gaya pemotongan, dan umur alat. Peningkatan kedalaman pemotongan dapat

meningkatkan laju penghilangan material, namun juga dapat meningkatkan gaya pemotongan dan keausan alat.(Surya, 2024)

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

$a$  = Kedalaman potong dalam satuan milimeter (mm)

$d_o$  = Diameter awal dalam satuan milimeter (mm)

$d_m$  = Diameter akhir dalam satuan milimeter (mm)

- d. Kecepatan spindel (*spindle speed*) merupakan parameter penting dalam proses pembubutan baja AISI 1045, karena memengaruhi kualitas permukaan dan efisiensi pemesinan. Penelitian oleh (Rizllah Aththabary Priatama *et al.*, 2023) menunjukkan bahwa kecepatan spindel sebesar 1645 rpm dan *feeding* 0,18 mm/rev menghasilkan kekasaran permukaan optimal pada pembubutan CNC baja AISI 1045. Kecepatan spindel berkontribusi sebesar 56,28% terhadap kualitas permukaan, menegaskan pentingnya pengaturan parameter ini dalam proses pemesinan. 2.2.

$$n = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} \dots\dots\dots(2.2)$$

$V_c$  = Kecepatan potong dalam satuan meter per menit (m/menit)

$D$  = Diameter benda kerja dalam satuan milimeter (mm)

$n$  = Kecepatan putaran spindle dalam satuan putaran per menit (rpm)

$\pi = 3,14$

- e. Kecepatan Pemakanan (*Feeding rate*)

Kecepatan pemakanan (*feeding rate*) adalah parameter penting dalam proses bubut CNC yang memengaruhi kualitas permukaan benda kerja. Feeding rate mengacu pada jarak yang ditempuh oleh pahat pemotong per satuan waktu atau per putaran spindel. Penelitian oleh (Difa

Kurniawan *et al.*, 2024) menunjukkan bahwa pada pembubutan material S40C, kecepatan pemakanan 0,15 mm/min menghasilkan kekasaran permukaan terendah sebesar 0,92  $\mu\text{m}$ , sedangkan kecepatan pemakanan 0,35 mm/min menghasilkan kekasaran tertinggi sebesar 7,93  $\mu\text{m}$ . Hal ini menegaskan bahwa peningkatan feeding rate dapat meningkatkan kekasaran permukaan.

$$Vf = f \times n \text{ (mm/menit)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Vf = Kecepatan pemakanan (mm/menit atau feet/menit)

n = Kecepatan putaran spindle dalam satuan putaran per menit (rpm)

f = Kecepatan maju alat potong atau gerak makan (mm/rev)

### 2.3 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah parameter penting dalam menentukan kualitas hasil manufaktur, yang diukur menggunakan nilai penyimpangan aritmatika seperti Ra. Faktor-faktor seperti ukuran pahat, parameter pemotongan, geometri, dan kondisi material memengaruhi tingkat kekasaran permukaan. Penelitian menunjukkan bahwa variasi kecepatan *feeding* pada proses milling dapat memengaruhi kekasaran permukaan, di mana kecepatan yang lebih tinggi cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus (Carles & Yusuf, 2019). Selain itu, kekasaran permukaan juga berhubungan dengan kekerasan material, yang memengaruhi interaksi antara alat potong dan benda kerja selama proses manufaktur. Profil kekasaran permukaan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan bentuk dan karakteristiknya, antara lain:

#### 1. Profil Geometrik Ideal (*Geometrically Ideal Profile*)

Profil ini merupakan bentuk permukaan yang sempurna secara geometris tanpa adanya penyimpangan atau ketidakteraturan. Profil ini biasanya

menjadi acuan target dalam proses pemesinan untuk mencapai kualitas permukaan yang optimal.

2. Profil Referensi (*Reference Profile*)

Profil referensi adalah garis acuan yang digunakan dalam pengukuran kekasaran permukaan, yang berfungsi sebagai baseline untuk menentukan deviasi permukaan aktual (Ehibor and Aliemeke, 2021) Garis ini penting dalam penghitungan parameter kekasaran seperti Ra dan Rz.

3. Profil Tengah (*Mean Line Profile*)

Profil tengah adalah garis rata-rata yang melewati titik tengah antara puncak dan lembah pada profil permukaan. Garis ini menjadi dasar dalam perhitungan nilai rata-rata kekasaran (Ra), yang merupakan parameter utama dalam evaluasi kekasaran permukaan (Salem *et al.*, 2023)

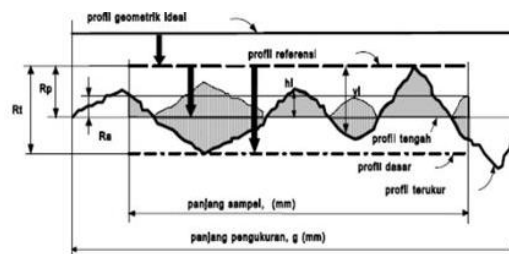
4. Profil Dasar (*Base Profile*)

Profil dasar adalah garis yang melintasi titik-titik lembah terdalam pada profil permukaan, menggambarkan kedalaman minimum dari ketidakrataan permukaan (Putra Andika *et al.*, 2024). Profil ini penting untuk memahami seberapa dalam cacat permukaan atau kerusakan yang terjadi.

5. Profil Terukur (*Measured Profile*)

Profil terukur adalah representasi nyata dari kondisi permukaan benda kerja setelah proses pemesinan, termasuk semua variasi, gelombang kasar, dan cacat yang ada (Kashkool, 2022). Data profil terukur ini digunakan untuk analisis dan pengendalian mutu permukaan.

Profil-profil kekasaran permukaan ditampilkan pada Gambar 2.5 :



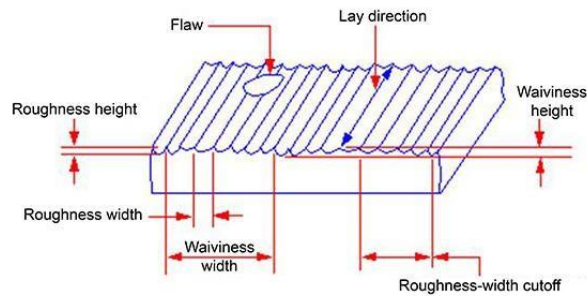
Gambar 2. 5 Profil Kekasaran Permukaan

Sumber: (Worlds n.d.)

Beberapa parameter permukaan memiliki keterkaitan dengan dimensi yang terbagi dalam dua arah, yaitu arah vertikal dan arah horizontal. Adapun parameter-parameter yang berkaitan dengan arah vertikal antara lain sebagai berikut:

1. Kekasaran Total ( $R_t$  – *Total Roughness Height*)  
 $R_t$  adalah selisih antara puncak tertinggi dan lembah terdalam pada profil permukaan dalam suatu panjang pengukuran tertentu. Nilai ini menggambarkan jarak maksimum ketidakrataan permukaan secara keseluruhan.
2. Kekasaran Perataan ( $R_p$  – *Maximum Profile Peak Height*)  
 $R_p$  adalah tinggi maksimum dari puncak profil terhadap garis tengah (mean line) dalam rentang pengukuran.
3. Kekasaran Rata-Rata Aritmatik ( $R_a$  – *Arithmetic Average Roughness*)  
 $R_a$  adalah rata-rata nilai absolut dari deviasi profil permukaan terhadap garis tengah dalam satu panjang pengukuran. Ini adalah parameter kekasaran yang paling umum digunakan.
4. Kekasaran Rata-Rata Kuadrat ( $R_q$  atau  $R_g$  – *Root Mean Square Roughness*)  
 $R_g$  (atau  $R_q$ ) adalah akar kuadrat dari rata-rata kuadrat deviasi permukaan terhadap garis tengah.
5. Kekasaran Total Rata-Rata ( $R_z$  – *Average Maximum Height of the Profile*)  
 $R_z$  adalah rata-rata dari lima nilai ketinggian maksimum (antara puncak tertinggi dan lembah terdalam) yang diambil dari lima segmen sama panjang dalam panjang pengukuran.

Selanjutnya, untuk parameter arah mendatar, dapat dilihat pada Gambar 2.6:



Gambar 2. 6 Lebar Gelombang Dan Lebar Kekasaran

Sumber ([www.mfgrobots.com](http://www.mfgrobots.com))

a. Lebar Gelombang (*Waviness Width*),  $A_w$

Lebar gelombang (*waviness width*,  $A_w$ ) adalah jarak horizontal antara dua puncak atau lembah pada profil gelombang permukaan. Gelombang ini mencerminkan ketidakteraturan dengan skala lebih besar yang biasanya disebabkan oleh faktor seperti getaran mesin, deformasi material, atau variasi proses manufaktur. *Waviness* sering kali menjadi perhatian dalam aplikasi di mana ketidakteraturan besar dapat memengaruhi fungsi mekanis atau estetika suatu komponen (Burhanuddin *et al.*, 2013)

b. Lebar Kekasaran (*Roughness Width*),  $A_r$

Lebar kekasaran (*roughness width*,  $A_r$ ) adalah jarak horizontal antara dua puncak atau lembah pada profil kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan mencerminkan ketidakteraturan mikro yang lebih kecil dibandingkan gelombang. Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas mikro permukaan yang dihasilkan dari proses pemesinan, seperti milling atau turning. Kekasaran permukaan memengaruhi gesekan, keausan, dan daya lekat pelapisan pada material.

Kekasaran dilambangkan dengan N1 hingga N12 yang dapat dilihat pada

Tabel 2.5:

Tabel 2. 5 Standarisasi Simbol Nilai Kekasaran

Kekasaran Ra ( $\mu\text{m}$ )	Tingkat kekasaran	Panjang sample (mm)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2.5
6.3	N9	
3.2	N8	0.8
1.6	N7	
0.8	N6	
0.4	N5	
0.2	N4	0.25
0.1	N3	
0.05	N2	
0.025	N1	0.08

Sumber: (Rochim n.d.)

#### 2.4 Dromus

Dromus merupakan jenis cairan pendingin berbasis minyak yang digunakan dalam proses pemesinan untuk mengurangi gesekan dan panas antara alat potong dan benda kerja. Penggunaan Dromus sebagai media pendingin telah diteliti dalam berbagai studi untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam meningkatkan kualitas permukaan hasil pemesinan.

Salah satu studi yang relevan adalah penelitian oleh (Zulkarnain *et al.*, 2024) yang membahas pengaruh variasi media pendingin dan kecepatan pemakanan dalam proses pembubutan basah terhadap kekasaran permukaan baja ST 60. Dalam penelitian ini, Dromus dibandingkan dengan media pendingin lainnya, seperti radiator coolant dan air mineral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Dromus menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan radiator coolant, namun lebih rendah dibandingkan dengan air mineral. Sebagai contoh, pada kecepatan pemakanan 275 mm/rev, nilai kekasaran

permukaan rata-rata dengan Dromus adalah 2,088  $\mu\text{m}$ , sedangkan dengan radiator *coolant* adalah 1,415  $\mu\text{m}$ , dan dengan air mineral adalah 2,461  $\mu\text{m}$ .

Penggunaan Dromus sebagai media pendingin dalam proses pembubutan dapat meningkatkan kualitas permukaan hasil pemesinan, terutama bila digunakan dengan konsentrasi dan tekanan yang optimal.

## **2.5 Alat Potong Tipe CNMG**

### **2.5.1 Pengertian Alat Potong CNMG**

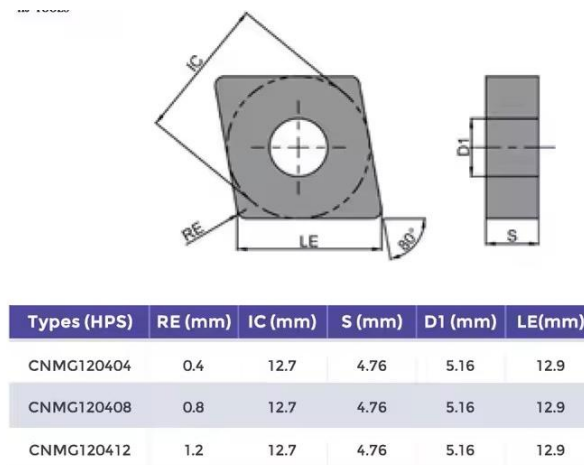
Alat potong CNMG adalah jenis insert karbida yang umum digunakan dalam proses pembubutan. CNMG merupakan kode standar ISO 1832 yang mengindikasikan geometri dan karakteristik insert tersebut. Kode ini terdiri dari empat huruf yang masing-masing mewakili bentuk, sudut bebas, toleransi, dan jenis chipbreaker dari insert.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Janeková et al. (2024), insert CNMG 120408 digunakan dalam pengujian terhadap baja 1.6582 yang dikeraskan hingga 40–44 HRC. Insert ini terbuat dari karbida sinter dengan lapisan TiCN dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , yang dirancang untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan dan suhu tinggi selama proses pemesinan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa geometri dan lapisan pelapis pada insert CNMG memiliki pengaruh signifikan terhadap umur alat dan kualitas permukaan hasil pemesinan. (Šramhauser et al., 2024)

### **2.5.2 Arti Kode CNMG**

Kode CNMG adalah bagian dari sistem penamaan standar ISO 1832 untuk insert indeksabel dalam proses pemesinan, khususnya pembubutan. Setiap huruf dalam kode ini memiliki arti spesifik yang menggambarkan karakteristik geometris dan fungsional dari insert tersebut.

Berikut adalah penjelasan rinci mengenai arti dari masing-masing huruf dalam kode CNMG dan gambar ukuran pahat CNMG di 2.7 :



Gambar 2. 7 Ukuran Pahat CNMG

Sumber: (Mitsubisih)

1. C – Bentuk Insert (*Insert Shape*)

Huruf pertama "C" menunjukkan bahwa *insert* memiliki bentuk rhombik dengan sudut 80°. Bentuk ini memberikan keseimbangan antara kekuatan dan kemampuan pemotongan, menjadikannya cocok untuk berbagai aplikasi pembubutan. Menurut sumber dari *Cutwel Ltd*, bentuk ini sering digunakan karena menawarkan kombinasi yang baik antara kekuatan dan fleksibilitas dalam pemesinan.

2. N – Sudut Bebas (*Relief Angle*)

Huruf kedua "N" menandakan bahwa insert memiliki sudut bebas 0°, yang berarti tidak ada sudut bebas atau sudut negatif. Desain ini memungkinkan insert digunakan pada kedua sisinya, meningkatkan efisiensi penggunaan. Informasi ini didukung oleh dokumentasi dari *Walter Tools* yang menjelaskan sistem penamaan *insert* sesuai dengan ISO 1832.

3. M – Toleransi (*Tolerance*)

Huruf ketiga "M" menunjukkan kelas toleransi medium. Toleransi ini mengacu pada tingkat presisi dalam pembuatan insert, dengan "M" mewakili toleransi yang lebih longgar dibandingkan dengan kelas "G" yang lebih ketat. Penjelasan ini sesuai dengan informasi dari MSC *Industrial Supply Co.* yang membahas sistem kode ISO untuk insert.

4. G – Metode Penjepitan dan Chipbreaker (*Clamping Method and Chipbreaker*)  
Huruf keempat "G" menunjukkan bahwa insert memiliki lubang pusat dan sistem penjepitan menggunakan baut atau clamp. Selain itu, "G" juga dapat menunjukkan adanya fitur *chipbreaker* tertentu yang dirancang untuk mengontrol pembentukan dan evakuasi serpihan selama proses pemesinan. ini dijelaskan dalam dokumen teknis dari YG-1 mengenai sistem kode ISO untuk insert.

Dengan memahami arti dari masing-masing huruf dalam kode CNMG, pengguna dapat memilih insert yang sesuai dengan kebutuhan spesifik dalam proses pemesinan, memastikan efisiensi dan kualitas hasil yang optimal.

### 2.4.3 Keuntungan Penggunaan Insert CNMG

Pahat CNMG (C–bentuk rhombus  $80^\circ$ , N–sudut bebas  $0^\circ$ , M–toleransi medium, G–sistem penjepitan dan *chipbreaker*) merupakan salah satu jenis *insert carbida* yang umum digunakan dalam proses pembubutan. Penggunaan pahat ini dalam berbagai penelitian menunjukkan sejumlah keuntungan signifikan dalam proses pemesinan, antara lain:

1. Umur Alat yang Lebih Panjang dan Keausan yang Terkendali

Penelitian oleh (Šramhauser *et al.*, 2022a) mengevaluasi keausan pada berbagai insert CNMG berlapis karbida sinter saat membubut baja 1.6582 yang dikeraskan hingga 40–44 HRC. Hasilnya menunjukkan bahwa kualitas lapisan pelapis memiliki pengaruh signifikan terhadap laju keausan insert. Insert dengan pelapis yang optimal menunjukkan keausan sisi (flank wear) yang lebih rendah, yang berkontribusi pada umur alat yang lebih panjang dan efisiensi pemesinan yang lebih baik.

## 2. Kualitas Permukaan yang Lebih Baik

Dalam penelitian oleh (Julianto *et al.*, 2023) penggunaan insert CNMG 090408 MT TT812 pada pembubutan baja S45C dengan mesin CNC menunjukkan bahwa kombinasi parameter pemotongan yang tepat dapat menghasilkan nilai kekasaran permukaan serendah 0,8209  $\mu\text{m}$ . Hal ini menunjukkan bahwa pahat CNMG mampu menghasilkan permukaan yang halus, yang penting untuk aplikasi yang memerlukan toleransi ketat dan kualitas permukaan tinggi.

## 3. Efisiensi Energi dan Pengurangan Biaya Operasional

Studi oleh (Tolcha *et al.*, 2025) menunjukkan bahwa penggunaan insert karbida, termasuk tipe CNMG, dalam pemesinan komposit LM25Al/VC dapat mengurangi konsumsi daya dibandingkan dengan alat potong berbahan HSS, terutama pada kecepatan potong yang tinggi. Hal ini berkontribusi pada efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional dalam proses pemesinan.

Dengan mempertimbangkan keunggulan-keunggulan tersebut, penggunaan pahat CNMG dalam penelitian pemesinan memberikan manfaat signifikan dalam hal efisiensi, kualitas hasil, dan fleksibilitas aplikasi, yang mendukung pengembangan proses pemesinan yang lebih efektif dan ekonomis.

### 2.5.3 Aplikasi dalam Pemesinan

Insert CNMG merupakan salah satu jenis sisipan indeksabel berbahan dasar karbida sinter yang banyak digunakan dalam proses pembubutan pada mesin CNC maupun konvensional. CNMG memiliki bentuk rhombus dengan sudut  $80^\circ$  dan sudut bebas  $0^\circ$ , yang memungkinkan penggunaannya pada dua sisi dan menjadikannya sangat ekonomis. Kombinasi bentuk dan kekakuan dari insert ini membuatnya ideal untuk aplikasi pemesinan kasar hingga semi-*finishing*.

Berdasarkan penelitian oleh (Šramhauser *et al.*, 2022) dilakukan evaluasi terhadap kinerja tiga merek insert CNMG 120408 saat digunakan untuk membubut baja 1.6582 yang dikeraskan hingga 44 HRC. Hasilnya menunjukkan bahwa desain

geometri dan pelapis insert memberikan pengaruh signifikan terhadap umur alat dan bentuk serpihan. Insert dengan lapisan TiCN dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terbukti memberikan umur pakai yang lebih lama dan hasil permukaan yang lebih halus dibandingkan jenis lainnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan insert CNMG yang sesuai sangat penting untuk memperoleh efisiensi dalam pemesinan material keras.

Dari studi tersebut, dapat disimpulkan bahwa aplikasi insert CNMG dalam dunia pemesinan sangat luas dan fleksibel.

## **2.6. Metode Taguchi**

### **2.6.1 Pengertian Metode Taguchi**

Metode Taguchi merupakan salah satu teknik optimasi yang dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi, seorang ahli statistik asal Jepang, dengan tujuan meningkatkan kualitas produk dan proses manufaktur melalui pendekatan eksperimental yang efisien. Metode ini dikenal luas karena kemampuannya meminimalkan variabilitas hasil tanpa harus menghilangkan penyebab variasi itu sendiri.

Taguchi memperkenalkan konsep "*design of experiment*" (*DoE*) dengan struktur orthogonal array yang memungkinkan eksperimen dilakukan secara sistematis dan efisien, meskipun melibatkan banyak variabel. Pendekatan ini sangat berguna dalam dunia manufaktur, termasuk proses pemesinan seperti pembubutan dan frais, untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal.

Metode Taguchi telah diterapkan secara luas dalam berbagai bidang, termasuk teknik, bioteknologi, dan manufaktur. Dalam studi oleh (Hamzaçebi, 2021). metode Taguchi digunakan untuk mengoptimalkan desain produk dengan mengurangi variabilitas di sekitar nilai target melalui aplikasi sistematis dari desain eksperimen statistik yang disebut desain robust.

### **2.6.2 Langkah-Langkah Metode Taguchi**

Metode Taguchi merupakan teknik desain eksperimen yang bertujuan untuk menemukan kombinasi parameter proses yang optimal guna meningkatkan kualitas

hasil dan mengurangi variasi. Langkah-langkah penerapan metode Taguchi umumnya terdiri dari:

1. Menentukan Tujuan Penelitian

Langkah pertama adalah menetapkan output atau respon yang ingin dioptimalkan. Misalnya dalam pemesinan, respon yang diamati bisa berupa kekasaran permukaan (Ra), keausan pahat, atau laju pemakanan.

2. Menentukan Faktor dan Level

Identifikasi faktor-faktor kontrol (*input*) yang mempengaruhi respon dan tentukan tingkat (level) variasinya. Contohnya, kecepatan spindle (rpm), kecepatan pemakanan (mm/min), dan kedalaman potong (mm), masing-masing dengan 3 level.

3. Memilih *Matriks Orthogonal Array* (OA)

Pilih desain eksperimen berdasarkan jumlah faktor dan levelnya. *Matriks* ini memungkinkan eksperimen dilakukan lebih efisien dibanding metode konvensional. Contoh: jika ada 3 faktor dengan 3 level, digunakan matriks L9 ( $3^3$ ).

4. Melakukan *Eksperimen*

Lakukan *eksperimen* sesuai kombinasi parameter dalam *orthogonal array* yang telah dipilih. Catat hasil dari masing-masing percobaan.

5. Menghitung Nilai *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio)

Rasio S/N digunakan untuk menganalisis stabilitas dan kualitas output. Ada tiga jenis:

- a. *Smaller is better* – digunakan untuk respon yang nilainya makin kecil makin baik (misalnya kekasaran permukaan).
- b. *Larger is better* – untuk nilai yang makin besar makin baik (misalnya kekuatan tarik).
- c. *Nominal is best* – untuk nilai target tertentu.

5. Analisis Hasil dan Identifikasi Faktor Optimal

Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor terhadap respon dan menentukan level terbaik dari setiap faktor.

6. Validasi atau Konfirmasi Eksperimen

Lakukan percobaan konfirmasi menggunakan kombinasi optimal yang telah diperoleh untuk melihat apakah hasilnya sesuai dengan prediksi.

### **2.6.3 Tahapan Desain Eksperimen Taguchi**

#### **2.6.3.1 Tahapan Perencanaan Eksperimen**

Perencanaan eksperimen merupakan tahap awal yang penting dalam metode Taguchi karena bertujuan untuk memastikan bahwa eksperimen dirancang secara efisien, terkontrol, dan dapat menghasilkan data yang akurat untuk analisis. Adapun tahapan perencanaan eksperimen menurut (Soejanto, 2009) adalah sebagai berikut:

##### **1. Perumusan Masalah**

Langkah pertama dalam perencanaan eksperimen adalah merumuskan masalah secara jelas dan terarah. Masalah yang dimaksud berkaitan dengan ketidaksesuaian hasil proses atau produk dengan standar kualitas yang diharapkan. Dalam konteks manufaktur, permasalahan dapat berupa tingginya kekasaran permukaan, ketidaktepatan dimensi, atau ketidakkonsistenan performa. Perumusan masalah ini akan menjadi dasar dalam merancang eksperimen dan menentukan variabel yang akan diuji.

##### **2. Penetapan Tujuan *Eksperimen***

Setelah masalah dirumuskan, langkah selanjutnya adalah menentukan tujuan *eksperimen*. Tujuan ini harus spesifik, terukur, dan berorientasi pada penyelesaian masalah yang telah ditetapkan. Misalnya, dalam penelitian pemesinan, tujuan eksperimen bisa berupa menentukan kombinasi parameter proses bubut yang menghasilkan kekasaran permukaan paling rendah.

##### **3. Respon**

respon adalah variabel output yang dipengaruhi oleh faktor-faktor *input* (*variabel* bebas). Variabel ini merupakan parameter utama yang diukur dalam eksperimen untuk menilai hasil atau performa dari proses yang diteliti. Contoh *variabel* tak bebas dalam penelitian pemesinan adalah kekasaran permukaan ( $R_a$ ), waktu pemesinan, atau laju keausan pahat.

##### **4. Parameter Bebas**

Parameter Bebas adalah parameter yang secara langsung dikendalikan dan dimanipulasi dalam eksperimen. Penentuan faktor ini sangat penting karena faktor-faktor tersebut akan diuji untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel respon. Dalam proses pemesinan, faktor bebas yang umum digunakan antara lain kecepatan *spindle*, kecepatan pemakanan, kedalaman potong, dan jenis pahat.

#### 5. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor yang teridentifikasi dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a. Faktor kontrol, yaitu faktor yang dapat dikendalikan selama eksperimen dan menjadi fokus penelitian.
- b. Faktor gangguan (*noise*), yaitu faktor yang sulit dikendalikan dan bisa menyebabkan variabilitas dalam proses. Contohnya: getaran mesin, suhu ruangan, atau kondisi alat potong.

Pemisahan ini penting agar eksperimen dapat dirancang untuk menghasilkan produk atau proses yang *robust* terhadap gangguan eksternal.

#### 6. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Setiap faktor kontrol harus ditentukan berapa level (tingkat variasi) yang akan digunakan dalam eksperimen. Biasanya, Taguchi menggunakan 2 atau 3 level untuk masing-masing faktor. Nilai level dipilih berdasarkan pengalaman sebelumnya, literatur, atau hasil percobaan awal (*preliminary test*). Misalnya, kecepatan *spindle* dapat ditentukan pada level: 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm.

#### 7. Perhitungan Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Menentukan derajat kebebasan adalah langkah untuk mengetahui jumlah percobaan yang harus dilakukan serta banyaknya informasi yang akan dihasilkan. Untuk matriks ortogonal ( $v_{mo}$ ), derajat kebebasannya ditentukan melalui persamaan berikut:

$$v_{mo} = \text{jumlah percobaan} - 1 \dots\dots\dots(2.4)$$

Untuk derajat kebebasan dari parameter dan level ( $v_{fl}$ ) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_{fl} = \text{jumlah level parameter} - 1 \dots\dots\dots(2.5)$$

#### 8. Pemilihan *Matriks Orthogonal*

Pemilihan *matriks ortogonal* disesuaikan dengan total derajat kebebasan yang berasal dari jumlah parameter dan level masing-masing parameter. *Matriks* ini berfungsi untuk menentukan jumlah percobaan yang diperlukan serta mengevaluasi pengaruh setiap parameter yang diteliti. Keunggulan utama dari *matriks ortogonal* adalah kemampuannya dalam menilai banyak parameter dengan jumlah eksperimen seminimal mungkin. *Notasi* umum untuk menyatakan matriks ortogonal biasanya dituliskan sebagai berikut:

$$L_a = b^c \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan keterangan:

$L_a$  = Jumlah eksperimen yang perlu dilakukan.

$b$  = Jumlah level (atau tingkatan/variasi) untuk setiap faktor yang diuji.

$c$  = Jumlah faktor (atau variabel independen) yang sedang diteliti.

menunjukkan beberapa jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar. Salah satu contohnya adalah matriks  $L_4 = 2^3$ , yang juga digunakan dalam penelitian ini. Matriks tersebut menunjukkan bahwa jumlah percobaan yang diperlukan adalah empat. Jumlah maksimum derajat kebebasan yang dapat dianalisis adalah tiga, dan jumlah parameter yang dapat diuji maksimal tiga, dengan masing-masing parameter memiliki dua level Tabel 2.6:

Tabel 2. 6 Level-Level Matriks Ortogonal

Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level Gabungan
$L_4 = 2^3$	$L_9 = 3^4$	$L_{16} = 4^5$	$L_{25} = 5^6$	$L_{18} = 2^1 \times 3^7$
$L_8 = 2^7$	$L_{27} = 3^{13}$	$L_{64} = 4^{21}$	$L_4 = 2^3$	$L_{32} = 2^1 \times 4^9$
$L_{12} = 2^{11}$	$L_{81} = 3^{40}$			$L_{36} = 2^{11} \times 3^{12}$
$L_{16} = 2^{15}$				$L_{36} = 2^3 \times 3^{13}$
$L_{32} = 2^{31}$				$L_{54} = 2^1 \times 3^{25}$
$L_{64} = 2^{63}$				$L_{18} = 2^1 \times 3^{11}$

Sumber: (Soejanto n.d.)

### **2.6.3.2 Tahapan Pelaksanaan Eksperimen**

Pelaksanaan eksperimen meliputi penentuan jumlah replikasi eksperimen dan randomisasi (Soejanto, 2009):

#### **1. Jumlah Replikasi**

Replikasi merupakan proses pengulangan eksperimen pada kombinasi parameter yang sama. Tujuan utama dari replikasi adalah untuk memperoleh data yang lebih representatif dan mengurangi pengaruh kesalahan eksperimen yang mungkin terjadi akibat variasi proses yang tidak dapat dikendalikan. Selain itu, replikasi juga digunakan untuk mengestimasi nilai galat (error) dan memungkinkan dilakukannya analisis statistik seperti ANOVA (Analysis of Variance) dan perhitungan nilai *Signal-to-Noise Ratio (S/N)* dalam metode Taguchi. Penentuan jumlah replikasi biasanya disesuaikan dengan tingkat ketelitian yang diinginkan, variasi proses, serta ketersediaan sumber daya seperti waktu, biaya, dan material. Secara umum, dua hingga tiga kali replikasi sudah cukup untuk menghasilkan data yang dapat diandalkan secara statistik.

#### **2. Randomisasi**

Randomisasi adalah proses pengacakan urutan pelaksanaan eksperimen. Langkah ini bertujuan untuk menghindari adanya bias atau pengaruh sistematis dari faktor luar yang tidak diinginkan, seperti perubahan kondisi lingkungan, keausan alat potong, atau fluktuasi performa mesin selama proses eksperimen berlangsung. Dengan melakukan randomisasi, setiap kombinasi perlakuan memiliki peluang yang sama untuk dipengaruhi oleh faktor luar, sehingga hasil eksperimen menjadi lebih objektif dan valid. Randomisasi dapat dilakukan secara manual menggunakan tabel angka acak atau secara otomatis dengan bantuan perangkat lunak statistik.

### **2.6.3.3 Tahap Analisa**

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan serta pengolahan data yang diperoleh dari hasil eksperimen. Proses ini mencakup pengumpulan informasi, pengaturan data secara sistematis, perhitungan, dan penyajian hasil dalam bentuk yang sesuai dengan format atau desain yang telah ditentukan sebelumnya. Analisis

dan pengujian statistik dilakukan terhadap data hasil percobaan. Adapun tahapan-tahapan analisis yang dilakukan meliputi beberapa langkah berikut (Soejanto, 2009):

### 1. Analisis Varians Taguchi

Analisis Varians Taguchi Analisis Varians adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistika. Analisis ini merupakan teknik menganalisis dengan menguraikan seluruh (total) variansi atas bagian-bagian yang diteliti.

### 2. Uji F

Hasil analisis varians tidak membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam percobaan, pembuktian ini dilakukan uji hipotesa F. Uji hipotesa F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi error. Variansi error adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Dalam hal ini:

$$F_{sumber} = \frac{\text{variansi karena perlakuan} + \text{variansi karena error}}{\text{variansi karena error}}$$

Nilai  $F_{sumber}$  tersebut dibandingkan dengan nilai F dari tabel pada harga  $\alpha$  tertentu dengan derajat kebebasan  $((k-1),(N-k))$ . Di mana k adalah jumlah level suatu faktor dan N adalah jumlah total perlakuan. Hipotesa pengujian dalam suatu percobaan adalah:

H0: tidak ada pengaruh perlakuan, sehingga  $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu_k$ .

H1: ada pengaruh perlakuan, sehingga sedikit ada satu  $\mu$  yang tidak sama.

Apabila nilai F test lebih kecil nilai Ftabel ( $F_{hitung} < F_{tabel}$ ), maka hipotesa ( $H_a$ ) diterima atau berarti tidak ada perlakuan. Namun jika nilai F test lebih besar dari nilai Ftabel ( $F_{hitung} > F_{tabel}$ ), maka *hipotesa* ( $H_0$ ) ditolak dan berarti ada perbedaan perlakuan.

### 3. Strategi *pooling up*

Strategi *pooling up* yang dikembangkan oleh Taguchi merupakan pendekatan untuk meningkatkan estimasi variansi galat dalam Analisis Variansi. Metode ini mengakumulasi variansi galat dari beberapa faktor yang dianggap kurang

signifikan, sehingga menghasilkan estimasi yang lebih akurat. Penerapan strategi *pooling up* dimulai dengan menguji rasio F dari efek kolom terkecil terhadap efek yang lebih besar berikutnya untuk menilai signifikansinya. Apabila tidak ditemukan rasio F yang signifikan, kedua efek tersebut akan di-"*pooling*" atau digabungkan. Proses *pooling* ini berlanjut dengan menguji kolom yang lebih besar berikutnya hingga muncul rasio F yang signifikan. Dengan demikian, strategi *pooling up* berupaya memaksimalkan jumlah faktor yang diidentifikasi signifikan. Faktor-faktor yang terbukti signifikan ini kemudian akan dipertimbangkan untuk putaran eksperimen selanjutnya atau dalam perancangan produk dan proses.

4. *Rasio Signal-to-Noise (S/N)*

*Rasio Signal-to-Noise (S/N)* adalah metrik penting yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang secara signifikan mengurangi variasi dalam respons *eksperimen*. *Rasio S/N* mengonsolidasikan variasi data berulang menjadi sebuah nilai tunggal yang mengukur tingkat variasi yang muncul. Untuk menentukan level faktor yang paling berpengaruh pada hasil *eksperimen*, *rasio S/N* memanfaatkan perhitungan jumlah kuadrat (S), yang diperoleh melalui Analisis Variansi (ANOVA). Ini termasuk perhitungan jumlah kuadrat total (S), jumlah kuadrat untuk setiap faktor (S), dan/atau jumlah kuadrat galat (S<sub>e</sub>). Interpretasi pengaruh faktor-faktor tersebut pada hasil eksperimen bervariasi tergantung pada tipe karakteristik kualitas yang sedang, diamati yaitu:

- a. Semakin kecil, semakin baik

Adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non negatif. Nilai semakin kecil (mendekati nol adalah yang diinginkan).

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_1^2\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

n = jumlah pengulangan dari suatu trial

- b. Tertuju pada nilai tertentu

Karakteristik kualitas dengan nilai atau target tidak nol dan terbatas. Atau dengan kata lain nilai yang mendekati suatu nilai yang ditentukan adalah yang terbaik.

$$S/N = -10 \log V_e \dots \dots \dots (2.8)$$

$$S/N = -10 \log \left( \frac{V_m - V_e}{n V_e} \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

c. Semakin besar, semakin baik

Karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non-negatif.

Nilai semakin besar adalah semakin diinginkan.

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{V_i^2} \right) \dots \dots \dots (2.10)$$

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji pengaruh jenis pahat, parameter pemotongan, serta kondisi pemesinan terhadap kualitas permukaan, khususnya pada material baja karbon S45C. Fokus utama dari penelitian-penelitian tersebut adalah nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) sebagai indikator penting hasil akhir pemesinan.

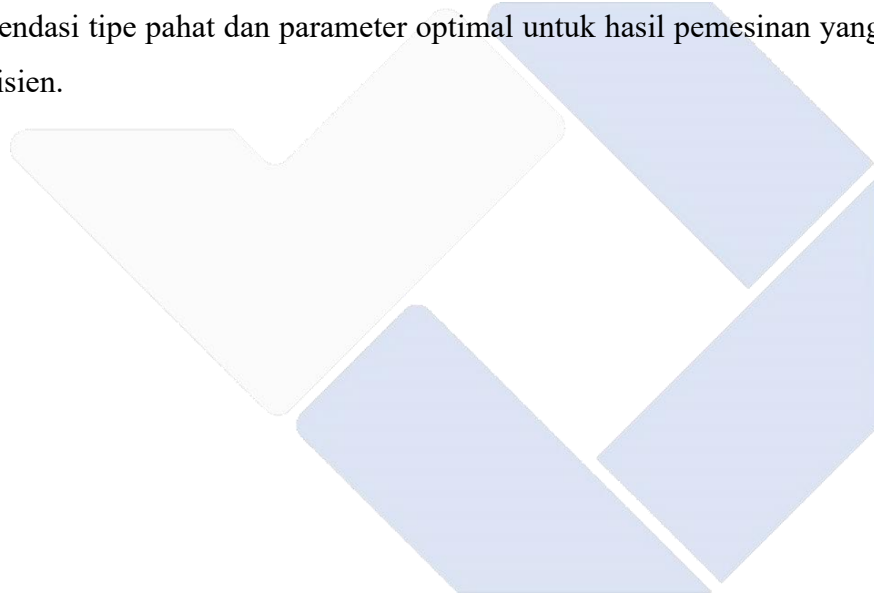
Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa jenis dan geometri pahat memberikan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Maryanti et al. (2025) menemukan bahwa pahat insert VBMT 160408–HM menghasilkan kekasaran yang lebih rendah dibandingkan WNMG 060408–DM pada material baja karbon S45C. Sementara itu, Saputro dan Susanti (2022) melaporkan bahwa pahat merek Iscar dengan sudut potong 75° memberikan hasil terbaik karena mampu mengurangi perpindahan panas dan keausan.

Selain jenis pahat, parameter pemotongan seperti kecepatan spindle, kecepatan pemakanan, dan kedalaman potong juga memengaruhi kekasaran permukaan. Haryanto dan Khaerudin (2020) melalui pendekatan metode Taguchi menunjukkan bahwa feed rate merupakan faktor paling dominan dalam memengaruhi nilai Ra, sedangkan Adi Heriyanto et al. (2023) menemukan bahwa kombinasi kecepatan spindle tinggi dan feed rate rendah menghasilkan permukaan yang paling halus.

Widiarto et al. (2023) juga menunjukkan bahwa variasi radius pahat insert berpengaruh terhadap kekasaran, di mana radius 0,8 mm pada kedalaman potong

1,2 mm menghasilkan nilai kekasaran paling rendah. Di sisi lain, pemesinan kering yang lebih ramah lingkungan juga terbukti layak digunakan, seperti yang diungkapkan oleh Napid et al. (2022), di mana perbedaan kekasaran antara kondisi kering dan basah pada pemesinan baja S45C tergolong kecil.

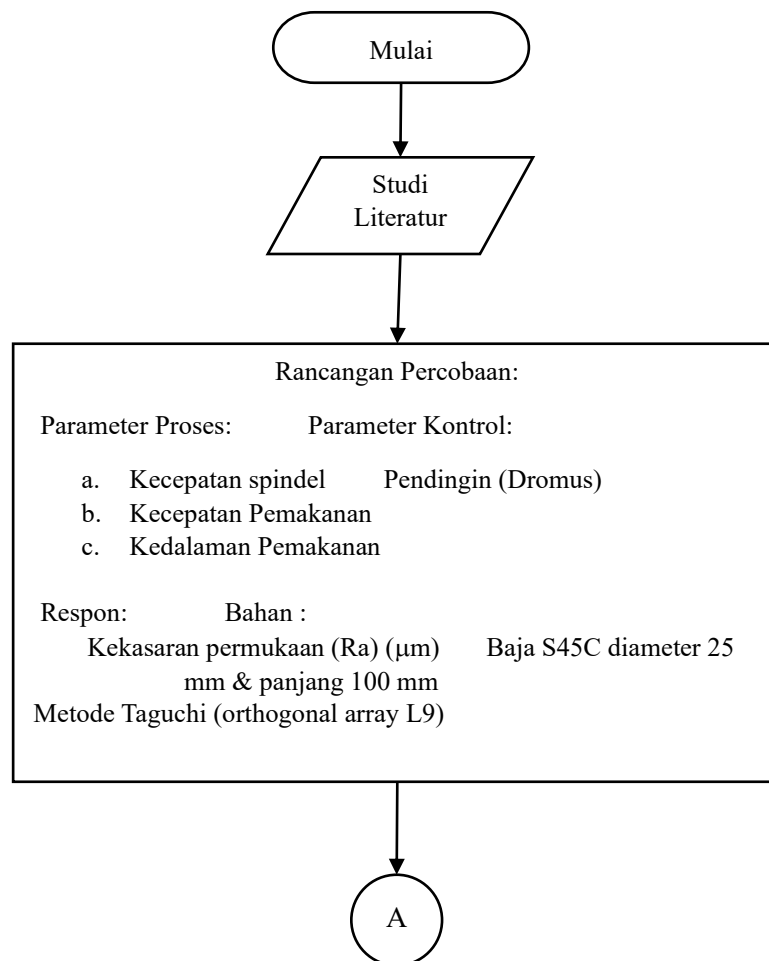
Dari hasil-hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemilihan jenis pahat dan parameter pemesinan yang tepat sangat menentukan kualitas permukaan akhir. Namun, masih terdapat kebutuhan untuk memperdalam kajian mengenai pemilihan tipe pahat tertentu, seperti CNMG, dalam hubungannya dengan kekasaran permukaan baja karbon sedang seperti S45C. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi performa tipe pahat CNMG terhadap kekasaran permukaan S45C dengan pendekatan metode Taguchi, guna memperoleh rekomendasi tipe pahat dan parameter optimal untuk hasil pemesinan yang presisi dan efisien.

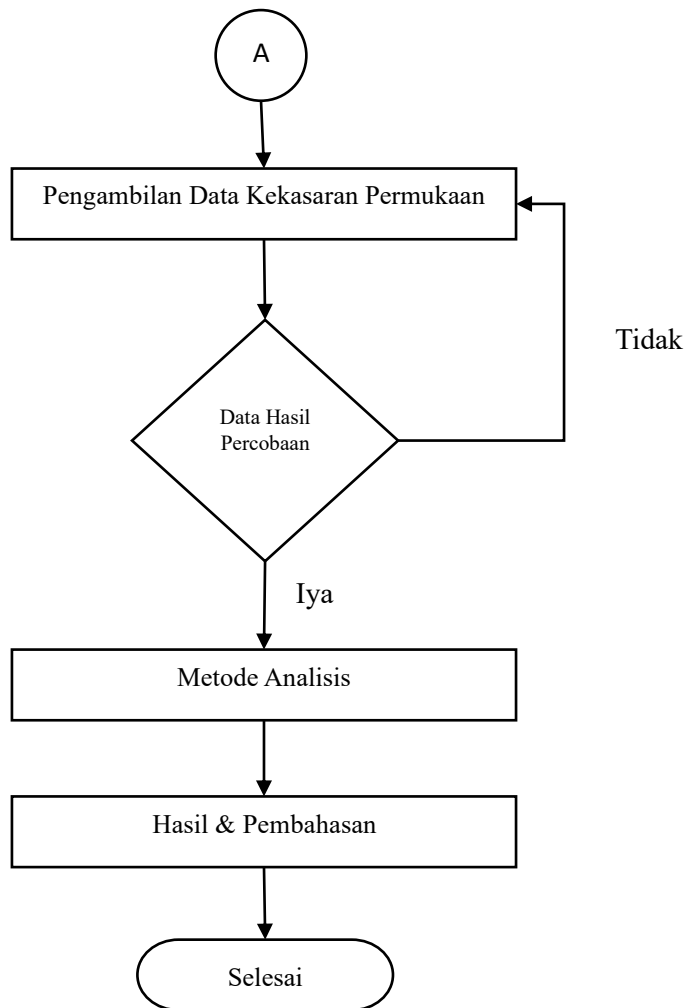


## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian mengacu pada serangkaian prosedur sistematis yang dijalankan dalam pelaksanaan suatu studi. Pada penelitian ini, metode yang diadopsi adalah desain eksperimen Taguchi untuk mengoptimalkan hasil analisis. Secara rinci, alur kerja penelitian digambarkan secara visual melalui diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 3.1:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium JRM (Jurusan Rekayasa Mesin), Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Waktu pelaksanaan penelitian mengikuti jadwal proyek akhir, dimulai pada 28 Febuari 2025 dan berakhir pada 30 Juni 2025.

### 3.3. Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Alat Penelitian

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini terletak di Laboratorium Jurusan Rekayasa Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, meliputi:

##### A. Mesin Bubut CNC

Mesin CNC Turning SL-25 Mori Seiki ini akan digunakan sebagai objek dalam penelitian yang merupakan mesin buatan dari Jepang. Gambar mesin CNC Turning SL-25 Mori Seiki dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan spesifikasi mesin CNC Turning SL 25 Mori Seiki dapat dilihat pada Tabel 3.1 :

Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin CNC *Turning* SL-25 Mori Seiki

<i>SL Series</i>	<i>SL-25 B/500</i>	
<i>Swing over ded</i>	520(20.47)	
<i>Swing over cross slide</i>	350(13.78)	
<i>Distance between centers</i>	625(24.61)	
<i>Capacity</i>	<i>Maximum turning diaeter</i>	260(10.24)
	<i>Maximum turning length</i>	530(20.87)
	<i>Bar work capacity</i>	68(2.6)
<i>Travel</i>	<i>X-axis travel</i>	160 <30 + 130> (6.30 <1.2+5.1>)
	<i>Z-axis travel</i>	590(23.2)
	<i>Spindel speed range</i>	35-292-3500
	<i>Numbers spindel speed ranges</i>	1
<i>Spindel</i>	<i>Type of spindel nose</i>	Jls A2-6
	<i>Through spindel hole diameter</i>	80(3.1)
	<i>Spindel bearing iner diameter</i>	130(5.12)
<i>Turret</i>	<i>Number of turret</i>	1
	<i>Type of turre</i>	10 st.
	<i>Number of tools on turret</i>	10
	<i>Square shank height of tool</i>	25(1)

<i><b>SL Series</b></i>	<i><b>SL-25 B/500</b></i>	
	<i>Shank diameter of boring bar</i>	Max. 50(2)
<i>Feedrate</i>	<i>Rapid treverse rate</i>	X: 1200 (472.44) Z: 15000 (590.55)
	<i>Feed per revolution</i>	X:0.001-342 Z:0.001-428
	<i>Jog feedrate</i>	X,Z:0-1260(0- 50) <15steps>
<i>Tailstock</i>	<i>Tailstock travel</i>	491(19.33)
	<i>Tailstock spindel diameter</i>	110(4.33)
	<i>Taper hole of tail stock spindel</i>	MT5<live center>
	<i>Tailstock spindel travel</i>	100(3.94)
<i>Motors</i>	<i>Feed motors kW (HP)</i>	X: 0.9(1.21) Z: 1.8(2.41)
	<i>Hydraulic pump motor kW (HP)</i>	1.5(2)
	<i>Lubricant pump motor kW (HP)</i>	0.017(0.02)
	<i>Coolant pump motor kW (HP)</i>	0.52(0.70)
<i>Power Sources</i>	<i>Electrical power suplay (continuous rating) kVA</i>	26[34] MSD-5161l: 27 [34]
<i>Machine Size</i>	<i>Machine height</i>	1930(75.98)
	<i>Floor space</i>	3033 × 1647 [MSD-516: 1621]
	<i>Mass of machine</i>	4200(9240)
<i>Force dan Diameter</i>	<i>Ball screw diameter</i>	X: 28 (1.10) <6> Z: 40(1.57) <10>
	<i>Thrust force of tailstock N</i>	9880 {1000} (2000) <at 3.4 Mpa (35kgf/cm)>



Gambar 3. 2 Mesin Bubut CNC MORI SEIKI SL-25

#### B. Pahat

Dalam penelitian ini, jenis pahat yang digunakan adalah pahat *Insert Carbide* dengan tipe CNMG 120408-MA dan CNMG 120404-MA. Pahat jenis ini dikenal memiliki kekerasan yang tinggi meskipun digunakan pada berbagai suhu, disertai dengan konduktivitas termal yang baik serta ketahanan aus yang tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan pahat ini sangat sesuai untuk digunakan dalam proses pemotongan yang membutuhkan ketahanan dan performa stabil. Bentuk dan spesifikasi pahat *Insert Carbide* tersebut dapat dilihat pada gambar CNMG 120408-MA 3.3 & CNMG 120404-MA 3.4:



Gambar 3. 3 Pahat Potong *Insert Carbide* CNMG120408 – MA



Gambar 3. 4 Pahat Potong *Insert Carbide* CNMG120404 – MA

Penelitian ini menggunakan pahat *Insert Carbide* CNMG120408 – MA potong dengan spesifikasi teknis sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.2 :



Gambar 3. 5 Pahat Potong *Insert Carbide* CNMG120408 – MA

Tabel 3. 2 Spesifikasi Pahat *Insert Carbide* CNMG120408 – MA

NO	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama pahat	Insert carbide
2	Merek	Mitsubishi
4	Tipe pahat	CNMG 120408-
3	Kecepatan potong	110-160 m/min
4	Kecepatan makan	0.14-0.28 mm/rev
5	Produksi	Jepang

Penelitian ini menggunakan pahat *Insert Carbide* CNMG120408 – MA potong dengan spesifikasi teknis sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.3 :



Gambar 3. 6 Pahat Potong *Insert Carbide* CNMG120404 – MA

Tabel 3. 3 Spesifikasi Pahat *Insert Carbide* CNMG120408 – MA

NO	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama pahat	Insert carbide
2	Merek	Mitsubishi
4	Tipe pahat	CNMG 120404-ma
3	Kecepatan potong	110-160 m/min
4	Kecepatan makan	0.14-0.28 mm/rev
5	Produksi	Jepang

### C. Perangkat Pengukur Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Dalam penelitian ini, pengukuran kekasaran permukaan pada benda kerja hasil proses pemesinan dilakukan dengan memanfaatkan alat ukur *surface roughness tester* tipe Mitutoyo SJ-210, dapat dilihat pada gambar 3.7:



Gambar 3. 7 *Surface Roughness Tester*

spesifikasi surface roughness tester Mitutoyo SJ-210 ditunjukkan pada Tabel 3.4:

Tabel 3. 4 Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210

<b>Fitur Mitutoyo SJ-210</b>	<b>Keterangan</b>
Kecepatan unit bergerak	Measuring : 0,25 mm/s, 0,5 mm/s (0,1"/s, 0,2 "/s) Returning : 0,8 mm/s (0,3 "/s)
Rentang pengukuran ( x- axis )	12,5 mm
Massa	190 g
Tiang standar	No kode.178-395
Rentang pengukuran	350 $\mu\text{m}$ (-200 $\mu\text{m}$ to + 150 $\mu\text{m}$ )
Stylus	Kerucut berlian (Diamond cone)
Jari-jari selip	40 mm
Parameter kekasaran	Ra, Ry, Rz,Rq, S, Sm, Pc, R3z, Mr, Rt, Rk, Rpk, Mrl, Mr2, A1, A2, vo (used-defined)
Standar kekasaran	JIS, DIN, ISO, ANSI

#### D. Jangka sorong

Pengukuran dimensi benda kerja dalam penelitian ini menggunakan jangka sorong (caliper) dengan skala terkecil sebesar 0,05 mm. Alat ini dipilih untuk memastikan akurasi pengukuran selama proses pemotongan. Spesifikasi dan bentuk fisik alat dapat dilihat pada gambar.3.8:



Gambar 3. 8 Jangka Sorong

#### 3.3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan penelitian yang digunakan dengan mempertimbangkan batasan penelitian adalah sebagai berikut:

##### 1. Benda Kerja

Penelitian ini menggunakan benda kerja baja S45C berdimensi  $\text{Ø}25 \times 100$  mm.

Material ini dipilih karena karakteristik mekanik yang sesuai, *prevalensi* dalam aplikasi pemesinan, serta kemudahan akuisisi dengan harga kompetitif. Detail geometri benda kerja disajikan pada gambar 3.9:



Gambar 3. 9 Material Baja S45C

### 3.4 Parameter Penelitian

#### 3.4.1 Parameter Terikat

Parameter terikat dalam penelitian ini merupakan besaran yang nilainya ditentukan oleh perubahan parameter bebas selama proses pengujian. Kekasaran permukaan dinyatakan dalam Ra (*Roughness Average*) dengan satuan mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) dipilih sebagai parameter terikat utama dalam studi ini.

#### 3.4.2 Parameter Bebas

Parameter bebas merupakan faktor yang mempengaruhi perubahan pada parameter terikat, Parameter bebas dalam penelitian ini meliputi: kecepatan spindle, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan. dan jenis pahat insert karbida yaitu CNMG 120404-MA dan CNMG 120408-MA. Spesifikasi teknis masing-masing parameter diuraikan secara lengkap pada Tabel Insert Carbide CNMG 120404-MA 3.5 & Insert Carbide CNMG 120408-MA 3.6:

Tabel 3. 5 Pahat *Insert Carbide* CNMG 120404-MA Daftar Parameter Dan Level

NO	Parameter	Level		
		1	2	3
1	Kecepatan spindle (RPM)	1528	1719	1910
2	Kecepatan pemakanan (mm/rev)	0,168	0,21	0,252
3	Kedalaman pemakanan (mm)	0,15	0,2	0,25

Tabel 3. 6 Pahat *Insert Carbide* CNMG 120408-MA Daftar Parameter Dan Level

NO	Parameter	Level		
		1	2	3
1	Kecepatan spindle (RPM)	1528	1719	1910
2	Kecepatan pemakanan (mm/rev)	0,168	0,21	0,252

3	Kedalaman pemakanan (mm)	0,15	0,2	0,25
---	--------------------------	------	-----	------

### 3.5 Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai harus mempertimbangkan nilai faktor dan jumlah level yang digunakan. Jumlah faktor dan level tersebut akan menentukan derajat kebebasan yang diperlukan, yang pada akhirnya mempengaruhi pemilihan jenis matriks ortogonal.

Berikut hasil perhitungan derajat kebebasan yang dapat dilihat pada Tabel 3.7:

Tabel 3. 7 Total Derajat Kebebasan Parameter Bebas

No	Parameter bebas	Jumlah level (k)	vn (k-1)
1	Kecepatan spindel	3	2
2	Kecepatan pemakanan	3	2
3	Kedalaman pemakanan	3	2
<b>Total Derajat Kebebasan</b>			<b>6</b>

Berdasarkan hasil perhitungan derajat kebebasan total dalam penelitian ini, diketahui bahwa Tabel 3.2 menunjukkan adanya 6 derajat kebebasan. Oleh karena itu, matriks ortogonal yang paling tepat digunakan adalah L9 ( $3^4$ ), yang memiliki total derajat kebebasan sebanyak 8 (dihitung dari  $4 \times (3 - 1)$ ). Pilihan matriks ortogonal memang harus memiliki jumlah derajat kebebasan yang sama atau lebih besar dibandingkan dengan jumlah derajat kebebasan dari rancangan percobaan. Dengan demikian, matriks ortogonal L9 ( $3^4$ ) adalah yang paling sesuai. Matriks ini memiliki 9 baris dan 4 kolom, yang artinya mampu menampung empat faktor bebas, masing-masing dengan tiga level. Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini disusun berdasarkan matriks tersebut dan ditampilkan pada Tabel 3.8:

Tabel 3. 8 *Matriks Ortogonal* Untuk Taguchi L9(3<sup>3</sup>)

No	Kecepatan Spindel	Gerak Pemakanan	Kedalaman Pemakanan
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Penelitian ini dilaksanakan secara acak dengan menggunakan berbagai kombinasi parameter proses. Dalam menyusun matriks ortogonal untuk keperluan eksperimen, disarankan untuk memanfaatkan fitur yang tersedia pada perangkat lunak analisis. Fitur ini membantu dalam menentukan rancangan eksperimen yang paling optimal dengan mengakomodasi variasi parameter secara sistematis dan terencana.

### 3.4.3 Parameter Kontrol

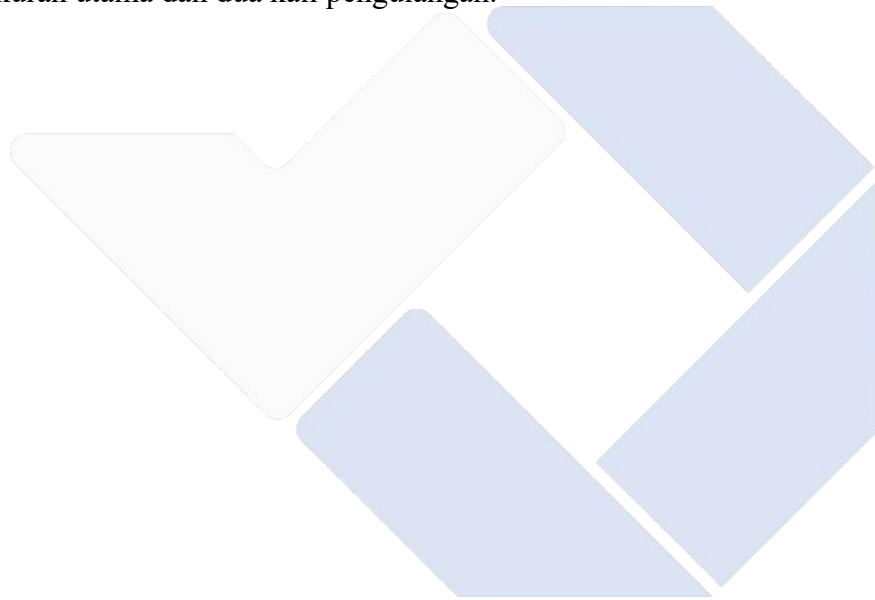
Parameter kontrol merupakan komponen penelitian yang nilainya dijaga konstan guna mengisolasi pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dilihat pada tabel 3.9:

Tabel 3. 9 Daftar Parameter Kontrol

No	Parameter kontrol
1	Pendingin ( <i>dromus</i> )

#### 3.4.4 *Noise*

*Noise* merupakan gangguan yang memengaruhi hasil pengukuran namun sulit dikendalikan. Dalam penelitian ini, faktor noise utama adalah variasi lokasi pengukuran kekasaran permukaan benda kerja. Untuk meminimalisasi pengaruh noise, dilakukan pengambilan data sebanyak tiga kali yang terdiri dari satu kali pengukuran utama dan dua kali pengulangan.

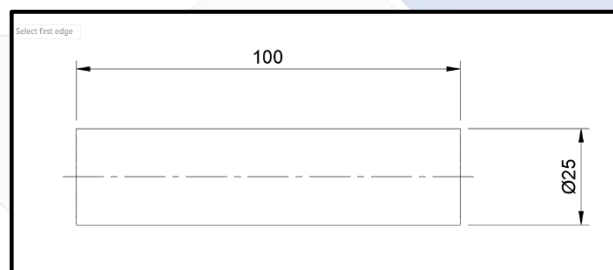


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Proses Pemesinan

Proses pemesinan melibatkan beberapa langkah, dimulai dari tahap persiapan alat dan material yang akan digunakan dalam pengujian, dilanjutkan dengan proses pembubutan menggunakan mesin CNC, serta diakhiri dengan pengambilan data terkait kekasaran permukaan benda kerja. Penjabaran lebih rinci mengenai ketiga tahapan tersebut disampaikan sebagai berikut:

- A. Melakukan persiapan terhadap material atau benda kerja yang akan digunakan. Material yang digunakan berupa baja S45C dengan diameter 25 mm panjang 100 mm , sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.1:



Gambar 4. 1 Baja S45C Diameter 25 mm

- B. Proses pemesinan bubut CNC

Proses pemesinan bubut CNC dilakukan dengan mengoperasikan mesin berbasis komputer untuk membentuk benda kerja berputar menggunakan pahat. Gerakan pahat diatur oleh program CNC dengan kode G dan M. Proses ini menghasilkan dimensi presisi, efisiensi tinggi, serta kualitas permukaan yang konsisten pada berbagai material.

1. Langkah pertama adalah membuat program CNC yang terkonfigurasi dengan parameter terpilih, sesuai dengan matriks ortogonal L9 ( $3^3$ ) pada gambar 4.2:



Gambar 4. 2 *Setting Code G* Sesuai Dengan Kombinasi Parameter

2. Benda kerja dipasang dengan benar pada pencekam, menggunakan *chuck handle* seperti tampak pada Gambar 4.3:



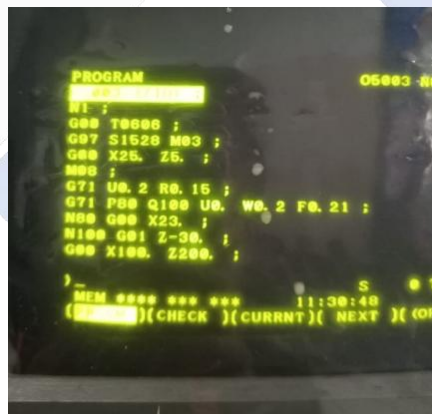
Gambar 4. 3 Pemasangan Benda Kerja

3. Mata potong jenis *insert carbide* CNMG120408-MA & CNMG120408-MA dipasang pada *holder* mesin CNC bubut MORI SEIKI SL25, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.4:



Gambar 4. 4 Pemasangan Alat Potong

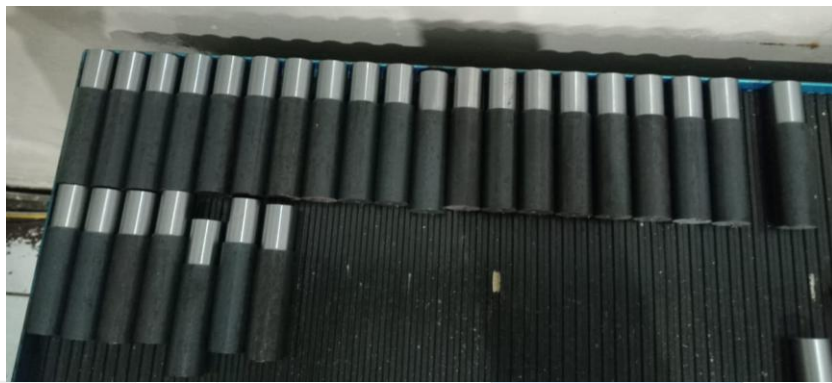
4. Setelah mesin CNC bubut MORI SEIKI SL-25 dihidupkan, program yang telah dikonfigurasi dengan parameter yang ditentukan dimasukkan. Proses penyayatan kemudian dilakukan pada benda kerja sepanjang 30 mm, dengan detail program yang tersaji pada Gambar 4.5 :



Gambar 4. 5 Program CNC

5. Pembubutan benda kerja akan dilaksanakan berdasarkan parameter yang telah ditetapkan, dengan tujuan menyayat material sepanjang 30 mm untuk setiap kombinasi percobaan yang dirancang.
6. Setelah dilepaskan dari pencekam, benda kerja dibersihkan, ditandai dengan spidol, dan kemudian diolesi oli untuk mencegah karat.

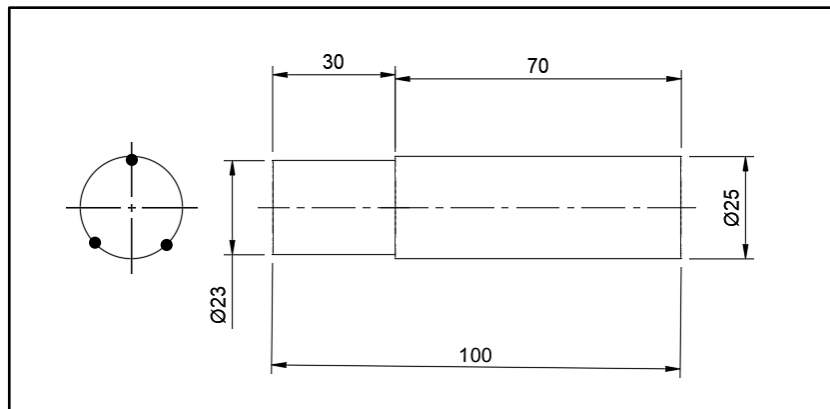
7. Setelah proses pemesinan selesai, matikan mesin bubut CNC MORI SEIKI SL-25. Selanjutnya, lakukan pembersihan pada mesin serta semua peralatan pendukung yang digunakan agar tetap dalam kondisi optimal dan siap digunakan kembali.
8. Setelah proses pemesinan selesai, kekasaran permukaan benda kerja diukur menggunakan *surface roughness tester*. Tampilan benda kerja hasil proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6:



Gambar 4. 6 Benda Kerja Setelah Proses Pemesinan CNC Bubut

#### C. Pengambilan data kekasaran permukaan

Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan setelah proses pemesinan dengan posisi benda kerja secara horizontal. Data diambil dari total 54 sampel, yang terdiri dari 27 sampel dengan penggunaan pahat *Insert Carbide* CNMG 120404 – MA dan 27 sampel pahat insert carbide CNMG 120408 – MA. Seluruh sampel dikerjakan menggunakan parameter pemesinan yang sama, dengan perbedaan hanya pada penggunaan media pendingin. Proses pengambilan data kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat ukur Mitutoyo SJ-210 Surface Roughness Tester dengan mengikuti langkah-langkah tertentu, ditunjukkan pada gambar 4.7:



Gambar 4. 7 Titik Pengambilan Kekasaran Permukaan

1. Pengukuran dilakukan di meja perata
2. Menyiapkan peralatan pendukung seperti V-block digunakan sebagai penopang atau alas untuk menempatkan benda kerja secara stabil saat dilakukan pengukuran kekasaran permukaan yang ditunjukkan pada gambar 4.8:



Gambar 4. 8 V - Block

3. Menyiapkan peralatan pendukung Holder dial berperan sebagai dudukan atau penyangga untuk menempatkan alat pengukur kekasaran permukaan dengan posisi yang tepat, ditunjukkan pada gambar 4.9 :



Gambar 4. 9 Holder Dial

4. Kalibrasi alat ukur dilakukan terlebih dahulu sebelum proses pengukuran dimulai. Tujuan dari kalibrasi ini adalah untuk memastikan hasil pengukuran permukaan lebih akurat dan optimal. Tahapan kalibrasi dapat dilihat pada gambar 4.10 :



Gambar 4. 10 Kalibrasi Alat Ukur

5. Benda kerja diposisikan di atas V-block, sementara alat ukur ditempatkan pada holder dial. Selanjutnya, ketinggian alat ukur disesuaikan dengan posisi benda kerja. Ilustrasi pengaturannya ditampilkan pada Gambar 4.11:



Gambar 4. 11 Menyesuaikan Tinggi Antara Benda Kerja Dan Alat Ukur

6. Saat proses pengukuran berlangsung, posisikan ujung sensor dari alat ukur (surface roughness tester) secara hati-hati pada permukaan benda kerja.
7. Setelah sensor berada pada posisi yang tepat, aktifkan surface roughness tester untuk memulai proses pengukuran kekasaran permukaan.
8. Nilai kekasaran permukaan akan ditampilkan pada layar display alat. Setelah nilai muncul, segera catat hasilnya ke dalam tabel yang telah disiapkan sebelumnya.
9. Ulangi proses pengukuran ini pada spesimen benda kerja lainnya hingga seluruh sampel selesai diuji.
10. Proses pengukuran kekasaran permukaan benda kerja ditunjukkan pada gambar 4.12:



Gambar 4. 12 Proses Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja

## 4.2 Data Hasil Percobaan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, diperoleh data kekasaran permukaan setelah proses pemesinan menggunakan mesin CNC bubut MORI SEIKI SL-25. Hasil pengukuran tersebut disajikan pada berikut ini 4.1:

Tabel 4. 1 Form Data Hasil Percobaan

No	Parameter Bebas			Data Awal	Replikasi		Rata - rata
	<i>Spindle speed</i>	<i>Feeding</i>	<i>DOF</i>		1	2	
1	1528	0.168	0.15	X.1.0	X.1.1	X.1.2	X.1
2	1528	0.21	0.2	X.2.0	X.2.1	X.2.2	X.2
3	1528	0.252	0.25	X.3.0	X.3.1	X.3.2	X.3
4	1719	0.168	0.2	X.4.0	X.4.1	X.4.2	X.4
5	1719	0.21	0.25	X.5.0	X.5.1	X.5.2	X.5
6	1719	0.252	0.15	X.6.0	X.6.1	X.6.2	X.6
7	1910	0.168	0.25	X.7.0	X.7.1	X.7.2	X.7
8	1910	0.21	0.15	X.8.0	X.8.1	X.8.2	X.8
9	1910	0.252	0.2	X.9.0	X.9.1	X.9.2	X.9

### 4.3 Metode Analisis

Metode analisis yang diterapkan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

#### A. Analisis Varians Taguchi

Analisis varians Taguchi merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengevaluasi data hasil pengujian yang telah dirancang dalam bentuk perencanaan eksperimen. Teknik ini digunakan untuk memisahkan dan menjelaskan kontribusi dari masing-masing parameter yang diteliti terhadap hasil percobaan secara keseluruhan.

#### B. Analisis Varian (ANOVA) Dua Arah

Merupakan metode analisis yang digunakan untuk memecah total variasi data menjadi beberapa komponen sesuai dengan faktor-faktor yang diteliti. Teknik ini diterapkan ketika terdapat lebih dari dua parameter atau level dalam rancangan percobaan.

#### C. Perhitungan Rasio Sinyal terhadap *Noise* (S/N) pada Parameter Respon

Rasio S/N (*Signal to Noise*) digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil eksperimen. Dalam penelitian ini digunakan karakteristik "semakin kecil semakin baik" (*Smaller is Better*), yang berarti semakin rendah nilai kekasaran permukaan, maka hasilnya dianggap semakin optimal. Perhitungan rasio S/N dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Rasio S/N} = -10 \log \left( \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right) \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana  $n$  = jumlah pengulangan

$y$  = data dari percobaan

#### D. Menentukan Parameter Respon yang Paling Optimal

Penentuan Untuk menentukan parameter respon yang paling optimal, dilakukan penyusunan tabel khusus yang berisi data respon. Tujuan dari pembuatan tabel ini adalah untuk memudahkan dalam menelusuri level masing-masing parameter

bebas yang memberikan hasil paling maksimal terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja.

#### E. Analisis Varians dan Uji Hipotesis F

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana parameter proses memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon yang diamati. Uji hipotesis F digunakan sebagai dasar untuk menentukan apakah suatu faktor atau parameter benar-benar berpengaruh secara statistik. Uji ini membantu dalam pengambilan keputusan untuk menerima atau menolak hipotesis yang diajukan. Dalam penelitian ini, tingkat signifikansi yang digunakan adalah 10% atau 0,10.

#### F. Persentase Kontribusi

Persentase kontribusi digunakan untuk mengukur sejauh mana masing-masing faktor memberikan pengaruh terhadap hasil yang diperoleh. Sebelum menghitung persentase kontribusi, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai *Sum of Squares* (SS) dari setiap faktor menggunakan rumus berikut:

$$P = \frac{SS'_{faktor}}{SS_T} \times 100\% \dots \dots \dots (32)$$

### 4.5 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pada proses pengambilan data, akan dilakukan pemakanan dengan menggunakan 2 (dua) jenis pahat *Insert Carbide* CNMG 120404 – MA dan pahat *Insert Carbide* CNMG 120408 – MA serangkaian proses pemesinan bubut CNC yang dilakukan pada mesin CNC MORI SEIKI SL-25. Pengujian melibatkan kombinasi parameter proses tertentu untuk mendapatkan temuan. Parameter yang diuji meliputi kecepatan spindle (A) dengan level 1528 RPM, 1719 RPM dan, 1910 RPM, kecepatan pemakanan (B) dengan level 0,168 mm/put 0,21 mm/put dan 0,252 mm/put, serta kedalaman pemakanan (C) dengan level 0,5 mm, 1 mm dan, 2 mm,. Variasi parameter-parameter ini diduga berpengaruh terhadap respons kekasaran permukaan. Untuk mengolah data eksperimen, metode Taguchi diterapkan dengan bantuan Perangkat Lunak Analitik.

Dalam studi ini, dari setiap benda kerja atau spesimen, dilakukan pengukuran kekasaran pada 3 titik yang kemudian dirata-ratakan, nilai rata-rata kekasaran dari

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

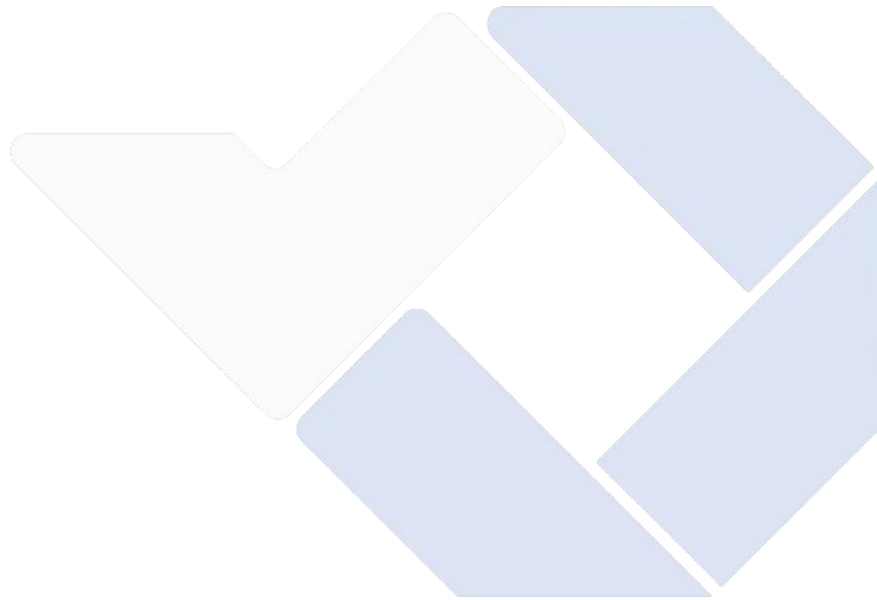
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan judul analisis pengaruh pahat CNMG pada proses bubut CNC terhadap kekasaran permukaan baja S45C dengan metode Taguchi, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pengaturan setting parameter untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan material baja S45C yang paling rendah untuk pemakanan CNMG 120404 yaitu *spindle speed* 1910 RPM (faktor A level 3). *Feeding* 0,168 mm/put (faktor B level 1). dan *Depth of Cut* 0,25 mm (faktor C level 3). Dan untuk pemakanan CNMG 1204048 yaitu *spindle speed* 1910 RPM (faktor A level 3). *Feeding* 0,168 mm/put (faktor B level 1). dan *Depth of Cut* 0,25 mm (faktor C level 3).
2. Berdasarkan hasil analisis data terhadap kekasaran permukaan dari tiga parameter, yaitu kedalaman pemakanan, kecepatan pemakanan, dan putaran spindle, diperoleh kontribusi masing-masing parameter dalam kondisi pemotongan CNMG 120404 sebagai berikut kedalaman pemakanan berkontribusi sebesar 13,39%, kecepatan pemakanan sebesar 76,45%, dan Kecepatan Spindel sebesar 8,73%. Sementara itu, pada kondisi pemotongan CNMG 120408, kontribusi kedalaman pemakanan tercatat sebesar 13,80% kecepatan pemakanan sebesar 7,83%, dan kecepatan spindel menunjukkan kontribusi tertinggi yaitu sebesar 33,51%.
3. Berdasarkan hasil pengujian terhadap permukaan baja karbon S45C, diketahui bahwa pahat CNMG 120404 menghasilkan kekasaran sebesar Ra 1,626  $\mu\text{m}$ , sedangkan CNMG 120408 sebesar Ra 1,744  $\mu\text{m}$ . Perbedaan nilai kekasaran ini menunjukkan bahwa pahat dengan nose radius lebih kecil (0,4 mm) memberikan hasil permukaan yang lebih halus. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa type code pahat CNMG 120404 lebih sesuai digunakan untuk menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik pada pembubutan baja karbon S45C.

## 5.2 Saran

Berikut saran yang dapat diberikan berdasarkan kesimpulan penelitian tersebut:

1. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan variasi jenis material dan parameter tambahan seperti penggunaan pendingin atau kondisi pemotongan kering/basah, guna memperluas penerapan hasil studi ini dalam dunia industri.
2. Peneliti selanjutnya dapat mencoba metode lain seperti Desain Faktorial, Response Surface Methodology (RSM), atau metode statistik lainnya sebagai pembandingan terhadap hasil yang diperoleh dengan metode Taguchi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adi Heriyanto, Rivanda, Rizal Hanifi, Aripin, (2023), "Analisis Pengaruh Kecepatan Putar Spindel Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja S45C Pada Proses Bubut CNC." *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 1–5.
- Burhanuddin, Yanuar, Suryadiwansa Harun, Evans Afriant, and Tomy D.A., (2015), "Penerapan Penilaian Kekasaran Permukaan (Surface Roughness Assessment) Berbasis Visi Pada Proses Pembubutan Baja S45C." *Jurnal Mechanical*, vol. 4, no. 1, pp. 22–29.
- Carles, Henry, Muhammad Yusuf, (2019), "Analisa Kekasaran Permukaan Terhadap Kekerasan Material Pada Proses Dengan Variasi Kecepatan Feeding." *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 57–63.
- Difa Kurniawan, Mochamad, Mochamad Arif Irfa, Fajar Satriya Hadi, Basuki, (2024), "S40C Pada Proses Surface Turning." *Jurnal Motion*, vol. 2, no. 12, pp. 1–8.
- Ehibor, O. G., B. N. G. Aliemeke, (2021), "Optimization of Process Parameters of Surface Roughness and Material Removal Rate in Orthogonal Turning of AISI 1045 Carbon Steel Using Taguchi Technique." *Industrial Engineering Letters*, vol. 10, no. 4, pp. 16–25.
- Elbi, Wiseno, Muhamad Aldi Irwandi, (2023), "Pengaruh Austenisasi Baja S45C Pada Suhu 750° C Dan Queching Dengan Media Suhu Ruang, Air Dan Oil." *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, vol. 2, no. 11, pp. 29–46.
- Fauzi, Ahmad, Wirawan Sumbodo, (2021), "Pengaruh Parameter Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan ST 40 Pada Mesin Bubut CNC." *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, vol. 6, no. 12, pp. 46–57.
- Hamzaçebi, Coşkun, (2021), "Taguchi Method as a Robust Design Tool." *Quality Control - Intelligent Manufacturing, Robust Design and Charts*, vol. 3, no. 12, pp. 1–19.

Hariyanto, Alfian Eko, Mochamad Arif Irfai, (2015), "Pengaruh Jenis Pahat, Jenis Pendingin, Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 42 Menggunakan Software Mastercam Pada Mesin CNC Mori Seiki CL2000." *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, vol. 3, no. 3, pp. 155–160.

Haryanto, Muhammad Fahrudin, Deni S. Khaerudin, (2020), "Optimization of Surface Roughness in Turning S45C Carbon Steel Material Using the Taguchi Method." *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 112–117. doi:10.24853/sintek.14.2.

Indra, Ida Bagus Puspa, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Nyoman Gede Antara, (2015), "Pengaruh Jenis Pahat Bubut Terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Bubutan Pada Bahan Stainless Steel." *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, vol. 6, no. 3, pp. 81–86.

Julianto, Dersi, Eko Yudo, Yudi Oktriadi, (2023), "Optimasi Parameter Proses Pemesinan Terhadap Kekasaran Permukaan Material S45C Menggunakan CNC Bubut Dengan Metode Taguchi." *COMSERVA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, vol. 3, no. 07, pp. 2539–2545. doi:10.59141/comserva.v3i07.1037.

Kashkool, Lujain H, (2022), "Optimization of Machining Parameters of AISI 1045 Steel for Better Surface Finish and Tool Life Using TiN Coated Carbide Insert." *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, vol. 29, no. 2, pp. 1–6. doi:10.25130/tjes.29.2.1.

Kurniawan, Eddy, Syaifurrahman, Bong Jekky, (2020), "Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis." *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 4, no. 2, pp. 83–90.

Kurniawan, Indra, Untung Budiarto, Imam Pujo Mulyatno, (2019), "Metalografi Baja S45C Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal (Propeller Shaft) Setelah Proses Tempering." *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, pp. 313–322.

<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>

- Maryanti, Budha, Fransye Joni Pasau, (2025), "Pengaruh Jenis Pahat Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Material Baja Carbon S45C." *JAMERE*, vol. 5, no. 1, pp. 58–63. <https://journal.isas.or.id/index.php/JAMERE>
- Napid, Suhardi, Muksin R. Harahap, Abdul Haris Nasution, (2022) "Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness in Dry Machining of S45C Steel Using Carbide Tools." *International Journal of Research and Review*, vol. 9, no. 12, pp. 669–677. doi:10.52403/ijrr.20221277.
- Pakasi, Christian Jacob Rego, Romels Lumintang, Irvan Rondonuwu, (2024), "Modifikasi Sistem Eretan Pada EMCO Compact 5-PC CNC Lathe." *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*, vol. 13, no. 11, pp. 25–37.
- Phokobye, Solomon Ntshiniki, Dawood Ahmed Desai, Isaac Tlhabadira, Rotimi Emmanuel Sadiku, Ilesanmi Afolabi Daniyan, (2023), "Comparative Analysis of the Cutting Performances of SiAlON Ceramic, Cubic Boron Nitride and Carbide Cutting Tools for Titanium Machining." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 128, no.11, pp. 3775–3786. doi:10.1007/s00170-023-12132-3.
- Putra Andika, Wendy, Muhammad Yunus, Husman, (2024), "Analisis Kekasaran Permukaan Pemotongan Sisi Gerak Melingkar Pada CNC Milling." *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 2, pp. 410–416.
- Rizal Ainur Rachman, Mohammad, Arya Mahendra Sakti, (2020), "Analisa Perbedaan Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Baja S45C Dengan Perlakuan Quenching Dan Tempering." *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, vol. 8, no. 2, pp. 89–94.
- Rizllah Aththabary Priatama, Muhammad, Yudi Oktriadi, Zulfitri Yanto, (2023), "Analisis Kekasaran Permukaan Pada Pengaruh Kecepatan Spindel Dan Feeding Terhadap Material Baja AISI 1045 Pada Mesin Bubut CNC." *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 3, pp. 231–237.

Romadhon, Rifdah Alyya, Duwi Leksono Edy, (2024), "Pengaruh Kemampuan Komunikasi Matematis Dalam Pembelajaran CNC Terhadap Kompetensi Membuat Program CNC Siswa Kelas XII Teknik Pemesinan SMK Muhammadiyah 1 Kepanjen." *Jurnal Teknik Mesin dan Pembelajaran*, vol. 7, no. 3, pp. 19–28. doi:10.17977/um054v7i1p19-28.

Salam, Abdul, (2019), "Analisis Kekasaran Permukaan Benda Kerja Menggunakan Pahat Konvensional HSS Pada Mesin CNC TU-2A." *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 6, no. 4, pp. 43–54.

Salem, Amr, Hussien Hegab, Hossam A. Kishawy, (2023), "Experimental Investigation of the Derivative Cutting When Machining AISI 1045 with Micro-Textured Cutting Tools." *Metals*, vol. 13, no. 9, pp. 1–18. doi:10.3390/met13091587.

Saputro, Feri Andrie Aji, and Nur Aini Susanti, (2022), "Pengaruh Tipe Pahat Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Menggunakan Mesin CNC Bubut." *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, vol. 11, pp. 8–14.

Soejanto, Irwan, (2009), *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Šramhauser, Karel, Pavel Kraus, Pavel Černý, Pavel Kříž, František Špalek, Roman Horký, Tomáš Zoubek, Vladimír Vochozka, (2024), "Comparative Flank Wear and Produced Chips Types Analysis of CNMG 120408 Indexable Cutting Inserts after Machining Hardened 1.6582 Steel." *Frontiers in Materials*, vol. 11, no. 1, pp. 1–16. doi:10.3389/fmats.2024.1432039.

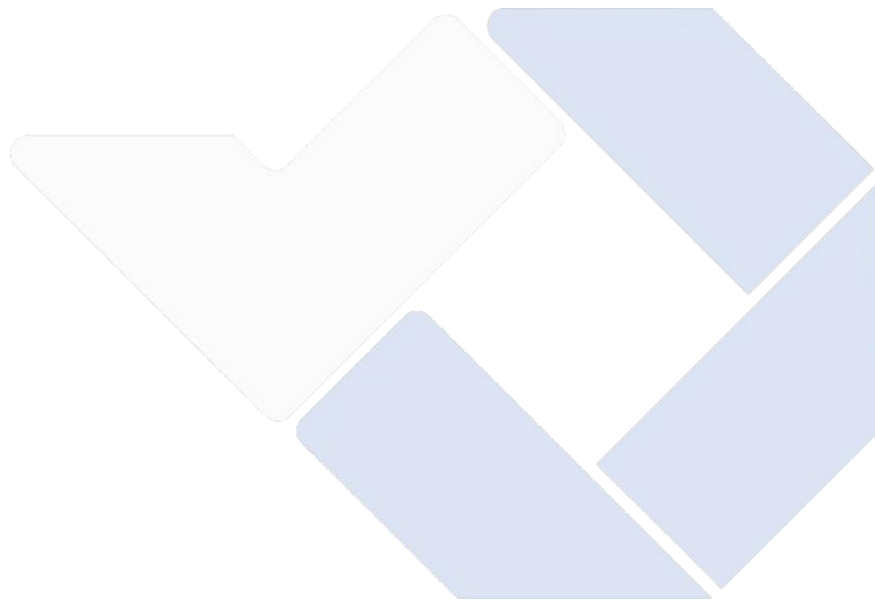
Surya, Mulugundam Siva, (2024) "Optimization of Machining Parameters While Turning AISI316 Stainless Steel Using Response Surface Methodology." *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, pp. 5-16. doi:10.1038/s41598-024-78657- z.

Tolcha, Mesay Alemu, Hirpa Gelgele Lemu, Yosef Wakjira Adugna, (2025), "Optimizing Economics of Machining for LM25Al/VC Composite Material Using Analytical Modeling, Deep Neural Network and GRA Coupled with

RSM." *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, pp. 1–22. doi:10.1038/s41598-025-95446-4.

Widiarto, Sutan Alif, Fajar Satriya Hadi, Basuki, Mochamad Arif Irfa, (2023), "Pengaruh Ukuran Pahat Insert Dan Kedalaman Terhadap Kekasaran Permukaan Besi SCM 440." *Jurnal Motion*, vol. 3, no. 3, pp. 33–38. doi:10.33752/motion.v2i1.5353.

Zulkarnain, Akbar, Ilham Satrio Utomo, Satria Bayu Adhitya, Aris Budi Sulisty, (2024), "The Effect of Cooling Media Variation and Wet Process Turning Feed Speed on The Roughness of St 60 Steel on Locomotive Wheel Axle." *Research Gate*, vol. 4, no. 3, pp. 4–9. doi:10.2991/978-94-6463-384-9\_2.



## Lampiran 1

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP

#### 1. Data Pribadi

Nama : Zio Eldi Mahdan

Tempat, Tanggal Lahir : Mempaya, 27 Agustus 2003

Alamat : Jalan Sumatrea Kec. Damar

HP : 085173027604

E-mail : zioeldimahdan13@gmail.com

Jenis Kelamin : Laki-laki

Agama : Islam

#### 2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 9 Damar Tahan 2009 - 2015

SMP Negeri 2 Damar Tahan 2015 - 2019

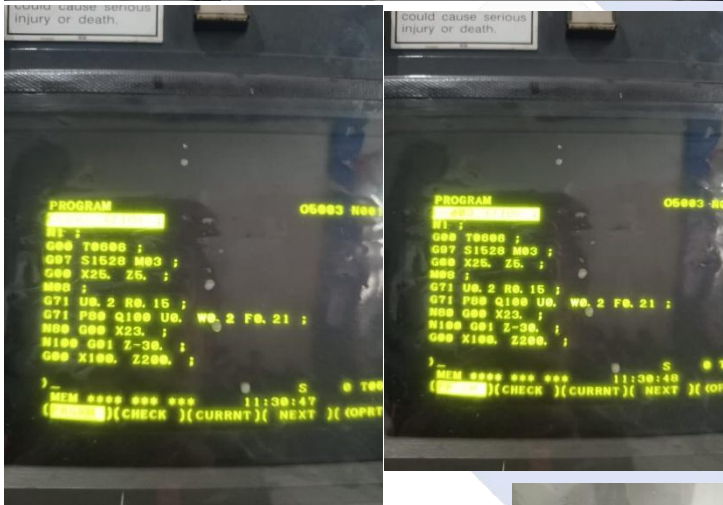
SMA Negeri 1 Damar Tahan 2019 - 2022



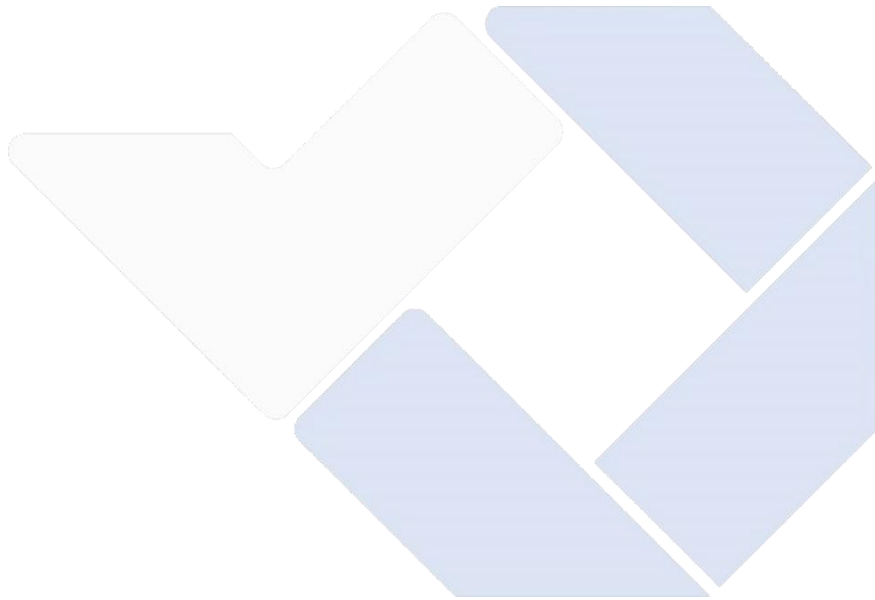
Sungailiat, 6 Juli 2025

### Lampiran 3

### Dokumentasi Penelitian

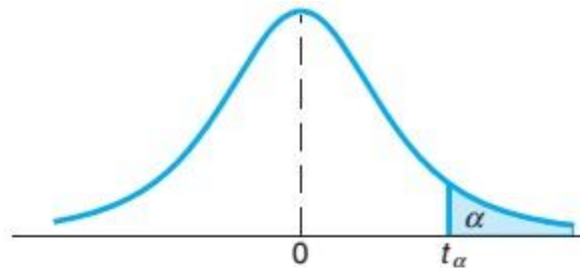






Lampiran 4

Tabel T




Tabel Distribusi T

v	$\alpha$				
	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1
1	63.6567	31.8205	12.7062	6.3138	3.0777
2	9.9248	6.9646	4.3027	2.9200	1.8856
3	5.8409	4.5407	3.1824	2.3534	1.6377
4	4.6041	3.7469	2.7764	2.1318	1.5332
5	4.0321	3.3649	2.5706	2.0150	1.4759
6	3.7074	3.1427	2.4469	1.9432	1.4398
7	3.4995	2.9980	2.3646	1.8946	1.4149
8	3.3554	2.8965	2.3060	1.8595	1.3968
9	3.2498	2.8214	2.2622	1.8331	1.3830
10	3.1693	2.7638	2.2281	1.8125	1.3722
11	3.1058	2.7181	2.2010	1.7959	1.3634
12	3.0545	2.6810	2.1788	1.7823	1.3562
13	3.0123	2.6503	2.1604	1.7709	1.3502
14	2.9768	2.6245	2.1448	1.7613	1.3450
15	2.9467	2.6025	2.1314	1.7531	1.3406
16	2.9208	2.5835	2.1199	1.7459	1.3368
17	2.8982	2.5669	2.1098	1.7396	1.3334
18	2.8784	2.5524	2.1009	1.7341	1.3304
19	2.8609	2.5395	2.0930	1.7291	1.3277
20	2.8453	2.5280	2.0860	1.7247	1.3253
21	2.8314	2.5176	2.0796	1.7207	1.3232
22	2.8188	2.5083	2.0739	1.7171	1.3212
23	2.8073	2.4999	2.0687	1.7139	1.3195
24	2.7969	2.4922	2.0639	1.7109	1.3178
25	2.7874	2.4851	2.0595	1.7081	1.3163
26	2.7787	2.4786	2.0555	1.7056	1.3150
27	2.7707	2.4727	2.0518	1.7033	1.3137
28	2.7633	2.4671	2.0484	1.7011	1.3125
29	2.7564	2.4620	2.0452	1.6991	1.3114
30	2.7500	2.4573	2.0423	1.6973	1.3104

## Lampram 5

### From Bimbingan Proyek Akhir

FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

 <b>FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR</b> <b>TAHUN AKADEMIK</b> ...../.....			
JUDUL	Analisis Pengaruh Pakat CNC Pada Proses Subut CNC Terhadap Keakuratan Permukaan Baja S45C Dengan Metode Touch		
Nama Mahasiswa	ZIO ELNI MAHDAN NIM: 1092260		
Nama Pembimbing	1. Eko Yudo, S.S.T., M.T. 2. ZUL Fitri Yanto, S.S.T., M.T. 3.		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	12/2 <sup>25</sup>	penambahan operasi terkait tugas akhir	ef
2	21/2 <sup>25</sup>	pembahasan jurnal terkait TA	ef
3	3/3 <sup>25</sup>	pembahasan alat TA	ef
4	11/3 <sup>25</sup>	pembahasan progres makalah	ef
5	21/3 <sup>25</sup>	pembahasan alat TA	ef
6	16/4 <sup>25</sup>	pembahasan alat TA	ef
7	28/4 <sup>25</sup>	pembahasan makalah Baldoni	ef
8	29/4 <sup>25</sup>	pembahasan pelaksanaan TA	ef
9	30/4 <sup>25</sup>	pembahasan program CNC	ef
10	6/6 <sup>25</sup>	pembahasan pengambilan data	ef

Catatan:

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

Pedoman Proyek Akhir | Hal. 46

Lampiran 6

From Monitoring Proyek Akhir

FORM-PPR-3-6: Form Monitoring Proyek Akhir

Monitoring ke		Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1		16/09 25	Progress alat = 20% Progress rancangan = 30%	
2			30%	
3				

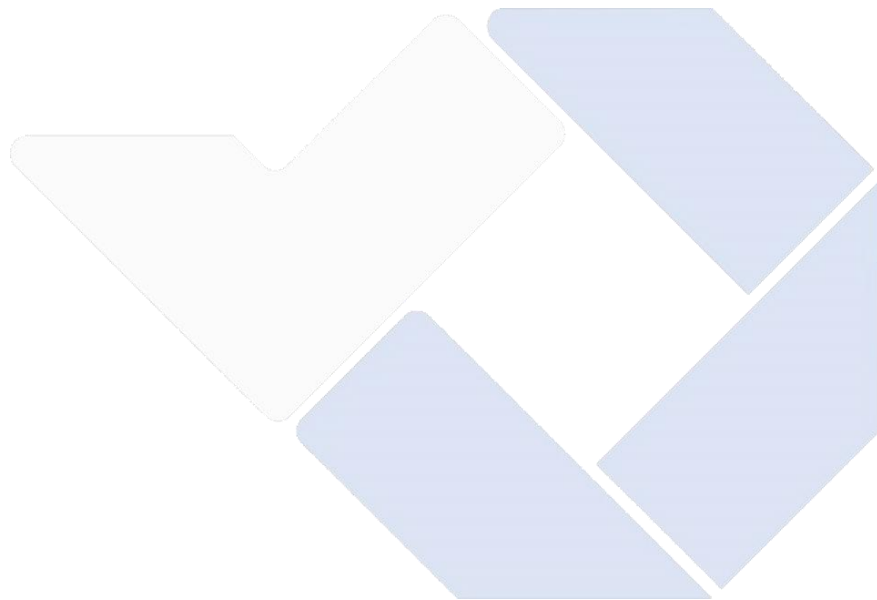
KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / ~~BELUM~~ (coret yang tidak terpenuhi)

Mengetahui		
Pembimbing 1	Pembimbing 2	Pembimbing 3
 (Eko S. d. S. S. T. M. T.)	 (Zulfitriya - W. S. T. M. T.)	(.....)

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

## **Lampiran 7**

### **Form Revisi Laporan Akhir**



## Lampiran 8

### Bukti Bukan Plagiasi

Skripsi\_1-1751427323416

ORIGINALITY REPORT

10%	10%	1%	2%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS


PRIMARY SOURCES

1	repository.polman-babel.ac.id Internet Source	8%
2	repository.its.ac.id Internet Source	1%
3	www.coursehero.com Internet Source	<1%
4	text-id.123dok.com Internet Source	<1%
5	journal.uny.ac.id Internet Source	<1%
6	Submitted to Universitas Gadjah Mada Student Paper	<1%
7	Submitted to Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung Student Paper	<1%
8	id.123dok.com Internet Source	<1%
9	lib.unnes.ac.id Internet Source	<1%
10	library.binus.ac.id Internet Source	<1%
11	dspace.umkt.ac.id Internet Source	<1%
12	docplayer.info Internet Source	<1%
13	id.scribd.com Internet Source	<1%
14	idoc.pub Internet Source	<1%
15	123dok.com Internet Source	<1%
16	digilib.its.ac.id Internet Source	<1%
17	you-gonever.icu Internet Source	<1%


# Lampiran 9

## Sertifikat Baja S45C

CERTIFICATE NO. 8649212100



DAYE SPECIAL STEEL CO., LTD.  
NO. 316 HUANGSHI AVENUE, HUANGSHI, HUBEI, CHINA PC 435000



QUALITY CERTIFICATE  
ACC TO EN10204 3.1

CONTRACT NO: GBIDN19100BTR

Batch No.	Grade	Heat No.	Size(Ø)	Pieces	Bundles	Weight(Ø)	Total Length(Ø)	Delivery Condition
8619212100	S45C	9076258E	25	843	10	19.826	808	Hot rolled

I. Chemical Composition (N):

Grade:	C:0.43	Si:0.24	Mn:0.77	P:0.010	S:0.004	Cr:0.34	Ni:0.03	Ca:0.06
--------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

II. Macrostructure Examination

1. general porosity (level):	1.0	1.0
2. center porosity (level):	0.5	0.5

III. Mechanical Properties Examination

1. tensile test temp:	RT	RT	2. tensile test direction:	longitudinal
3. yield strength R <sub>0.2</sub> (MPa):	365	381	4. tensile strength R <sub>m</sub> (MPa):	570
5. elongation after fracture A <sub>50</sub> :	23.9	21.5	6. reduction of area Z(%)	52

IV. Dimensions, Appearance and Surface quality:

1. dimension, appearance and surface quality: good

Note: (1) We hereby certify that the material herein described has been manufactured, sampled, tested and inspected in accordance with the requirements of specifications and purchase order, and meet the requirements.  
(2) When there is any complaint, you are kindly requested to mark the Steel Grade, Heat No., Size, Delivery Date, Causes and reserve the material in the condition of delivery.  
(3) Our company's quality management system has been certified by TUV SUD for fulfilling all requirements of ISO9001:2015/IATF 16949:2016 & AS9100:2017.  
The defects per the requirement such as flakes, sub-surface bubble, macro inclusion in macrostructure of acid etched surface are not allowed and we reserve the purchase for delivery.

Date: 2019-10-23  
Inspector: Ming Chao  
Manager of Inspection: [Signature]

Page 1 Of 1

## Lampiran 10

### Poster



**PROYEK AKHIR TAHUN 2025**  
Politeknik Manufaktur Negeri  
Bangka Belitung

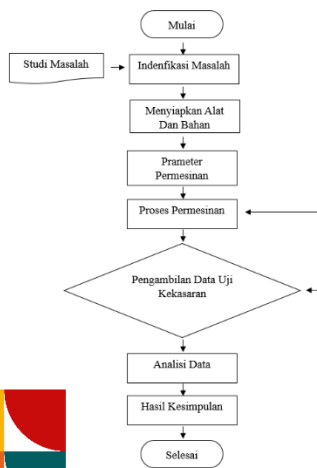


**ANALISIS PENGARUH PAHAT CNMG PADA  
PROSES BUBUT CNC TERHADAP  
KEKASARAN PERMUKAAN BAJA S45C  
DENGAN METODE TAGUCHI**

### Latar Belakang

Proses bubut CNC memainkan peran penting dalam menghasilkan komponen presisi, terutama pada material baja S45C yang banyak digunakan di industri manufaktur. Pemilihan pahat, seperti tipe CNMG, sangat mempengaruhi kualitas permukaan hasil bubut. Kekasaran permukaan merupakan salah satu parameter kritis dalam evaluasi kualitas. Metode Taguchi digunakan untuk menganalisis dan mengoptimalkan pengaruh pahat terhadap kekasaran, guna meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi.

#### Metodologi Penelitian



#### Hasil Pengujian Kekasaran

NO	CNMG 120404	CNMG 120408
1	1,341	2,090
2	1,732	1,902
3	2,027	1,813
4	1,354	1,233
5	1,487	2,112
6	2,151	1,933
7	0,960	1,557
8	1,534	1,368
9	2,045	1,569

#### Benda Kerja



#### Kesimpulan

Berdasarkan analisis data kekasaran permukaan dari tiga parameter, yaitu kedalaman potong, kecepatan pemakanan, dan putaran spindle (RPM), pada pahat CNMG 120404, kontribusi terbesar berasal dari kecepatan pemakanan (85,56%), disusul kedalaman potong (6,65%) dan RPM (4,73%). Sedangkan pada CNMG 120408, kontribusi tertinggi berasal dari RPM (56,65%), kedalaman potong (36,86%), dan kecepatan pemakanan (6,29%).

Dibuat oleh :

**Zio Eldi Mahdan**

Dosen Pembimbing 1 :

**Eko Yudo S.S.T. M.T.**

Dosen Pembimbing 1 :

**Zulfitriyanto S.S.T. M.T.**