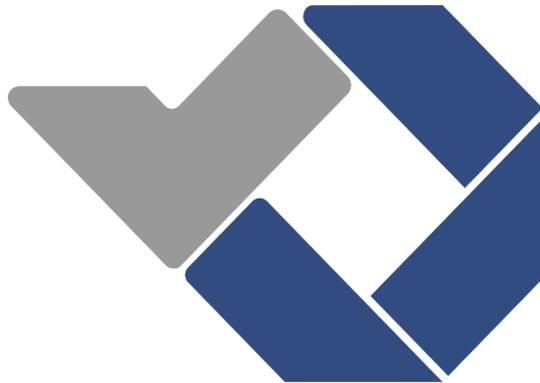


**OPTIMASI PARAMETER TERHADAP PENGUJIAN
KEBULATAN DAN MRR MENGGUNAKAN BAJA ST 41 PADA
MESIN CNC BUBUT DENGAN METODE TAGUCHI**

PROYEK AKHIR

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



Disusun oleh:

Devfrans Pasa NIM: 1042236

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

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMASI PARAMETER TERHADAP PENGUJIAN KEBULATAN DAN
MRR MENGGUNAKAN BAJA ST 41 PADA MESIN CNC BUBUT
DENGAN METODE TAGUCHI**

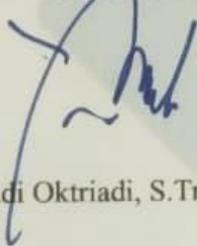
Oleh:

Devfrans Pasa / 1042236

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

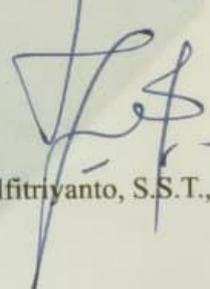
Menyetujui,

Pembimbing 1



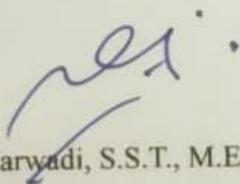
(Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng.)

Pembimbing 2



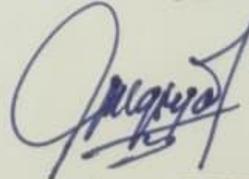
(Zulfitriyanto, S.S.T., M.T.)

Penguji 1



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

Penguji 2



(Sugiyarto, S.S.T., M.T.)

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada optimasi parameter pemesinan di proses bubut CNC pada baja ST 41 untuk mendapatkan nilai kebulatan dan Laju Pembuangan Material (MRR) yang optimal. Menggunakan metode Taguchi dengan orthogonal array L_9 (3^3), penelitian ini secara sistematis menyelidiki pengaruh kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman pemakanan, serta menggunakan Analisis Variansi (ANOVA) untuk mengidentifikasi signifikansi setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk kebulatan, parameter yang paling berpengaruh adalah gerak makan (feedrate) dengan kontribusi 57,277%; pengaturan optimal untuk kebulatan terbaik ($7,33 \mu\text{m}$) adalah kecepatan potong 130 m/min, gerak makan 0,3 mm/rev, dan kedalaman pemakanan 1,5 mm. Untuk Laju Pembuangan Material, kedalaman pemakanan (depth of cut) menjadi faktor paling signifikan dengan kontribusi 61,165%, mencapai MRR maksimum sebesar $689,274 \text{ mm}^3/\text{s}$ dengan kecepatan potong 130 m/min, gerak makan 0,4 mm/rev, dan kedalaman pemakanan 1,5 mm. Studi ini berhasil mengidentifikasi pengaturan parameter optimal yang berbeda untuk kualitas produk (kebulatan) dan produktivitas (MRR) melalui desain eksperimen yang kokoh.

Kata Kunci: CNC, Kebulatan, MRR, ST_41, Taguchi

ABSTRACT

This research focuses on optimizing machining parameters in the CNC turning of ST 41 steel to achieve optimal roundness and Material Removal Rate (MRR). Using the Taguchi method with an L_9 (3^3) orthogonal array, the study systematically investigates the influence of cutting speed, feed rate, and depth of cut, employing Analysis of Variance (ANOVA) to identify the significance of each parameter. The results indicate that for roundness, the most influential parameter is the feed rate with a 57.277% contribution; the optimal setting for the best roundness ($7.33 \mu\text{m}$) was a cutting speed of 130 m/min, a feed rate of 0.3 mm/rev, and a depth of cut of 1.5 mm. For the Material Removal Rate, the depth of cut was the most significant factor with a 61.165% contribution, achieving a maximum MRR of $689.274 \text{ mm}^3/\text{s}$ with a cutting speed of 130 m/min, a feed rate of 0.4 mm/rev, and a depth of cut of 1.5 mm. The study successfully identifies distinct optimal parameter settings for both product quality (roundness) and productivity (MRR) through a robust experimental design.

Keywords: CNC, MRR, Roundness, ST_41, Taguchi

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabaraktuh

Segala puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun laporan proyek akhir ini dengan judul “Optimasi Parameter Terhadap Pengujian Kebulatan dan MRR Menggunakan Baja St 41 Pada Mesin CNC Bubut Dengan Metode Taguchi” laporan proyek akhir dibuat sebagai syarat menyelesaikan Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

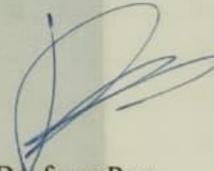
Penulis menyadari dalam penyusunan laporan proyek akhir ini terdapat kekurangan mengingat terbatasnya kemampuan penulis, namun berkat rahmat Allah SWT serta pengarahan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan laporan Proyek Akhir ini dengan baik. Harapan penulis semoga laporan Proyek Akhir ini dapat bermanfaat untuk kepentingan bersama. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis yaitu Ibu Venny Magdalena selaku ibunda penulis dan Bapak Ahmad Rudy selaku ayahanda penulis, serta Vendra Rully selaku kakak penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan baik moral maupun materil yang tak ternilai harganya.
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 Kepala Jurusan Rekayasa Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng. dan Bapak Zulfitriyanto, S.S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing yang telah memberi saran-saran, mengarahkan dan membimbing dengan sepenuh hati dalam penyusunan laporan proyek akhir ini.

6. Bapak Juanda, S.S.T., M.T. selaku Dosen Wali dan pembimbing institusi Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
7. Prabowo Agung Pribadi dan Zio Eldi, serta Nova Riski selaku rekan dan sahabat penulis yang selalu mendukung dan membantu dalam penyusunan laporan proyek akhir ini.
8. Serta teman-teman dan semua pihak yang telah memberikan bantuannya.

Penulis berharap laporan proyek akhir ini dapat memberikan manfaat untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan proyek akhir ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan laporan proyek akhir ini. semoga laporan proyek akhir ini dapat dipahami dan bermanfaat untuk semua orang.

Sungailiat, 3 Juli 2025



Devfrans Pasa

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Mesin CNC.....	4
2.2.1 Mesin CNC <i>Turning</i>	4
2.2.2 Prinsip Kerja Mesin CNC <i>Turning Training Unit 2 Axis</i>	5
2.3 Parameter Mesin CNC <i>Turning</i>	5
2.4 Pahat <i>Carbide</i>	7
2.5 Karakteristik Baja ST 41	9
2.6 Kebulatan	10
2.6.1 Pengukuran Kebulatan	12
2.6.2 Parameter-Parameter Kebulatan.....	14
2.6.3 Standar Toleransi.....	16
2.7 <i>Material Removal Rate (MRR)</i>	18
2.8 Metode Taguchi.....	18
2.8.1 Pengertian Metode Taguchi.....	18
2.8.2 Tahapan Desain Eksperimental Taguchi	19
2.8.3 Istilah Pada Metode Taguchi	22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir Penelitian (<i>Flowchart</i>)	27
3.2 Identifikasi Masalah	28
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.5 Pengambilan Data Penelitian	32
3.5.1 Persiapan Alat Potong	32
3.5.2 Persiapan Spesimen Uji.....	32
3.5.3 Variabel Proses	33
3.5.4 Variabel Tetap.....	35
3.5.5 Variabel Respon	35
3.5.6 <i>Input</i> Program CNC	35
3.5.7 Langkah-Langkah Pembubutan Pada Mesin Bubut CNC.....	36
3.5.8 Pengujian Kebulatan dan MRR.....	37
3.6 Pengolahan Data Penelitian.....	40
3.7 Analisis Data Hasil Penelitian.....	40
3.8 Kesimpulan	41
BAB IV PEMBAHASAN	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Komposisi Kimia Umum ST 41.....	9
2. 2 Dua harga batas nominal s/d 500mm.....	17
3. 1 Spesifikasi Timbangan Digital.....	31
3. 2 Pengolahan Data Pemesinan Dari <i>Software</i> Minitab.....	34
3. 3 Dalam Bentuk <i>Coded</i>	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Sumbu X dan Z Pada Mesin Bubut CNC.....	5
2. 2 Pahat <i>Insert Carbide</i> DNMG 150608-MA	9
2. 3 Material ST 41.....	10
2. 4 Toleransi Yang Diizinkan	11
2. 5 Pengukuran Kebulatan Dengan 2 Sensor	13
2. 6 Pengukuran Kebulatan Dengan <i>V-Block</i>	13
2. 7 Kombinasi <i>Dial Indicator</i> dan <i>V-block</i>	14
2. 8 Grafik Polar Menentukan Parameter Kebulatan	15
2. 9 Tabel Toleransi Nilai Kebulatan.....	17
3. 1 Diagram Alir.....	27
3. 2 Spesimen Uji	28
3. 3 Mesin Gergaji Potong	29
3. 4 CNC Bubut Mori Seiki SL-25.....	29
3. 5 Mata Potong <i>Insert Carbide</i> DNMG 150608-MA.....	30
3. 6 <i>Dial Indicator</i> dan <i>V-Block</i>	31
3. 7 Timbangan Digital.....	31
3. 8 Jangka Sorong	32
3. 9 Spesimen Uji Hasil CNC Bubut.....	33
3. 10 Proses <i>Input</i> Program CNC	36
3. 11 Pengukuran Kebulatan	38
3. 12 Standar Toleransi.....	39
3. 13 Mengukur Berat Spesimen Uji.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2: Pengambilan Data Kebulatan

Lampiran 3: Data Kebulatan

Lampiran 4: Diagram Polar

Lampiran 5: Pengolahan Data MRR

Lampiran 6: Proses Pemesinan

Lampiran 7: Program Pemesinan

Lampiran 8: Sertifikat Material ST 41

Lampiran 9: Poster

Lampiran 10: Pengecekan Plagiasi Menggunakan Turnitin

Lampiran 11: *Form* Bimbingan Proyek Akhir

Lampiran 12: *Form Monitoring* Proyek Akhir

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Proses pemesinan di industri manufaktur berkembang dengan sangat pesat. Kebutuhan manusia yang semakin meningkat dan beragam memicu kemajuan dan berkembangnya teknologi, salah satunya pada bidang industri pemesinan. Dalam industri pemesinan dikenal beberapa macam pengerjaan seperti *turning*, *milling*, dan lain-lain. Perbedaan dari proses-proses tersebut adalah cara kerja serta produk yang dihasilkan. Permasalahan yang dialami industri saat ini adalah bagaimana cara menghasilkan produk yang berkualitas dan bagaimana memprediksi biaya pemesinan.

Tuntutan dimana tingkat kepresisian, ketelitian, kualitas serta kuantitas dari suatu produk menjadi hal utama dalam proses pemesinan. Proses pemesinan non-konvensional diperlukan ketika proses pengerjaan tidak dapat dilakukan dengan mesin-mesin konvensional. Mesin non-konvensional dalam industri manufaktur yang mendukung perkembangan ini adalah mesin CNC (*Computer Numerical Control*). CNC (*Computer Numerical Control*) adalah mesin yang diprogram secara numerik dengan komputer. CNC (*Computer Numerical Control*) memiliki kemampuan menghasilkan produk dengan presisi tinggi dan tingkat reproduktifitas yang baik. Dalam industri mesin CNC digunakan untuk mengerjakan produk-produk dengan bentuk permukaan yang kompleks dan tingkat presisi yang akurat (Kurniawan, Syaifurrahman, & Jekky, 2020). Efisiensi proses dan kualitas hasil dipengaruhi oleh masukan material dan penentuan parameter dari mesin. Pada kasus ini, poros/*shaft* menjadi produk yang sering diproduksi oleh industri. Diperlukan uji kebulatan dan *material removal rate* untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang baik.

Kebulatan memiliki peran penting untuk mencapai produk yang bulat serta mendistribusikan beban secara merata, memperkirakan kondisi kepatuhan, memperkirakan presisi rotasi, dan membantu pelumasan. Kebulatan merupakan

salah satu parameter kualitas geometris yang sangat penting pada komponen yang membutuhkan presisi tinggi, seperti poros dan komponen yang berputar. Selain kebulatan pada komponen, *Material Removal Rate* (MRR) menjadi indikator penting dalam efisiensi proses, yang berkaitan langsung dengan produktivitas dan biaya manufaktur. Pada proses pengerjaan benda kerja, sasaran MRR yang efektif diinginkan adalah MRR yang tinggi (Dodi Parlindungan Sihombing, 2021/2022). Namun hal ini berdampak pada waktu proses pengerjaan dan meningkatkan harga produksi, sehingga hal yang harus dilakukan adalah mendapatkan nilai parameter yang paling besar dan kontribusi yang paling signifikan terhadap MRR.

Kerusakan yang umumnya disebabkan oleh geometrik poros yaitu Kerusakan bantalan (*bearing*) akan menimbulkan panas, getaran atau kemacetan mesin. Salah satu geometrik poros yang mempengaruhi kerusakan adalah kebulatan. Selain itu, MRR dipertimbangkan sebagai faktor yang secara langsung mempengaruhi biaya pemesinan dalam waktu pemesinan, pemesinan non konvensional juga memerlukan waktu yang sesingkat mungkin agar dapat memproduksi produk sebanyak mungkin. Dari hal itu dilakukan penelitian menggunakan baja ST 41 untuk mengetahui bahan tersebut cocok dalam kegiatan industri terutama poros. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, material yang digunakan adalah material baja karbon rendah (ST 41), material ini sering digunakan untuk komponen pemesinan, mudah diperoleh di pasaran dan mampu dikerjakan (MAHENDRA SAKTI & FITRIYAH, 2014).

Studi sebelumnya menunjukkan parameter dari penelitian sebelumnya pada mesin CNC bubut MORI SEIKI NLX2500Y dengan metode Taguchi menggunakan material baja ST-60 dan pahat *insert carbide* CNMG 120412-PM. Persentase parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap *Material Removal Rate* (MRR) yaitu kedalaman pemakanan dengan nilai kontribusi sebesar 64,56% dan *feeding* dengan kontribusi terbesar 19,53%. Nilai optimum didapatkan pada variabel-variabel proses optimal pada parameter kecepatan spindel 3.184 put/min, *feeding* 0,22 mm/rev dan kedalaman pemakanan sebesar 2,5 mm. Dari penelitian tersebut disarankan metode dapat dikembangkan dengan metode lain,

disarankan menggunakan variasi parameter yang berbeda agar mengetahui pengaruh faktor-faktor lainnya (Gibran, 2023/2024).

Studi lainnya menunjukkan nilai optimum terhadap variabel proses untuk kebulatan sebesar 234,7844 m/min, dengan nilai prediksi ketidakbulatannya adalah sebesar 13,05 μm , dan berdasarkan data analisis varian untuk variabel kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman pemakanan terdapat penyimpangan dengan ketidakbulatan sebesar 16,5 μm dari nilai toleransi sebesar 21 μm , nilai optimum MRR terhadap variabel proses sebesar 286,238 m/min, dengan nilai prediksi MRR adalah sebesar 253,0007 mm^3/s dan berdasarkan data analisis varian untuk variabel kecepatan potong dan gerak makan tidak signifikan atau tidak berpengaruh terhadap MRR, sedangkan kedalaman pemakanan signifikan atau berpengaruh terhadap MRR (Saputra, 2024).

1.2 Rumusan Masalah

Berikut beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai optimum dan variabel apa saja yang berpengaruh terhadap nilai kebulatan benda kerja material ST 41 menggunakan metode Taguchi?
2. Bagaimana nilai optimum dan variabel apa saja yang berpengaruh terhadap *Material Removal Rate* (MRR) benda kerja material ST 41 menggunakan metode Taguchi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai optimum dan variabel apa yang berpengaruh terhadap nilai kebulatan benda kerja material ST 41 menggunakan metode Taguchi.
2. Mengetahui nilai optimum dan variabel apa yang berpengaruh terhadap nilai *Material Removal Rate* (MRR) material ST 41 menggunakan metode Taguchi.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan judul penelitian penulis, Dalam penelitian (Saputra, 2024) variabel kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman pemakanan tidak signifikan karena penyimpangan kebulatan besar dengan ketidakbulatan sebesar $16,5\mu\text{m}$ dari nilai toleransi sebesar $21\mu\text{m}$, didapat nilai prediksi ketidakbulatannya adalah $13,05\mu\text{m}$, dan berdasarkan data analisis Anova untuk kebulatan faktor yang hampir mempengaruhi kebulatan yaitu kedalaman pemakanan. Dalam penelitian ini variabel gerak makan dan kedalaman pemakanan yang menjadi variabel signifikan atau berpengaruh terhadap MRR.

Persentase kontribusi parameter yang signifikan paling berpengaruh terhadap kebulatan benda kerja adalah kedalaman pemakanan dengan nilai kontribusi sebesar $= 76,06\%$ yang berarti semakin kecil dalam pemakanan maka nilai penyimpangan kebulatan pada benda kerja semakin kecil. *Setting* kombinasi variabel proses optimum ada pada Kecepatan Spindel $2,441\text{ put/min}$, gerak makan $0,15\text{ mm/rev}$ dan kedalaman pemakanan sebesar 1 mm dengan hasil nilai kebulatan sebesar $11,67\ \mu\text{m}$ (Oktavia, 2024).

Setting kombinasi yang dapat mengoptimalkan respon MRR pada proses yang tepat pada Mesin Bubut MORI SEIKI CNC NLX 2500 Y, adalah Kecepatan Spindel diatur sebesar 1500 rpm , Gerak Makan $0,5\text{ mm/put}$, Kedalaman Pemakanan 1 mm (Arfendi, 2021).

2.2 Mesin CNC

2.2.1 Mesin CNC *Turning*

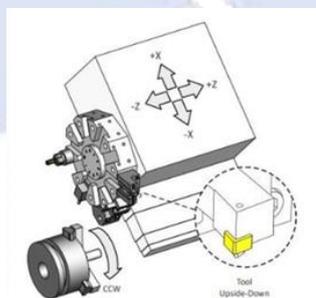
Mesin bubut CNC adalah mesin yang dikendalikan oleh sistem kontrol yang disebut dengan *Computer Numerical Control* (CNC) yang diprogram secara abstrak dan disimpan di media penyimpanan, dengan prinsip kerja yang dioperasikan oleh prosesor pada mesin CNC menghasilkan pengaturan motor *servo*

pada mesin untuk menggerakkan perkakas yang bergerak melakukan proses pemakanan hingga menghasilkan produk yang sesuai dengan kode program yang di masukan. Mesin bubut CNC digunakan untuk membuat benda kerja logam yang berbentuk silindris. Benda kerja yang biasa dibuat pada mesin bubut CNC adalah poros bertingkat biasa maupun yang memiliki alur atau ulir, misalnya *bushing inner free cutting* pada mesin CNC DMC DL-8T (Masalik & Susandi, 2022).

2.2.2 Prinsip Kerja Mesin CNC *Turning Training Unit 2 Axis*

Mesin bubut CNC TU-2 Axis mempunyai prinsip gerakan dasar ke arah melintang dan memanjang sama halnya dengan mesin bubut konvensional. Mesin bubut CNC TU-2 Axis memiliki dua sumbu utama, yaitu X dan Z, untuk melakukan proses pemesinan secara presisi. Pada mesin ini, benda kerja yang dijepit pada *chuck* akan berputar, sementara alat potong tetap berada pada posisi tertentu dan hanya bergerak mengikuti sumbu koordinat yang telah diprogram. Arah gerakan mesin bubut pada gambar berikut menunjukkan (JULIANTO, 2003):

1. Gerakan sumbu X digunakan untuk pemakanan melintang yang tegak lurus terhadap sumbu putar, sedangkan
2. sumbu Z digunakan untuk gerakan memanjang yang sejajar dengan sumbu putar tersebut.:



Gambar 2. 1 Sumbu X dan Z Pada Mesin Bubut CNC

2.3 Parameter Mesin CNC *Turning*

Dalam proses pembubutan menggunakan mesin bubut, terdapat tiga parameter utama yang sangat mempengaruhi hasil akhir pemesinan, yaitu

kecepatan potong (*cutting speed*), laju pemakanan (*feedrate*), dan kedalaman potong (*depth of cut*).

Kecepatan Potong (*Cutting Speed*) adalah kecepatan relatif antara pahat potong dan permukaan benda kerja yang sedang diputar saat proses pembubutan berlangsung. Kecepatan ini menggambarkan seberapa cepat permukaan benda kerja bergerak melewati pahat, dan biasanya dinyatakan dalam satuan meter per menit (m/min) (Febriyansa, 2023/2024).

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \text{ mm/min} \quad (2.1)$$

Keterangan:

V_c = Kecepatan potong (m/min)

D = Diameter benda kerja (mm)

N = Putaran *spindle* atau kecepatan putar (rpm)

π = 3,14

1000 = Konversi dari mm ke meter

Laju Pemakanan (*Feed Rate*) adalah jarak yang ditempuh oleh pahat potong dalam satu kali putaran benda kerja selama proses pembubutan yang dinyatakan dalam satuan mm/rev. Laju pemakanan menunjukkan seberapa cepat pahat bergerak sejajar dengan sumbu panjang benda kerja (sumbu Z) (Zubaidi & Darmanto, 2012).

$$f = \frac{F}{N} \text{ mm/rev} \quad (2.2)$$

Keterangan:

f = Laju pemakanan per putaran (*Feed per Revolution*) (mm/rev)

F = Kecepatan Pemakanan (*feed rate*) (mm/min)

N = Kecepatan spindel (*Spindle Speed*) (RPM)

Kedalaman Potong (*Depth of Cut*) adalah jarak antara permukaan asli benda kerja dan permukaan setelah dilakukan pemotongan dalam satu lintasan oleh pahat. Kedalaman potong menunjukkan seberapa banyak material yang dihilangkan dalam sekali proses pemotongan, dan biasanya dinyatakan dalam satuan milimeter (mm) (Oktavia, 2024).

2.4 Pahat *Carbide*

Pahat *Carbide* adalah jenis alat potong yang terbuat dari bahan karbida (*carbide*), yaitu campuran dari karbon dan logam keras seperti tungsten (tungsten *carbide*), titanium *carbide*, atau tantalum *carbide* yang diikat dengan bahan logam seperti kobalt. Pahat *carbide* memiliki tingkat kekerasan dan ketahanan panas yang jauh lebih tinggi dibandingkan pahat baja cepat (HSS), sehingga sangat cocok digunakan untuk proses pemesinan pada kecepatan tinggi, bahan keras, dan produksi massal.

Pahat karbida mampu mempertahankan ketajamannya lebih lama serta mampu bekerja pada suhu tinggi tanpa kehilangan kekuatan, sehingga banyak digunakan dalam industri manufaktur modern. Umumnya, pahat ini berbentuk *insert* (sisipan) yang dapat diganti, dipasang pada *holder*, dan memiliki berbagai bentuk geometri tergantung jenis pemotongan yang dilakukan.

Pahat karbida diklasifikasikan berdasarkan kode ISO yang ditentukan oleh jenis material benda kerja dan kondisi pemotongan, yang terbagi dalam tiga kelompok utama (FACHRUL, 2023):

1. Kelompok P (Warna Biru) – Baja (*Steel*)

Digunakan untuk memotong baja karbon, baja paduan dan baja struktural. Contoh: P10, P20, P30 (semakin tinggi angkanya, semakin cocok untuk pemotongan kasar dan kondisi berat).

2. Kelompok M (Warna Hijau) – Baja tahan karat (*Stainless Steel*)

Dirancang untuk memotong material yang lengket dan sulit dipotong seperti *stainless steel*.

Contoh: M10, M20, M30

3. Kelompok K (Warna Merah) – Besi tuang (*Cast Iron*)

Cocok untuk memotong besi tuang kelabu dan nodular.

Contoh: K10, K20, K30

Pahat karbida berdasarkan jenis lapisannya terbagi menjadi dua, yaitu *uncoated* (tanpa lapisan) dan *coated* (berlapis). Pahat *uncoated* tidak memiliki pelapis tambahan dan hanya terbuat dari campuran dasar seperti *tungsten carbide* dan kobalt. Jenis ini cocok digunakan untuk pemesinan ringan atau bahan *non-ferro* seperti aluminium dan kuningan, namun tidak tahan terhadap suhu tinggi serta cepat aus. Sebaliknya, pahat *coated* memiliki satu atau beberapa lapisan pelindung yang diaplikasikan menggunakan metode *Chemical Vapor Deposition* (CVD) atau *Physical Vapor Deposition* (PVD). Lapisan ini berfungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap aus, panas, dan oksidasi. Beberapa jenis lapisan yang umum digunakan antara lain TiN (*Titanium Nitride*) yang berwarna emas dan cocok untuk penggunaan umum; TiCN (*Titanium Carbonitride*) yang lebih keras dan tahan aus; serta TiAlN atau AlTiN (*Titanium Aluminium Nitride*) yang sangat tahan terhadap suhu tinggi dan ideal untuk pemotongan kering pada material keras seperti *stainless steel* dan titanium. Ada juga lapisan keramik Al₂O₃ (*Aluminium Oxide*) yang sering digunakan sebagai pelapis luar untuk perlindungan maksimum terhadap panas. Selain itu, tersedia juga *multilayer coating*, yaitu kombinasi beberapa jenis lapisan untuk menciptakan pahat dengan performa tinggi, cocok digunakan dalam kondisi pemotongan ekstrim dan produksi massal. Pemilihan jenis lapisan yang tepat akan meningkatkan efisiensi kerja pahat, memperpanjang umur pakai, dan mengurangi biaya produksi.



Gambar 2. 2 Pahat *Insert Carbide* DNMG 150608-MA

2.5 Karakteristik Baja ST 41

Baja ST 41 adalah jenis baja karbon rendah (*mild steel*) yang termasuk dalam klasifikasi baja struktural. Kode ‘ST’ berasal dari bahasa Jerman, yaitu “*Stahl*” yang berarti baja, dan angka ‘41’ merujuk pada nilai kekuatan tarik minimum material tersebut, yaitu sekitar 41 kg/mm² atau sekitar 410 MPa (*Megapascal*).

Baja ST 41 memiliki karakteristik utama berupa komposisi karbon yang rendah (sekitar 0,2% atau kurang). Baja ini memiliki kekuatan sedang, namun dikenal memiliki kelenturan dan keuletan yang tinggi, menjadikannya cocok untuk komponen yang memerlukan daya tahan terhadap beban lentur. Karena sifatnya yang mudah dikerjakan dan harganya yang relatif terjangkau, baja ST 41 sering digunakan untuk aplikasi struktural umum seperti konstruksi bangunan, rangka mesin, dan berbagai komponen teknik lainnya (MANURUNG, 2024). Selain itu, baja ini termasuk dalam kelompok baja lunak (*mild steel*) yang banyak tersedia di pasaran dan sangat populer dalam industri konstruksi serta manufaktur.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Umum ST 41

Unsur	Kandungan (%)
C (Karbon)	≤ 0.20
Mn (Mangan)	0.30 – 0.60
Si (Silikon)	≤ 0.30
S & P (Sulfur dan Fosfor)	Maks. 0.05

Kandungan karbon yang rendah menyebabkan baja ini tidak bisa dikeraskan secara signifikan dengan perlakuan panas, namun sangat cocok untuk proses pengelasan, pembentukan, dan fabrikasi.

Baja ST 41 banyak digunakan dalam bidang teknik dan industri karena sifatnya yang mudah dibentuk dan dilas. Beberapa aplikasi umum dari baja ini antara lain pada struktur bangunan dan jembatan, di mana dibutuhkan material yang kuat namun tetap fleksibel. Selain itu, baja ST 41 juga digunakan dalam konstruksi rangka mesin. Di bidang otomotif, baja ini sering dimanfaatkan untuk membuat komponen kendaraan dan peralatan ringan, serta dapat digunakan sebagai *shaft*/poros.



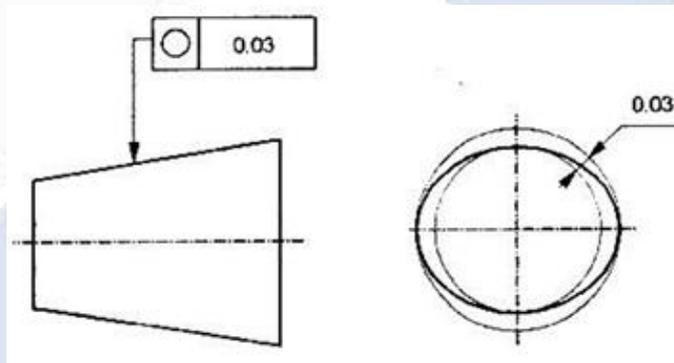
Gambar 2. 3 Material ST 41

2.6 Kebulatan

Kebulatan adalah tingkat kedekatan bentuk suatu objek terhadap bentuk lingkaran sempurna pada penampang silindris atau melingkar. Dalam konteks teknik dan manufaktur, kebulatan merujuk pada seberapa simetris dan seragam suatu permukaan melingkar, terutama pada bagian-bagian seperti poros, pipa, bantalan, dan roda gigi. Kebulatan bukan hanya tentang diameter yang seragam, tetapi juga tentang tidak adanya penyimpangan bentuk sepanjang lingkaran tersebut. Jika suatu benda kerja tidak bulat sempurna, maka akan timbul *deviasi* atau penyimpangan yang bisa memengaruhi fungsi mekanis, terutama dalam komponen yang berputar. Oleh karena itu, kebulatan menjadi salah satu parameter

penting dalam pengendalian kualitas geometrik dalam proses produksi logam dan komponen teknik lainnya.

Kebulatan menggambarkan seberapa sempurna suatu bentuk mendekati lingkaran ideal, meskipun sering disamakan dengan diameter, keduanya sebenarnya memiliki arti dan fungsi yang berbeda namun saling berkaitan. Dalam praktiknya, mencapai bentuk yang benar-benar bulat sempurna sangat sulit, sehingga diperlukan toleransi kebulatan sebagai batas penyimpangan yang masih dapat diterima, dengan tetap mempertimbangkan fungsi dari komponen tersebut. Menurut standar ISO/R 1101, toleransi kebulatan didefinisikan sebagai daerah yang dibatasi oleh dua lingkaran konsentris, di mana perbedaan jari-jarinya menunjukkan nilai toleransi yang diinginkan (Yanis, 2010).



Gambar 2. 4 Toleransi Yang Diizinkan

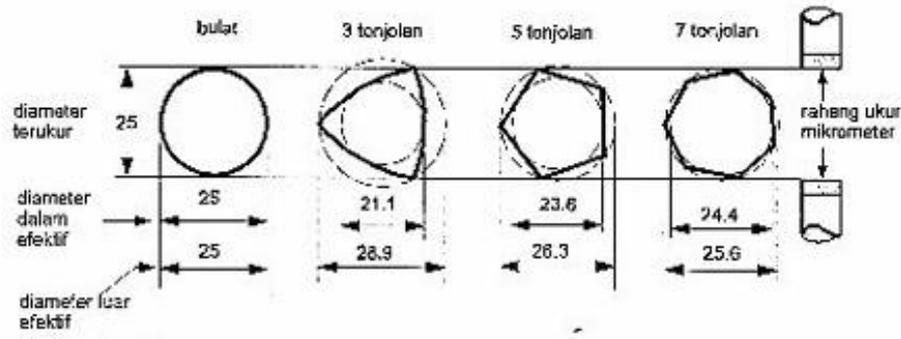
Dalam proses manufaktur, ketidakbulatan merupakan cacat geometris yang umum terjadi pada komponen yang diproduksi. Beberapa penyebab utamanya yaitu,

1. Keausan pada bagian mesin, seperti bantalan poros utama pada mesin bubut, yang mengganggu kestabilan rotasi.
2. Gaya pemotongan yang terlalu besar dapat menimbulkan lenturan pada mesin atau benda kerja, sehingga menghasilkan bentuk yang tidak sesuai.

3. Kesalahan dalam penempatan *center* atau dudukan benda kerja juga dapat menyebabkan posisi komponen menjadi tidak simetris terhadap sumbu putarnya.
4. Komponen berdinding tipis yang dijepit dengan tekanan berlebih menggunakan *chuck 3-jaw* atau *5-jaw* berpotensi mengalami deformasi akibat pelepasan tegangan dalam setelah penjepitan dilepaskan.
5. Getaran atau *chatter* yang muncul selama proses pemesinan, biasanya karena pengaturan parameter potong yang tidak tepat, juga menjadi penyebab umum deformasi bentuk. Ketidaktepatan dalam proses pencetakan atau ekstrusi,
6. serta teknik penggerindaan tanpa *center* (*centerless grinding*), khususnya dalam produksi massal poros, turut menyumbang pada hilangnya kebulatan.
7. Selain itu, penyebaran panas yang tidak merata selama proses termal juga dapat menyebabkan distorsi pada bentuk akhir komponen. Seluruh faktor ini perlu dikendalikan secara cermat untuk menjaga presisi bentuk dan fungsi dari setiap komponen yang diproduksi.

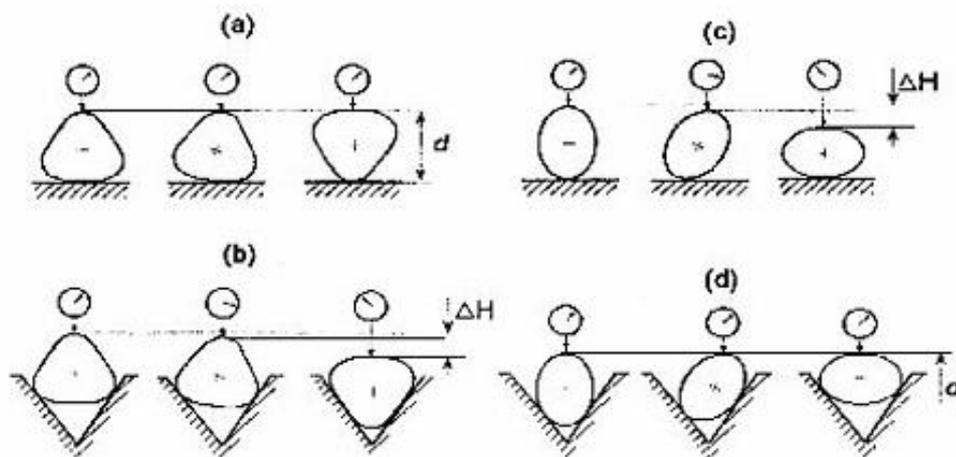
2.6.1 Pengukuran Kebulatan

Mendapatkan nilai kebulatan bisa diukur dengan berbagai jenis alat ukur. Salah satu alat yang sering digunakan adalah mikrometer, yang memiliki dua sensor pada posisi saling berlawanan sejauh 180 derajat. Mikrometer memungkinkan pengukuran diameter pada sisi terdekat dan sisi terjauh dari penampang poros, sehingga bisa digunakan untuk mendeteksi ketidakbulatan, khususnya pada poros yang memiliki dua tonjolan beraturan seperti bentuk *elips*. Mikrometer memiliki keterbatasan dalam mengukur kebulatan poros dengan tonjolan berjumlah ganjil, karena alat ini akan memberikan hasil yang sama meskipun poros tersebut tidak benar-benar bulat. Oleh karena itu, mikrometer kurang efektif untuk mendeteksi bentuk tidak bulat (Yanis, 2010).



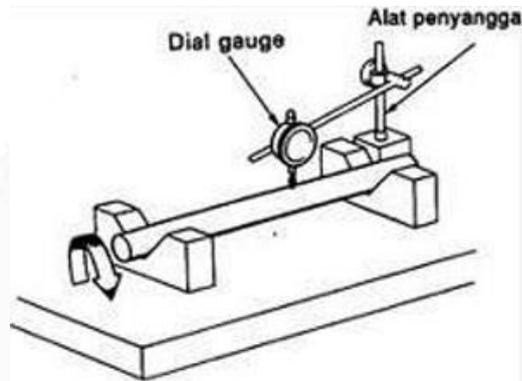
Gambar 2. 5 Pengukuran Kebulatan Dengan 2 Sensor

Selain mikrometer, metode lain yang dapat digunakan untuk mengukur ketidakbulatan adalah dengan alat ukur kebulatan tiga sensor. Contohnya adalah *dial indicator* dan *V-block*. Meskipun secara sederhana, kombinasi alat tersebut mampu meniru prinsip kerja pengukuran tiga titik yang terdapat pada alat ukur kebulatan modern. Dengan meletakkan poros pada *V-block* dan memutar benda kerja sambil mengamati jarum *dial indicator*, kita dapat mengetahui seberapa besar variasi diameter atau penyimpangan dari bentuk bulat sempurna yang dimiliki oleh poros tersebut. Teknik ini cukup efektif dalam memberikan gambaran mengenai ketidakbulatan, dan sering digunakan sebagai alternatif pengukuran dalam praktik bengkel atau laboratorium teknik, sebagaimana dijelaskan oleh (Yanis, 2010).



Gambar 2. 6 Pengukuran Kebulatan Dengan *V-Block*

Pengukuran kebulatan poros dilakukan dengan menempatkan poros pada *V-block*. Kemudian sensor jam pengukur diletakan pada permukaan poros ketika poros diputar. Pengukuran kebulatan dengan kombinasi ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 7 Kombinasi *Dial Indicator* dan *V-block*

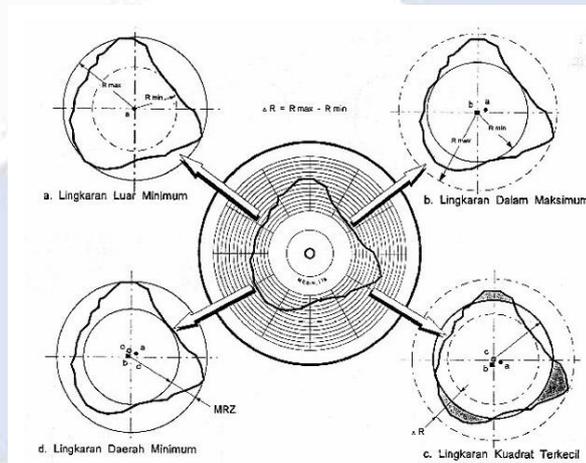
2.6.2 Parameter-Parameter Kebulatan

Parameter kebulatan sangat penting untuk menentukan nilai kebulatan, agar spesimen uji dapat dinilai tingkat ketidakbulatannya. Menghitung nilai parameter dapat dilakukan dengan menggunakan profil kebulatan yang relatif terhadap lingkaran. Terdapat empat lingkaran referensi untuk menentukan parameter kebulatan menurut (Yanis, 2010)

1. *Minimum Circumscribed Circle* (lingkaran luar minimum) adalah lingkaran terkecil yang dapat dibuat mengelilingi profil kebulatan tanpa memotongnya. Ketidakbulatan ditentukan berdasarkan jarak radial dari lingkaran tersebut ke lekukan terdalam pada profil.
2. *Maximum Inscribed Circle* (lingkaran dalam maksimum) adalah lingkaran terbesar yang ditempatkan di dalam profil kebulatan tanpa memotong bagian manapun dari profil tersebut. Ketidakbulatan ditentukan berdasarkan jarak radial dari lingkaran ini ke tonjolan paling luar.
3. *Minimum Zone Circle* (lingkaran daerah minimum) yaitu penentuan kebulatan dengan menggunakan dua lingkaran konsentris yang membatasi profil kebulatan, yang jarak radial antara keduanya adalah yang terkecil.

Titik pusat dari kedua lingkaran ini disebut sebagai *Minimum Zone Center* (MZC). Sementara itu, ketidakbulatan diukur berdasarkan selisih jari-jari kedua lingkaran tersebut, yang dikenal sebagai *Minimum Radial Zone* (MRZ).

4. *Least Square Circle* (Lingkaran kuadrat terkecil) adalah lingkaran referensi yang ditentukan dari profil kebulatan dengan cara meminimalkan jumlah kuadrat jarak antara sejumlah titik pada profil yang diambil pada interval sudut yang sama, terhadap lingkaran tersebut. Titik pusat dari lingkaran ini dikenal sebagai *Least Square Center* (LSC). Sementara itu, jarak rata-rata absolut secara radial antara profil kebulatan dan lingkaran kuadrat terkecil disebut sebagai *Mean Line Average* (MLA).



Gambar 2. 8 Grafik Polar Menentukan Parameter Kebulatan

Karena temuannya sejalan dengan standar toleransi, ISO merekomendasikan metode *Minimum Zone Circle* (MZC) untuk menghitung ketidakbulatan. Nilai ketidakbulatan ini dikenal sebagai *Minimum Radial Zone* (MRZ), yaitu selisih antara jari-jari lingkaran terbesar dan terkecil yang melingkupi profil. Metode penentuan kedua lingkaran ini disebut *Minimum Zone Circle* (MZC). Berikut adalah rumus perhitungannya:

$$MZC = R_{max} - R_{min} \quad (2.3)$$

R_{max} = Jari-jari lingkaran *maximum* (μm)

R_{min} = Jari-jari lingkaran *minimum* (μm)

2.6.3 Standar Toleransi

Dalam standar yang ditetapkan oleh ISO, terdapat 18 kelas toleransi yang dikenal sebagai toleransi standar. Kelas-kelas ini dilambangkan dengan kode IT, dimulai dari IT 01 hingga IT 16. Toleransi standar ini berlaku untuk benda kerja dengan diameter nominal hingga 500 mm. Untuk menentukan nilai toleransi pada tingkat kualitas IT 5 sampai IT 16, digunakan rumus satuan toleransi. Dalam penelitian ini, diameter benda kerja yang digunakan adalah 30 mm, sehingga termasuk dalam rentang >18–30 mm. Seluruh nilai toleransi standar untuk diameter hingga 500 mm. Rumus yang dapat digunakan yaitu sebagai berikut (Syahbilla, 2023).

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D \quad (2.4)$$

Dimana :

i = satuan toleransi (μm)

D = diameter nominal (mm)

Nilai D dapat diperoleh dengan menghitung rata-rata geometrik dari dua batas nilai pada tingkat diameter nominal tertentu. Pendekatan ini digunakan untuk menentukan D secara lebih representatif terhadap ukuran aktual benda kerja. Untuk diameter nominal hingga 500 mm, dua nilai batas yang diperlukan tersedia dalam tabel yang ditampilkan pada Gambar 2.8, yang menjadi acuan dalam perhitungan tersebut.

Tabel 2. 2 dua harga batas nominal s/d 500mm (Widian, 2022/2023)

Tingkatan utama (dalam mm)		Tingkatan Perantara (dalam mm)	
di atas	s.d.	di atas	s.d.
3	3		
6	6		
	10		
10	18	10	14
		14	18
18	30	18	24
		24	30
30	50	30	40
		40	50
50	80	50	65
		65	80
80	120	80	100
		100	120
120	180	120	140
		140	160
		160	180
180	250	180	200
		200	225
		225	250
250	315	250	280
		280	315
315	400	315	355
		355	400
400	500	400	450
		450	500

Pada gambar dibawah ini menyajikan tabel yang memuat seluruh nilai toleransi standar untuk benda kerja dengan diameter hingga 500 mm.

Diameter (mm):	Angka Kualitas (IT; International Tolerance); Toleransi yang dimaksud dalam μm .																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
≤ 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
>3-6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
>6-10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
>10-18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
>18-30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
>30-50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
>50-80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
>80-120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
>120-180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
>180-250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
>250-315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
>315-400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
>400-500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Gambar 2. 9 Tabel Toleransi Nilai Kebulatan

2.7 Material Removal Rate (MRR)

Proses perubahan benda kerja menjadi produk yang sesuai dengan rancangan disebut sebagai proses pelepasan material atau *Material Removal Rate* (MRR), yang juga dikenal sebagai proses pemotongan logam. Dalam proses ini, volume tertentu dari benda kerja dipotong, menghasilkan serpihan dengan bentuk dan karakteristik tertentu (Saputra, 2024).

Material Removal Rate (MRR) sendiri mengacu pada banyaknya massa material yang terbuang dari benda kerja dalam setiap satuan waktu. Nilai MRR ini menjadi salah satu indikator utama dalam mengukur produktivitas suatu proses pemesinan (Saputra, 2024).

Secara umum, MRR merupakan ukuran seberapa cepat volume material dihilangkan dari benda kerja selama proses pemesinan berlangsung. Rumus MRR yaitu sebagai berikut.

$$\text{MRR} = \frac{\text{VOLUME MATERIAL YANG TERBUANG (mm}^3\text{)}}{\text{WAKTU PROSES MESIN (s)}} \quad (2.5)$$

Rumus volume material adalah:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2.6)$$

Dengan keterangan:

V : volume material (mm³)

m : massa material (gram)

ρ : massa jenis material (g/mm³)

2.8 Metode Taguchi

2.8.1 Pengertian Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah metode yang dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi, seorang insinyur asal Jepang, ia berfokus pada perancangan eksperimen (*Design of Experiments / DOE*) untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling memengaruhi kualitas suatu produk atau proses. Metode Taguchi ialah suatu metode statistik yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produk dan proses

dalam suatu sistem produksi atau rekayasa. Sebagai sebuah teknik inovatif, metode ini bertujuan untuk menurunkan biaya produksi dan meminimalkan penggunaan sumber daya penting, sambil tetap menjaga atau bahkan meningkatkan mutu produk. Metode ini menerapkan *array orthogonal*, yaitu susunan eksperimen yang sistematis, untuk pengumpulan data. Data tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal.

Metode Taguchi memiliki beberapa manfaat dalam konteks penelitian dan pengembangan. Berikut adalah beberapa manfaat umum dari metode Taguchi menurut (Farehan, 2024):

1. Metode ini lebih efisien karena mampu menangani berbagai jenis variabel dan jumlah data yang cukup besar.
2. Data yang dihasilkan umumnya bersifat andal dan tetap konsisten selama masih berada dalam rentang pengujian yang telah ditentukan.
3. Metode ini memungkinkan diperolehnya hasil yang mencerminkan respons optimal terhadap parameter yang digunakan dalam eksperimen.

Namun, metode Taguchi juga memiliki kekurangan, yaitu desain eksperimennya yang rumit, sehingga pemilihan desain yang tepat harus dilakukan dengan pertimbangan yang matang dan harus sesuai dengan tujuan dari penelitian yang dilakukan.

2.8.2 Tahapan Desain Eksperimental Taguchi

Eksperimen harus dilakukan dengan perencanaan yang tepat agar mendapatkan hasil yang diinginkan. Konsep desain kokoh (*robust design*) merupakan implementasi dari analisis metode taguchi, secara pokok terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

a. Perumusan Masalah

Perancangan harus menentukan tujuan dari optimasi proses yang dilakukan, serta menetapkan karakteristik respon yang akan dianalisis. Tujuan optimasi

harus jelas dan terukur, sehingga hasil eksperimen dapat memberikan hasil yang sesuai. Beberapa kegiatan yang termasuk dalam tahap ini antara lain:

- mengidentifikasi masalah utama dalam proses,
- menentukan variabel respon yang relevan,
- memilih faktor-faktor yang mempengaruhi respon tersebut,
- serta menetapkan level-level dari setiap faktor yang akan digunakan dalam perancangan eksperimen.

Kegiatan ini menjadi dasar penting dalam penerapan metode Taguchi agar eksperimen yang dilakukan dapat berjalan secara sistematis dan menghasilkan data yang dapat dianalisis dengan efektif.

b. Perencanaan Percobaan

Perencanaan percobaan dalam metode Taguchi merupakan tahapan penting yang bertujuan untuk merancang eksperimen secara efisien guna memperoleh data yang optimal dengan jumlah percobaan seminimal mungkin. Dalam tahap ini, penulis harus menentukan faktor dan level yang mempengaruhi prosesnya, lalu memilih matriks ortogonal (*Orthogonal Array*) yang sesuai untuk mengatur kombinasi faktor secara sistematis. Selain itu, ditentukan pula karakteristik respon yang akan dianalisis, apakah termasuk kategori “*smaller is better*”, “*larger is better*”, atau “*nominal is best*”. Setelah itu, rancangan eksperimen disusun berdasarkan *Orthogonal Array* yang telah dipilih dan dilakukan pengukuran terhadap respon untuk tiap kombinasi. Jika diperlukan, faktor gangguan (*noise factors*) juga dapat disertakan untuk menguji kekuatan (*robustness*) proses terhadap variasi kondisi lingkungan.

c. Pelaksanaan Tahapan Pengumpulan Data

Pelaksanaan Tahapan pengumpulan data merupakan tahap lanjutan dalam metode Taguchi yang dilakukan setelah perencanaan eksperimen selesai. Pada tahap ini, eksperimen dijalankan sesuai dengan kombinasi faktor dan level yang

telah ditentukan dalam matriks ortogonal (*Orthogonal Array*). Setiap kombinasi diuji dalam kondisi yang konsisten dan terkontrol untuk memastikan keandalan data yang diperoleh. Respon dari setiap kombinasi percobaan diukur dan dicatat secara sistematis. Untuk meningkatkan akurasi, setiap kombinasi biasanya dilakukan dalam beberapa ulangan (replikasi) agar dapat dihitung nilai rata-rata dan variasinya. Hasil pengukuran ini nantinya akan digunakan dalam analisis statistik, seperti perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan analisis varians (ANOVA), guna menentukan kombinasi faktor yang memberikan hasil paling optimal.

d. Analisis Hasil Percobaan

selanjutnya dilakukan analisis untuk menentukan pengaruh relatif dari parameter kendali tersebut. Analisis pada metode taguchi terbagi menjadi dua, yaitu:

- Analisis rata-rata (*Analysis of Mean / ANOM*)

ANOM atau analisis rata-rata digunakan untuk mencari kombinasi dari parameter kendali agar diperoleh hasil yang optimum sesuai dengan keinginan. Metode ini banyak digunakan dalam pendekatan taguchi karena memberikan cara yang sistematis dan sederhana untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing parameter terhadap kinerja proses.

Cara penerapannya adalah dengan membandingkan nilai rata-rata *Signal to Noise* (S/N) ratio pada setiap level dari masing-masing parameter kendali. Perbandingan ini kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik.

Dari grafik tersebut, dapat diketahui level mana dari setiap parameter yang memberikan hasil terbaik. Selain itu, grafik juga membantu mengidentifikasi apakah suatu parameter kendali memiliki pengaruh signifikan terhadap proses atau tidak. Jika perbedaan nilai rata-rata antar level cukup besar, maka parameter tersebut dianggap berpengaruh.

- Analisis varian (*Analysis of Variant / ANOVA*)

ANOVA atau analisis varian digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh masing-masing parameter kendali terhadap suatu proses. Tingkat pengaruh tersebut dapat dilihat dengan membandingkan nilai *Sum of Squares* (SS) dari setiap parameter dengan total nilai SS dari semua parameter yang diuji. Semakin besar nilai SS suatu parameter dibandingkan dengan total, maka semakin besar pula kontribusinya terhadap variasi hasil proses.

2.8.3 Istilah Pada Metode Taguchi

Terdapat beberapa istilah penting dalam metode Taguchi, ialah sebagai berikut.

A. *Orthogonal Array*

Orthogonal Array adalah sebuah matriks yang terdiri dari sejumlah baris dan kolom, di mana setiap kolom merepresentasikan suatu faktor atau kondisi yang dapat bervariasi dalam setiap percobaan. Setiap kolom menggambarkan faktor-faktor yang terlibat dalam proses percobaan. Disebut "*Orthogonal*" karena setiap tingkat (level) dari faktor-faktor tersebut *balance* atau merata dan dapat dianalisis secara independen tanpa dipengaruhi oleh faktor lainnya. Dengan kata lain, *Orthogonal Array* memungkinkan pengujian yang seimbang dan terpisah antara faktor-faktor, sehingga hasilnya tidak terpengaruh oleh kombinasi faktor atau level lainnya.

Matriks ortogonal memiliki kemampuan dalam mengevaluasi berbagai parameter hanya dengan jumlah yang minimal. Matriks ortogonal dilambangkan sebagai berikut (SUKMA, 2016):

$L_a(bc)$ dengan:

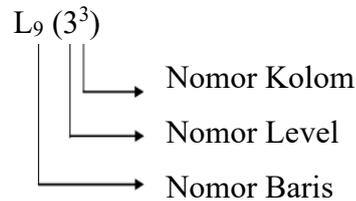
L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya percobaan

b = Banyaknya level parameter

c = Banyaknya parameter

Berikut penomoran Matriks ortogonal.



Keterangan:

1. Notasi L ialah informasi mengenai *Orthogonal Array*
2. Nomor baris ialah jumlah percobaan yang dibutuhkan Ketika menggunakan *Orthogonal Array*
3. Nomor kolom adalah jumlah faktor yang diamati dalam *Orthogonal Array*
4. Nomor level adalah jumlah level faktor.

Untuk eksperimen dengan dua level, *Orthogonal Array* yang umum digunakan meliputi L4, L8, L12, L16, dan L32. Sementara itu, untuk eksperimen dengan tiga level, pilihan tabel OA biasanya mencakup L9, L18, dan L27. Pemilihan jenis *Orthogonal Array* yang tepat dalam suatu percobaan ditentukan berdasarkan jumlah derajat bebas total yang dibutuhkan. Perhitungan derajat bebas ini didasarkan pada jumlah faktor yang terlibat dan level dari masing-masing faktor, sehingga desain eksperimen dapat disesuaikan secara optimal.

B. *Degree of freedom*

Derajat bebas mengacu pada jumlah perbandingan yang perlu dilakukan antar level (baik efek utama maupun interaksi) untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang diperlukan. Tujuan dari perhitungan derajat bebas adalah untuk memahami sejauh mana suatu faktor dengan berbagai levelnya memengaruhi karakteristik kualitas yang dihasilkan. Melalui perbandingan ini, dapat diidentifikasi faktor dan level mana yang memberikan dampak signifikan terhadap kualitas *output*.

Dalam merancang percobaan, efisiensi dan pengendalian biaya menjadi faktor penting yang harus diperhatikan. Oleh karena itu, pemilihan *Orthogonal Array* sekecil mungkin sangat dianjurkan, selama masih mampu memberikan informasi yang memadai untuk analisis yang menyeluruh dan kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan. Untuk memilih jenis *Orthogonal Array* yang sesuai, diperlukan perhitungan derajat bebas secara cermat. Rumus derajat bebas ialah sebagai berikut.

a. Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B:

$$\begin{aligned}\text{Faktor A} &= (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \\ &= k_A - 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor B} &= (\text{jumlah level faktor B}) - 1 \\ &= k_B - 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor C} &= (\text{jumlah level faktor C}) - 1 \\ &= k_C - 1\end{aligned}$$

b. Nilai derajat bebas total

$$= (k_A - 1) + (k_B - 1) + (k_C - 1) \quad (2.7)$$

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

Rasio *Signal to Noise* (S/N) merupakan metrik yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap variasi pada respons suatu sistem. Melalui rasio S/N, kita dapat mengetahui faktor mana yang memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil eksperimen. Rasio ini, yang juga dikenal sebagai rasio sinyal terhadap derau, berfungsi sebagai metode transformasi data dalam analisis Taguchi. Dalam penggunaannya, terdapat tiga jenis karakteristik kualitas yang dianalisis melalui rasio S/N, yaitu: "semakin

kecil semakin baik", "semakin besar semakin baik", dan "mendekati nilai target tertentu".

1. *Smaller The Better*

Sebuah produk dapat dikatakan memiliki kualitas yang baik apabila nilai pada karakteristik kualitas tertentu berada pada tingkat yang semakin rendah. Rumus S/N untuk smaller the better ialah sebagai berikut.

$$S/N \text{ ratio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2.8)$$

2. *Larger The Better*

Optimasi ini merupakan kebalikan dari *smaller the better*. Suatu produk dikatakan berkualitas baik jika menunjukkan nilai yang semakin besar pada karakteristik kualitas tertentu. Nilai S/N untuk konsep *larger is better* dinyatakan sebagai berikut:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2.9)$$

3. *Nominal The Better*

Optimasi ini umumnya digunakan ketika nilai target sesuai dengan nilai yang telah ditetapkan, sehingga tidak diperbolehkan lebih besar maupun lebih kecil dari nilai tersebut.

$$S/N = 10 \cdot \log_{10} \frac{\bar{y}^2}{s^2} \quad (2.10)$$

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

Dimana :

S^2 = varian

N = jumlah pengulangan dari setiap kombinasi

X_i = nilai dari kombinasi ke-n

X = nilai rata-rata dari setiap kombinasi

D. Persen Kontribusi

Persentase kontribusi yang diberikan oleh setiap parameter dan interaksi dilakukan dengan melakukan perhitungan awal atau persen kontribusi. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung persen kontribusi SS'faktor :

$$SS'_{factor} = SS_{factor} - MS_{error} (V_v) \quad (2.11)$$

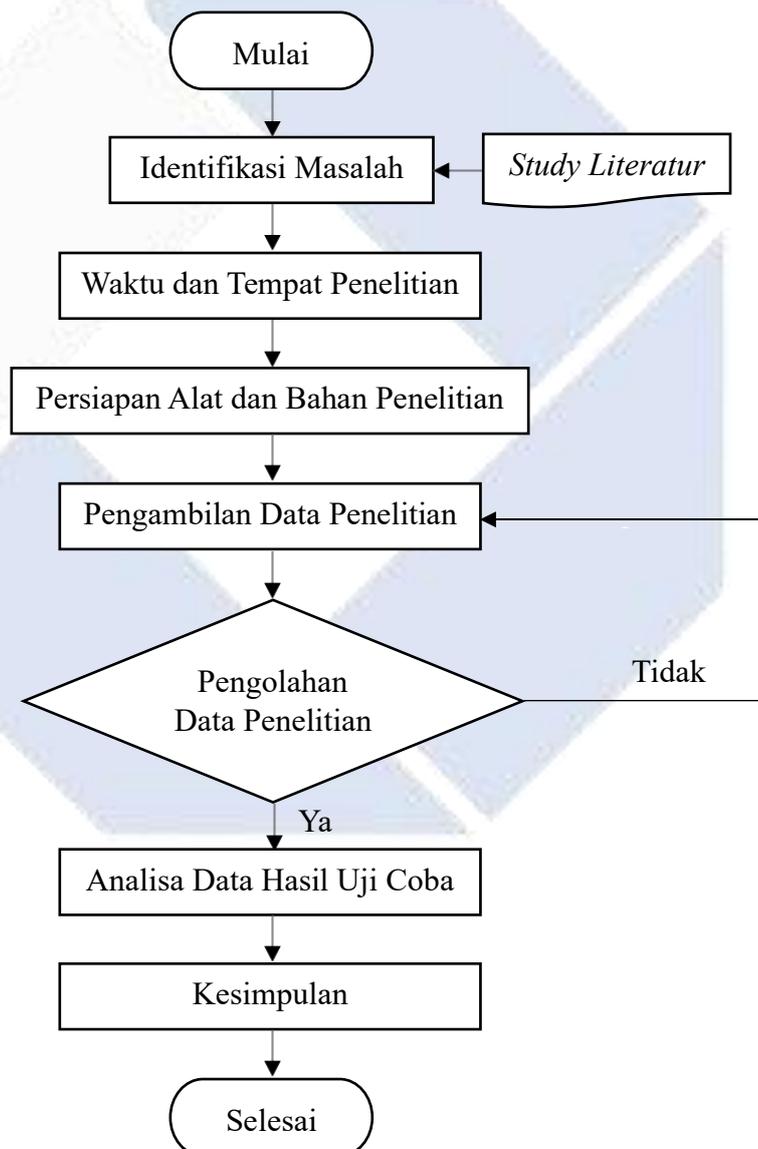
Rumus untuk menghitung persen kontribusi adalah sebagai berikut.

$$p = \frac{SS_{factor}}{SS_{total}} \times 100\% \quad (2.12)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)

Urutan atau tahapan proses penelitian tersebut dapat digambarkan melalui diagram alir (*flowchart*) seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.2 Identifikasi Masalah

Penelitian biasanya berawal dari adanya masalah atau fenomena yang berpotensi untuk diselesaikan. Karena itu, langkah pertama dalam proses penelitian adalah mengidentifikasi masalah, yaitu dengan mengamati dan memahami inti persoalan yang akan diteliti. Oleh karena itu, penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data pendukung. Studi literatur salah satu merupakan cara untuk memperoleh data pendukung. Tinjauan pustaka dilakukan untuk menemukan materi yang berkaitan dengan topik penelitian, baik dari buku, jurnal, internet, maupun hasil penelitian terdahulu. Tinjauan ini bertujuan mengumpulkan gagasan dan informasi teoritis yang dapat digunakan sebagai dasar atau kerangka dalam memecahkan masalah penelitian.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, sesuai dengan jadwal pelaksanaan proyek akhir yang berlangsung pada semester genap tahun ajaran 2025.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Untuk melakukan penelitian digunakan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Material

Spesimen uji yang digunakan adalah baja ST 41 yang di pakai pada penelitian ini dengan dimensi diameter 30 mm, dengan panjang 100 mm. Bentuk dan dimensi material uji ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 3. 2 Spesimen Uji

2. Mesin Gergaji Potong

Dalam penelitian ini, digunakan mesin gergaji potong DoALL Model C-916 yang berfungsi untuk memotong benda kerja menjadi spesimen uji. Mesin gergaji potong DoALL Model C-916 ditampilkan pada Gambar berikut.



Gambar 3. 3 Mesin Gergaji Potong

3. Mesin Bubut CNC

Pada penelitian ini menggunakan fasilitas di laboratorium Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung salah satunya adalah mesin bubut CNC. Mesin bubut CNC yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi yaitu, merek mesin MORI SEIKI tipe SL-25, dan diproduksi pada tahun 1995 di Jepang.



Gambar 3. 4 CNC Bubut Mori Seiki SL-25

4. Alat Potong

Dalam penelitian ini, alat potong yang digunakan adalah *Insert Carbide* Bubut DNMG 150608-MA, yang khusus dipakai untuk proses *finishing* pada mesin CNC bubut. Selama proses pembubutan, setiap spesimen menggunakan satu sisi dari *Insert Carbide* Bubut DNMG 150608-MA. Gambar 3.5 berikut memperlihatkan bentuk pahat *Insert Carbide* Bubut DNMG 150608-MA.



Gambar 3. 5 Mata Potong Insert Carbide DNMG 150608-MA

Spesifikasi mata potong *insert carbide* DNMG pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Merk : Mitsubishi
- Pahat : *Insert Carbide*
- Type : DNMG 150608-MA
- VC : 105 – 150 m/min
- F : 0.20 – 0.50 mm/rev
- Asal : diproduksi di Jepang

5. Dial Indicator dan V-Block

Dial indicator dan V-block digunakan sebagai alat untuk mengukur tingkat kebulatan pada setiap titik spesimen uji. *Dial indicator* yang digunakan memiliki tingkat ketelitian hingga 1 μm atau setara dengan

1/1000 mm. Untuk melihat *dial indicator* beserta *V-block* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 6 *Dial Indicator* dan *V-Block*

6. Timbangan Digital

Timbangan digital merek heles digunakan untuk mengukur massa specimen uji sebelum dan sesudah proses pembubutan. Alat ini berfungsi untuk menentukan berat massa yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan MRR. Spesifikasi Timbangan Digital dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 7 Timbangan Digital

Tabel 3. 1 Spesifikasi Timbangan Digital

Merek	Heles
-------	-------

Kapasitas Maksimum	5000 g
Ketelitian	0,01 g
Waktu Stabilisasi	1 s

7. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan sebagai alat ukur untuk dimensi spesimen dalam penelitian ini. Alat ini ialah kaliper presisi dengan tingkat ketelitian 0,02 mm. Gambar jangka sorong dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut.



Gambar 3. 8 Jangka Sorong

3.5 Pengambilan Data Penelitian

Adapun tahapan – tahapan dalam pengambilan data penelitian adalah sebagai berikut.

3.5.1 Persiapan Alat Potong

Langkah awal dalam proses pemesinan adalah menyiapkan serta memasang alat potong yang akan digunakan. Alat potong yang digunakan berupa Pahat *Insert Carbide* Bubut tipe DNMG 150608-MA, dengan bantuan alat berupa kunci bintang untuk pemasangannya.

3.5.2 Persiapan Spesimen Uji

Sebanyak 27 spesimen uji dari bahan baja ST 41 disiapkan sesuai ukuran yang telah ditetapkan, spesimen uji dengan diameter 30 mm dan panjang 100 mm.

Setiap spesimen akan dibubut sepanjang 30 mm dan diameternya menjadi 24 mm, sementara bagian yang dicekam memiliki panjang 50 mm. Persiapan spesimen uji dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 3. 9 Spesimen Uji Hasil CNC Bubut

3.5.3 Variabel Proses

Variabel proses, yang juga disebut sebagai faktor kontrol merupakan variabel yang dapat dikendalikan oleh peneliti. Nilai dari variabel ini ditetapkan berdasarkan tujuan dari proyek penelitian serta faktor-faktor lain yang berkaitan. Dalam penelitian ini, variabel proses yang digunakan yaitu,

a) Kecepatan Potong (*cutting speed*)

Dengan menyesuaikan nilai VC dari jenis mata potong maka *cutting speed* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 110 mm/min, 120 mm/min, 130 mm/min.

b) Laju Pemakanan (*feedrate*)

Feedrate yang digunakan pada penelitian ini yang menyesuaikan dengan f pada jenis mata potong adalah 0,2 mm/rev; 0,3 mm/rev; 0,4 mm/rev.

c) Kedalaman Pemakanan (*depth of cut*)

Untuk *depth of cut* yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,5 mm; 1 mm; 1,5 mm.

Untuk uji coba dilakukan dengan memasukan parameter ke *software* minitab 22 seperti pada tabel berikut

Tabel 3. 2 Pengolahan Data Pemesinan Dari *Software* Minitab

<i>Cutting Speed</i>	<i>Feedrate</i>	<i>Depth of Cut</i>
110	0,2	0,5
110	0,3	1
110	0,4	1,5
120	0,2	1
120	0,3	1,5
120	0,4	0,5
130	0,2	1,5
130	0,3	0,5
130	0,4	1

Tabel 3. 3 Dalam Bentuk *Coded*

<i>Cutting Speed</i>	<i>Feedrate</i>	<i>Depth of Cut</i>
1	1	1
1	2	2
1	3	3
2	1	2
2	2	3
2	3	1
3	1	3
3	2	1
3	3	2

Percobaan dilakukan dengan menggunakan *orthogonal array* $L_9 (3^3)$. Untuk mendapatkan hasil yang optimasi dilakukan tiga kali pengulangan dengan satu kali data awal dan dua replikasi.

3.5.4 Variabel Tetap

Faktor-faktor yang tidak menjadi fokus dalam penelitian disebut sebagai variabel konstan. Nilai dari variabel ini dijaga tetap sama selama seluruh proses percobaan agar tidak mempengaruhi hasil penelitian. Contohnya adalah penggunaan pendingin yaitu Dromus dan penggunaan kecepatan putaran spindel yaitu sebesar 2000 RPM yang tidak dirubah sepanjang pengujian. Penggunaan VC menyesuaikan dari jenis mata potong dan juga jenis material yang digunakan pada penelitian ini.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \text{ mm/min} \quad (2.1)$$

$$N = \frac{1000 \cdot VC}{\pi \cdot D} \text{ RPM}$$

$$N = \frac{1000 \cdot 120}{3,14 \times 30} = 1273,885 \text{ RPM}$$

$$N = \frac{1000 \cdot 130}{3,14 \times 30} = 1380,042 \text{ RPM}$$

Untuk mencapai hasil yang diinginkan, maka kecepatan maksimum spindel yang digunakan adalah tidak kurang dari hasil berikut.

3.5.5 Variabel Respon

Variabel respon yaitu variabel yang nilai sebelumnya belum diketahui dan dipengaruhi oleh perlakuan dalam percobaan, di mana hasilnya baru dapat diketahui setelah pengujian selesai dilakukan. Dalam penelitian ini, kebulatan dan *Material Removal Rate* (MRR) menjadi variabel respon yang dianalisis.

3.5.6 Input Program CNC

Berikutnya adalah menyiapkan program yang telah diuji menggunakan perangkat lunak *Swansoft*, lalu di *input* ke sistem CNC pada mesin. Proses input program CNC ditampilkan pada Gambar berikut:



Gambar 3. 10 Proses Input Program CNC

3.5.7 Langkah-Langkah Pembubutan Pada Mesin Bubut CNC

Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pemesinan menggunakan mesin CNC bubut:

- Mulailah dengan membuka pintu mesin CNC bubut.
- Pasang *insert* yang akan digunakan pada *tool holder* nomor 01.
- Tempatkan spesimen uji ke dalam pencekam dengan kedalaman 50 mm, pastikan spesimen terpasang dengan kuat agar proses pemesinan berlangsung aman.
- Nyalakan mesin CNC dan atur program sesuai dengan variabel pemotongan yang telah ditentukan. Mesin akan menjalankan proses penyayatan berdasarkan parameter yang sudah ditetapkan untuk setiap spesimen.
- Setelah proses pembubutan selesai, keluarkan spesimen uji dari pencekam.
- Ganti sisi *insert* pada *tool holder* nomor 01 sebelum melanjutkan ke spesimen berikutnya.
- Ulangi langkah-langkah tersebut hingga seluruh 27 spesimen mengalami proses pemesinan sesuai dengan desain eksperimen.

Setelah semua spesimen selesai diproses, bersihkan mesin CNC dan rapikan seluruh peralatan yang digunakan selama proses berlangsung.

3.5.8 Pengujian Kebulatan dan MRR

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengambilan data penelitian. Pengambilan data ini dilakukan dengan dua jenis pengujian, yaitu pengujian terhadap kebulatan dan *Material Removal Rate* (MRR). Penjelasan mengenai metode pengambilan data untuk masing-masing pengujian disampaikan sebagai berikut.

1. Kebulatan

Pengujian kebulatan ini dilakukan menggunakan alat ukur *dial indicator* dan alat bantu *V-block* dengan ketelitian 1/1000 mm. Pengambilan data dilakukan pada permukaan spesimen uji dengan interval pengukuran setiap 30 derajat, sehingga terdapat 12 titik pengukuran dalam satu lingkaran penuh. Setiap spesimen diuji pada dua titik sepanjang permukaan dengan jarak antar titik sejauh 15 mm. Proses pengujian dimulai dari titik awal dan dilanjutkan secara bertahap setiap 30 derajat hingga mencapai 12 titik. Setelah titik pertama selesai diuji, pengujian dilanjutkan pada titik kedua dengan metode yang sama dan begitupula untuk spesimen selanjutnya. Data hasil pengukuran pada masing-masing titik kemudian dirata-ratakan dan disusun dalam bentuk tabel. Selanjutnya, data tersebut diolah menggunakan metode taguchi untuk menganalisis variabel-variabel yang paling berpengaruh. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai kombinasi variabel terbaik yang menghasilkan kebulatan optimal. Untuk langkah-langkah pengujian kebulatan.

- Pengujian kebulatan dapat dilakukan dengan meletakkan spesimen uji pada meja perata sebagai landasan.
- Persiapkan berbagai alat bantu yang diperlukan untuk menentukan posisi sudut dan titik pengukuran pada setiap spesimen uji. Alat yang digunakan

meliputi spidol, lem, penggaris, serta kertas yang telah diberi tanda sudut setiap 30 derajat.

- Sebelum memulai pengujian, pastikan *dial indicator* dalam kondisi baik dengan melakukan pemeriksaan awal guna menghindari potensi kesalahan selama proses pengukuran.
- Tempatkan spesimen uji yang telah mengalami proses pembubutan menggunakan mesin bubut CNC ke atas *V-block* dengan posisi stabil.
- Lakukan kalibrasi pada ujung sensor *dial indicator* dengan menyentuh permukaan spesimen uji agar akurasi pengukuran tetap terjaga.
- Lanjutkan dengan melakukan pengujian kebulatan pada dua titik sepanjang permukaan spesimen, di mana jarak antar titik adalah 15 mm. Untuk setiap titik, putar spesimen secara bertahap setiap 30 derajat hingga mencapai total 12 titik pengukuran.
- Catat seluruh hasil pengukuran kebulatan pada tabel yang telah disiapkan di atas kertas, sesuai dengan jumlah spesimen yang diuji



Gambar 3. 11 Pengukuran Kebulatan

2. Standar Toleransi Kebulatan

Rumus satuan toleransi digunakan sebagai acuan untuk menentukan standar nilai toleransi pada tingkat kualitas IT 5 hingga IT 16. Berdasarkan tabel toleransi yang ditampilkan, untuk diameter yang berada pada rentang lebih dari 18 mm hingga 30 mm, digunakan kelas toleransi IT6. Dalam penelitian ini, nilai ketidakbulatan paling kecil yang diperoleh adalah sebesar 7,33 μm .

Diameter (mm):	Angka Kualitas (IT; International Tolerance); Toleransi yang dimaksud dalam μm .																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
≤3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
>3-6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
>6-10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
>10-18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
>18-30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
>30-50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
>50-80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
>80-120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
>120-180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
>180-250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
>250-315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
>315-400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
>400-500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Gambar 3. 12 Standar Toleransi

3. *Material Removal Rate*

Laju pemakanan material atau *Material Removal Rate* (MRR) dihitung dengan menggunakan bantuan *stopwatch*. Pengukuran waktu dimulai sejak pahat pertama kali menyentuh atau mulai menyayat spesimen uji, yang ditandai dengan terbuangnya bagian dari benda kerja, dan berakhir saat proses penyayatan selesai atau ketika pahat terangkat kembali ke posisi awal. Selisih massa spesimen uji sebelum dan sesudah proses pemotongan pada mesin bubut CNC merupakan massa material yang hilang akibat proses pemotongan. Untuk mengetahui volume material yang terbuang, massa yang hilang dibagi dengan massa jenis material spesimen. Nilai MRR kemudian diperoleh dengan membagi volume material yang terbuang dengan waktu pemotongan yang telah diukur sebelumnya. Langkah-langkah pengujian MRR dimulai dengan menimbang massa awal spesimen uji. Selama proses pembubutan berlangsung, waktu pemotongan dicatat sejak awal hingga akhir penyayatan. Setelah proses selesai, dilakukan penimbangan ulang terhadap spesimen uji menggunakan

timbangan digital untuk mengetahui massa akhirnya. Proses ini dilakukan secara berulang untuk setiap spesimen uji yang digunakan dalam penelitian.

$$MRR = \frac{\text{VOLUME MATERIAL YANG TERBUANG (mm}^3\text{)}}{\text{WAKTU PROSES MESIN (s)}} \quad (2.5)$$



Gambar 3. 13 Mengukur Berat Spesimen Uji

3.6 Pengolahan Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode taguchi sebagai pendekatan untuk optimasi proses. Metode Taguchi merupakan teknik statistika yang dikembangkan untuk meningkatkan kualitas melalui perancangan eksperimen yang efisien dan sistematis. Metode ini memungkinkan identifikasi pengaruh berbagai faktor terhadap suatu *respons* dengan jumlah percobaan yang lebih minimal dibanding metode konvensional. Dalam konteks penelitian ini, metode taguchi digunakan untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan pengaruh tiga variabel proses terhadap hasil akhir, dengan tujuan memperoleh kombinasi parameter terbaik yang menghasilkan performa optimal. Selain itu, metode ini juga mampu meningkatkan ketahanan proses terhadap variasi eksternal yang tidak diinginkan.

3.7 Analisis Data Hasil Penelitian

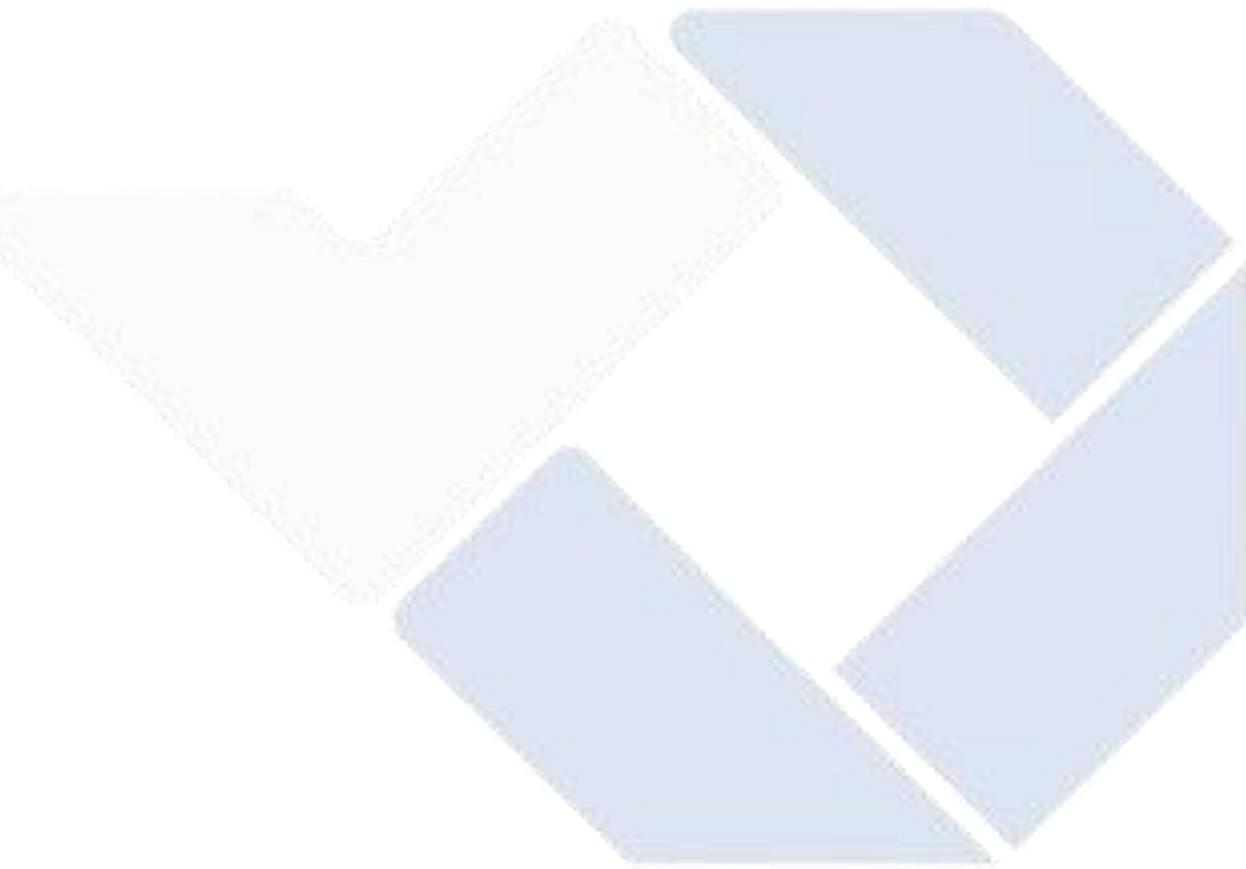
Tahap selanjutnya adalah analisis data hasil uji coba, di mana penulis melakukan pengolahan data yang telah dikumpulkan dengan menggunakan metode

Taguchi. Metode ini berfokus pada identifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap respons melalui rancangan eksperimen *orthogonal array*, yang memungkinkan efisiensi dalam jumlah percobaan. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai *Signal to Noise Ratio* (S/N Ratio) untuk menentukan kombinasi parameter yang memberikan hasil terbaik.

3.8 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh, dapat diketahui parameter mana yang paling sesuai untuk mengoptimalkan proses pembubutan, serta memungkinkan penentuan nilai *Material Removal Rate* (MRR) dan tingkat kebulatan yang optimal selama proses *finishing* pada mesin CNC bubut.

BAB IV
PEMBAHASAN



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, telah didapatkan nilai optimum untuk variabel kebulatan dan *Material Removal Rate* (MRR). Untuk kebulatan, variabel yang paling berpengaruh adalah *feedrate* (gerak makan) dengan kontribusi 57,277%. Kombinasi parameter optimal untuk kualitas kebulatan terbaik yaitu, *cutting speed* 130 m/min (Level 3), *feedrate* 0,3 mm/rev (Level 2), dan *depth of cut* 1,5 mm (Level 3). Pada penelitian ini Nilai ketidakbulatan terkecil adalah sebesar 7,33 μm masuk ke dalam *grade* IT6, nilai penyimpangan ini dapat dijadikan acuan untuk memproduksi benda kerja dengan *setting* parameter optimum yang didapatkan. Sementara itu, untuk MRR, variabel yang paling signifikan adalah *depth of cut* (kedalaman pemakanan) dengan kontribusi 61,165%. Pengaturan optimal untuk mencapai MRR tertinggi sebesar 689,274 mm^3/s adalah *cutting speed* 130 m/min (Level 3), *feedrate* 0,4 mm/rev (Level 3), dan *depth of cut* 1,5 mm (Level 3).

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Metode digunakan dalam penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan metode optimasi lainnya pada penelitian selanjutnya, agar memperoleh hasil yang lebih optimal dan akurat.
2. Dapat menggunakan faktor-faktor lain yang belum diteliti, serta menggunakan variasi parameter proses yang berbeda.
3. Dalam proses pengujian, penting untuk memastikan spesimen uji terpasang dengan benar dan tercekam dengan kuat selama proses pemesinan agar hasil pengukuran lebih akurat dan tidak terpengaruh oleh kesalahan teknis pemasangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfendi. (2021). *OPTIMASI MATERIAL REMOVAL RATE (MRR) BAJA ST 42 PADA PROSES CNC TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI*. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Dodi Parlindungan Sihombing, J. (2021/2022). *ANALISA MATERIAL REMOVAL RATE (MRR) BAJASKD11PADA PROSES CNC TURNING DENGAN MENGGUNAKANMETODE TAGUCHI*. Bangka Belitung: POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI.
- FACHRUL, M. (2023). *ANALISIS KONDISI PAHAT DAN HASIL PEMBUBUTAN RATA DENGAN SINYAL GETARAN TERHADAP MATERIAL ST60 PADA MESIN CNC BUBUT*. GOWA: UNIVERSITAS HASANUDDIN GOWA.
- Farehan, A. (2024). *OPTIMASI VARIASI MEDIA PENDINGIN DARI MINYAK NABATI TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA AISI 1045 PADA PROSES BUBUT CNC MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI* . Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Bangka Belitung.
- Febriyansa, A. (2023/2024). *ANALISIS PENGARUH KECEPATAN POTONG DAN KEDALAMANPEMAKANAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJASKD 11 PADA PROSES FINISHING DI MESIN CNC BUBUT DENGAN METODE RSM*. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Bangka Belitung.
- Gibran, A. (2023/2024). *ANALISIS PENGARUH PARAMETER TERHADAP MRR DAN KEKASARAN PERMUKAAN PADA BENDAKERJA DI MESIN CNC TURNING DENGAN METODE TAGUCHI*. BANGKA BELITUNG: POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG.
- JULIANTO, D. (2003). *OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMESINAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL S45C METODE TAGUCHI*. BANGKA BELITUNG : POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG .
- Kurniawan, E., Syaifurrahman, S., & Jekky, B. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis. *JURNAL ENGINE ENERGI MANUFAKTUR DAN MATERIAL*.

- MAHENDRA SAKTI, A., & FITRIYAH, L. (2014). PENGARUH JENIS BENDA KERJA, KEDALAMAN PEMAKANAN DAN KECEPATAN SPINDEL . *JTM. Volume 02 Nomor 02*, 208-216.
- MANURUNG, P. (2024). *PENGARUH SUDUT DAN VARIASI NOTCH PADA SAMPEL BAJA KARBON RENDAH ST 41 TERHADAP UJI IMPAK*. MEDAN: UNIVERSITAS ISLAM SUMATERA UTARA MEDAN.
- Masalik, M. N., & Susandi, D. (2022). Proses Pembuatan Bhusing Inner Free Cutting Dengan Menggunakan Mesin Bubut CNC DMC dan Mesin Bubut Milling. *ISSN 2085-4218* , 391-398.
- Oktavia, D. (2024). *ANALISIS OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KEBULATAN BENDA KERJA PADA MESIN CNC TURNING SL-25 MORI SEIKI DENGAN METODE TAGUCHI*. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Saputra, A. (2024). *VARIASI PARAMETER PROSES TERHADAP MRR DAN PENGUJIAN KEBULATAN BENDA KERJA DENGAN MESIN CNC BUBUT PADA PROSES FINISHING BAJA SKD-11 MENGGUNAKAN RSM*. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- SUKMA, H. D. (2016). *OPTIMASI LAJU PEMBUANGAN MATERIAL AISI 1045 PADA BUBUT CNC DENGAN METODE TAGUCHI*. Jember: UNIVERSITAS JEMBER.
- Syahbilla, M. (2023). *UJI METROLOGI GERAK MELINGKAR PADA MESIN CNC MILLING DI BENGKEL MEKANIK POLMANBABEL*. BANGKA BELITUNG: POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG.
- Widian, A. (2022/2023). *ANALISIS KINERJA MESIN CNC TURNING SL-25 MORI SEIKI DITINJAU DARI NILAI KEBULATAN BENDA KERJA DI LABORATORIUM MEKANIK POLMAN BABEL DENGAN PENDEKATAN SQC*. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Bangka Belitung.
- Yanis, M. (2010). Analisis Profil Kebulatan untuk Menentukan Kesalahan Geometrik pada Pembuatan Komponen Menggunakan Mesin Bubut Cnc. *Jurnal Rekayasa Sriwijaya, XIX(1)*, 50-58.
- Zubaidi, A., & Darmanto. (2012). ANALISIS PENGARUH KECEPATANPUTAR DAN KECEPATAN PEMAKANAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL FCD 40 PADA MESIN BUBUT CNC. *Momentum, Vol. 8, No. 1*, 40- 47 .

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



1. Daftar Pribadi

Nama Lengkap : Devfrans Pasa
Tempat, Tanggal Lahir : Sungailiat, 17 November 2003
Alamat : Jl. Sri Pemandang, Kelurahan Sri Menanti,
Kecamatan Sungailiat, Kabupaten Bangka.
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Telp : -
HP : 081369112703
Email : devfranspasa12@gmail.com

2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 2 Sungailiat	2010 – 2016
SMP Negeri 1 Sungailiat	2016 – 2019
SMK Negeri 1 Sungailiat	2019 – 2022

Sungailiat, 3 Juli 2025

Devfrans Pasa

Lampiran 2 Pengambilan Data Kebulatan



Lampiran 3 Data Kebulatan

No.	Posisi	Titik Pengukuran											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	+2	-5	+5	+3	-6	0	+9	-7	+6	-3	-3	+2
	2	+1	-4	+2	+1	-1	+1	-3	+5	-2	0	-1	+3
2	1	0	+3	-3	+2	-3	+4	+3	-3	+3	-3	-1	+4
	2	+4	-3	-2	0	+2	-6	+4	+1	0	+3	-3	-2
3	1	+3	+6	-4	+3	-2	+2	0	0	+5	+1	-3	0
	2	+2	+4	+1	+4	-5	0	-2	-1	+2	-1	+1	-3
4	1	-1	-1	+2	0	+3	-5	+3	-1	-2	-1	+4	-2
	2	+3	0	0	-2	-1	+1	-2	0	-1	-2	+1	0
5	1	+2	0	0	-2	+3	+1	+1	-1	0	+1	0	-5
	2	+1	+1	-1	+1	+1	0	-1	0	-1	-2	+1	0
6	1	-1	+5	0	+1	+3	-2	0	-2	+1	+3	-5	-3
	2	-3	0	+8	-7	-1	-2	0	+2	+2	-2	+5	-5
7	1	+4	-5	+4	-3	+1	0	+1	0	-1	+1	-3	+3
	2	-2	0	+2	0	-1	+1	0	-1	0	0	+1	-2
8	1	+1	-1	+6	-5	-3	0	-2	+1	-1	-1	+3	+2
	2	-1	0	0	0	+1	+3	0	-3	0	+3	+2	-3
9	1	+2	-10	0	+2	+2	+1	+6	-3	-5	+12	-2	+1
	2	0	0	-3	0	0	-3	+3	+1	-3	+2	-1	-1
10	1	0	-6	+4	+4	-3	+4	-4	+6	+6	-6	+1	2
	2	-3	+3	+1	0	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	0
11	1	+1	-8	+10	0	-2	-1	-1	-3	-1	+8	-3	+5
	2	+5	-7	+1	+2	0	0	0	-4	0	+1	+1	0
12	1	+2	-3	-1	+1	+2	+2	+4	-9	-1	+2	-5	+11
	2	+1	+6	-3	-5	+2	+2	+1	-5	+2	-2	+2	+4
13	1	+5	-3	+2	+3	-5	0	+4	-5	+1	+2	-2	-2
	2	+1	+9	-10	0	+3	-2	0	0	0	-1	0	0

14	1	-3	0	+4	+1	+4	-9	0	+3	+1	-1	+1	-1
	2	-3	+1	0	-1	+4	-3	-1	+2	-2	+3	-5	+5
15	1	+3	+3	-5	-2	+7	-13	+6	-8	+6	-14	-12	-3
	2	-5	0	0	-2	+7	-9	-2	+7	-8	+1	-1	+3
16	1	-4	+4	+2	0	+8	-2	-3	-2	0	0	-3	+3
	2	0	+1	-2	+2	-2	0	+2	-1	+1	0	0	-1
17	1	-2	0	0	-1	+4	0	-4	0	+3	-1	-2	-1
	2	+1	+1	0	+1	-2	+4	0	-3	0	+3	-1	-1
18	1	-1	+4	+1	-1	-4	-1	+1	+6	-6	+9	-1	-7
	2	-2	+2	+1	+3	-5	+1	+2	+5	-7	+1	0	-1
19	1	-4	+4	-2	-1	+2	-4	+8	-2	-4	0	-2	-2
	2	+3	-1	-3	-3	+6	-1	-4	+1	0	+3	0	0
20	1	+2	+2	0	-1	+2	-5	0	-6	-11	-8	+2	+1
	2	0	+2	-3	+2	-1	+1	-3	+3	+1	-1	-3	+3
21	1	+16	-3	-7	+2	+4	-6	+6	+6	-17	+2	+7	-8
	2	-5	+8	0	-6	-3	+1	+6	-5	+6	0	-6	+2
22	1	+8	+2	-3	-2	0	-2	-4	+14	-6	-2	-6	-1
	2	+3	-1	+1	-3	+1	0	-2	-1	+3	-6	+3	-1
23	1	+4	+5	-1	-1	-3	-4	+6	-2	+1	-4	0	+3
	2	-2	+5	-2	+2	-3	+2	-2	-1	0	+2	-3	+6
24	1	+1	+1	+1	-3	+4	-1	-7	0	+8	+2	-4	-2
	2	+2	+1	-2	-5	0	+6	-6	+3	-2	0	+4	-1
25	1	+2	+2	-2	-1	+5	-5	+1	+1	-1	0	0	0
	2	+1	+2	-3	+1	-2	+1	0	-1	0	+1	-1	-2
26	1	+4	+3	+2	-4	-1	+2	-4	+3	+6	-7	0	0
	2	-3	+1	+1	0	-4	0	+2	+1	-1	+3	-3	-2
27	1	+5	+1	-2	-6	+2	-1	-4	+4	+2	+1	-2	-2
	2	+2	-3	+6	-2	0	+2	-7	+6	-3	-1	+4	-7

Lampiran 4 Diagram Polar

Diagram Polar 1

● Posisi 1 ● Posisi 2

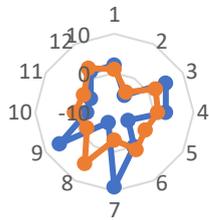


Diagram Polar 2

● Posisi 1 ● Posisi 2

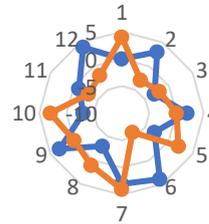


Diagram Polar 3

● Posisi 1 ● Posisi 2

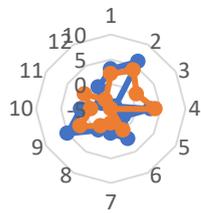


Diagram Polar 4

● Posisi 1 ● Posisi 2

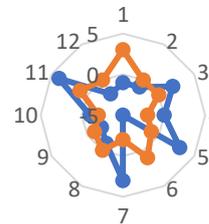


Diagram Polar 5

● Posisi 1 ● Posisi 2

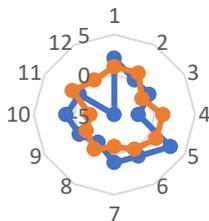


Diagram Polar 6

● Posisi 1 ● Posisi 2

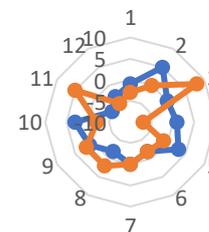


Diagram Polar 7

● Posisi 1 ● Posisi 2

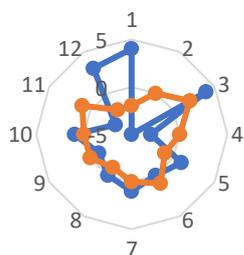
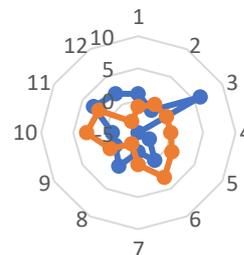


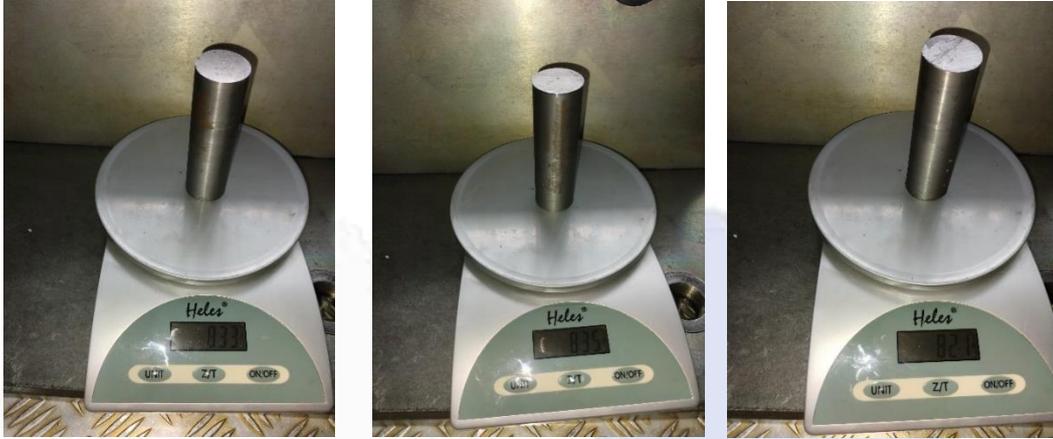
Diagram Polar 8

● Posisi 1 ● Posisi 2

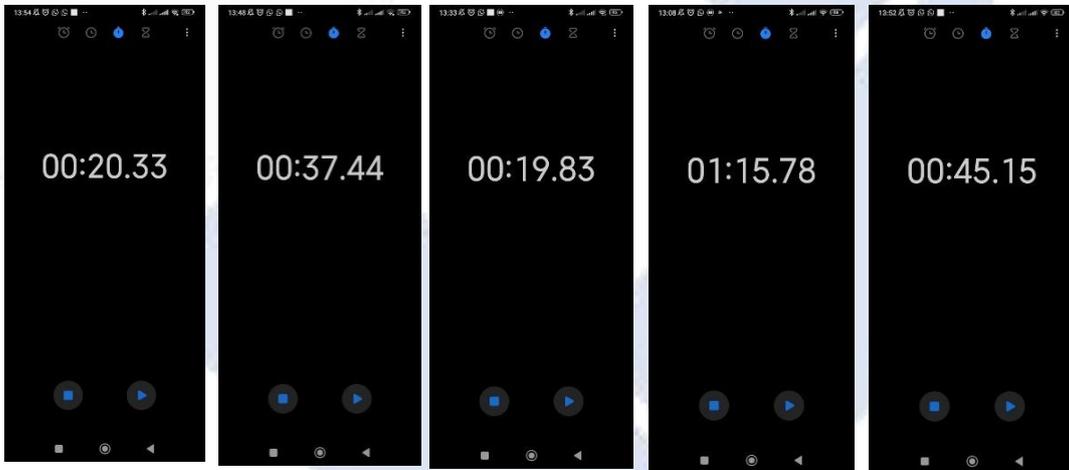


Lampiran 5 Pengolahan Data MRR

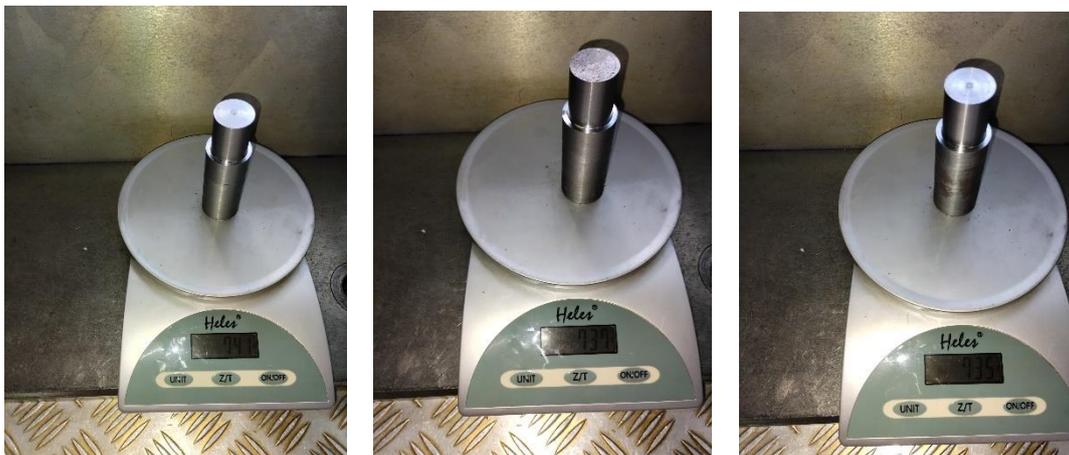
Massa BK Awal



Waktu Pemesinan



Massa BK Akhir



Lampiran 6 Proses Pemesinan



Lampiran 7 Program Pemesinan

Program Spesimen Uji 2



Program Spesimen Uji 3



Lampiran 8 Sertifikat Material ST 41



PT. GROWTH SUMATRA INDUSTRY
 Head Office / Factory : Jln. K.L. Yos Sudarso Km 10 - Medan,
 Phone : (061) 685 1989 (7 lines) Fax : (061) 685 1474, 685 5779.

Customer : RK8267XG

Commodity : Cold Drawn Steel Round Bars

Specification : SGD 400 - D = SS 41

Certification No : 018/AS/January 9/2025/GS

Date Of Issue : 09 Jan 25

MILL TEST CERTIFICATE

SIZE (mm x m)	Heat No.	Quantity (pcs)	Test Date	Chemical Composition (%)					Mechanical Properties					
				C	Si	Mn	P	S	Yield (N/mm ²)	Tensile (N/mm ²)	Elongation %	Bending Property Bend Angle	Insidle Radius	Bend Test
2 IN x 6 M	5A240733	240	03/01/25	0.17	0.20	0.68	0.03	0.03	0	610	0.00	180°	3.5 x D	PASS
	6A241124		02/01/25	0.16	0.17	0.57	0.02	0.02	0	610	0.00			
	6A241131		06/01/25	0.14	0.19	0.58	0.03	0.03	0	620	0.00			
	2E240786		04/01/25	0.18	0.20	0.65	0.03	0.03	0	612	0.00			
	6A241119		04/01/25	0.17	0.23	0.66	0.03	0.03	0	600	0.00			
2412475			07/01/25	0.18	0.13	0.38	0.03	0.02	0	668	0.00			
3A240740			03/01/25	0.18	0.24	0.67	0.03	0.03	0	659	0.00			

Approved By:

 Kabang Quality Control
 Tonggan Sipahutar

Prepared By:





Galaxy Note10 Lite

Lampiran 9 Poster



PEMBIMBING 1
YUDI OKTRIADI S.T.R., M.ENG.

DEVFRANS PASA

PEMBIMBING 2
ZULFITRIYANTO. S.S.T., M.T.



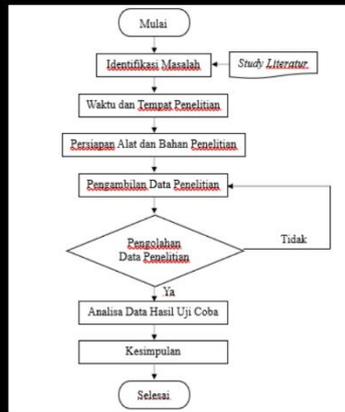
PROYEK AKHIR TAHUN 2025

OPTIMASI PARAMETER TERHADAP PENGUJIAN KEBULATAN DAN MRR MENGGUNAKAN BAJA ST41 PADA MESIN CNC BUBUT DENGAN METODE TAGUCHI

LATAR BELAKANG

Penelitian ini berfokus pada optimasi parameter pemesinan di proses bubut CNC pada baja ST 41 untuk mendapatkan kebulatan dan Laju Pembuangan Material (MRR) yang optimal. menggunakan metode Taguchi dengan orthogonal array L9, penelitian ini secara sistematis mencari pengaruh kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman pemakanan, menggunakan Analisis Variansi (ANOVA) untuk mengidentifikasi signifikansi setiap parameter

DIAGRAM ALIR



Hasil Pengujian MRR dan Kebulatan

Nomor Spesimen	MRR mm ³ /s	Kebulatan (µm)
1.	156,271	10,833
2.	399,675	10,500
3.	656,958	17,166
4.	293,999	12,166
5.	593,238	8,833
6.	353,842	12,833
7.	423,579	7,330
8.	260,883	8,666
9.	587,430	13,333

Tabel Variasi Parameter

VARIABEL		
Cutting Speed	Feedrate	Depth of Cut
110	0,2	0,5
110	0,3	1
110	0,4	1,5
120	0,2	1
120	0,3	1,5
120	0,4	0,5
130	0,2	1,5
130	0,3	0,5
130	0,4	1

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, telah didapatkan nilai optimum untuk variabel kebulatan dan Material Removal Rate (MRR). Untuk kebulatan, variabel yang paling berpengaruh adalah feedrate (gerak makan) dengan kontribusi 57,277%. Kombinasi parameter optimal untuk kualitas kebulatan terbaik yaitu, cutting speed 130 m/min (Level 3), feedrate 0,3 mm/rev (Level 2), dan depth of cut 1,5 mm (Level 3). Nilai ketidakbulatan terkecil adalah sebesar 7,33 µm. Sementara itu, untuk MRR, variabel yang paling signifikan adalah depth of cut (kedalaman pemakanan) dengan kontribusi 61,165%. Pengaturan optimal untuk mencapai MRR tertinggi sebesar 689,274 mm³/s adalah cutting speed 130 m/min (Level 3), feedrate 0,4 mm/rev (Level 3), dan depth of cut 1,5 mm (Level 3).

Lampiran 10 Pengecekan Plagiasi Menggunakan Turnitin

Devrans Pasa

OPTIMASI PARAMETER TERHADAP PENGUJIAN KEBULATAN DAN MRR MENGGUNAKAN BAJA ST 41 PADA MESIN CNC BUB...

-  Proyek Akhir 2025 D4
-  PA D4 2025
-  Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Document Details

Submission ID

trn:oid::1:3300203722

Submission Date

Jul 22, 2025, 7:31 AM GMT+7

Download Date

Jul 22, 2025, 7:43 AM GMT+7

File Name

Makalah_Proyek_Akhir_Devrans_2025_fix.docx

File Size

7.3 MB

108 Pages

16.046 Words

90,299 Characters

10% Overall Similarity

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

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 0%  Publications
- 2%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

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

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

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 0%  Publications
- 2%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

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

	Internet	
repository.polman-babel.ac.id		10%

Lampiran 11 Form Bimbingan Proyek Akhir

FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2024...1.2025			
JUDUL	Optimasi Parameter Terhadap Pengujian Keuletan Jarak MRR Menggunakan Baja ST 41 Pada Mesin CNC Bubut Dengan Metode Taguchi		
Nama Mahasiswa	Devyans Pasa NIM: 1042236		
Nama Pembimbing	1. <u>Yudi Olanadi, S.T.P.M. Eng</u> 2. <u>Zulfatriyanto, S.S.T.M.T.</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	10/02-2025	babak bk perantara.	
2	21/02-2025	babak 1	
3	27/02-2025	Program Cnc	
4	17/04-2025	Monitoring 1	
5	07/05-2025	bab 1-3	
6	15/05-2025	Program cnc	
7	15/05-2025	Program cnc	
8	02/06-2025	Pengukuran Keuletan	
9	30/06-2025	Olah Data BAB IV	
10			

Catatan:

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

Lampiran 12 *Form Monitoring Proyek Akhir*

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2025	
JUDUL		Optimalisasi Parameter Terhadap Pengujian Kekuatan dan MRR Penggunaan Baja S1 41 pada Mesin CNC Bubut dengan Metode Taguchi	
Nama Mahasiswa		1. <u>Reyhanus Bara</u> /NIM: <u>1042236</u> 2. /NIM: 3. /NIM: 4. /NIM: 5. /NIM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1	17/04-2025	BAB 1	
1	17/04-2025	BAB 1	
2	02/06-2025	BAB 1-3 - (55%)	
2	02/06-2025	BAB 1-3	
2		BAB 4-5	

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

Mengetahui		
Pembimbing 1  (Xudi Oktandi)	Pembimbing 2  (Zelfitryandi)	Pembimbing 3 (.....)

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