

**VARIASI PARAMETER PROSES TERHADAP MRR DAN
PENGUJIAN KEBULATAN BENDA KERJA DENGAN
MESIN CNC BUBUT PADA PROSES *FINISHING*
BAJA SKD-11 MENGGUNAKAN RSM**

PROYEK AKHIR

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



Disusun oleh:

Anggi Saputra NIM: 1042034

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2024**

LEMBAR PENGESAHAN

VARIASI PARAMETER PROSES TERHADAP MRR DAN PENGUJIAN KEBULATAN BENDA KERJA DENGAN MESIN CNC BUBUT PADA PROSES *FINISHING* BAJA SKD-11 MENGGUNAKAN RSM

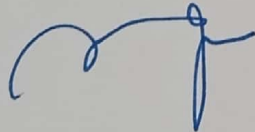
Oleh:

Anggi Saputra / 1042034

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

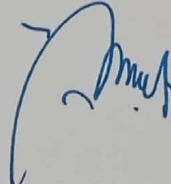
Menyetujui,

Pembimbing 1



(Zaldy Kurniawan, S.S.T., M.T.)

Pembimbing 2



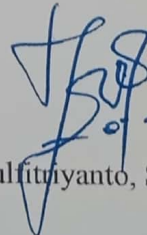
(Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng.)

Penguji 1



(Erwansyah, S.S.T., M.T.)

Penguji 2



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

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Anggi Saputra NIM: 1042034

Dengan Judul : Variasi Parameter Proses Terhadap MRR dan Pengujian
Kebulatan Benda Kerja Dengan Mesin CNC Bubut pada Proses *Finishing* Baja
SKD-11 Menggunakan RSM

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

Sungailiat, 25 Januari 2024

Nama Mahasiswa
1. Anggi Saputra

Tanda Tangan



.....

ABSTRAK

Dalam industri manufaktur, mesin CNC Turning sangat berperan dalam pembuatan komponen-komponen yang membutuhkan akurasi dan kerumitan yang tinggi. Keberhasilan dunia manufaktur untuk meningkatkan proses produksi sangat dipengaruhi oleh peralatan mesin yang digunakan. SKD-11 memiliki tingkat ketahanan aus yang tinggi, keuletan yang baik, sehingga bagus dan tepat untuk komponen yang membutuhkan presisi dan daya tahan yang tinggi. *Respon Surface Methode* (RSM) *Box Behnken Design* dapat digunakan pada proses optimasi di mana memiliki tiga variabel yang dapat memprediksi nilai optimum yang terbaik. Dalam penelitian ini variabel gerak makan dan kedalaman pemakanan yang menjadi variabel signifikan atau berpengaruh terhadap MRR, kemudian dari hasil analisis Anova untuk kebulatan, ketiga faktor tersebut tidak berpengaruh pada kebulatan, namun ada satu faktor yang hampir mempengaruhi kebulatan yaitu kedalaman pemakanan. Dari hasil analisis didapat nilai optimasi untuk kecepatan potong 286,238 m/min, gerak makan 0,19751 mm/rev, kedalaman pemakanan 0,12486 mm, kemudian untuk kebulatan nilai optimal pengujian ini adalah *VC* 234,784 m/menit, *feeding* 0,127 mm/rev dan kedalaman pemakanan 0,18 mm serta prediksi nilai respon adalah sebesar 13,05 μm .

Kata kunci: CNC; SKD11; *Response Surface Methodology*; MRR; Kebulatan.

ABSTRACT

In the manufacturing industry, CNC Turning machines play a role in the manufacture of components that require high accuracy and complexity. The success of the manufacturing world to improve the production process is greatly influenced by the machine tools used. SKD-11 has a high level of wear resistance, good ductility, so it is good and right for components that require high precision and durability. Response Surface Method (RSM) Box Behnken Design's can be used in the optimization process where it has three variables that can predict the best optimum value. In this study the variables of eating motion and depth of nutrition are significant variables or affect MRR, then from the results of Anova's analysis for roundness, these three factors have no effect on roundness, but there is one factor that almost affects roundness, namely the depth of nutrition. From the results of the analysis, optimization values were obtained for cutting speed 286.238 m / min, feeding motion 0.19751 mm / rev, feeding depth 0.12486 mm, then for roundness the optimal value of this test is VC 234.784 m / min, feeding 0.127 mm / rev and feeding depth 0.18 mm and prediction of response value is 13.05 μ m.

Keywords: CNC; SKD11; Response Surface Methodology; MRR; Roundness.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh. Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan taufiq dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyusun laporan proyek akhir ini dengan Judul “Variasi Parameter Proses Terhadap MRR dan Pengujian Kebulatan Benda Kerja Dengan Mesin CNC Bubut pada Proses *Finishing* Baja SKD-11 Menggunakan RSM” dan dapat menyelesaikan Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya, serta semoga semua umatnya senantiasa dapat menjalankan syari'at-syari'atnya, Aamiin.

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

Sehubungan dengan itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

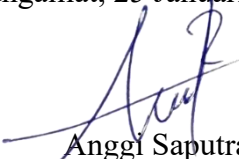
1. Ibunda dan Ayahanda tercinta serta seluruh keluarga yang dengan penuh keikhlasan dan kesungguhan hati memberikan bantuan moral dan spiritual yang tak ternilai harganya.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. Selaku Direktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah banyak memberikan kemudahan dalam menyelesaikan pendidikan.
3. Bapak Zaldy Kurniawan, S.S.T., M.T. dan Bapak Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng. Selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan memberi saran-saran dalam pembuatan dan penyusunan laporan proyek akhir ini.

4. Dosen dan Staf Pengajar di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah mendidik, membina dan mengantarkan penulis untuk menempuh kematangan dalam berfikir dan berperilaku.
5. Bapak Ahmad Afriadi yang membantu penulis dalam menjalankan mesin CNC.
6. Teman-teman seperjuangan dan semua pihak yang telah memberikan bantuannya.
7. Sahabat-sahabat yang selalu memberikan support selama ini dan mitra kerja penulis selama mengerjakan proyek akhir ini yang selalu berjuang bersama-sama.
8. Herda Tantri C. yang membantu dan mensupport selama menjalankan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan proyek akhir ini masih jauh dari sempurna dikarenakan penulis adalah manusia biasa yang tidak luput dari kesalahan. Karena yang benar hanya datang dari Allah SWT dan yang salah datang dari penulis sendiri. Oleh karena itu, sangat diharapkan segala petunjuk, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar dapat menunjang pengembangan dan perbaikan penulis selanjutnya.

Besar harapan penulis makalah tugas akhir dan alat yang dibuat ini dapat memberikan manfaat bagi pihak yang berkepentingan pada khususnya bagi perkembangan ilmu teknologi pada umumnya.

Sungailiat, 25 Januari 2024



Anggi Saputra

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Mesin Bubut (<i>Turning</i>) CNC.....	5
2.2.1 Mesin Bubut CNC.....	6
2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Bubut <i>CNC Training Unit 2 Axis</i>	7

2.3	Parameter Mesin Bubut	7
2.4	Pahat Carbide	8
2.5	Klasifikasi Baja SKD-11	11
2.6	<i>Material Removal Rate</i> (MRR)	12
2.7	Kebulatan.....	13
2.7.1	Pengukur Kebulatan	15
2.7.2	Parameter kebulatan	16
2.7.3	Standar Toleransi.....	18
2.8	Variabel Proses	19
2.8.1.	Kecepatan Potong (<i>Cutting speed</i>).....	19
2.8.2.	Kedalaman Pemotongan (<i>depth of cut</i>)	20
2.8.3.	Gerak Makan.....	21
2.9	<i>Respon Surface Methodology</i>	21
BAB III		30
METODOLOGI PENELITIAN.....		30
3.1.	Diagram Alir Penelitian (<i>Flowchart</i>)	30
	30
3.2.	Identifikasi Masalah	31
3.3.	<i>Design</i> Percobaan	31
3.3.1.	Variabel Proses	33
3.3.2.	Variabel Tetap.....	33
3.3.3.	Variabel Respon	33
3.4.	Alat dan Bahan Penelitian	34
3.4.1.	Material	34
3.4.2.	Mesin CNC Bubut Mori Seiki NLX2500Y	34

3.4.3.	Timbangan Digital.....	35
3.4.4.	Dial Indikator dan V-Block	36
3.4.5.	Alat Potong / Pahat <i>Carbide</i>	36
3.5.	Pengambilan Data Penelitian	37
3.5.1.	Persiapan Alat Potong	37
3.5.2.	Persiapan Spesimen Uji.....	37
3.5.3.	Memasukan Program CNC	37
3.5.4.	Proses pembubutan pada mesin CNC	38
3.5.5.	Pengujian Kebulatan dan MRR.....	39
3.6.	Pengolahan Data Penelitian.....	42
3.7.	Analisa Data Hasil Penelitian.....	42
3.8.	Kesimpulan.....	42
BAB IV	43
HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1.	Hasil Pengujian.....	43
4.2.	Data Nilai <i>Material Removal Rate</i>	43
4.2.1.	Perhitungan <i>Material Removal Rate</i>	45
4.3.	Data Nilai Kebulatan	46
4.4.	Pengolahan Data.....	54
4.4.1.	Uji Normalitas.....	54
4.4.2.	Sampel Analisis Varian (<i>Anova</i>).....	55
4.4.3.	Persamaan Second Order	60
4.4.4.	Uji <i>Lack of Fit</i> (Ketidaksesuaian Persamaan Regresi).....	67
4.4.5.	Analisis <i>Coefficients</i> Determinasi	68
4.4.6.	Menetapkan Data <i>Stationary-Point</i>	69

4.4.7.	Menetapkan Nilai Titik Optimal dari Faktor X1, X2 dan X3	70
4.4.8.	Menetapkan Nilai Prediksi Respon Pada <i>Stationary-Point</i>	72
4.4.9.	Model Canonical	73
4.4.10.	Grafik Permukaan <i>Plot</i>	74
BAB V.....		79
KESIMPULAN DAN SARAN.....		79
5.1.	Kesimpulan.....	79
5.2.	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....		80



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Alat Potong Karbida.....	10
Tabel 2. 2 Klasifikasi Baja Karbon	12
Tabel 2. 3 Anova Regresi Berganda (Park, 1996).....	28
Tabel 3. 1 Desain Percobaan Dalam Bentuk Code	31
Tabel 3. 2 Desain Eksperimen.....	32
Tabel 3. 3 Spesifikasi Timbangan Digital Type OHAUS.....	35
Tabel 4. 1 Data Hasil Nilai Material removal rate	44
Tabel 4. 2 Data Hasil Selisih antara Massa Awal dan Akhir Spesimen Uji	45
Tabel 4. 3 Nilai Ketidakbulatan Setiap Posisi Dari Setiap Spesimen Uji	52
Tabel 4. 4 Nilai Ketidakbulatan Setiap Spesimen Uji.....	53
Tabel 4. 5 Analisis Varian (Anova) MRR.....	56
Tabel 4. 6 Analisis Varian (Anova) Kebulatan	58
Tabel 4. 7 Model Summary	68
Tabel 4. 8 Model Summary	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Gerakan Sumbu X dan Z pada Mesin Bubut.....	7
Gambar 2.2 Insert dan Holder Bubut CNC.....	9
Gambar 2. 3 Posisi Pengukuran Benda Uji Hasil Bubutan (Ariyanto & Husman, 2018)	14
Gambar 2. 4 Toleransi Untuk Geometrik Kebulatan.....	14
Gambar 2. 5 Pengukur Kebulatan 2 Sensor	15
Gambar 2. 6 Pengukur Kebulatan 3 Sensor	16
Gambar 2. 7 Grafik Polar 4 Jenis Lingkaran Untuk Menentukan Parameter Kebulatan	17
Gambar 2. 8 Tabel 2 Harga Batas Tingkat Diameter Nominal Sampai Dengan 500 mm	18
Gambar 2. 9 Tabel 2 Harga Batas Tingkat Diameter Nominal Sampai Dengan 500 mm	19
Gambar 2. 10 Grafik Respons Surface (Montgomery, 2020)	22
Gambar 2. 11 Box–Bekhen Design Untuk 3 Faktor. (Purwanti, et al., 2013).....	23
Gambar 2. 12 Respon Permukaan dan Plot Contour Pada Posisi Maximum Montgomery (2020)	25
Gambar 2. 13 Respon Permukaan dan Plot Contour Pada Posisi Minimum Montgomery (2020)	25
Gambar 2. 14 Respon Permukaan dan Plot Contour Pada Saddle-point Montgomery (2020)	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 3. 2 Ukuran Spesimen uji	34
Gambar 3. 3 Mesin CNC Bubut Mori Seiki NLX2500Y	35
Gambar 3. 4 Timbangan Digital Type OHAUS	35
Gambar 3. 5 Dial Indikator dan V-Block	36
Gambar 3. 6 Pahat Insert Carbide Bubut DNMG 150404-MA	36
Gambar 3. 7 Spesimen Uji	37

Gambar 3. 8 Proses Pemasukan Program CNC	38
Gambar 3. 9 Pengambilan Data Kebulatan	40
Gambar 3. 10 Tabel 2 Harga Batas Tingkat Diameter Nominal Sampai Dengan 500 mm	40
Gambar 3. 11 Pengambilan Data MRR.....	41
Gambar 4. 1 Grafik Polar Pengukuran Kebulatan Spesimen Uji 1	46
Gambar 4. 2 Grafik Polar Kebulatan Spesimen Uji 2	47
Gambar 4. 3 Grafik Polar Kebulatan Spesimen Uji 3	47
Gambar 4. 4 Grafik Polar Kebulatan Spesimen Uji 4.....	47
Gambar 4. 5 Grafik polar Kebulatan Spesimen Uji 5	48
Gambar 4. 6 Grafik Polar Kebulatan Spesimen Uji 6.....	48
Gambar 4. 7 Grafik polar kebulatan Spesimen Uji 7	48
Gambar 4. 8 Grafik Polar Kebulatan Spesimen Uji 8	49
Gambar 4. 9 Grafik polar Kebulatan Spesimen Uji 9	49
Gambar 4. 10 Grafik Polar Kebulatan Spesimen Uji 10.....	49
Gambar 4. 11 Grafik Polar Kebulatan Spesimen Uji 11	50
Gambar 4. 12 Grafik Polar Kebulatan Spesimen Uji 12.....	50
Gambar 4. 13 Grafik Polar Kebulatan Spesimen Uji 13.....	50
Gambar 4. 14 Grafik polar spesimen Uji 14	51
Gambar 4. 15 Grafik Polar Spesimen Uji 15	51
Gambar 4. 16 Grafik Probability Plot of MRR.....	54
Gambar 4. 17 Grafik Probability Plot of Kebulatan	55
Gambar 4. 18 Grafik <i>Surface plot</i> MRR Antara Kecepatan Potong (A) Dan Gerak Makan (B)	74
Gambar 4. 19 Grafik <i>Surface plot</i> MRR Antara Kecepatan Potong (A) Dan Kedalaman Pemakanan (C).....	75
Gambar 4. 20 Grafik <i>Surface plot</i> MRR Antara Gerak Makan (B) Dan Kedalaman Pemakanan (C).....	76
Gambar 4. 21 Grafik <i>Surface plot</i> Kebulatan Antara Kecepatan Potong (A) Dan Gerak Makan (B).....	77

Gambar 4. 22 Grafik *Surface plot* Kebulatan Antara Kecepatan Potong (A) Dan Kedalaman Pemakanan (C)..... 77

Gambar 4. 23 Grafik *Surface plot* Kebulatan Antara Gerak Makan (B) Dan Kedalaman Pemakanan (C)..... 78



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	83
Lampiran 2 Analisis MRR Menggunakan Software Minitab (19).....	84
Lampiran 3 Analisis Kebulatan Menggunakan Software Minitab (19)	85
Lampiran 4 Penimbangan Berat Awal dan Akhir Spesimen Uji	86
Lampiran 5 Pengambilan Data Kebulatan	90
Lampiran 6 Sertifikat Material SKD 11	92
Lampiran 7 Waktu Pengerjaan	93
Lampiran 8 Program CNC	96
Lampiran 9 Histori Pengerjaan Pemesinan	99
Lampiran 10 Poster	100

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kemajuan teknologi di bidang industri telah berkembang dengan sangat cepat. Hal ini terjadi karena kerumitan bentuk dan tingkat akurasi yang tinggi. Karena tuntutan profil yang kompleks dan material yang sangat keras, banyak produk manufaktur saat ini sulit dibuat dengan menggunakan pemesinan konvensional. (Sihombing, 2022).

Dalam pemanfaatan teknologi ini sangat mungkin berdampak kepada masyarakat luas. Selain berdampak pada masyarakat secara keseluruhan, pemanfaatan teknologi juga berdampak pada industri kecil dan menengah, terutama yang masih menggunakan peralatan konvensional atau bahkan masih bekerja dengan tangan. Program produksi barang dan jasa memungkinkan menambah pemahaman tentang teknologi yang mendasar, mendetail, dan mendalam.

Teknologi komputer saat ini telah berkembang dengan sangat cepat. Komputer digunakan pada mesin perkakas seperti mesin bubut, mesin frais, mesin skrap, dan mesin bor. Hasil dari kombinasi teknologi komputer dan mekanik inilah yang kemudian dikenal sebagai CNC (*Computer Numerically Controlled*). Program yang langsung dikontrol oleh komputer digunakan untuk menjalankan sistem pengoperasian CNC. Secara umum, pembuatan mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah kombinasi mekanik dan komputer. Mesin perkakas CNC lebih baik dari mesin perkakas konvensional dalam hal ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), *fleksibilitas*, dan kapasitas produksi. Di era modern seperti saat ini, banyak industri mulai menggunakan mesin perkakas CNC daripada mesin perkakas konvensional.

Peralatan mesin produksi yang digunakan mempunyai pengaruh yang besar terhadap seberapa baik industri manufaktur meningkatkan proses produksinya (Rizk Fahrezi, Zaldy Kurniawan, 2022). Pahat digunakan untuk menghilangkan material dari permukaan benda kerja yang berputar selama proses

pemesinan pembubutan. Benda kerja yang berbentuk lurus, silindris, kerucut, melengkung, atau beralur dihasilkan selama proses pembubutan. Saat ini, penggunaan mesin bubut tidak hanya melibatkan penggunaan cairan pemotongan saja. (Dharmalasari, 2020).

Pada proses pengerjaan benda kerja, sasaran MRR yang efektif diinginkan adalah MRR yang tinggi, tetapi proses ini sangat berdampak terhadap waktu proses pengerjaan benda dan dapat meningkatkan harga produksi. Untuk mencapai hal ini, pengaturan parameter proses yang tepat diperlukan. Ini akan memungkinkan untuk mendapatkan nilai parameter yang paling besar dan kontribusi yang paling signifikan terhadap MRR. Putaran spindel disetel sebesar 420 *put/min*, *feeding* disetel sebesar 0,05 *mm/rev*, dan kedalaman disetel sebesar 2 mm untuk mencapai MRR maksimum benda kerja. (Sihombing, 2022).

Banyak bagian mesin, terutama bagian mesin atau peralatan berputar, memiliki penampang berbentuk bulat. Sangat penting bahwa komponen memiliki permukaan silindris yang bulat (sesuai toleransi yang ditentukan), karena ini akan mempengaruhi fungsinya. Salah satu jenis kesalahan bentuk (*geometrik*) adalah ketidakbulatan, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kesalahan bentuk lainnya. Suatu ketidakbulatan pasti akan terjadi karena komponen dengan kebulatan ideal sangat sulit untuk dibuat. (Yanis, 2010).

Semakin tinggi kecepatan putaran mesin dan kecepatan potong, serta semakin besar kedalaman pemotongan, semakin tinggi pula MRR yang di hasilkan. Semakin tinggi MRR maka akan menyebabkan keausan atau kerusakan pada peralatan. (Erick wiratama, zaldy kurniawan, 2021). Dari studi tentang pengaruh kecepatan spindel dan laju umpan pada kekasaran permukaan baja paduan karbon ini, dapat disimpulkan bahwa penyelesaian permukaan yang lebih baik dapat dicapai dengan memutar baja paduan karbon pada laju umpan rendah dan kecepatan spindel tinggi. (Kumar et al., 2012)

1.2. Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai optimum dan variabel apa yang berpengaruh terhadap kebulatan benda kerja baja SKD-11 pada proses *finishing* dengan *Respon Surface Methode* (RSM)?
2. Berapa nilai optimum dan variabel apa yang berpengaruh terhadap laju pemakanan material (MRR) baja SKD-11 pada proses *finishing* dengan *Respon Surface Methode* (RSM)?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai optimum dan variabel yang berpengaruh terhadap kebulatan benda kerja baja SKD-11 pada proses *finishing* dengan *Respon Surface Methode* (RSM).
2. Mengetahui nilai optimum dan variabel yang berpengaruh terhadap laju pemakanan material (MRR) baja SKD-11 pada proses *finishing* dengan *Respon Surface Methode* (RSM).

1.4. Batasan Masalah

Berikut batasan topik penelitian ini agar pembahasan permasalahan tidak melenceng dan dapat terfokus untuk mencapai tujuan penelitian:

1. Menggunakan material SKD 11 dimensi $\varnothing 25 \times 100$ mm.
2. Menggunakan mesin CNC Bubut MORI SEIKI NLX 2500Y.
3. Menggunakan alat ukur yaitu timbangan digital, *v-block*, *dial indikator* 1/1000 dan jangka sorong.
4. Menggunakan Pahat *Insert Carbide* Bubut DNMG 150404-MA.
5. Parameter proses, yaitu Kecepatan potong $v_c = \text{high } 250$ m/min dan *low* 230 m/min, Gerak makan $f = \text{low } 0,14$ dan *high* 0,17 mm/rev. Kedalaman pemakan $a_p = 0,15$ dan 0,25.
6. Dalam penelitian ini penulis melakukan pengujian laju pemakanan material dan kebulatan material dengan memperhatikan variasi

kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman pemakanan sebagai parameter proses penelitian.

7. Metode RSM digunakan dalam penelitian ini untuk mengoptimasi laju pemakanan material dan kebulatan material.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Mendapatkan *setting* parameter yang tepat sehingga memperoleh kebulatan dan laju pemakanan material yang optimal dalam proses *finishing*.
2. Menjadi sumber referensi untuk penelitian selanjutnya tentang kebulatan dan laju pemakanan material dalam proses *finishing*.
3. Mempermudah dan membantu operator dalam pembubutan menggunakan mesin CNC dengan parameter yang tepat dan menghasilkan produk yang baik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada dasarnya jari-jari benda berbentuk silinder berbeda-beda. Kedalaman umpan pada proses pembubutan St.60 merupakan aspek terpenting untuk nilai kebulatan. Seting pemesinan yang ideal untuk mendapatkan nilai kebulatan terbaik adalah pada kecepatan potong 60 m/menit, gerak pemakanan 0,2 mm/rev, dan kedalaman pemakanan 0,125 mm (Sidi et al., 2013).

Menurut penelitian (Malik et al., 2019), dengan kontribusi gerak makan sebesar 77% dan sudut pemotongan primer sebesar 18%, gerak pemakanan merupakan elemen yang mempunyai pengaruh terbesar terhadap kualitas kebulatan. Sedangkan putaran spindel yang hanya menyumbang 3% dan kedalaman pemotongan yang menyumbang 1% merupakan variabel lain yang tidak terlalu berpengaruh. Sementara itu, jika pahat dipilih yang mempunyai sudut pemotongan primer yang besar dan gerakan pemakanan diatur pada kondisi rendah, keadaan ideal yang menghasilkan kebulatan yang baik akan tercapai.

Proses *CNC MORI SEIKI MV40-m* bertujuan untuk mencapai hasil *Material Removal Rate* yang tinggi namun, untuk melakukan hal ini, parameter proses *CNC MORI SEIKI MV40-m* yang tepat perlu ditetapkan, dalam penelitian (Parmadhika et al., 2021).

2.2 Mesin Bubut (*Turning*) CNC

Proses pembubutan merupakan salah satu dari berbagai macam proses pemesinan dimana proses pemesinan itu sendiri merupakan proses pemotongan logam yang tujuannya untuk mengubah bentuk benda kerja dengan pahat potong yang dipasang pada alat mesin. Dengan demikian, proses pembubutan dapat didefinisikan sebagai proses pemesinan yang biasanya dilakukan pada mesin bubut dimana pahat potong tunggal bergerak untuk memakan benda kerja yang berputar, dalam hal ini pahat potong tunggal adalah gerak potong dan gerak translasi yaitu dinamakan gerak makan.

Secara umum mesin bubut memiliki beberapa gerakan utama. Yang pertama adalah gerakan pemakanan pahat dengan jarak sejajar dengan sumbu benda kerja sehingga memakan permukaan luar benda kerja atau biasa dikenal dengan proses bubut datar. Lalu ada gerak induksi yang sama dengan pemesinan bubut datar, tetapi arah gerak pemakanan tegak lurus sumbu benda kerja atau gerak induksi ke arah sumbu benda kerja, gerak pemakanan ini biasa disebut proses pembubutan permukaan (*surface turning*). Yang terakhir adalah proses pembubutan tirus (*taper turning*), yang sebenarnya sama dengan proses pembubutan datar di atas, hanya saja jalur pahat membentuk sudut dengan sumbu benda kerja.

2.2.1 Mesin Bubut CNC

Secara umum mesin CNC adalah suatu mesin yang dioperasikan dengan sistem kendali yang disebut *Computer Numerical Control* (CNC), yang disimpan pada media penyimpanan dan diprogram secara abstrak. Prosesor mesin CNC mengatur motor servo yang menggerakkan pahat untuk menyelesaikan proses pemesinan dan menghasilkan produk yang sesuai dengan kode program yang dimasukkan. Benda kerja logam yang berbentuk silinder dibuat dengan menggunakan mesin bubut CNC. (Masalik & Susandi, 2022).

Saat ini, mesin CNC tingkat dasar terbagi menjadi dua kelompok: mesin CNC 2 sumbu atau mesin bubut (*lathe machine*), dan mesin CNC 3 sumbu atau mesin milling (*milling machine*). Mesin bubut CNC secara kasar terbagi menjadi dua jenis berikut:

1. Unit pelatihan mesin bubut (*CNC Training Unit* atau CNC TU).
2. Unit produksi mesin bubut (*CNC Production Unit* atau CNC PU).

Terdapat kesamaan prinsip kerja dari kedua mesin tersebut, tetapi cara mereka digunakan di lapangan yang membedakannya. Mesin CNC jenis Training Unit digunakan untuk pelatihan pemrograman dan pengoperasian dasar kemudian digunakan juga sebagai alat pekerjaan-pekerjaan yang ringan dengan bahan yang relatif sangat lunak. Mesin CNC yang dilengkapi dengan EPS (*External Programming System*) hanya dapat digunakan untuk pekerjaan ringan dengan bahan lunak. Namun, mesin CNC PU digunakan dalam produksi massal. Mesin ini

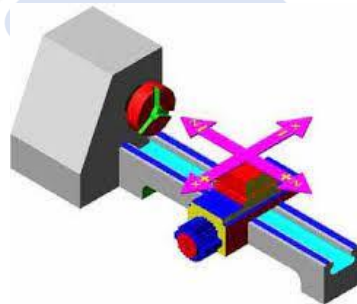
memiliki sensor tambahan, seperti sistem pembuka otomatis yang menggunakan prinsip kerja hidrolis dan pembuangan tatal.

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

Mesin bubut *CNC Training Unit 2 Axis* memiliki prinsip dasar dari gerakan yang sama dengan mesin *turning* konvensional, gerakan yaitu melintang dan memanjang dengan sistem koordinat yang terdiri dari sumbu X dan Z. Mesin *turning CNC Training Unit 2 Axis* juga memiliki prinsip kerja yang sama seperti mesin bubut *konvensional*, yaitu dengan kata lain benda kerja dipasang pada cekam yang bergerak sedangkan alat potong diam di tempat. Pada gambar berikut menunjukkan arah gerakan mesin bubut:

1. Arah gerakan melintang tegak lurus terhadap sumbu putar ditunjukkan dengan sumbu X.
2. Arah gerakan memanjang terhadap sumbu putar ditunjukkan dengan sumbu Z.

Berdasarkan fungsi dari sumbu mesin bubut *CNC Training Unit 2 Axis* bisa kita lihat pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Mekanisme Gerakan Sumbu X dan Z pada Mesin Bubut

2.3 Parameter Mesin Bubut

Tiga kriteria utama yang terlibat dalam pemesinan bubut: gerak umpan (*feed*), kecepatan *spindel* (*speed*), dan kedalaman potong (*depth of cut*). Gerakan memutar benda kerja disebut sebagai "gerakan pemotongan" (*cutting motion*), yang menunjukkan bahwa putaran primer dan kecepatan potong adalah tindakan yang

digunakan untuk mengikis benda kerja dengan pahat. Gerakan maju yang teratur pada alat akan mengakibatkan tersayatnya benda kerja. Gerakan ini disebut sebagai kecepatan pemakanan. (Damara & Budiman, 2019). Adapun parameter utama dalam proses pembubutan adalah:

Kecepatan potong (C_s) adalah lintasan pemotongan per satuan waktu, yang ditentukan oleh jenis benda kerja yang dibubut dan jenis pahat yang digunakan. Di bawah ini adalah tabel nilai input berdasarkan material benda kerja dan material pahat:

$$C_s = \frac{\pi d n}{1000} \quad \left(\frac{m}{menit} \right) \quad (2.1)$$

Dimana:

C_s = kecepatan potong ($m/menit$)

d = diameter BK (mm)

n = kecepatan putar BK (rpm)

Gerakan makan ($f = feed\ rate$) adalah jarak yang ditempuh pahat untuk setiap putaran benda kerja ($mm/menit$).

$$f = n \times f_t \times N_r \quad \left(\frac{mm}{menit} \right) \quad (2.2)$$

Dimana:

F = gerak makan ($mm/menit$)

n = kecepatan putar BK (rpm)

$f_t = feet\ per\ teeth$ (mm)

$N_r = Number\ of\ teeth$

Kedalaman potong ($a = depth\ of\ cut$) adalah tebal benda kerja yang dipotong pada setiap laju pemakanan (mm). (Sidi et al., 2013).

2.4 Pahat Carbide

Alat pemotong karbida yang lebih murah, yang sebagian besar dibuat menggunakan metode deposisi uap fisik (PVD) dan deposisi uap kimia (CVD), dipandang berpotensi menjadi pengganti sisipan keramik dan alat pemotong

(CBN). (Setiawan et al., 2022). Saat ini, pemotong karbida telah menggantikan banyak pemotong tipe HSS. Jenis alat potong karbida memiliki *vc* tiga sampai lima kali lebih tinggi dari *vc* alat potong jenis HSS. Alat potong jenis *carbide* memiliki kekerasan yang tinggi dalam suhu yang berbeda, konduktivitas termal yang tinggi, modulus yang tinggi, dan tahan terhadap keausan, karena itu membuat alat potong *carbide* menjadi alat potong yang efisien dan berguna. *Carbide*, atau biasa disebut *cemented carbide*, diproduksi dengan proses metalurgi serbuk. Proses produksi *cemented carbide* adalah dengan *sintering* atau HIP (*Hot Isostatic Pressing*), yang menggabungkan partikel-partikel Ti-3 carbide halus dengan bahan pengikat (*binder*). Hasil pengujian penggunaan mata pahat karbida menghasilkan serat permukaan yang lebih halus dan tingkat kekasaran yang lebih kecil secara visual dibandingkan mata pahat HSS. (Auly Fatkhur Hidayat et al., 2023).

Karbida pertama yang dikembangkan adalah karbida *tungsten*, yang melibatkan pembuatan bubuk karbida *tungsten* dengan pengikat logam yang sering menggunakan kobalt sebagai pengikat. Pengikat (*kobalt*) memasuki fase leleh, sedangkan bubuk logam keras tetap dalam bentuk padat karena titik lelehnya yang lebih tinggi. Pengikat dengan demikian menyemen atau mengikat massa butiran karbida untuk membentuk komposit matriks logam. Pisau karbida tersedia dalam ujung padat dan mata potong sisipan berlapis yang dibaut atau dikeraskan ke ujung badan alat/ujung tangkai pahat.



Gambar 2.2 *Insert dan Holder Bubut CNC*

Karbida baja dan karbida non-baja adalah dua kategori alat pemotong karbida. Karbida baja harus lebih tahan panas dan tahan terhadap keausan kawah, sedangkan karbida non-baja harus lebih tahan terhadap keausan *abrasif*. Karbida yang disemen baja digunakan untuk memotong bahan baja, sedangkan karbida non-baja digunakan untuk memotong bahan non-baja, khususnya besi tuang dan logam non-besi. *Tungsten carbide* saja, dengan *kobalt* yang bertindak sebagai pengikat, membentuk karbida non-baja. Karbida baja dilengkapi dengan karbida *titanium* (TiC) dan *tantalum* (TaC) selain karbida *tungsten* dan *kobalt*. Karbida yang berkelas baja dan non-baja dikategorikan ke dalam Kelas C. Kelas C1 sampai C4 dalam kategori karbida ini bukan karbida baja, sedangkan kelas C5 sampai C8 adalah karbida baja.

Sementara itu, *International Organization for Standardization* (ISO) telah mengembangkan standar untuk mengklasifikasikan alat potong karbida sesuai tabel berikut:

Tabel 2. 1 Klasifikasi Alat Potong Karbida

Kode ISO		Kode Warna
P	Biru	Untuk memotong material umum dan membentuk serpihan panjang seperti baja karbon dan baja paduan rendah.
M	Kuning	Untuk memotong logam besi seperti baja tahan karat, yang membentuk tatal panjang dan pendek.
K	Merah	Untuk memotong logam besi, logam non besi dan bahan non logam yang membentuk bilah pendek, seperti besi tuang, kuningan dan lain-lain.

Tungsten karbida (WC+Co) yang dilapisi dengan bahan pelapis seperti *Titanium Oksida* (Al₂O₃), *Titanium Nitrida* (TiN), *Titanium Karbida* (TiC), dan *Titanium Karbonitrida* (TiCN), sering kali menjadi bahan pondasi perkakas karbida. Ada dua metode yang digunakan untuk menghasilkan pelapisan: Deposisi Uap Kimia (CVD) dan Deposisi Uap Fisik (PVD). Ikatan yang lebih kuat dihasilkan

oleh lapisan CVD (*Chemical Vapor Deposition*) dibandingkan dengan lapisan PVD (*Physical Vapor Deposition*). Selain berfungsi sebagai pelumas padat untuk mengurangi timbulnya panas dan gesekan selama pemotongan, bahan pelapis juga mencegah penyebaran. Pisau dilapisi dengan bahan pelapis yang dapat meningkatkan kekerasan dan daya tahan alat, sehingga mengurangi gesekan dan keausan.

Ada dua jenis pahat karbida: dilapisi dan tidak dilapisi. Saat ini, perkakas karbida berlapis merupakan dua pertiga dari seluruh perkakas karbida yang digunakan. Inilah tiga jenis pelapis karbida yang paling sering diaplikasikan pada bilah karbida. Gesekan antara pemotong dan benda kerja dapat dikurangi dengan menggunakan lapisan *Titanium Nitrida*, atau TiN. Bahan pelapis dan bahan yang akan dilapisi dapat memiliki ikatan yang lebih kuat berkat lapisan TiC atau *Titanium Karbida*. Lapisan aluminium oksida, atau Al₂O₃, dapat membuat alat pemotong lebih tahan aus. Deposisi Uap Kimia (CVD) atau Deposisi Uap Fisik (PVD) biasanya digunakan untuk proses pelapisan karbida.

2.5 Klasifikasi Baja SKD-11

Baja SKD 11 merupakan baja perkakas yang banyak digunakan dalam industri manufaktur antara lain *cutting, stamping, stamping, punching, shear blades, dies* dan lain-lain. Tentunya penerapan baja harus memiliki struktur yang keras, kuat dan tahan terhadap gaya-gaya luar yang menyebabkan perubahan atau *deformation*. Untuk meningkatkan sifat tersebut maka baja harus diberi perlakuan panas dengan variasi *temperatur austenizing, quenching dan tempering* 400 °C, 550 °C dan 650 °C. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekerasan dan struktur mikro hasil *quenching*. Langkah pertama adalah memotong material baja SKD 11, dilanjutkan dengan *austenisasi* hingga 1050 °C, selanjutnya proses *quenching* (pendinginan) dalam lingkungan berair, dan melanjutkan berbagai proses *quenching* pada suhu 400 °C dan 550 °C dan 650 °C. Pada akhir perlakuan panas dilakukan uji kekerasan dan uji struktur mikro baja SKD 11. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai kekerasan sebesar 56,5 HRC pada *tempering* 400 °C, 550 °C dan 650 °C. 52.9HRC dan 39.1HRC. Dari sini dapat disimpulkan bahwa

kekerasan baja SKD 11 semakin rendah temperatur *temperating*-nya. (Saputra et al., 2020). Berikut struktur mikro yang terbentuk terdiri dari perlit dan martensit.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis dan Kelas	Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (kg/mm)	Kekuatan Tarik	Perpanjangan (kg/mm ³)	Kekerasan Brinnel	Penggunaan
Baja Karbon Rendah	0.8	18-28	12-36	40-30	95-100	pelat tipis
Baja Karbon Rendah	0.12-	36-42	36-42	40-30	80-120	batang, kawat konstruksi umum
	0.20	38-48	38-48	36-24	100-130	
	0.20-0.20	44-55	44-55	32-22	112-145	
Baja Karbon Keras	0.30-0.40	50-60	50-60	30-17	140-170	alat-alat mesin perkakas
	0.40-0.50	58-70	58-70	26.14	160-200	

2.6 Material Removal Rate (MRR)

Proses perubahan suatu benda kerja menjadi suatu produk sesuai dengan bentuk desainnya disebut laju pelepasan material, atau *material removal rate* (MRR) atau pemotongan material baja. Akibatnya volume bagian benda kerja yang dipotong akan menghasilkan bentuk serpihan atau jenis *chip* tertentu. (Pratama, 2022). Jumlah massa benda kerja yang hilang per satuan waktu dikenal sebagai *Material Removal Rate* (MRR), dan produktivitas proses merupakan indikator langsung dari MRR. (Septiaji, 2016).

Dalam penelitian (Miftah et al., 2023) maksimasi material removal rate adalah pada kombinasi spindle speed 1400 rpm, feed rate 15 mm/min, dan depth of

cut 0,7 mm dengan nilai surface roughness ($R_a = 0,395 \mu\text{m}$) dan material removal rate ($\text{MRR} = 105 \text{ mm}^3 / \text{min}$)

Saat memanfaatkan pembubutan CNC ke benda kerja mesin, hasil yang diinginkan adalah MRR yang tinggi. Di sisi lain, proses yang lambat akan memperpanjang waktu pemrosesan produk dan meningkatkan biaya produksi. (Sihombing, 2022).

Berikut adalah rumusan *material removal rate*:

$$\text{MRR} = \frac{\text{volume material yang terbuang (MM}^3\text{)}}{\text{waktu proses mesin (s)}} \quad (2.3)$$

Rumus volume material adalah:

$$V = \frac{m}{p} \quad (2.4)$$

Dengan keterangan:

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

V : volume material (mm^3)

m : massa material (gram)

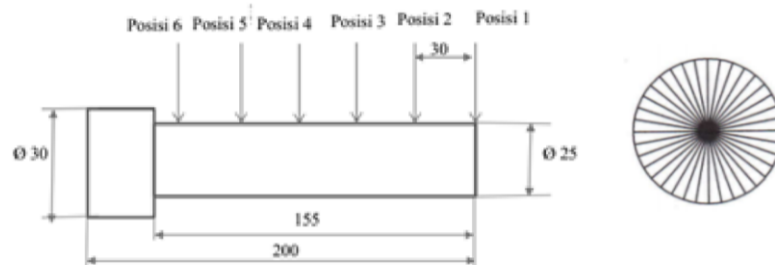
p : massa jenis material (g/mm^3)

2.7 Kebulatan

Keteraturan jarak (jari-jari) antara pusat dan titik terluar disebut kebulatan. Memeriksa suatu benda secara dekat dengan menggunakan alat ukur, pengukuran kebulatan adalah teknik yang digunakan untuk mengetahui kebulatan suatu benda, atau dengan kata lain, menilai apakah benda itu benar-benar bulat atau tidak. (Eko Jadmiko, 2019). Karena sangat sulit untuk membuat komponen dengan kebulatan sempurna, ketidakbulatan harus diperbolehkan dalam batas tertentu berdasarkan tujuan penggunaan komponen tersebut. Kebulatan memiliki peran penting dalam hal mendistribusikan beban secara merata, memperkirakan masa pakai komponen, memperkirakan kondisi kepatuhan, memperkirakan presisi rotasi, dan membantu pelumasan. (Shodikin, Adhy Prayitno, 2015).

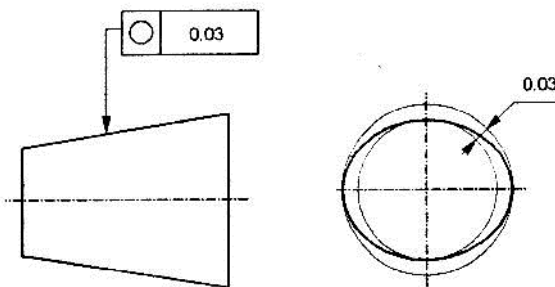
Dalam Penelitian (Pranowo Sidi, Muhammad Thoriq Wahyudi. 2013), Faktor terpenting dalam proses pembubutan St.60 menurut nilai kebulatan adalah kedalaman pemakanan. Kondisi pemesinan yang optimal untuk mencapai nilai

kebulatan terbaik adalah kecepatan potong 60 m/menit dan gerak pemakanan 0,2 mm/rev, kedalaman pemakanan 0,125 mm.



Gambar 2. 3 Posisi Pengukuran Benda Uji Hasil Bubutan (Ariyanto & Husman, 2018)

Profil bola umumnya dianggap bulat sempurna jika jarak dari titik pusat ke semua titik di dalam bentuk geometri sama. Ketidakbulatan yang didefinisikan sebagai variasi jarak antara titik-titik pada bentuk geometris dan titik pusatnya, profil bulat dianggap bulat tidak sempurna. Daerah toleransi pada luas penampang yang dikelilingi oleh dua lingkaran konsentris dengan selisih jari-jari sama dengan nilai toleransi inilah yang disebut *ISO/R 1101* sebagai toleransi kebulatan.



Gambar 2. 4 Toleransi Untuk Geometrik Kebulatan

(sumber Yanis, 2010)

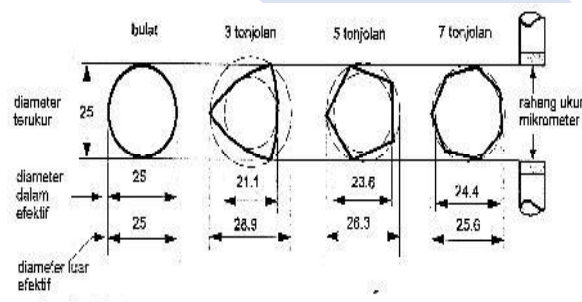
Ada beberapa hal yang dapat menjadi penyebab terjadinya ketidakbulatan suatu komponen yang dikerjakan adalah sebagai berikut:

- Keausan yang terjadi pada bantalan poros utama mesin bubut atau gerinda.
- Pembengkokan yang disebabkan oleh tekanan pemotongan yang cukup kuat pada benda kerja atau peralatan mesin.

- Penempatan dudukan senter salah.
- Tekanan chuck atau penahan pada bagian yang berdinding tipis.
- Pada saat proses pemotongan, terjadi obrolan.
- Terjadi cacat pada cetakan selama proses drafting atau ekstrusi.
- Saat menggiling tanpa obor, bahan tersebut menunjukkan hilangnya kebulatan.

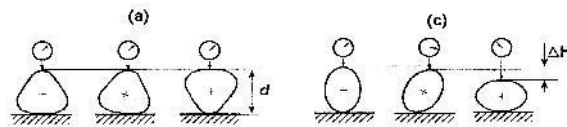
2.7.1 Pengukur Kebulatan

Nilai kebulatan dapat diukur dengan berbagai macam alat ukur. Anda dapat menggunakan alat ukur untuk pengukuran ini, yang ditunjukkan dengan jumlah sensor pada perangkat tersebut. Sensor alat ukur ini dapat dikategorikan ke dalam beberapa jenis berbeda, seperti mikrometer, yang memiliki dua sensor yang terpisah 180 derajat. Salah satu cara untuk melakukannya adalah dengan menggunakan mikrometer untuk mengukur diameter sisi terdekat dan terjauh suatu poros untuk memastikan apakah poros tersebut tidak bulat atau tidak. Untuk mengetahui apakah suatu poros tidak bulat, salah satu caranya adalah dengan mengukur diameter sisi yang terjauh dan sisi yang paling dekat dengan menggunakan mikrometer. Namun mikrometer hanya dapat mengukur jika suatu poros dengan dua tonjolan beraturan (*elips*) pada penampangnya tidak bulat. Hal ini menghilangkan penggunaan mikrometer untuk poros dengan jumlah tonjolan ganjil. pengukuran kebulatan menggunakan alat dengan dua sensor, seperti terlihat pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5 Pengukur Kebulatan 2 Sensor

Cara lain untuk menentukan nilai non-kebulatan adalah dengan menggunakan alat pengukur kebulatan 3 sensor. Penguji kebulatan adalah contoh alat pengukur kebulatan tiga sensor; namun, blok v dan indikasi dial juga dapat digunakan untuk mengukur kebulatan dengan cara yang sama. Alat dial indicator, V-block, dan dial stand dapat digunakan untuk mengukur kebulatan suatu benda kerja poros guna menghitung nilai kebulatan benda kerja (Sidi et al., 2013). Pengukuran kebulatan menggunakan alat ukur tiga sensor, seperti terlihat pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Pengukur Kebulatan 3 Sensor

Menempatkan poros pada blok V dan memutarinya sambil memasang sensor jam pengukur memungkinkan seseorang untuk menentukan kebulatan poros. Dengan menggunakan mesin bubut CNC, analisis profil kebulatan digunakan untuk mengidentifikasi cacat geometris dalam pembuatan komponen. Ini adalah metode tradisional untuk menghitung kebulatan.

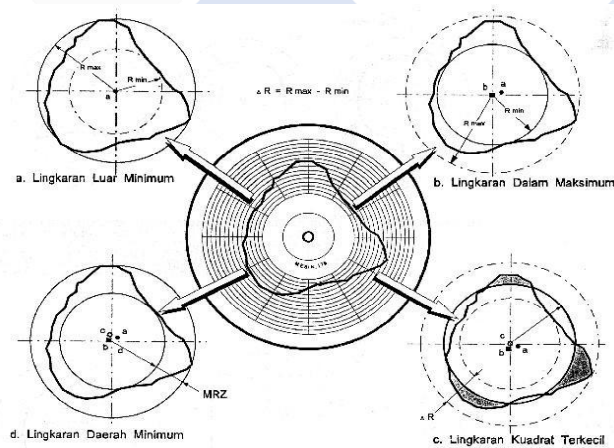
2.7.2 Parameter kebulatan

Peneliti harus memastikan parameter kebulatan untuk menyatakan derajat ketidakbulatan suatu benda pengukuran. Profil kebulatan, dalam kaitannya dengan lingkaran acuannya, dapat digunakan untuk menghitung parameter kebulatan. Nilai parameter kebulatan dalam contoh ini dapat dipastikan menggunakan salah satu dari empat tipe lingkaran referensi (Yanis, 2010).

- a. *Minimum Circumscribed Circle* merupakan lingkaran terkecil yang dapat dibuat tanpa memutus profil di luar profil kebulatan. Jarak radial dari lingkaran ke lekukan terdalam sama dengan ketidakbulatan.
- b. *Maximum Inscribed Circle* merupakan lingkaran terbesar yang dapat dibuat di dalam profil kebulatan tanpa memutuskannya. Jarak radial dari lingkaran ke tonjolan terluar sama dengan ketidakbulatan.

- c. *Minimum Zone Circle* merupakan Profil lingkaran yang dikelilingi oleh dua lingkaran konsentris dengan jarak radial terpendek di antara keduanya. Pusat zona minimal (MZC) adalah lokasi di mana lingkaran minimum berpusat. Di sisi lain, ketidakbulatan, juga dikenal sebagai zona radial minimum (MRZ), adalah selisih antara jari-jari kedua lingkaran.
- d. *Least Square Circle* merupakan lingkaran yang diturunkan dari profil kebulatan sedemikian rupa sehingga lingkaran acuannya adalah jarak minimum, kuadrat, dari banyak lokasi pada profil kebulatan yang mempunyai interval sudut yang sama. Pusat kuadrat terkecil (LSC) adalah letak kuadrat terkecil di tengah lingkaran. Rata-rata garis rata-rata (MLA) adalah jarak radial dari nilai absolut rata-rata antara lingkaran kuadrat terkecil dan profil kebulatan.

Secara teoritis, cara paling akurat untuk menyatakan harga non-kebulatan dan titik pusat (LSC) adalah dengan menggunakan parameter kebulatan *mean line average* (MLA). Karena pencapaian MRZ sama dengan definisi toleransi kebulatan, ISO menyarankan penggunaan luas minimum lingkaran sebagai acuan untuk menghitung nilai ketidakbulatan.



Gambar 2. 7 Grafik Polar 4 Jenis Lingkaran Untuk Menentukan Parameter Kebulatan

2.7.3 Standar Toleransi

Delapan belas kelas toleransi disebut sebagai toleransi standar dalam standar yang ditetapkan. IT yang digunakan mewakili norma toleransi dari IT 01 sampai IT 16. Untuk benda kerja dengan diameter nominal hingga 500 mm, toleransi standar ini ditetapkan. Rumus satuan toleransi digunakan untuk menentukan standar harga toleransi kualitas IT 5 sampai dengan IT 16. Jika ditulis pada rumusnya sebagai berikut.

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D \quad (2.5)$$

Keterangan:

I : Satuan Toleransi (μm)

D : Diameter Nominal (mm)

Rata-rata geometrik dari dua nilai batas pada tingkat diameter nominal tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan nilai D . Gambar 2.8 menunjukkan tabel dengan dua harga batas untuk tingkat diameter nominal sampai dengan 500 mm.

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

Gambar 2. 8 Tabel 2 Harga Batas Tingkat Diameter Nominal Sampai Dengan 500 mm

Tabel yang menunjukkan semua toleransi normal untuk benda dengan diameter hingga 500 mm dapat dilihat di bawah pada Gambar 2.9.

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	26	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 2 Harga Batas Tingkat Diameter Nominal Sampai Dengan 500 mm

2.8 Variabel Proses

Pada proses pembubutan yang dimaksud dengan variabel proses adalah Informasi yang terdapat dalam perhitungan dasar, rumus, dan tabel yang mendukung teknologi proses pemotongan dan pemotongan pada mesin bubut disebut sebagai parameter pemotongan pada proses pembubutan. Pada proses pembubutan, parameter pemotongan terdiri dari:

2.8.1. Kecepatan Potong (*Cutting speed*)

Kemampuan alat pemotong dalam hal ini pahat bubut untuk memotong benda kerja dengan aman sehingga menghasilkan serpihan dalam satuan panjang per satuan waktu disebut dengan kecepatan potong dalam pemesinan bubut. (Cahyo, n.d.). Oleh karena itu, nilai kecepatan potong diperlukan untuk menghitung kecepatan suatu benda kerja diiris atau dipotong. Jenis alat pemotong dan jenis barang yang akan diiris mempengaruhi harga kecepatan potong.

Kecepatan potong seringkali dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut:

- Bahan atau material benda kerja. Nilai kecepatan potong menurun seiring dengan meningkatnya kekuatan material.
- Jenis alat pemotong. Kecepatan potong meningkat seiring dengan kekuatan jenis alat pemotong.

Berikut rumus menghitung kecepatan potong:

$$V_c = \frac{\pi dn}{1000} \left(\frac{m}{\text{menit}} \right) \quad (2.6)$$

Dimana:

V_c = Kecepatan potong (m/menit)

d = Diameter benda kerja (mm)

n = putaran *spindel* (rpm)

π = 3,14

2.8.2. Kedalaman Pemotongan (*depth of cut*)

Ketebalan benda kerja yang dihilangkan atau dipotong, atau pemisahan antara permukaan benda kerja yang dipotong dan tidak dipotong, dikenal sebagai kedalaman potong. Diameter benda kerja akan turun sebesar $2a$ bila pahat memotong sedalam (a) karena putaran benda kerja menyebabkan permukaan benda kerja berbentuk silinder pada kedua sisinya. Operator dapat memilih kedalaman pemotongan berdasarkan kemampuan pahat dan benda kerja yang dipotong, serta yang telah dilakukan sebelumnya.

$$a = \frac{d_0 + d_m}{2} \quad (2.7)$$

Dimana:

a = Kedalaman pemakanan (mm)

d_0 = Diameter awal (mm)

d_m = Diameter akhir (mm)

2.8.3. Gerak Makan

Sejumlah parameter diperhitungkan saat menentukan kecepatan umpan, seperti kekerasan material, kedalaman potong, sudut pahat, komposisi material, ketajaman pahat, dan kesiapan mesin. Tingkat kesiapan mesin ini dapat didefinisikan sebagai kemampuannya dalam memungkinkan tercapainya kecepatan pemakanan yang ideal. Selain faktor-faktor tersebut, kecepatan pemakanan yang tinggi umumnya dipilih untuk tahap *roughing* karena tidak memerlukan permukaan yang halus (waktu pembubutan lebih cepat), dan kecepatan pemakanan yang rendah dipilih untuk proses *finishing* agar menghasilkan kualitas yang lebih tinggi. Hasil pemotongan. sehingga menghasilkan hasil yang lebih halus (waktu pengerjaan lebih cepat). Kecepatan umpan mesin bubut (F) dihitung dengan mengalikan kecepatan putarannya (n) dalam satuan putaran dengan perpindahan pahat bubut (f) dalam mm/putaran. Berikut rumus menentukan kecepatan umpan (F):

$$V = f \times n \text{ (mm/putaran)} \quad (2.8)$$

Keterangan:

f = besar pemakanan atau bergesernya pahat (mm/ putaran),

n = putaran mesin (putaran/menit).

2.9 *Respon Surface Methodology*

Respon surface methodology (RSM) adalah metode statistika yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan dan mengoptimalkan proses di mana beberapa faktor (variabel independen) yang mempengaruhi respon (Montgomery, 2013). RSM sering digunakan oleh para peneliti untuk mengidentifikasi fungsi terbaik untuk prediksi respons. Peneliti selanjutnya menggunakan RSM untuk memastikan nilai variabel independen II-7 yang dapat memaksimalkan respon. Teknik ini memplot model permukaan respons tiga dimensi menggunakan *analisis regresi* pada data eksperimen. (Fitria, 2015).

Pendekatan analisis permukaan respons memerlukan pertimbangan cermat terhadap sejumlah faktor. Mencari tahu apakah persamaan tersebut merupakan

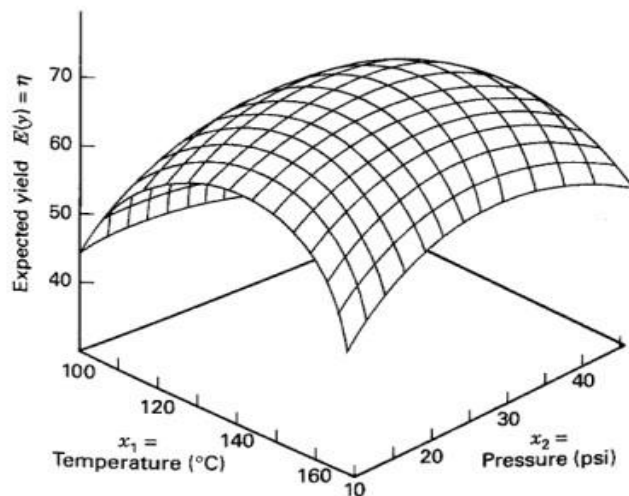
fungsi orde pertama atau orde kedua adalah langkah pertama yang harus dilakukan. Memanfaatkan dua faktorial dengan dua taraf perlakuan untuk setiap perlakuan sudah cukup untuk fungsi terurut dalam hal desain eksperimen. Rancangan permukaan respon orde pertama memerlukan dua unit percobaan, sedangkan desain *respon surface* orde kedua memerlukan empat unit percobaan, dimana k adalah banyaknya komponen perlakuan. Berbeda dengan desain faktorial 2^k (permukaan respon orde pertama) yang memerlukan unit eksperimen lebih sedikit, desain eksperimen dapat menggunakan *Central Composite Design* (CCD) dan *Box – Behken Design* (BBD) untuk permukaan respon orde kedua. Eksperimen ini menggunakan desain *Box-Behken*.

Menurut Montgomery (2020) contohnya yaitu dengan mencari nilai optimal dari temperature (X_1) dan pressure (X_2) untuk mendapatkan nilai optimal dari respon. Respon bisa dituliskan pada persamaan fungsi dari sebuah level atau tingkatan suhu dan pressur berikut:

$$y = f(X_1, X_2) + \varepsilon \quad (2.9)$$

ε adalah kesalahan dalam respon y untuk menyatakan respon optimal yaitu $E(y) = f(X_1, X_2) = \eta$, maka $\eta = f(X_1, X_2)$ disebut dengan permukaan respon yang mewakili sebuah permukaan.

Grafik pada Gambar 2.10 di bawah mengilustrasikan permukaan respon.



Gambar 2. 10 Grafik *Respons Surface* (Montgomery, 2020)

Karena sifat hubungan antara respons (y) dan variabel independen (X) pada awalnya tidak diketahui, metode permukaan respons (RSM) digunakan untuk mengidentifikasi strategi yang tepat yang memungkinkannya mengkarakterisasi sifat sebenarnya dari hubungan tersebut (x) dan (y). Jika terdapat fungsi linier sebagai bentuk hubungan antara respon (y) dengan variabel bebas (X), maka model orde pertama adalah strategi yang digunakan. Persamaan model orde pertama ditunjukkan pada persamaan (2.10) di bawah ini. (Montgomery, 2020).

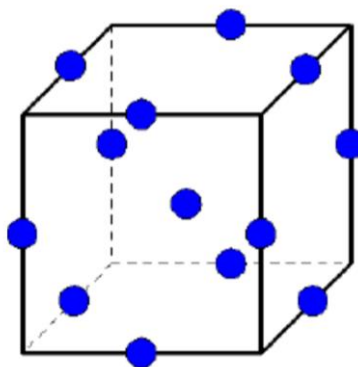
$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon_i \quad (2.10)$$

Apabila bentuk hubungan antara respon (y) dengan variable bebas (x) adalah kuadrat maka pendekatan yang digunakan disebut *second order model*. Persamaan second order dapat ditunjukkan pada persamaan 2.11 berikut.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \quad (2.11)$$

- *Box–Behken Design* (BBD)

Salah satu perbedaan antara desain komposit pusat dan desain *Box-Behken* adalah tidak adanya jalur aksial atau bintang pada desain pembentuknya. *Box-Behken* adalah desain yang lebih efisien karena kurangnya jalur aksial/bintang, yang memerlukan lebih sedikit unit eksperimen. Dengan memasukkan bagian tengah ke dalam kombinasi *design 2* dan *black design* yang belum selesai digabungkan untuk membuat *Box-behken*.



Gambar 2. 11 *Box–Behken Design* Untuk 3 Faktor. (Purwanti, et al., 2013)

Rancangan *Box-Behken* merupakan suatu rancangan rancangan untuk rancangan percobaan yang hanya dapat digunakan untuk uji coba dengan tiga unsur atau lebih. Perangkat lunak Minitab 19 digunakan untuk pengolahan dan analisis data pada Box-Behken. Proses analisis terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Rancanglah sebuah eksperimen.
2. Dengan menggunakan data yang tersedia, buatlah model regresi.
3. Menerapkan pendekatan kuadrat terkecil pada estimasi parameter.
4. Mengkaji teori.
5. Periksa keluaran model.
6. Asumsikan bahwa permukaan dan kontur respon persamaan respon akan menghasilkan jawaban terbaik.
7. Tentukan level mana yang menghasilkan reaksi terbaik.

Model pendekatan permukaan respons yang paling sering digunakan adalah model orde kedua. Model orde kedua lebih sering digunakan dalam pendekatan permukaan respons karena sejumlah alasan, termasuk (Fitria, 2015):

1. Fleksibilitas model orde kedua tinggi. Model tersebut dapat berubah model menjadi bentuk fungsi yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan.
2. Mengestimasi parameter pada model orde kedua secara sederhana.
3. Ketika menangani permasalahan pada permukaan respons, model tingkat kedua lebih berguna.

- *Analisis Second order*

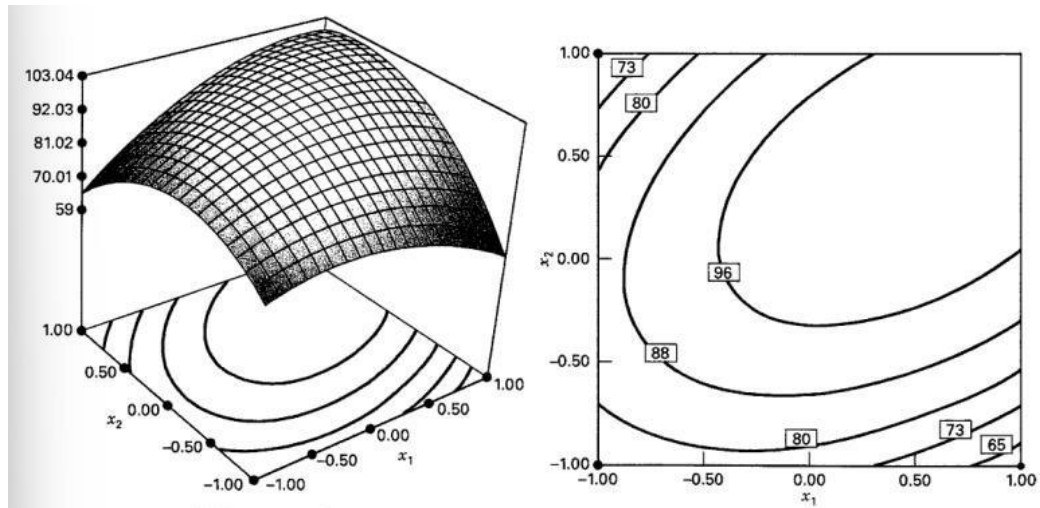
Prediksi respon (y) pada variable bebas dengan pendekatan regresi ditunjukkan dalam persamaan berikut (Montgomery, 2020):

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (2.12)$$

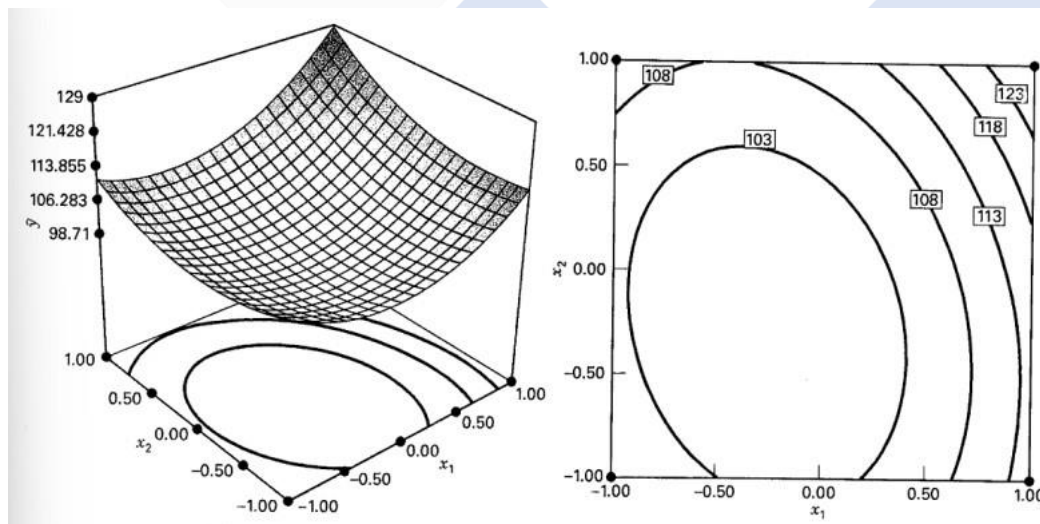
Setelah persmaa *second order* dengan pendekatan regresi didapat maka selanjutnya dapat diketahui keadaan optimal dan karakteristik sifat dari permukaan respon.

- Mencari Titik *Stationary*

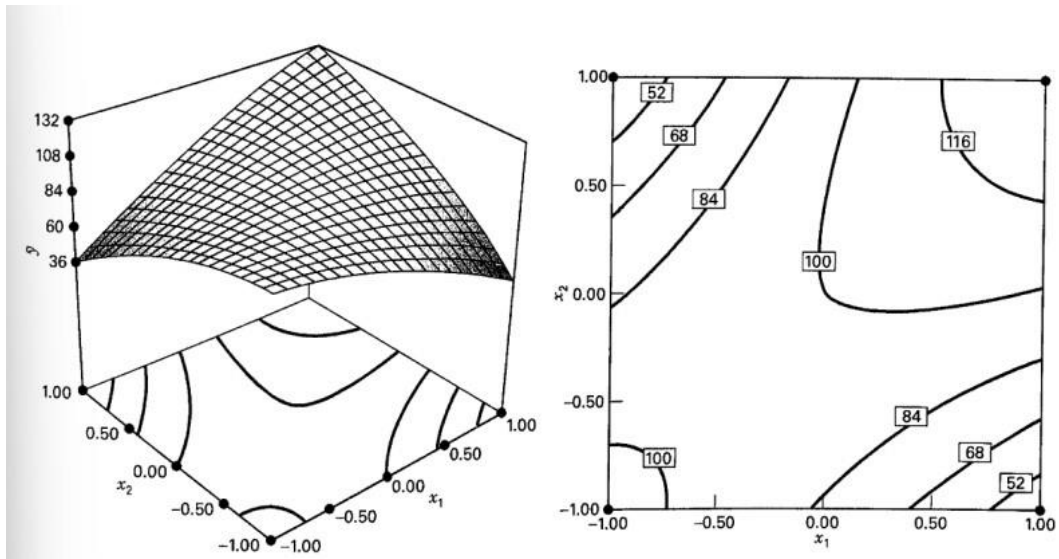
Menurut pembahasan Montgomery (2020) bahwa *stationary-point* untuk menentukan titik optimasi dari variable bebas (x) sehingga titik optimasi tersebut dapat mengoptimalkan respon. Titik dapat mewakili titik respon maksimum gambar 2.12, titik respon minimum gambar 2.13, atau *saddle-point* gambar 2.14.



Gambar 2. 12 Respon Permukaan dan *Plot Contour* Pada Posisi Maximum Montgomery (2020)



Gambar 2. 13 Respon Permukaan dan *Plot Contour* Pada Posisi Minimum Montgomery (2020)



Gambar 2. 14 Repon Permukaan dan *Plot Contour* Pada *Saddle-point* Montgomery (2020)

Persamaan untuk mencari titik *stationary* dapat dinotasikan dalam *matriks*, sebagai berikut (Montgomery, 2020):

$$X_0 = -\frac{1}{2} B^{-1}b \quad (2.13)$$

Dengan:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \text{ dan } B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2 & \cdots & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22} & \cdots & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ \text{sym.} & & \ddots & \\ & & & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix} =$$

Persamaan untuk menentukan nilai terbaik dari variable bebas berdasarkan titik *stationary* (X_0) yang didapatkan dengan cara berikut (Montgomery, 2020):

$$X_i = \frac{\text{variabel bebas-center-point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum-minimum})} \quad (2.14)$$

Persamaan untuk mendapatkan prediksi nilai respon dari titik *stationary* ditunjukkan dalam persamaan berikut (Montgomery, 2020):

$$\hat{Y}_0 = \beta + \frac{1}{2} x_0' b \quad (2.15)$$

- Model *Canonical*

Setelah titik *stationary* didapat sehingga untuk menentukan bentuk titik apakah termasuk pada titik maximum, minimum atau termasuk *saddle-point* dengan menggunakan analisis *canonical* (Montgomery, 2020).

Persamaan untuk mencari model bentuk kanonikal terdapat pada persamaan 2.16. (Montgomery, 2020).

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 \omega_1^2 + \lambda_2 \omega_2^2 + \dots + \lambda_k \omega_k^2 \quad (2.16)$$

Montgomery (2020) menyatakan bahwa nilai λ_i digunakan untuk menentukan bentuk permukaan respon. X_0 merupakan titik maksimum bila seluruh nilai λ_i bertanda negatif, titik minimum bila seluruh nilai λ_i bertanda positif, dan titik pelana (*saddle point*) bila semua nilai λ_i bertanda berbeda.

- Uji Normalitas

Salah satu cara untuk mengetahui apakah sebaran data hasil uji berdistribusi normal atau tidak adalah dengan melakukan uji normalitas. Jika histogram berbentuk lonceng mewakili data, maka data tersebut dianggap terdistribusi secara teratur. Diterimanya H_0 ditentukan jika $L_{hitung} < L_{tabel}$, maka hal tersebut menunjukkan data tidak berdistribusi normal, sedangkan penolakan H_0 ditentukan jika $L_{hitung} > L_{tabel}$, berarti data berdistribusi teratur. (Nuryadi et al., 2017).

- Analisis Varian (*Anova*)

Dalam regresi berganda, total y kuadrat terdiri dari SSR, SSE, dan SST. Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan SSR, SST, dan SSE. (Park, 1996):

$$SSR = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \hat{y}'\hat{y} - n\bar{y}^2 = \beta'X'\hat{y} - n\bar{y}^2 \quad (2.17)$$

$$SST = \sum(y_i - \bar{y})^2 = \sum y_i^2 - n\bar{y}^2 \quad (2.18)$$

$$SSE = SST - SSR \quad (2.19)$$

Tabel 2.3 menampilkan tabel anova regresi berganda. Hipotesis menyatakan persamaan regresi mempunyai relevansi dalam menggambarkan hubungan antara variabel bebas (x) dengan respon (y) jika $F_{\text{nilai}} > F_{\text{tabel}}$. (Park, 1996).

Tabel 2. 3 Anova Regresi Berganda (Park, 1996)

Source	DoF	Sum of Square	Mean of Square	F-Value	F-Table
Regresi	k	SSR	MSR	MSR/MSE	F(k,n-k-1; α)
Residual	n - k - 1	SSE	MSE		
Total	n - 1	SST			

Berdasarkan tabel 2.3 bahwa MSR yang dihitung dengan membagi SSR dengan derajat kebebasan regresi adalah kuadrat rata-rata akibat regresi. Sementara itu, MSE yang dihitung dengan membagi SSE dengan derajat kebebasan yang tersisa adalah rata-rata kuadrat akibat kesalahan sisa. (Park, 1996).

- Uji Ketidaksesuaian Persamaan (*Lack of Fit*)

Montgomery (2020) menyatakan bahwa ketidaksesuaian persamaan regresi dipastikan menggunakan statistik *Lack of Fit*. Analisis varians dapat digunakan untuk penilaian ketidaksesuaian. $SSE = SSPE + SSLOF$ adalah rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah kuadrat SSE, dimana SSPE mewakili jumlah kuadrat karena kesalahan murni dan SSLOF mewakili jumlah kuadrat karena kurangnya kecocokan. Jadi berikut persamaan SSPE dan SSLOF. (Montgomery, 2020):

$$SS_{PE} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_i)^2 \quad (2.20)$$

$$SS_{LOF} = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.21)$$

- Analisis *Coefisients* Determinasi (R^2)

Kualitas persamaan regresi dievaluasi dengan menggunakan koefisien determinasi. Dengan memahami nilai koefisien determinasi (*R-square*), maka persamaan regresi tersebut dapat mewakili keadaan (fakta) yang sebenarnya. Nilai yang paling mendekati 1 dimana $0 \leq R^2 < 1$ merupakan nilai koefisien determinasi optimal. (Montgomery, 2020).

Persamaan berikut menampilkan hasil perhitungan koefisien determinasi. (Montgomery, 2020):

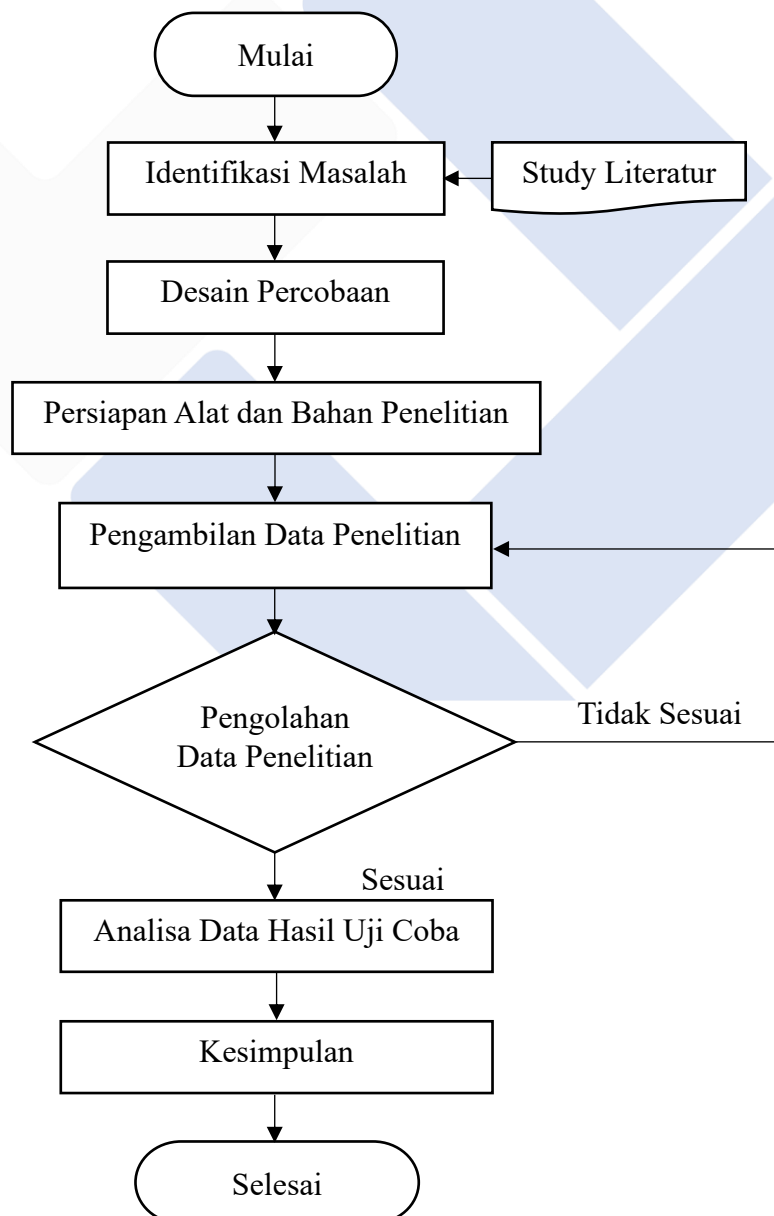
$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}} \quad (2.22)$$



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)

Bengkel Mekanik Polman Babel menjadi tempat penelitian proyek ini. RSM adalah metodologi yang digunakan dalam penelitian ini, dan menggunakan desain tiga parameter dengan dua level untuk setiap perubahan parameter. Terdapat metode penelitian dalam penelitian ini yang memudahkan kemampuan peneliti dalam melaksanakan atau mencapai tujuan penelitian ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Identifikasi Masalah

Tahap pertama yang penting dalam proses penelitian di mana suatu fenomena yang memiliki potensi untuk penelitian untuk diteliti. Dengan mengidentifikasi permasalahan yang telah dilihat maka proses identifikasi masalah dapat terselesaikan. Berdasarkan hal tersebut peneliti mengambil langkah untuk mencari data pendukung, data tersebut dapat diperoleh melalui observasi, membaca literatur, atau melakukan survei awal.

- *Study Literature*

Setelah masalah teridentifikasi, tahap selanjutnya adalah melakukan tinjauan pustaka dengan tujuan untuk menemukan materi yang relevan dengan pokok bahasan yang diteliti dari buku, jurnal, dan internet serta dari penelitian sebelumnya. Tujuan dari tinjauan literatur ini adalah untuk mengumpulkan ide-ide dan informasi teoritis yang dapat dijadikan sebagai landasan atau kerangka kerja untuk pemecahan masalah.

3.3. Design Percobaan

Ilmu yang mempelajari penetapan kerangka dasar operasi pengumpulan data pada objek dengan variasi dengan menggunakan konsep statistik dikenal dengan desain eksperimen. Adapun dapat dilihat design eksperimen dalam penelitian ini yang berbentuk kode-kode variabel pada tabel 3.1 Desain Percobaan Dalam Bentuk Code berikut.

Tabel 3. 1 Desain Percobaan Dalam Bentuk *Code*

No.	Kode Level		
	A	B	C
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1

8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dirancang tabel design eksperimen dalam bentuk aslinya atau angka dengan menggunakan *software minitab (license)*. Adapun design eksperimen dapat dilihat pada tabel 3.2 Desain Eksperimen berikut.

Tabel 3. 2Desain Eksperimen

No.	Kode Level		
	Kecepatan Potong	Gerak Makan	Kedalaman Pemakanan
1	230	0,14	0,2
2	250	0,14	0,2
3	230	0,17	0,2
4	250	0,17	0,2
5	230	0,155	0,15
6	250	0,155	0,15
7	230	0,155	0,25
8	250	0,155	0,25
9	240	0,14	0,15
10	240	0,17	0,15
11	240	0,14	0,25
12	240	0,17	0,25
13	240	0,155	0,2
14	240	0,155	0,2
15	240	0,155	0,2

3.3.1. Variabel Proses

Variabel proses juga dikenal sebagai faktor kontrol, adalah variabel yang berada di bawah kendali peneliti. Nilainya dapat dipastikan dengan mempertimbangkan tujuan proyek penelitian serta elemen relevan lainnya. Variabel kontrol penelitian saat ini adalah:

a. Kedalaman Pemakanan

Kedalaman pemakanan (mm) Kedalaman pemakanan yang dipakai pada penelitian ini yaitu antara *range* 0.15 mm dan 0.25 mm, dengan tiga tingkatan proses yaitu *facing* spesimen uji, proses *roughing* dan proses *Finishing*.

b. Gerak Makan

Gerak makan yang digunakan pada penelitian ini yaitu besarnya yaitu high 0,14 *mm/rev*, dan low 0,17 *mm/rev*.

c. Kecepatan Potong

Kecepatan potong yang digunakan pada penelitian ini adalah high 250 *m/min* dan low 230 *m/min*.

3.3.2. Variabel Tetap

Faktor-faktor yang tidak diteliti dalam penelitian disebut variabel konstan. Nilai faktor ini secara konsisten dipertahankan sepanjang percobaan untuk memastikan bahwa faktor tersebut tidak memiliki dampak yang terlihat pada temuan penelitian. Pendingin Dromus B yang tidak berubah-ubah.

3.3.3. Variabel Respon

Variabel respon merupakan variabel yang nilainya tidak diketahui dan dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan hasil percobaan diketahui setelah selesai. Kebulatan benda uji dan *Material Removal Rate* (MRR) merupakan variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini.

3.4. Alat dan Bahan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian maka dilakukan persiapan terhadap benda uji, pahat, mesin CNC, alat ukur, dan perkakas yang akan digunakan sebagai berikut:

3.4.1. Material

Material yang digunakan adalah baja SKD-11 yang di pakai pada penelitian ini dengan dimensi diameter 25 mm, dengan panjang 100 mm. Bentuk dan dimensi material uji ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3. 2 Ukuran Spesimen uji

3.4.2. Mesin CNC Bubut Mori Seiki NLX2500Y

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin CNC Bubut *Mori Seiki NLX2500Y*. Mesin ini digunakan dalam proses pembubutan baja SKD-11 yang akan dilakukan selama prosen penelitian. Mesin ini sudah teruji dan tidak mempunyai kendala saat pelaksanaan penelitian. Sebelum melakukan penelitian perhatikan Alat Pelindung Diri dan ikuti prosedur penggunaan mesin maupun aturan – aturan yang ada. Adapun berikut adalah gambar 3.3 mesin CNC Bubut *Mori Seiki NLX2500Y*.



Gambar 3. 3 Mesin CNC *Bubut Mori Seiki NLX2500Y*

3.4.3. Timbangan Digital

Timbangan digital *type OHAUS* digunakan untuk mengukur berat massa setelah dan sebelum dilakukan proses pembubutan pada benda uji. Timbangan digital digunakan untuk proses menentukan berat massa yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui MRR. Berikut gambar 3.4 dan tabel 3.3 Spesifikasi Timbangan Digital *Type OHAUS*.



Gambar 3. 4 Timbangan Digital *Type OHAUS*

Tabel 3. 3 Spesifikasi Timbangan Digital *Type OHAUS*

Model	EX420N
Kapasitas Maksimum	4,200
Ketelitian	0,01 g
Ketelitian (bersertifikat)	0,1 g
<i>Power</i>	AC Adapter (<i>Include</i>)
Waktu Stabilisasi	1 s

3.4.4. Dial Indikator dan V-Block

Dial indikator dan *v-block* adalah alat untuk mengukur kebulatan dari setiap titik spesimen uji. *Dial indikator* yang dipakai mempunyai ketelitian 1/1000 atau 1 μm . Berikut gambar 3.5 *dial indikator* dan *v-block*.



Gambar 3. 5 *Dial Indikator* dan *V-Block*

3.4.5. Alat Potong / Pahat *Carbide*

Alat potong yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Insert Carbide* Bubut DNMG 150404-MA, dan digunakan khusus prosesi *finishing* di Mesin CNC Bubut. Alat potong ini digunakan selama pembubutan dan setiap pembubutan menggunakan satu sisi dari *Insert Carbide* Bubut DNMG 150404-MA. Berikut gambar 3.6 Pahat *Insert Carbide* Bubut DNMG 150404-MA.



Gambar 3. 6 Pahat *Insert Carbide* Bubut DNMG 150404-MA

3.5. Pengambilan Data Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam pengambilan data penelitian sebagai berikut:

3.5.1. Persiapan Alat Potong

Pada pengerjaan pertama yaitu mempersiapkan dan memasang alat potong yang akan digunakan dalam proses pemesinan. Alat potong yang digunakan adalah Pahat *Insert Carbide* Bubut DNMG 150404-MA dan alat bantu yaitu kunci bintang.

3.5.2. Persiapan Spesimen Uji

Benda kerja baja SKD 11 disiapkan sebanyak 15 spesimen uji dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu dengan diameter 25 mm dan panjang 100 mm. Panjang pembubutan masing-masing spesimen uji adalah sejauh 30 mm dengan pengekan sepanjang 50 mm. Persiapan spesimen uji dapat ditunjukkan pada gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Spesimen Uji

3.5.3. Memasukan Program CNC

Selanjutnya menyiapkan program yang sudah teruji dalam *software swansoft* kemudian dimasukkan ke dalam program CNC yang ada di mesin. Membuat program CNC dapat ditunjukkan pada gambar 3.8 berikut.



Gambar 3. 8 Proses Pemasukan Program CNC

3.5.4. Proses pembubutan pada mesin CNC

Lakukan urutan proses pemesinan menggunakan mesin CNC sesuai dengan langkah-langkah berikut ini:

- Buka pintu mesin CNC bubut.
- Pasang insert yang digunakan pada tool holder nomor 12.
- Pasang spesimen uji pada cekam sedalam 50 mm dan pastikan spesimen uji tercekam dengan kuat sehingga aman dalam menjalankan mesin.
- Nyalakan dan setting program mesin CNC sesuai variabel yang akan digunakan. Mesin CNC bubut akan melakukan penyayatan sesuai variabel yang digunakan pada setiap spesimen uji.
- Lepas spesimen uji jika proses pembubutan sudah selesai.
- Lepas dan ganti sisi insert bubut pada tool holder nomor 12.
- Lakukan secara berulang sehingga 15 spesimen mendapatkan proses pemesinan sesuai design eksperimen yang telah ditentukan.
- Selanjutnya setelah semua spesimen uji sudah masuk dalam proses pembubutan kemudian bersihkan mesin CNC dan juga rapikan peralatan yang digunakan selama proses pemesinan dilakukan.

3.5.5. Pengujian Kebulatan dan MRR

Setelah proses pembubutan dilakukan, maka selanjutnya dilakukan proses pengambilan data penelitian yang menggunakan 2 pengujian antara lain pengujian terhadap kebulatan dan *Material Removal Rate*. Adapun berikut adalah penjelasan pengambilan data pada setiap pengujian.

1. Pengambilan data Kebulatan

Dari hasil pembubutan yang telah dilakukan sebelumnya, benda kerja akan dilakukan tahap pengujian terhadap respon yaitu kebulatannya. Pengambilan data kebulatan pada permukaan spesimen uji dengan menggunakan alat *v-bloc* dan alat ukur *dial gauge* 1/1000 dengan jarak masing-masing 15 derajat sebanyak 24 titik. Satu sample memiliki 2 titik panjang pengujian dengan masing-masing berjarak 15 mm. Cara pengujiannya yaitu dimulai pada posisi pertama yaitu setiap 15 derajat sekali data diambil, kemudian dilanjutkan 15 derajat berikutnya sampai full 24 titik pengujian dan ketika posisi pertama selesai maka dilanjutkan dengan posisi kedua. Kemudian setiap sample diambil rata-rata dari pengujian dengan menggunakan table. Maka selanjutnya diolah datanya menggunakan metode RSM untuk mendapatkan variabel yang paling berpengaruh dan disimpulkan untuk mendapatkan hasil yang baik berdasarkan variabel yang digunakan. Berikut langkah-langkah pengujian kebulatan benda kerja uji.

- Dalam pengujian kebulatan dapat dilakukan menggunakan meja perata.
- Menyiapkan alat-alat yang dapat digunakan dalam membuat posisi sudut dan titik pada setiap spesimen uji, alat yang digunakan antara lain spidol, lem, penggaris dan kertas bergambar sudut masing-masing 15 derajat.
- Lakukan pemeriksaan terhadap alat ukur dial indikator yang digunakan sebelum melaksanakan proses pengujian guna untuk menghindari kesalahan dalam pengujian.
- Letakan spesimen uji yang telah dilakukan proses pembubutan dari mesin CNC bubut pada v-block.
- Lakukan kalibrasi pada ujung sensor alat ukur dial indikator pada permukaan spesimen uji yang telah dilakukan proses pembubutan.

- Lakukan pengujian kebulatan pada spesimen uji dengan pengujian pada 2 titik dalam satu spesimen uji dengan jarak dari titik satu ke titik 2 sepanjang 15 mm, kemudian lakukan pengukuran nilai kebulatan dengan memutar spesimen uji pada titik 1 yaitu masing-masing 15 derajat sebanyak 24 titik.
- Setiap hasil pengujian kebulatan dapat dicatat menggunakan kertas yang sudah dibuatkan tabel sebanyak spesimen yang diuji.



Gambar 3. 9 Pengambilan Data Kebulatan

2. Toleransi Kebulatan

Rumus satuan toleransi digunakan untuk menentukan standar harga toleransi kualitas IT 5 sampai dengan IT 16. Berdasarkan gambar tabel toleransi berikut didapati diameter >18-30 kemudian nilai international tolerance adalah kelas ke-7 yang di mana ketidakbulatan terbesar dalam penelitian ini adalah 16,5. Jika ditulis pada rumusnya berdasarkan persamaan (2.5).

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
>50-90	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	2600
>400-500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Gambar 3. 10 Tabel 2 Harga Batas Tingkat Diameter Nominal Sampai Dengan 500 mm

3. Pengambilan data MRR

Laju pemakanan material dihitung dengan menggunakan stopwatch, perhitungagn waktu dimulai pada saat pahat menyayat atau menyentuh spesimen uji atau pada saat potongan benda kerja terbuang yang terlihat pada spesimen uji sampai dengan akhir penyayatan atau pada saat pahat terangkat kembali ke titik awal. Selisih massa benda uji sebelum dan sesudah pemotongan pada mesin bubut CNC adalah massa yang hilang akibat pemotongan. Volume benda uji yang terbuang dihitung dengan membagi massa yang terbuang dengan massa jenis benda uji, dengan membagi jumlah benda uji yang terbuang dengan waktu pemotongan adalah untuk mendapatkan nilai MRR. Langkah-langkah pengujian laju pemakanan material adalah dengan cara menimbang berat massa awal spesimen uji, kemudian pada saat proses pembubutan dapat dilakukan perhitungan waktu saat awal penyayatan hingga akhir penyayatan spesimen uji. Selanjutnya lakukan penimbangan massa akhir pada spesimen uji setelah dilakukan penyayatan pada permukaan spesimen uji dengan menggunakan timbangan digital *type* OHAUS. Begitu pula dengan spesimen uji selanjutnya sampai selesai. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai dari *material removal rate*.

$$MRR = \frac{\text{volume material yang terbuang (MM}^3\text{)}}{\text{waktu proses mesin (s)}}$$



Gambar 3. 11 Pengambilan Data MRR

3.6. Pengolahan Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan RSM tipe *box-behken*. *Response Surface Methodology* (RSM) adalah metode statistika yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimalkan proses di mana beberapa faktor (variabel independen) yang mempengaruhi respons (montgomeri). RSM dapat digunakan untuk memeriksa dan memilih kondisi proses terbaik (putra). Pada penelitian ini *Respon Rurface Methode* (RSM) *Box Behnken Design* dapat digunakan pada proses optimasi yang memiliki tiga variabel yang dapat memprediksi nilai optimum yang terbaik (arinal hamni).

3.7. Analisa Data Hasil Penelitian

Selanjutnya tahap analisis data hasil uji coba, yaitu penulis menganalisis data yang sudah diambil, dan menggunakan metode RSM. *Significance* interaksi dan istilah kuadrat parameter jelas diprediksi dalam RSM. Teknik RSM dapat memodelkan respons dalam hal parameter *significant*, interaksinya dan istilah kuadrat. Dengan demikian, metode ini dapat memprediksi pengaruh parameter terhadap respon dan merupakan alat yang lebih baik untuk optimasi dibandingkan dengan teknik Taguchi. (Camposeco-Negrete, 2015).

3.8. Kesimpulan

Dari kesimpulan kita dapat mengetahui parameter manakah yang baik untuk optimalisasi pengerjaan benda dan dapat menentukan nilai dari MRR dan kebulatan yang baik pada saat pengerjaan finishing pada mesin CNC bubut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan semua proses penelitian, dapat disimpulkan bahwa nilai optimum terhadap variabel proses untuk kebulatan sebesar 234,7844 m/min (kecepatan potong), 0,127417 mm/rev (gerak makan) dan 0,181681 mm (kedalaman pemakanan) dengan nilai prediksi ketidakbulatannya adalah sebesar 13,05 μm , dan berdasarkan data analisis varian untuk variabel kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman pemakanan tidak signifikan karena penyimpangan kebulatan besar dengan ketidakbulatan sebesar 16,5 μm dari nilai toleransi sebesar 21 μm , sedangkan untuk nilai optimum MRR terhadap variabel proses sebesar 286,238 m/min (kecepatan potong), 0,19751 mm/rev (gerak makan) dan 0,12486 mm (kedalaman pemakanan) 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.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Terdapat faktor-faktor yang dapat mempengaruhi laju pemakanan material dan kebulatan benda kerja sehingga dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya.
2. Ketika memasang spesimen uji untuk proses pemesinan harus benar dan pastikan spesimen uji tercekam dengan baik dan kuat.
3. Dapat menggunakan variasi parameter yang berbeda untuk mengetahui pengaruh dari faktor-faktor lain pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, & Husman. (2018). *PENGUKURAN KESILINDRISAN HASIL PROSES PEMOTONGAN*. 9–13.
- Auly Fatkhur Hidayat, Muhamad Zainudin, & Sudarmono. (2023). Perbandingan Hasil Pembubutan Dengan Menggunakan Mata Pahat Karbida Dan Mata Pahat Hss Di Bengkel Polmuh. *Nusantara Hasana Journal*, 2(10), 122–126. <https://doi.org/10.59003/nhj.v2i10.790>
- Cahyo, R. D. (n.d.). *ANALISIS NILAI KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL BAJA AISI 1045 PADA PROSES PEMESINAN BUBUT CNC DENGAN METODE*.
- Damara, D., & Budiman, H. (2019). Proses Pembuatan Shaftm36 Menggunakan Mesin Bubut Di Pt. Padina Baraya Jaya. *Stima*, 4, 85–90.
- Dharmalasari, A. (2020). *Pemodelan temperature proses pemesinan bubut aisi 4340 dengan metode hot machining menggunakan artificial neural network*.
- Eko Jadmiko, D. S. A. (2019). Pengaplikasian Pengolah Data Pengukuran Kebulatan (Roundness) Pada Alat Ukur (Roundness Tester Machine) Di Laboratorium Pengukuran Teknik Mesin Universitas Riau. *JOM FTEKNIK*, 6, 1–7.
- Erick wiratama, zaldy kurniawan, eko yudo. (2021). *Analisis Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Laju Pengerjaan Material Pada Proses Pembubutan Baja AISI 1045*.
- Kumar, N. S., Shetty, A., Shetty, A., Ananth, K., & Shetty, H. (2012). Effect of spindle speed and feed rate on surface roughness of Carbon Steels in CNC turning. *Procedia Engineering*, 38(Icmoc), 691–697. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.087>
- Malik, A., Fawwazi, F., & Putra, D. (2019). Effect of the Cutting Parameters and the Cutting Edge Angle of Turning Process on Product Geometry of Composite. *Prosiding SNTTM XVIII*, 9–10. <http://prosiding.bkstm.org/prosiding/seminar/2019>
- Masalik, M. N. A., & Susandi, D. (2022). Proses Pembuatan Bhusing Inner Free

- Cutting dengan Menggunakan Mesin Bubut CNC DMC dan Mesin Bubut Milling. *Prosiding SENIATI*, 6(2), 391–398. <https://doi.org/10.36040/seniati.v6i2.4945>
- Miftah, N. A., Sukma, D., Atmaja, E., & Oktafiani, A. (2023). *Optimasi Nilai Surface Roughness dan Material Removal Rate Pemesinan Milling Haww Gan ZX 7550Z Menggunakan Metode Taguchi dan Grey Relational Analysis*. 10(3), 2299–2306.
- Montgomery, D. C. (2013). Design and Analysis of Experiments Eighth. In *Physica Status Solidi (B)* (Vol. 173, Issue 1). <https://doi.org/10.1002/pssb.2221730144>
- Parmadhika, I., Kurniawan, Z., & Erwanto. (2021). *Analisis Material Removal Rate Pada Proses Cnc Milling Terhadap Material Aisi 1045*. 9, 273–279.
- Pratama, C. (2022). PENGARUH UMUR PAHAT TERHADAP LAJU PEMBUANGAN MATERIAL BAJA ST 70 PADA BUBUT CNC DENGAN PROGRAM ABSOLUT MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI Chandra Pratama Nur Aini Susanti. *JTM*, 10, 47–54.
- Rizk Fahrezi, Zaldy Kurniawan, F. A. (2022). *Optimasi Parameter Proses Permesinan Terhadap Kekasaran Permuk Aan Material Sk D-11 Menggunakan Mesin Bubut Geminis Terhadap Kekasaran Permukaan Bangka Belitung Menggunakan Material SKD-11, Bangka Belitung*.
- Saputra, I., Ariyanto, N. P., & Febri, M. (2020). Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Pembentukan Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Skd 11 Untuk Tool Steel. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, 2(1), 10–13. <https://doi.org/10.30871/jatra.v2i1.1787>
- Septiaji, P. (2016). *Aluminium 1100 Dengan Pengaruh Variasi Tegangan Dan Gap Pada Proses Electro-Chemical Machining (Ecm) Menggunakan Elektroda Terisolasi*. 1–6.
- Setiawan, W., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., Komputer, D. A. N., & Medan, U. H. (2022). *Studi Kualitas Permukaan Pembubutan Kering Pada Berlapis Studi Kualitas Permukaan Pembubutan Kering Pada*. 4340(1).
- Shodikin, Adhy Prayitno, D. S. A. (2015). STUDI KECERMATAN ALAT UKUR ROUNDNESS TESTER MACHINE PRODUKSI LABORATORIUM

JURUSAN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS RIAU DENGAN METODE HELIX. *JOM FTEKNIK*, 2(1), 4–8.

Sidi, P., Wahyudi, M. T., Teknik, J., Kapal, P., Perkapalan, P., & Surabaya, N. (2013). *Aplikasi Metoda Taguchi Untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan Pada Proses Bubut Cnc*. 4(2), 101–108.

Sihombing, J. D. P. (2022). Analisa Material Removal Rate (MRR) Baja SKD 11 Pada Proses CNC Turning Dengan Menggunakan Metode Taguchi. *SNITT*, 18.

Yanis, M. (2010). *Analisis Profil Kebulatan Untuk Menentukan Kesalahan Geometrik Pada Pembuatan Komponen Menggunakan Mesin Bubut CNC*, *Jurnal Rekayasa Sriwijaya No. 1 Vol. 19, Maret 2010*.

<https://www.metalextra.com/pisau-bubut-insert-dan-cara-baca-tipenya/>

<http://staffnew.uny.ac.id/upload/131569341/pendidikan/modul-cnc-5-prinsip-pembuatan-program-cnc.pdf>

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e44fd47ce21d4588901dbb94f0dcb704>

Lampiran 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



1. Datar Pribadi

Nama Lengkap : Anggi Saputra
Tempat, tanggal lahir : Pangkalpinang, 27 November 2000
Alamat : Jl. Kerabut RT. 003/ RW. 001, Kel.
Jerambah Gantung, Kec. Gabek, Kota
Pangkalpinang.
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Telp : -
Hp : 083157917321
Email : nggi2599@gmail.com

2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 15 Pangkalpinang	Tahun 2006-2013
SMP Negeri 7 Pangkalpinang	Tahun 2013-2016
SMK Negeri 2 Pangkalpinang	Tahun 2016-2019

Sungailiat, 25 Januari 2024

Anggi Saputra