

**OPTIMASI KECEPATAN POTONG DAN KEDALAMAN
PEMAKAMAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN.
BAJA ST 40 PADA PROSES BUBUT CNC MENGGUNAKAN
*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY***

PROYEK AKHIR

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



Dibuat oleh:

Muhammad Afridi NIM: 1041918

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI

BANGKA BELITUNG

TAHUN 2022/2023

**OPTIMASI KECEPATAN POTONG DAN KEDALAMAN
PEMAKAMAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
BAJA ST 40 PADA PROSES BUBUT CNC MENGGUNAKAN
*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY***

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:

Muhammad Afriadi NIM: 1041918

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI

BANGKA BELITUNG

2022

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI KECEPATAN POTONG DAN KEDALAMAN PEMAKANAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 40 PADA PROSES BUBUT CNC MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*

Oleh:

Muhammad Afriadi NIM 1041918

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



Muhamad Subhan, S.S.T., M.T.

Pembimbing 2



Dr. Ilham Ary Wahyudie., M.T.

Penguji 1



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

Penguji 2



Zaldy Kurniawan, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa: Muhammad Afriadi NIM: 104191

Dengan Judul: Optimasi Kecepatan Potong dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 40 Pada Proses Bubut CNC Menggunakan *Response Surface Methodology*.

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

Sungailiat, 2 Januari 2020

Penulis,



Muhammad Afriadi

ABSTRAK

Hasil kekasaran permukaan yang optimal adalah tujuan yang diinginkan pada proses pembubutan di mesin CNC, harus dilakukan pengaturan variabel proses pembubutan yang tepat agar diperoleh respon kekasaran permukaan benda kerja yang optimal. Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap kekasaran permukaan baja St 40 peroses pembubutan dimesin CNC dan pengaturan seting yang optimal pada variabel proses pemesinan CNC terhadap nilai respon kekasaran permukaan baja St 40. variabel proses pemesinan yang divariasikan adalah kecepatan potong dan kedalaman pemakanan. Metode optimasi yang digunakan adalah Metode Permukaan Respon. Desain eksperimen ditetapkan berdasarkan CCD 2 faktor. Percobaan dilakukan sesuai desain eksperimen variabel kecepatan potong dengan level 200 m/menit, 230 m/menit, dan 260 m/menit dan variabel kedalaman pemakanan dengan level 0,6 mm, 0,8 mm, dan 1 mm untuk menentukan level variabel yang optimal terhadap kekasaran permukaan baja St 40. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh dari variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan baja st 40 dan pada pengaturan optimasi level variabel didapatkan nilai optimal minimum yaitu pada kecepatan potong sebesar 19,92 m/menit dan kedalaman pemakanan sebesar 5,58 mm dan dihasilkan nilai kekasaran permukaan $<1,00 \mu\text{m}$.

Kata kunci: *Baja St 40; Kekasaran Permukaan; Metode Permukaan Respon.*

ABSTRACT

Optimal surface roughness results are the desired goal in the machining process on a CNC machine, the appropriate machining process variables must be adjusted in order to obtain an optimal workpiece surface roughness response. The research that has been carried out aims to determine the effect of variables on the surface roughness of the St 40 steel machining process in CNC machining and the optimal setting of the CNC machining process variable on the response value of the St 40 steel surface roughness. The machining process variables that are varied are cutting speed and depth of infeed. The optimization method used is the Response Surface Method. The experimental design was determined based on a 2-factor CCD. Experiments were carried out according to the experimental design of variable cutting speed with levels of 200 m/minute, 230 m/minute, and 260 m/minute and variable depth of ingestion with levels of 0.6 mm, 0.8 mm, and 1 mm to determine the optimal variable level. on the surface roughness of St 40 steel. The results showed that the influence of the variable cutting speed and depth of infeed did not significantly affect the surface roughness of St 40 steel and at the variable level optimization setting the minimum optimal value was obtained, namely at the cutting speed at 19.92 m/minute and the depth of ingestion is at 5.58 mm and the resulting surface roughness value is $<1,00 \mu\text{m}$.

Key words: St 40; Steel Surface Roughness; Response Surface Methode.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan laporan proyek akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik langsung maupun tidak langsung. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu, Ayah, dan keluarga yang telah memberikan motivasi, doa, perhatian dan kasih sayang kepada penulis.
2. Bapak Muhammad Subhan, S.S.T., M.T. selaku pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, dukungan dan bantuan untuk penelitian proyek akhir ini.
3. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie., M.T. selaku pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan mengajarkan metode RSM dalam laporan proyek akhir ini.
4. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Eko yudo, S.S.T., M.T yang telah memberikan perizinan menggunakan mesin bubut *CNC MORI SEIKI SL-25* yang digunakan pada penelitian proyek akhir ini.
7. Bapak Martadi yang telah memberikan waktu dan bimbingannya dalam penggunaan mesin bubut *CNC MORI SEIKI SL-25* yang digunakan pada

penelitian proyek akhir ini.

8. Semua pihak dosen yang tidak dapat disebutkan satu persatu namun telah membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini.
9. Adha, Budi Haryanto, Arianda Pratama, Maharani Febri Endya, Muhammad Suryadi, Naufal Bunmathan, Yongki, dan semua teman-teman yang telah membantu dalam penelitian proyek akhir ini.

Akhir kata penulis berharap Tuhan yang maha Esa membalas segala kebaikan untuk semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini, semoga proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung serta bagi pembacanya padamasa yang akan datang.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh.

Sungailiat, 2 Januari 2020

Penulis,

Muhammad Afriadi

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Proses Pembubutan (<i>Turning Process</i>)	5
2.2 Mesin Bubut CNC	6
2.2.1 Defenisi <i>CNC Turning Machine</i>	6
2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Bubut <i>CNC</i>	6
2.2.3 Part Utama Mesin Bubut <i>CNC</i>	7

2.2.4 Pemrograman Mesin CNC.....	9
2.3 Baja ST 40.....	11
2.3.1 Penggunaan Baja ST 40.....	12
2.3.2 Unsur Baja ST 40.....	12
2.3.3 Sifat Mekanik Baja ST 40.....	12
2.4 Pahat Potong.....	13
2.4.1 Karbida (<i>Carbide</i>).....	13
2.5 Kekasaran Permukaan.....	14
2.5.1 Parameter-Parameter Permukaan.....	14
2.5.2 Toleransi Harga R_a	17
2.6 Variabel Penelitian.....	19
2.6.1 Kecepatan Potong.....	20
2.6.2 Kedalaman Pemangangan.....	20
2.7 Media Pendingin.....	21
2.8 Optimasi.....	22
2.9 <i>Response Surface Methodology</i>	22
2.9.1 Karakteristik Permukaan Response.....	24
2.9.2 Rancangan Model Orde Kedua.....	26
BAB III METODE PELAKSANAAN.....	28
3.1 Identifikasi Masalah.....	29
3.2 Study Literatur.....	29
3.3 Rumusan Masalah.....	29
3.4 Desain Eksperimen.....	29
3.4.1 Variabel-Variabel Penelitian.....	29
3.4.2 Alat dan Bahan.....	30

3.4.3 Menentukan Kode dan Jumlah Sampel	33
3.4.4 Rancangan Pembuatan Sampel	34
3.5 Variasi Level Variabel Pembuatan Sampel	36
3.6 Pembuatan Sampel	36
3.7 Pengujian Sampel	37
3.8 Melakukan Analisis Hasil Penelitian	39
3.9 Kesimpulan Dan Saran	39
BAB IV PEMBAHASAN.....	40
4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan.....	40
4.2 Analisis <i>Response Surface Methodology</i>	41
4.3 <i>Analysis of Variance</i>	45
4.4 Uji <i>Lack of Fit</i>	46
4.5 Uji Kenormalan Residual	47
4.6 Menentukan Nilai Optimal	48
4.7 Menghitung Nilai Optimal Dari <i>Coded Stationary Point</i> (X_0).....	49
4.8 Menentukan Model <i>Canonical</i>	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1. Kode G dan Fungsinya.....	10
Tabel 2. 2. Macam-Macam Kode M dan Fungsi	11
Tabel 2. 3. Unsur Baja karbon ST 40.....	12
Tabel 2. 4. Sifat Mekanis Baja ST 40	12
Tabel 2. 5. Toleransi Harga Kekasaran Rata-Rata R_a	18
Tabel 2. 6. Tingkat Kekasaran Permukaan Menurut Proses Pengerjaannya	18
Tabel 3. 1. Daftar Variabel Bebas dan Level yang Ditentukan	30
Tabel 3. 2. <i>Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210</i>	32
Tabel 3. 3. Kode Sampel <i>Central Composite Design 2k</i>	35
Tabel 3. 4. Variasi Level Pada Varibel Penelitian	36
Tabel 4. 1. Data Uji Kekasaran Menggunakan <i>Surface Roughness Tester</i>	40
Tabel 4. 2. Data Keseluruhan Penelitian.....	41
Tabel 4. 3. <i>Analisis of Variance</i>	45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1. (1) Permukaan, (2) <i>Facing</i> , (3) Bubut Tirus.	5
Gambar 2. 2. Sumbu Utama Koordinat X dan Y Mesin Bubut	7
Gambar 2. 3. Komponen Utama Mesin Bubut <i>CNC</i>	7
Gambar 2. 4. Teknik Inkremental.	9
Gambar 2. 5. Teknik <i>Absolute</i>	10
Gambar 2. 6. Profil Suatu Permukaan.....	15
Gambar 2. 7. Kedalaman Total dan Kedalaman Perataan	16
Gambar 2. 8. Lebar Gelombang dan Lebar Kekasaran.....	16
Gambar 2. 9. Kategori Kekasaran	19
Gambar 2. 10. Kecepatan Potong	20
Gambar 2. 11. Kedalaman Pemakanan	21
Gambar 2. 12. Ilustrasi Plot Permukaan Respon.....	23
Gambar 2. 13. Ilustrasi Plot Kontur <i>Response Surface</i>	23
Gambar 2. 14. Jenis Permukaan Respon <i>Maksimum</i>	25
Gambar 2. 15. Jenis Permukaan Respon <i>Minimum</i>	25
Gambar 2. 16. Jenis Permukaan <i>Saddle Point</i>	25
Gambar 2. 17. Central Composite Design 2k.	27
Gambar 3. 1. <i>Flowchart</i> Penelitian	28
Gambar 3. 2. Mesin bubut <i>CNC MORI SEIKI SL-25</i>	31
Gambar 3. 3. Mata Potong <i>Insert Carbide WNMG</i>	31
Gambar 3. 4. <i>Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210</i>	32
Gambar 3. 5. Jangka Sorong Kecermatan 0,02 mm.....	33
Gambar 3. 6. Bentuk Material Baja ST 40.....	34
Gambar 3. 7. <i>Central Composite Design 2k</i>	34
Gambar 3. 8. Benda kerja hasil pengerjaan <i>CNC MORI SEIKI SL-25</i>	37
Gambar 3. 9. Skema Pengujian Benda Kerja.....	38
Gambar 3. 10. Kalibrasi <i>Surface Raughness Tester</i>	38

Gambar 3. 11. Pengujian Benda Kerja <i>Roughness Tester</i>	38
Gambar 4. 1. Uji Kenormalan Residual Bentuk Regresi Linear Sederhana.	47
Gambar 4. 2. Plot Residual Pada Taksiran Model	47
Gambar 4. 3. Plot Residual Pada Order Model.....	48
Gambar 4. 5. <i>Contour Plot</i> dari Respon Kekasaran.....	51



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2: Sertifikasi Baja St 40

Lampiran 3: Menghitung Nilai (α dan $-\alpha$) Pada Setiap Faktor

Lampiran 4: Penyetingan Proses Pembubutan

Lampiran 5: Program Mesin *CNC*

Lampiran 6: Proses Pengujian Benda Kerja

Lampiran 7: Hasil Uji Kekasaran



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia manufaktur selalu meningkat seiring perkembangan sains dan teknologi, terbukti dari eskalasi volume produksi. Dalam persaingan global, semua produsen harus bersaing dengan pesaing internasional. Produsen yang menghasilkan produk berkualitas dengan harga bersaing akan menang dan bertahan di pasar. Sebaliknya, kekasaran permukaan merupakan ciri utama yang menentukan kualitas produk olahan. Sifat-sifat ini mudah diukur dan dijadikan sebagai kriteria kualitas produk (Nugraha et al., 2020).

Manufaktur tidak terlepas dari proses pemesinan, terutama pada proses pembubutan. *Turning* merupakan proses pembentukan benda kerja menggunakan mesin untuk membentuk silinder, dapat juga dilakukan untuk pembuatan ulir, lubang pengeboran serta meratakan permukaan benda dengan metode memotong barang kerja yang berputar pada poros gerak (*spindle*) memakai pahat potong dengan tingkatan kekerasan tertentu terhadap permukaan poros pada benda kerja (Rozaq & Iswanto, 2017).

Mutu produk mekanik senantiasa terkait pada ukuran, toleransi, serta nilai produk akhir. Oleh sebab itu, dibutuhkan sebuah mesin yang bisa menciptakan produk dengan mutu terbaik. Salah satunya merupakan pemakaian mesin *CNC* (*Computer Numerical Control*). Dibandingkan dengan mesin tradisional, mesin *CNC* memiliki banyak keunggulan seperti presisi tinggi, akurasi dimensi tinggi, waktu produksi yang efisien, dan produktivitas yang tinggi (Nugroho et al., 2012).

Dalam proses pemesinan *CNC*, faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja harus diperhatikan. Hal tersebut diperlukan selama proses pemesinan, karena semakin tinggi mutu pada permukaan benda kerja proses pemesinan maka akurasi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Keakuratan ini akan mempengaruhi fungsionalitas produk dengan menilai apakah produk tersebut dapat diterima. Tingkat kekasaran permukaan yang tinggi dapat mempengaruhi kinerja

suku cadang mesin yang dipasangkan, sehingga berpengaruh pada komponen berpasangan lainnya. Riset terhadap hasil mutu pada *surface roughness* benda kerja proses pengerjaan dimesin yang diteliti umumnya bertujuan untuk menciptakan mutu yang optimal terhadap harga kekasaran permukaan suatu benda kerja proses pemesinan.

Putaran spindel mesin, gerakan *feeding*, dan kedalaman potong saat proses pembubutan sangat mempengaruhi harga kekasaran permukaan benda kerja. (Apreza et al., n.d.) mengungkapkan dalam penelitiannya bahwa parameter tersebut mempengaruhi kekasaran, dengan pengaturan parameter nilai kekasaran optimal sebesar $0,8 \mu\text{m}$.

Studi lanjutan yang oleh (Kurniawan et al., 2019) juga melakukan penelitian optimasi kekasaran permukaan material amutit menggunakan mesin bubut *Computer Numerical Control* dengan pengaturan parameter kekasaran permukaan terendah, kecepatan spindel ditetapkan pada 2420 rpm, kedalaman pemakanan yang diatur pada kedalaman 1 mm, kemudian kecepatan potong ditetapkan pada nilai 0,25 mm/put, dengan harga kekasaran yang diperoleh sebesar $2.988 \mu\text{m}$.

(Siswanto & Sunyoto, 2018) Mengungkapkan terdapat sebagian aspek yang memiliki pengaruh pada harga kekasaran permukaan benda proses pembubutan. Tidak hanya keahlian operator, kedalaman potong serta kecepatan potong memiliki pengaruh signifikan terhadap harga kekasaran permukaan benda kerja. Kualitas pembubutan selain *cutting speed*, *feeding* dan *depth of cut*. Kedalaman pemakanan sering tidak diperhatikan oleh operator dengan tujuan agar mereka dapat menyelesaikan pekerjaan dengan cepat, sehingga kedalaman pemakanan yang besar sering digunakan. Sementara itu, karena faktor waktu, kecepatan potong seringkali diabaikan untuk menyelesaikan pekerjaan dengan cepat. Dilihat dari kedua faktor ini sangat penting dalam proses mendapatkan hasil permukaan yang tepat dan tingkat kekasaran yang kecil pada proses pemesinan.

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, kekasaran permukaan baja St 40 merupakan respon yang ingin diteliti, baja ST 40 yaitu baja karbon rendah *low carbon steel* yang memiliki kadar karbon kurang dari 0,2%, dan biasa dikenal sebagai *low carbon steel*. Baja ST40 memiliki karakteristik kekuatan yang rendah

dan keuletan yang tinggi, tidak dapat dikeraskan dengan *hardening* kecuali pada proses pengerasan permukaan, material baja ini sering digunakan sebagai bahan untuk pembuatan bagian-bagian mekanik karena memiliki keuletan tinggi. (Adrianto, 2011). Rancangan variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan pada penelitian ini menggunakan desain eksperimen *Central Composite Design 2* faktor dalam *Response Surface Methodology (RSM)*.

Penelitian yang akan dilakukan mengacu pada penjelasan latar belakang diatas, sehingga dilakukan penelitian optimasi pada variabel proses permesinan bubut CNC terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja dengan judul **“Optimasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja St 40 Pada Prsoses Bubut CNC Menggunakan *Response Surface Methodology*”**

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan proses pembubutan dimesin CNC terhadap hasil kekasaran permukaan material ST 40?
2. Bagaimana pengaturan variasi variabel proses pembubutan untuk mendapatkan nilai kekasaran optimal terhadap permukaan baja ST40 menggunakan *Response Surface Methodology*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian harus ditentukan agar proses penelitian yang akan dilakukan lebih jelas dan terarah, batasan masalah yang ditetapkan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Menggunakan mesin *CNC type MORY SEIKI SL-25* dalam proses pembubutan.
2. Bahan benda kerja penelitian yang digunakan yaitu baja ST 40.
3. Ukuran benda kerja $\varnothing 40 \times 100$ mm.
4. Digunakan jenis pahat *insert carbide type WNMG 080408-M3P*
5. Pada penelitian ini penulis hanya menggunakan variabel kecepatan potong dan

- kedalaman pemakanan proses pembubutan dimesin CNC.
6. Tidak menghitung waktu proses pembubutan.
 7. Menggunakan media pendingin yaitu dromus B secara normal dalam proses permesinan.
 8. Menggunakan *Surface Raughness Tester Mitutoyo SJ-210*.
 9. Metode yang digunakan adalah *Response Surface Methodology*

1.4 Tujuan Masalah

Tujuan dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variabel pemesinan kecepatan potong dan kedalaman pemakanan proses pembubutan terhadap kekasaran permukaan material ST 40.
2. Mengetahui pengaturan variasi variabel proses pembubutan untuk menghasilkan nilai kekasaran optimal terhadap permukaan pada material ST40 menggunakan *Response Surface Methodology*

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini yaitu:

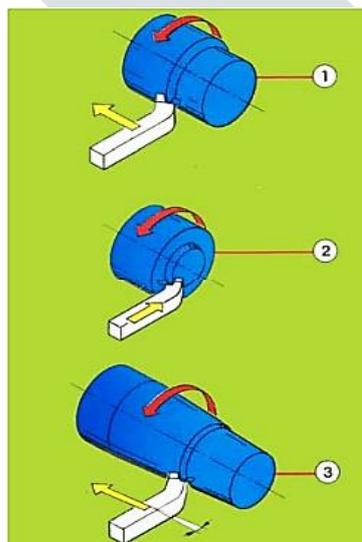
1. Mengetahui pengaruh dan variasi pengaturan variabel proses yang tepat untuk mengoptimalkan kekasaran permukaan baja ST 40.
2. Sebagai bahan referensi untuk penelitian serupa dalam pengembangan optimasi variabel proses pembubutan terhadap kekasaran permukaan benda kerja ST 40.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Proses Pembubutan (*Turning Process*)

Proses pembubutan yaitu proses pemesinan yang menghasilkan beberapa komponen mesin yang dibuat pada mesin bubut (*Turning Machine*). Prinsip dasar pembubutan diinterpretasikan sebagai pemakanan permukaan luar pada material seperti poros yang berputar, menggunakan pemotong titik tunggal dan mata potong bergerak dengan jarak tertentu sejajar dengan sumbu benda kerja sehingga mengikis bidang luar sebuah material (Widarto et al., 2008).

Facing adalah pembubutan yang identik dengan permukaan, tetapi gerak pemakanan pembubutan *facing* tegak lurus searah sumbu benda kerja. Proses pembubutan tirus prinsipnya serupa dengan proses pembubutan permukaan luar, yang membedakan arah sumbu pahat menyesuaikan bentuk sudut tertentu terutama terhadap sumbu benda kerja. Demikian pula proses pembubutan profil dilakukan dengan memvariasikan kedalaman pemotongan untuk mencapai bentuk yang diinginkan. Ketiga proses pembubutan yang dijelaskan ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dibawah ini:



Gambar 2.1. (1) Permukaan, (2) *Facing*, (3) Bubut Tirus (Widarto et al., 2008).

2.2 Mesin Bubut CNC

2.2.1 Defenisi CNC *Turning Machine*

Mesin bubut CNC yaitu mesin yang dikendalikan oleh sistem CNC (*Computer Numerical Control*) di mana benda kerja dicekam dan diputar oleh spindel, sementara pemotong yang digunakan dipasang dan dioperasikan pada sumbu yang berbeda. Mesin bubut CNC umumnya digunakan untuk benda kerja dengan bentuk simetris/lingkaran dan poros yang dapat dicekam pada secara melingkar pada spindel.

Mesin bubut CNC sederhana beroperasi pada dua sumbu (*axis*) dengan pemotong yang dipasang secara tetap pada *station turret* 8 hingga 24. Proses berputar sebuah komponen dikenal sebagai "*Turning*". Oleh karena itu, beberapa mesin bubut CNC juga disebut *CNC Turning Machines*. Sumbu-Y atau opsi khusus tambahan untuk otomasi dalam mesin bubut umumnya disebut sebagai "*Turning Centres*".

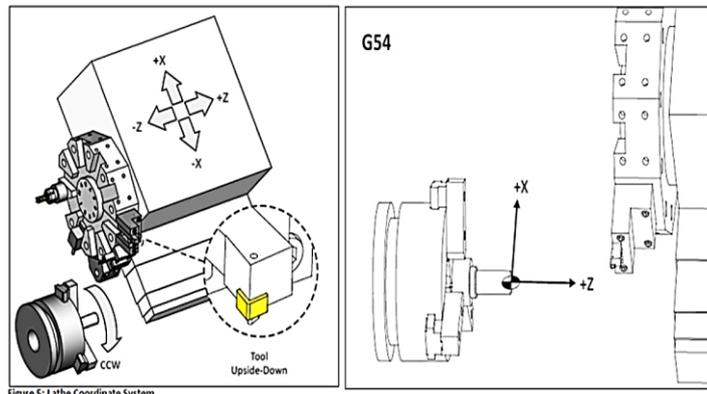
Mesin bubut CNC ini mampu melakukan proses pengerjaan komponen yang kompleks melebihi standar permesinan diameter luar (OD) dan diameter dalam (ID) untuk menyelesaikan produksi komponen dalam satu konfigurasi. Memproses bahan baku menjadi produk jadi. (www.hwacheonasia.com).

2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Bubut CNC

Mesin bubut CNC pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang persis seperti mesin bubut biasa, yaitu memiliki prinsip dasar gerakan, yaitu gerakan arah vertikal dan arah horizontal dengan mekanisme kordinat sumbu X dan Z dengan benda kerja dipasang pada chuck dan alat potong tetap. Kebanyakan mesin bubut diprogram pada dua sumbu:

- Sumbu X menyatakan gerak vertikal dengan sumbu rotasi.
- Sumbu Z menyatakan gerak horizontal dengan sumbu rotasi.

Arah gerak mesin bubut CNC adalah notasi dengan sumbu X yang menyatakan arah gerak vertikal tegak lurus pada sumbu putar, sedangkan sumbu Z yang menyatakan arah horizontal gerak sejajar dengan sumbu rotasi (Widarto, 2008) pada Gambar 2.2. Sebagai berikut:



Gambar 2. 2. Sumbu Utama Koordinat X dan Y Mesin Bubut CNC (Arifin, 2017)

2.2.3 Part Utama Mesin Bubut CNC

Part utama dari mesin bubut CNC (*Computer Numerical Control*) ditunjukkan pada Gambar 2.3. sebagai berikut:



Gambar 2. 3. Komponen Utama Mesin Bubut CNC (Furqoni, 2020)

Beberapa part utama yang terdapat pada mesin bubut CNC (Furqoni, 2020) yaitu:

1. Kepala tetap (*Headstock*)

Komponen kepala tetap mesin bubut CNC tidak jauh berbeda dengan mesin bubut biasa/tradisional. Terdapat motor penggerak dan pengaturan roda gigi pada bagian kepala tetap untuk memutar main *shaft* dan *gear set*. Pengaturan roda gigi digunakan khusus untuk mengendalikan kecepatan putaran mesin. Mengendalikan kecepatan putaran mesin memanfaatkan program berupa intruksi yang diinput menggunakan panel sebagai penahan benda kerja, dipasang *chuck* pada komponen kepala tetap.

2. Meja Mesin Bubut *CNC*

Bagian meja mesin bubut biasanya terbuat dari material yang keras agar tidak mudah terkikis saat terjadi penggesekan, diaplikasikan sebagai alas atau *track* untuk alat potong yang terpasang pada *turret*.

3. Cekam (*Chuck*)

Chuck umumnya berperan menjepit benda kerja saat dilakukan proses pembubutan. Untuk mencapai pengerjaan terbaik benda kerja harus dijepit dengan benar-benar aman dan kokoh.

4. Kepala Lepas (*Tailstock*)

Bagian ini berperan selaku penyangga *chuck* saat menjepit benda kerja. Contohnya, pada benda kerja dengan ukuran panjang, rotasi atau gerak sumbu tersebut berfungsi lebih normal. Tak hanya itu, daya cengkramnya juga lebih kokoh sehingga posisi benda kerja tidak mudah berubah, dan proses pemrosesan mudah diselesaikan.

5. *Tailstock Quil*

Tailstock quil diaplikasikan sebagai pegangan tambahan. Didorong oleh tekanan hidrolis/pneumatik dimana tekanan pada *tailstock quill* sangat dibutuhkan guna memperkokoh pencekaman.

6. Pedal kaki (*foot pedals foot switch*)

Pedal kaki ini berfungsi sebagai pengendali pencekaman dan *tailstock*. Pedal kaki ini dimanfaatkan untuk membuka dan melepas benda kerja dari pencekaman.

7. Panel Kendali *CNC* (*CNC Control Panel*)

Panel kendali didedikasikan sebagai pengendali untuk mengendalikan dan mengontrol keseluruhan mesin menggunakan program *CNC* yang diinput melalui panel kontrol. Mulai dari menghidupkan mesin hingga pekerjaan selesai. Dan panel kontrol juga berfungsi dalam pembuatan program baru atau mentransfer program pada *port* USB yang ada.

8. Tool Turret

Posisi *tool post* digantikan oleh *tool turret* merupakan perbedaan mesin bubut tradisional dengan mesin bubut CNC. *tool turret* merupakan stasiun penempatan beberapa alat potong, perlengkapan alat potong yang diperlukan dipasang di *turret*. Terdapat berbagai jenis *tool turret* tergantung dari jumlah dan bentuk alat potong yang dapat dipasang.

2.2.4 Pemrograman Mesin CNC

Pemrograman adalah serangkaian instruksi, disusun secara rinci blok demi blok, untuk memberikan input perintah yang harus dilakukan selama proses pembubutan pada mesin CNC.

1. Metode pemrograman CNC

Secara umum, ada dua jenis teknik pemrograman bubut CNC, yaitu teknik inkremental dan teknik absolut.

a. Teknik inkremental

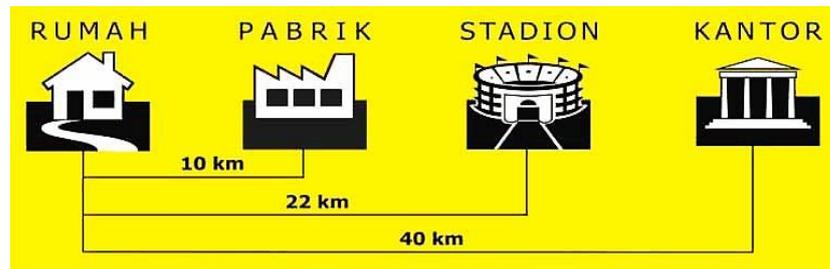
Teknik inkremental merupakan teknik pemrograman yang titik awalnya tidak menentu atau berubah, karena titik terakhir sebagai acuan titik awal baru dari dimensi berikutnya. Teknik inkremental dapat divisualisasikan seperti Gambar 2.4. dibawah ini:



Gambar 2. 4. Teknik Inkremental (Widarto et al., 2008).

b. Teknik Absolute

Teknik *absolute* merupakan teknik pemrograman yang titik awal selalu tetap, yaitu titik awal sebagai titik acuan untuk semua dimensi. Untuk informasi lebih detail teknik *absolute* dapat divisualisasikan seperti Gambar 2.5 dibawah ini:



Gambar 2. 5. Teknik *Absolute* (Widarto et al., 2008).

2. kode Pemrograman

Kode pemrograman merupakan intruksi dalam bentuk blok kode alfanumerik dan simbolik. Pada mesin CNC termuat fungsi PC berupa MCU (*Machine Control Unit*). Peran MCU adalah mengartikan kode pemrograman ke dalam bentuk konfigurasi gerak sumbu selaras dengan geometri benda (Widarto et al., 2008).

MCU pada mesin CNC hanya dapat mengartikan kode pemrograman standar ketetapan industri yang memproduksi mesin CNC tersebut. Kode umum yang digunakan dalam pemrograman mesin CNC berupa kode-G dan kode-M. Kode G umumnya dikenal sebagai kode siklus karena mengarah pada pergerakan sumbu X, Y, dan Z dari alat mesin. Kode-M, atau kode lainnya, berfungsi untuk mengaktifkan atau menonaktifkan setiap fungsi yang mengontrol pengoperasian alat mesin tertentu.

Bahasa kode G dan fungsi yang umumnya diaplikasikan pada pengoperasian mesin bubut CNC terdapat pada Tabel 2.1. terkait dibawah ini:

Tabel 2. 1. Kode G dan Fungsinya

Kode G	Fungsi
G00	Perintah gerakan tanpa pemakanan
G01	Perintah pergerakan pemakanan lurus
G02	Perintah gerak pemakanan melingkar searah jarum jam
G03	Perintah gerak pemakanan berlawanan arah jarum jam
G04	Perintah gerakan berhenti sejenak
G40	Membatalkan kompensasi radius
G41	Untuk pembubutan diameter dalam

Lanjutan Tabel 2. 1 Kode G dan Fungsinya

G42	Untuk pembubutan diameter luar
G54	Berarti titik nol benda kerja diaktifkan
G70	Perintah <i>finishing</i>
G71	Perintah pemakanan berulang secara otomatis
G90	Pemrograman <i>absolute</i>
G91	Pemrograman inkremental
G92	Pembuatan ulir
G96	Mengatur kecepatan potong
G97	Pengaturan kecepatan potong konstan OFF

Sumber: (Widarto et al., 2008)

Sedangkan kode M dan fungsi yang umumnya diaplikasikan dalam pemrograman mesin CNC terdapat pada Tabel 2.2. dibawah ini:

Tabel 2. 2. Macam-Macam Kode M dan Fungsi

Kode M	Fungsi
M02	Program telah berakhir
M03	Spindel AKTIF searah jarum jam
M04	Spindel AKTIF berlawanan arah jarum jam
M05	Spindel MATI
M08	Nyalakan pendingin
M09	Matikan pendingin
M30	Keluar dari program dan kembali ke posisi alat terakhir

Sumber: (Widarto et al., 2008)

2.3 Baja ST 40

Baja ST 40 tergolong dalam baja karbon rendah (Rohadi & Syafaat Imam, 2013). Baja ST 40 tergolong dalam kesatuan baja karbon rendah dengan kandungan karbon yang dimiliki berkisar 0,025% - 0,25% C. 10–30 kg karbon per1 ton baja karbon rendah. dan kekuatan tarik maksimum baja ST 40 adalah 40 KG/mm².

2.3.1 Penggunaan Baja ST 40

Baja ST 40 diklasifikasikan kedalam baja karbon rendah, kepemilikan karbon yang dimiliki kurang dari 0,2%, umumnya di sebut *mild steel*. Baja ST 40 memiliki karakteristik kekuatan rendah, keuletan tinggi dan tidak dapat dikeraskan dengan *hardening* kecuali menggunakan proses pemanasan permukaan. Baja ST 40 sering digunakan dalam pembuatan komponen-komponen mesin (Adrianto, 2011).

2.3.2 Unsur Baja ST 40

Kandungan unsur yang terdapat pada baja ST 40 dapat dilihat pada data Tabel 2.3. dibawah ini:

Tabel 2. 3. Unsur Baja Karbon ST 40

Unsur	%	Sifat Mekanik Lainnya
<i>Karbon</i>	0,15-0,20	<i>Tensile strenght</i>
<i>Mangan</i>	0,85-1,067	<i>Yield strenght</i>
<i>Fosfor</i>	<i>Max.</i> 0,016	<i>Elongation</i>
<i>Sulfur</i>	<i>Max.</i> 0,021	<i>Reduction in area</i>
<i>Silican</i>	0,20-0,24	<i>Hardness</i>

Sumber: *Mill Certificate*

2.3.3 Sifat Mekanik Baja ST 40

Spesifikasi sifat-sifat mekanik yang terdapat pada baja karbon ST 40 dapat dilihat dari Tabel 2.4. yang terkait sebagai berikut:

Tabel 2. 4. Sifat Mekanis Baja ST 40

SIFAT MEKANIS	SYMBOL	BAJA ST 40
<i>Young's modulus (Gpa)</i>	<i>E</i>	190 - 210
<i>Poisson's ratio</i>	<i>V</i>	0,26
<i>Desnsity (Kg/m³)</i>	<i>P</i>	7.860
<i>Yield strength (MPa)</i>	<i>Sy</i>	205 - 245
<i>Tensile strength (MPa)</i>	<i>St</i>	400 – 510
<i>Elongation (%)</i>		27 – 30
<i>Hardness (Hb)</i>	<i>Hb</i>	160

Sumber: *Mill Certificate*

2.4 Pahat Potong

(Johan, 2018) Mengatakan bahwa Keterbatasan kemampuan material pahat perlu diperhatikan karena dalam beberapa jenis pemesinan diperlukan mata potong/pahat dengan jenis material yang sesuai. Pahat berikut ini umum digunakan, dengan urutan bahan dengan tingkatan *range* relatif lunak hingga tingkatan kekerasan yang paling tinggi yaitu:

1. Baja karbon tinggi.
2. Baja kecepatan tinggi (*HSS*)
3. Pengecoran paduan non-logam (pengecoran paduan non-ferro, pengecoran karbida).
4. Karbida (Karbida Cermet, Logam Keras).
5. keramik.
6. CBN (*Cubic Boron Nitride*).
7. Berlian (Berlian Sinter dan Berlian Alami).

2.4.1 Karbida (*Carbide*)

Pahat jenis ini terbuat dari gabungan bahan kimia. Bentuk dasar karbida adalah butiran abrasif yang sangat halus, dapat dikeraskan kemudian dibentuk menjadi perkakas industri. Karbida semen ini 3 kali lebih keras dari baja. Sehingga proses pemolesan hanya bisa dilakukan dengan menerapkan silikon karbida, boron nitrida atau bahkan intan.

Kekerasan karbida panas yang disemen (diikat) akan mengalami penurunan ketika komponen pengikat melunak. Semakin meningkat persentase pengikat Co, semakin rendah tingkat kekerasannya, sebaliknya semakin meningkat persentase pengikat Co maka keuletannya akan semakin membaik (Johan, 2018).

Menurut Rochim (1993), *carbide insert cutter* dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Tungsten carbide* (WC+Co) adalah *carbide cutter* digunakan untuk pemotongan/penyayat besi tuang (*Cast iron cutting grade*).
2. *Tungsten carbide alloy* (WC-TiC+ Co; WC-Ta C-TiC+Co; WCTaC+Co; WC-TiC-TiN+Co; TiC+Ni, Mo) adalah spesifikasi *cutter* karbida penyayat baja.

3. Karbida lapis (*Coated cemented carbides*), adalah *tungsten carbide* yang diberi lapisan, satu atau lebih dari jumlah lapisan karbida nitrida, oksida lain yang lainnya lebih rapuh tetapi oksida kekerasan panasnya tinggi.

2.5 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan produksi yang dihasilkan melalui proses pemesinan, contohnya pada proses pembubutan adalah sebagian karakteristik kualitas utama pada pembuatan dan rancangan komponen mekanik (Rochim, 2001). Kekasaran permukaan adalah simpangan mean aritmatika dari profil garis tengah, aritmatika (R_a) adalah rata-rata puncak paling tinggi dan paling rendah dari setiap puncak yang diukur pada ketentuan panjang tertentu.

Simpangan mean aritmatika (R_a) sebagai mean koordinat dari profil garis tengah efektif. Kontur efektif adalah kontur luas permukaan efektif yang memotong bidang yang secara tradisional ditentukan untuk permukaan geometris yang ideal.

2.5.1 Parameter-Parameter Permukaan

Profil permukaan adalah tingkat kerataan tekstur dari sebuah permukaan benda kerja, terdapat beberapa profil permukaan diantaranya (Munadi, 2017):

1. Profil Geometris Ideal (*Geometrically Ideal Profile*)

Profil ini merupakan permukaan geometris ideal yang tidak dapat diperoleh karena banyak faktor yang mempengaruhi proses pembuatannya. Dimensi dari profil geometris ideal ini yaitu garis lurus, kurva, dan lingkaran.

2. Profil Acuan (*Reference Profile*)

Reference Profile atau acuan visualisasinya sama dengan profil geometris ideal, tetapi persis bersinggungan dengan puncak yang paling tinggi dari profil yang diukur pada panjang sampling dalam pengukuran, profil acuan digunakan sebagai dasar dalam menganalisis karakteristik permukaan.

3. Profil Terukur (*Measured Profile*)

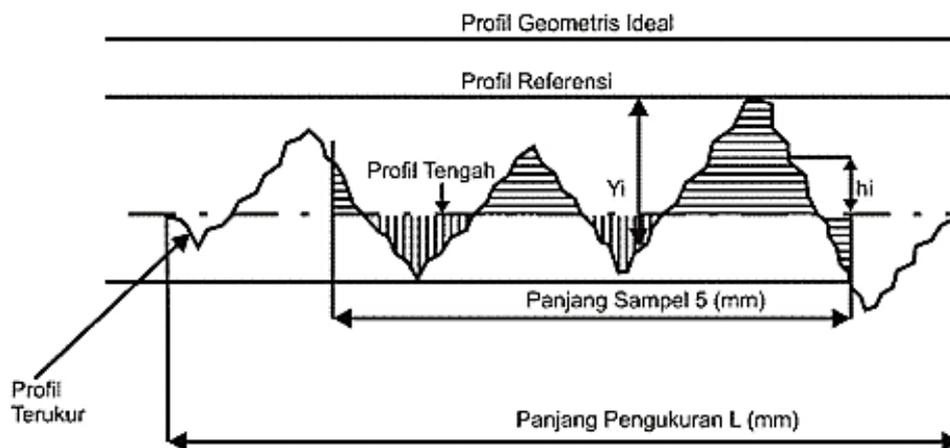
Profil terukur yaitu profil permukaan yang digunakan sebagai data dalam menganalisa jenis kekasaran permukaan pada benda kerja yang dikerjakan dengan mesin, profil yang didapatkan dengan melalui proses pengukuran.

4. Profile Dasar (*Root Profile*)

Profil dasar merupakan sebagai profil acuan, yang digerakan turun menuju titik terendah dari profil yang diukur.

5. Profile Pusat (*Centre Profile*)

Profil pusat adalah profil yang terletak di tengah. Dengan demikian, luas total dari puncak profil pusat hingga profil yang diukur sama dengan luas total dari area atas atau bawah profil pusat hingga profil yang diukur. Profil pusat sebenarnya adalah profil acuan yang sedikit digeser ke bawah tegak lurus searah profil geometrik ideal, sehingga mengintegritaskan dengan membagi penampang permukaan dalam dua bagian yang serupa, profil puncak dan profil dasar. Untuk memperjelas penempatan profil geometrik ideal, profil pengukuran, profil acuan, profil dasar, dan profil rata-rata ditunjukkan pada Gambar 2.6:



Gambar 2. 6. Profil Suatu Permukaan

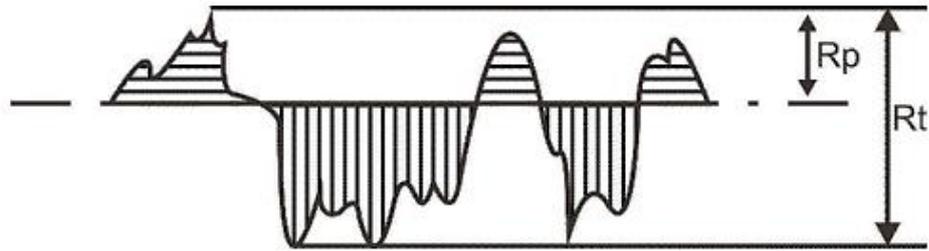
Beberapa parameter yang dapat digambarkan dari profil di atas antara lain:

6. Kedalaman Total (*Peak to Valley*), R_t

Kedalaman total merupakan jarak dari profil acuan ke profil dasar. mikron (μm) adalah satuan kedalaman total.

7. Kedalaman Perataan (*Peak to Mean Line*), R_p

Jarak *mean* dari profil acuan ke profil terukur atau jarak antara profil pusat dan profil acuan disebut dengan kedalaman perataan (R_p). Lihat Gambar 2.7 sebagai berikut:



Gambar 2. 7. Kedalaman Total dan Kedalaman Perataan

8. Kekasaran Mean Aritnetis R_a

Kekasaran rerata Aritnetis merupakan nilai *mean* aritmatik dari nilai mutlak antara jarak profil pusat dengan profil terukur.

9. Rata-rata kuadrat kekasaran R_g (μm)

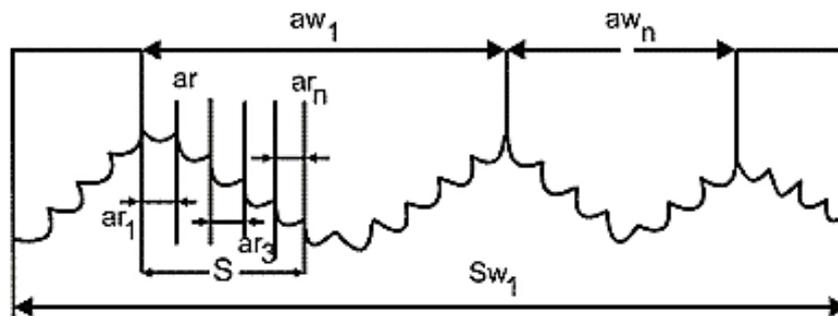
Nilai rata-rata kuadrat kekasaran yaitu jarak kuadrat *mean* dari harga profil yang diukur ke profil tengah. Terdapat beberapa parameter dalam arah horisontal yang dapat digunakan untuk menggambarkan ketidakteraturan permukaan. Parameter ini meliputi:

- Lebar Gelombang (*Waviness Width*), A_w

Panjang gelombang adalah *mean* aritmatika dari jarak total antara dua puncak yang berdekatan dari gelombang profil yang diukur sepanjang *sampling* sw . Satuan panjang gelombang yaitu mm.

- Lebar Kekasaran (*Roughness Width*), A_r

Tinggi puncak ke lembah adalah *mean* aritmatika dari jarak total antara dua puncak kekasaran yang berdekatan di atas panjang benda yang diukur s dari profil yang diukur. Lebar kekasaran ditunjukkan dalam satuan mm. Pada Gambar 2.8 di bawah ini:



Gambar 2. 8. Lebar Gelombang dan Lebar Kekasaran. (Munadi, 2017)

Dibandingkan dengan parameter kekasaran permukaan lainnya, R_a lebih sensitif terhadap penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan terhadap permukaan dan cocok untuk mengontrol mutu permukaan akhir material yang diproduksi secara massal. Tetapi jika mengidentifikasi permukaan difungsikan untuk menjelaskan ketidakaturan konfigurasi yang saling bersangkutan, parameter R_a sebenarnya tidak memiliki dasar yang kuat dalam identifikasi permukaan. Hal ini disebabkan pada beberapa profil permukaan dapat mendapatkan nilai R_a yang hampir serupa. Beberapa pengaruh yang terkait terhadap kekasaran permukaan yaitu:

- Parameter pemesinan kecepatan potong, kedalaman potong, dan pergerakan pemakanan
- Bentuk radius dan sudut mata potong.
- Karakteristik material benda kerja dan material alat potong.
- Media pendingin.
- karakteristik dan mutu mesin yang digunakan.
- Getaran pada mesin, mata potong dan benda kerja.

10. Kekasaran Total Mean R_z (μm)

Kekasaran total mean R_z merupakan jarak 5 puncak paling tinggi antara profil alas ke profil yang diukur dikurang jarak mean profil alas ke profil yang diukur pada 5 lembah paling rendah.

2.5.2 Toleransi Harga R_a

Nilai rata-rata aritmetika kekasaran R_a juga memiliki nilai toleransi kekasaran. Oleh karena itu, setiap harga kekasaran memiliki tingkat kekasaran mulai dari N1 hingga N12. Harga kekasaran toleransi R_a biasanya memiliki range 50% dan 25%. Tabel 2.5. merupakan rata-rata nilai kekasaran dan toleransinya.

Tabel 2. 5. Toleransi Harga Kekasaran Rata-Rata R_a

Kelas kekasaran	Harga R_a (μm)	Toleransi	Panjang sampel (mm)
N1	0,0025	0.02 – 0.04	0.08
N2	0,05	0.04 – 0.08	
N3	0,0	0.08 – 0.15	0.08
N4	0,2	0.15 – 0.3	
N5	0.4	0.3 – 0.6	0.8
N6	0.8	0.6 – 1.2	
N7	1.6	1.2 – 2.4	
N8	3.2	2.4 – 4.8	
N9	6.3	4.8 – 9.6	2.5
N10	12.5	9.6 – 18.75	
N11	25.0	18.75 – 37.5	8
N12	50.0	37.5 – 75.0	

Sumber: (Munadi, 2017)

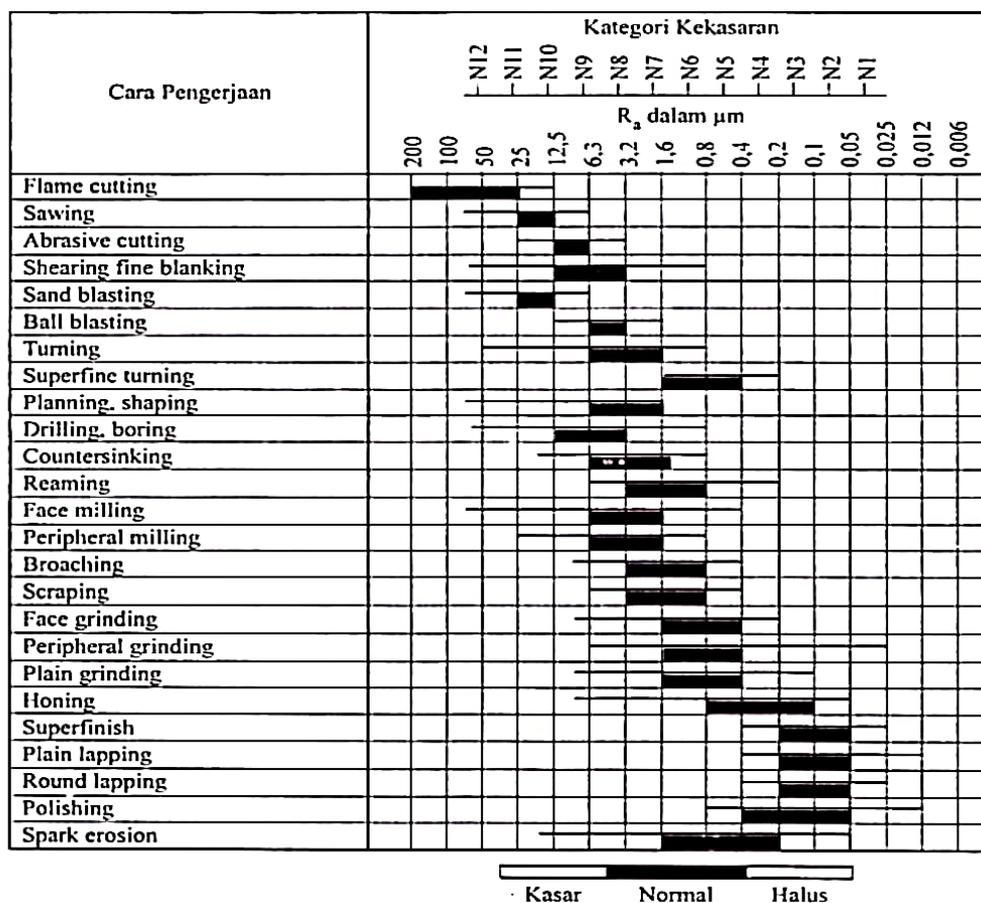
Tabel 2. 6. Tingkat Kekasaran Permukaan Menurut Proses Pengerjaannya

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga R_a
<i>Flat and cylindrical lapping</i>	N1-N4	0.025-0.2
<i>Superfinishing diamond turning</i>	N1-N6	0.025-0.8
<i>Flat and cylindrical grinding</i>	N1-N8	0.025-3.2
<i>Finishing</i>	N4-N8	0.1-3.2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	N5-N12	0.4-50.0
<i>Drilling</i>	N7-N10	1.6-12.5
<i>Shapping, planning, horizontal milling</i>	N6-N12	0.8-50.0
<i>Sand casting and forging</i>	N10-N11	12.5-25.0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6-N8	0.8-3.2
<i>Die casting</i>	N6-N7	0.8-1.6

Sumber: (Munadi, 2017)

Toleransi kekasaran permukaan rata-rata R_a bergantung pada pengerjaan pemesinan. Pengerjaan *finishing* menggunakan mesin gerinda tentunya menghasilkan hasil permukaan yang lebih halus dibandingkan pada pengerjaan mesin bubut. Tabel 2.6. adalah contoh harga R_a grade kekasaran setelah diproses.

Kategori kekasaran dari tingkat kekasaran N1 hingga N12 dari proses pengerjaan terdapat pada Gambar 2.9 dibawah ini:



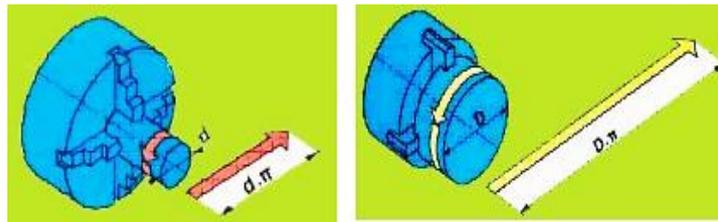
Gambar 2. 9. Kategori Kekasaran (Rochim 2001).

2.6 Variabel Penelitian

Variabel proses pembubutan merupakan informasi awal dan formula yang mendasar pada proses pemotongan/penyayatan pada benda kerja pada mesin bubut. Variabel pemesinan adalah sebagai berikut (Widarto et al., 2008).

2.6.1 Kecepatan Potong

Kecepatan rotasi, n (*Velocity*), selalu mengacu pada spindel utama dan benda kerja. Kecepatan rotasi dilambangkan dalam rotasi per menit (RPM). Namun yang diprioritaskan dalam pembubutan yaitu kecepatan potong atau kecepatan benda kerja melewati pahat atau keliling benda kerja lihat Gambar 2.10. sebagai berikut:



Gambar 2. 10. Kecepatan Potong (Widarto 2008)

Sederhananya, kecepatan potong dilambangkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan. Rumus kecepatan potong:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ (m/menit)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: V_c = Kecepatan potong (m/menit)

d = Diameter benda kerja (mm)

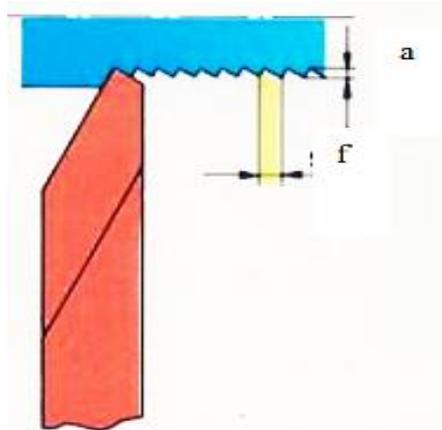
n = putaran spindel (rpm)

$\pi = 3,14$

Dengan demikian, diameter benda kerja, jenis benda kerja, dan jenis alat potong merupakan beberapa aspek yang menentukan kecepatan potong.

2.6.2 Kedalaman Pemangkanan

Kedalaman pemakanan yaitu tebal bagian luar material yang disayat saat proses bubut, atau jarak antar permukaan yang dipotong dengan permukaan yang tidak dipotong (Widarto et al., 2008). Lihat Gambar 2.11. Dibawah ini:



Gambar 2.11. Kedalaman Pemakanan (Widarto2008)

Pada saat proses pemotongan sebesar a , maka diameter material otomatis akan berkurang sebesar $2a$, dikarenakan permukaan material yang terpotong berada pada dua sisi, diakibatkan dari material yang berputar. Kedalaman pemakanan dirumuskan dalam:

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana = a : kedalaman pemakanan (mm)
 d_o : diameter awal (mm)
 d_m : diameter akhir (mm)

2.7 Media Pendingin

Pendingin diaplikasikan khusus dalam setiap proses pemesinan. Secara umum media pendingin memiliki fungsi untuk pelumasan serta mendinginkan benda proses pemesinan (Widarto et al., 2008). Fungsi media pendingin adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperpanjang masa penggunaan mata potong,
2. Pendingin dapat mengurangi gaya dan mengurangi rasio ketebalan beram, sehingga mengurangi gaya potong guna memperhalus permukaan komponen hasil pemesinan.
3. Media pendingin berfungsi sebagai media pelumas, pembersih/carrier (terutama pada pengerjaan bubut) ataupun mesin perkakas, dan mecegah benda kerja serta pada bagian mesin dari korosi.

2.8 Optimasi

Optimasi merupakan suatu disiplin ilmu dalam matematika yang fokus untuk mendapatkan sebuah nilai minimum atau maksimum secara sistematis dari suatu fungsi, peluang maupun pencarian nilai lainnya dalam berbagai kasus”. Penelitian ini dilakukan untuk mencari optimasi pada variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan (Ariyanto, 2018)

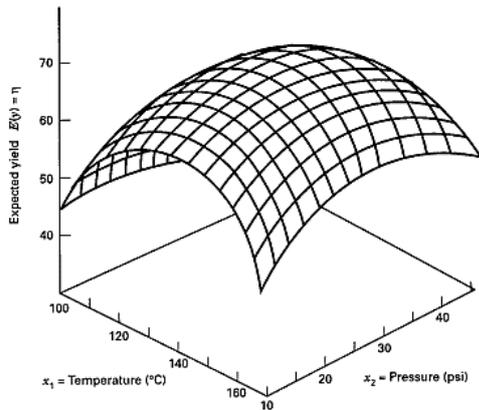
2.9 Response Surface Methodology

(Montgomery, 2001) metodologi permukaan respons adalah seperangkat metode matematika dan statistik yang digunakan dalam pemodelan dan analisis untuk memperhatikan pengaruh beberapa faktor kuantitatif pada sebuah variabel respon, bertujuan dalam mengoptimalkan faktor respon tersebut. Dalam mencari level (X1) dan (X2) yang bisa mengoptimalkan nilai respon (y). Hubungan beberapa variabel tersebut dinotasikan sebagai persamaan dibawah ini:

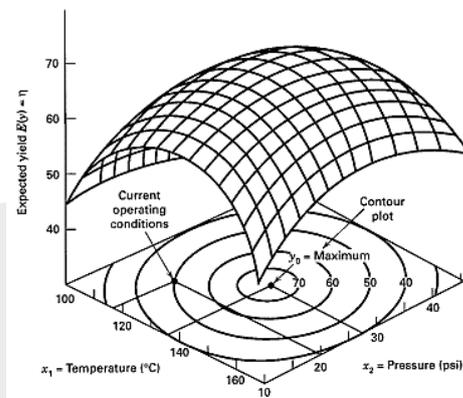
$$y = f(x_1 + x_2) + \varepsilon \dots\dots\dots (2.3)$$

Di mana ε adalah kesalahan observasi pada sebuah respon (y). Jika harga harapan respon dinotasikan $y = f(x_1 + x_2) = n$, maka $n = f(x_1 + x_2)$ disebut permukaan respon.

Biasanya, permukaan respons direpresentasikan secara grafis ditunjukkan pada Gambar 2.12. untuk memudahkan pembacaan bentuk visualisasi plot permukaan respon yang umumnya diaplikasikan sebagai *contour* dari permukaan respon, ditunjukkan pada Gambar 2.13. Pada *contour* ini, posisi garis respon lain berada pada permukaan lengkung di atasnya dan posisi garis respon konstan berada pada permukaan datar (x_1, x_2) .



Gambar 2. 12. Ilustrasi Plot Permukaan Respon. Montgomery (2001)



Gambar 2. 13. Ilustrasi Plot Kontur Response Surface. Montgomery (2001)

Permasalahan umum dalam metode *response surface* merupakan hubungan antara variabel respons dan variabel bebas tidak diketahui. Dengan demikian, langkah awal dalam metode permukaan respon yaitu menggunakan metode yang tepat untuk menemukan bentuk hubungan antara respons dan beberapa variabel bebas. Bentuk hubungan linier adalah hubungan pertama yang dicoba karena merupakan bentuk hubungan yang paling simpel (polinomial berderajat rendah). Jika bentuk hubungan antara respon dan variabel bebas ternyata berupa fungsi linier, maka pendekatan fungsionalnya disebut model orde pertama, sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon_i \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika bentuk ikatannya kuadratik, maka pendekatan fungsi menggunakan derajat polinomial yang lebih tinggi, yaitu model orde kedua.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=0}^k \beta_i x_i + \sum_{i=0}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \dots \dots \dots (2.5)$$

Hampir keseluruhan masalah pada metodologi permukaan respon mengaplikasikan salah satu dari kedua model di atas. Setelah menemukan bentuk ikatan yang sangat cocok, tahapan berikutnya yaitu mengoptimalkan ikatan tersebut. Jika permukaan yang sangat cocok ditemukan dengan perkiraan yang cukup, maka hasil analisa ini akan mengarah pada fungsi sebenarnya. Secara umum tahapan-tahapan dalam metode permukaan respon ialah mendesain eksperimen, membangun bentuk, serta melakukan optimasi.

2.9.1 Karakteristik Permukaan Respon

Untuk mendapatkan nilai x_1, x_2, \dots, x_k yang mengoptimalkan respons yang diprediksi. Jika terdapat nilai optimal tersebut, maka respon y pada persamaan (2.4) ialah himpunan yang terdiri dari x_1, x_2, \dots, x_k . Dalam notasi matriks dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x'b + x' Bx \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana,

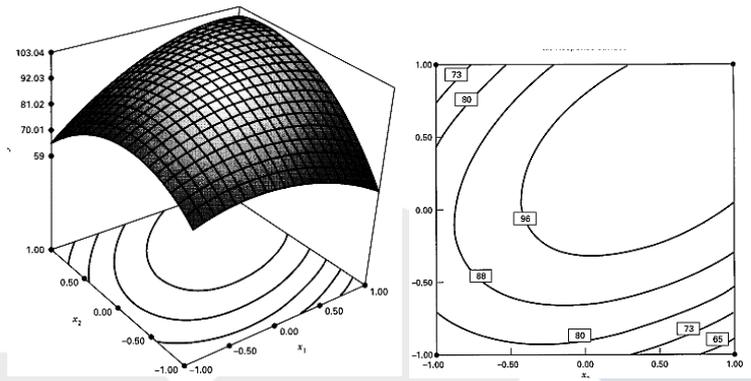
$$x' = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_3 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2 & \dots & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ \hat{\beta}_{12}/2 & \hat{\beta}_{22} & \dots & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\beta}_{1k}/2 & \hat{\beta}_{2k}/2 & \dots & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix}$$

b adalah matriks koefisien regresi *first order*, sedangkan B merupakan matriks *second order* berukuran $k \times k$ dimana bagian diagonal utama merupakan koefisien kuadrat murni $\hat{\beta}^{ij}$ dan bagian-bagian segitiga atasnya merupakan $1/2$ dari koefisien kuadratik gabungan ($\hat{\beta}^{ij}$, $i \neq j$).

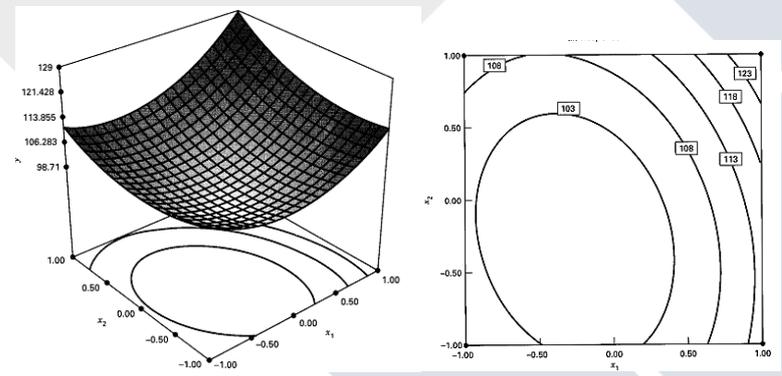
Jenis permukaan respon diaplikasikan untuk menunjukkan jenis titik *stationery point*, baik *maksimum*, *minimum*, atau *saddle point*. Persamaan untuk menentukan titik stasioner dari sebuah respon adalah:

$$x_0 = -\frac{1}{2}B^{-1}b \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

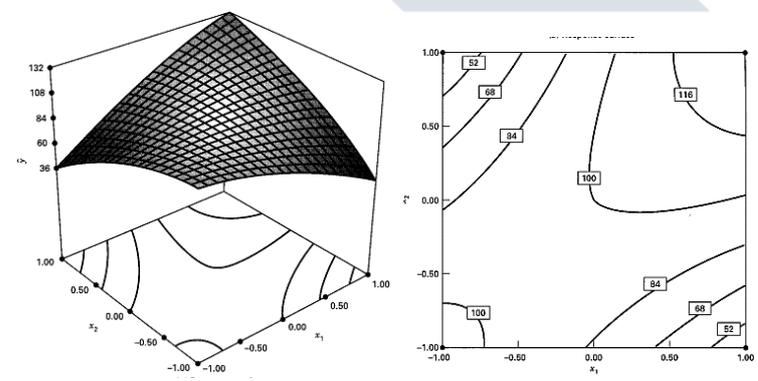
Berikut adalah beberapa gambar dari setiap karakteristik permukaan dan plot konturnya yang sesuai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14., Gambar 2.15., dan Gambar 2.16. dibawah ini:



Gambar 2. 14. Jenis Permukaan Respon *Maksimum*. Montgomery (2001)



Gambar 2. 15. Jenis Permukaan Respon *Minimum*. Montgomery (2001)



Gambar 2. 16. Jenis Permukaan *Saddle Point*. Montgomery (2001)

Titik stationary point dapat diketahui dengan melakukan perubahan fungsi response dari titik awal $x(0,0,\dots,0)$ ke titik *stationary* X_0 dan merotasikan sumbu koordinatnya secara bersamaan, maka fungsi respons menjadi:

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 w_1^2 + \lambda_2 w_2^2 + \dots + \lambda_k w_k^2 \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan: w_i = Variabel bebas baru yang diperoleh dari transformasi.

\hat{y}_0 = Estimasi nilai y titik stasioner x_0

λ_i = konstanta berupa nilai eigen matriks \mathbf{B} , $i = 1, 2, \dots, k$

Jenis permukaan yang sesuai dapat ditentukan dari nilai λ_i . Jika didapatkan keseluruhan nilai positif, maka nilai X_0 ialah titik minimumnya, sedangkan jika semuanya negatif maka nilai X_0 ialah titik maksimumnya, jika harga memiliki tanda yang berbeda antara nilai λ_i , dipastikan X_0 ialah titik *saddle point*.

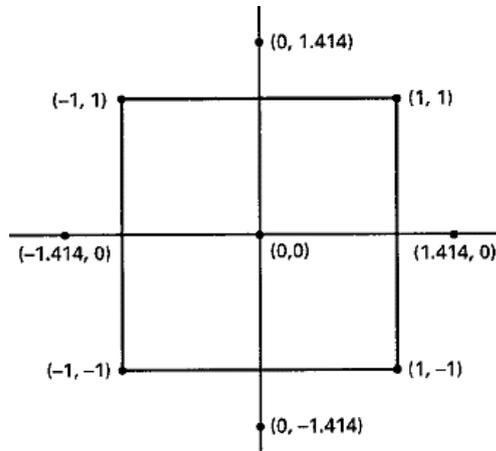
2.9.2 Rancangan Model Orde Kedua

Harga optimal didapatkan dari suatu model yang memenuhi dan memuat kurvatur, pada umumnya berupa second order model:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots\dots + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Kelompok desain yang paling umum untuk second orde model adalah desain komposit pusat atau (*Central Composite Design*) atau dapat menggunakan box behnken design. Secara praktis, *CCD* diaplikasikan melalui serangkaian percobaan. Eksperimen berupa faktorial $2k$ yang telah melewati model orde pertama tetapi menunjukkan kurangnya kesesuaian model. Titik aksial kemudian diimbuhkan ke eksperimen untuk mengisi titik kuadratik model. Penelitian ini menggunakan *Central Composite Design*. Gambar rancangan *CCD* sebagai berikut:

- *Central Composite Design (CCD)*



Gambar 2. 17. Central Composite Design 2k. Montgomery (2001)

Desain komposit pusat (*Central Composite Design*) adalah desain yang sangat sesuai untuk mendapatkan model *second order*. pada rancangan ini, ada dua parameter yang perlu peneliti ketahui terlebih dahulu yaitu jarak titik aksial dari pusat desain dan jumlah pusat (*Center Point*) nC. Perhitungan jarak/rotasi titik aksial ke pusat dinyatakan sebagai:

$$(\alpha) = 2^{k/4} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dalam menghitung nilai (α dan $-\alpha$) pada setiap faktor dilakukan beberapa perhitungan, sebagai berikut:

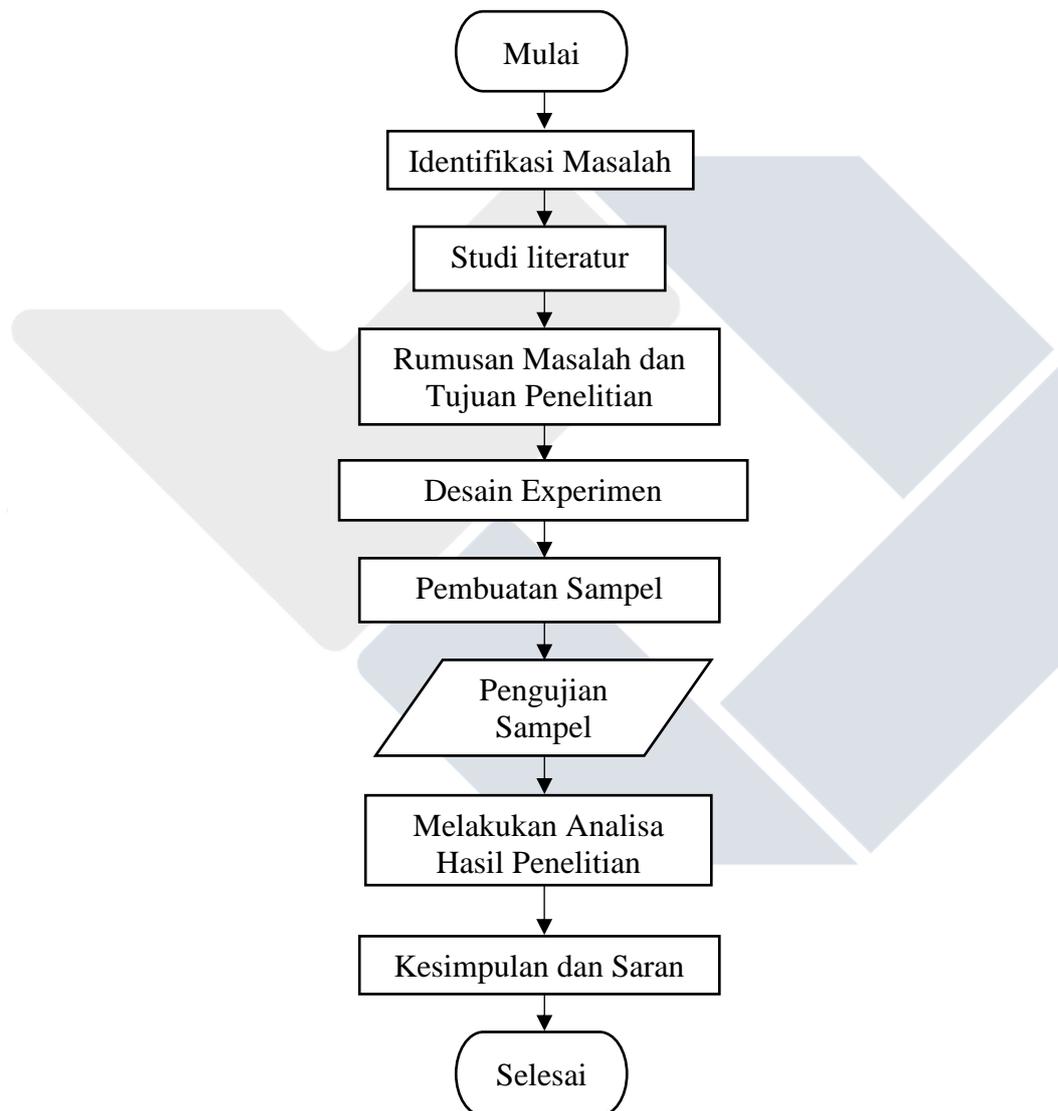
$$(\alpha) = \frac{X - CENTER POINT}{\frac{1}{2}(MAX - MIN)} \dots\dots\dots (2.11)$$

X merupakan variabel, *center point* merupakan titik tengah dari level variabel, $\frac{1}{2} (max - min)$ merupakan nilai level tertinggi dikurang nilai level terendah.

BAB III

METODE PELAKSANAAN

Alur penelitian yang dilakukan mengikuti *flowchart* yang telah ditentukan pada Gambar 3.1. dibawah ini:



Gambar 3. 1. *Flowchart* Penelitian

3.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah berupa tahapan proses yang sangat penting dalam melakukan sebuah penelitian yaitu sebagai langkah proses dan hasil pengenalan masalah atau menginventarisasi suatu masalah terhadap suatu topik. Dengan mengidentifikasi masalah sesegera mungkin, peneliti dapat melanjutkan ke tahap proses selanjutnya.

3.2 Study Literatur

Study literatur merupakan serangkaian kegiatan yang berkenaan mengenai suatu proses pengumpulan data kajian pustaka, mengelola bahan penelitian, membaca serta mencatat. Setiap penelitian study literatur wajib digunakan.

3.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah merupakan tahapan penelitian paling mendasar yang menjadi penentu mengenai bahasan yang akan dilakukan didalam sebuah penelitian dan Tujuan penelitian merupakan adalah pengamatan yang dapat menggambarkan atau menilai suatu keadaan atau memecahkan suatu masalah dalam suatu keadaan dan menunjukkan apa yang dikerjakan.

3.4 Desain Eksperimen

Desain eksperimen pada penelitian ini merupakan rancangan pada proses penelitian yang dilakukan, adapun desain eksperimen yang terkait dalam penelitian ini yaitu:

3.4.1 Variabel-Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian yang ditentukan sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*independent variabel*)

Variabel yang nilainya ditentukan dan memiliki pengaruh terhadap variabel respon. Variabel bebas pada penelitian ini merupakan alterasi kecepatan potong dan kedalaman pemakanan, dengan menggunakan 2 faktor 3 level ditunjukkan dalam tabel 3.1. Dibawah ini:

Tabel 3. 1. Daftar Variabel Bebas dan Level yang Ditentukan

Variabel Bebas	Level		
	1	2	3
Kecepatan Potong (m/menit)	200	230	260
Kedalaman Pemakan (mm)	0,6	0,8	1

2. Variabel Respon

Variabel respon adalah variabel dengan nilai yang tidak bisa ditetapkan dan nilainya dipengaruhi pada proses yang dilakukan, sehingga nilai yang diperoleh dapat diketahui sesudah percobaan dilakukan. Variabel respon penelitian ini yaitu kekasaran permukaan material pada benda kerja hasil pembubutan dimesin CNC.

3. Variabel Konstan

Variabel konstan adalah faktor yang belum diselidiki pada proses penelitian, dan nilai ini dijaga konstan agar tidak terjadi perubahan ketika melakukan percobaan, agar tidak mempengaruhi secara relevan terhadap hasil percobaan yang dilakukan. Faktor-faktor konstan dalam penelitian ini yaitu kode G97 dan media pendingin Dromus B tidak berubah-ubah.

3.4.2 Alat Dan Bahan

Selama melakukan penelitian, alat dan bahan penelitian harus ditentukan. Alat dan bahan yang terkait dalam proses penelitian ini yaitu:

1. Alat Penelitian

A. Mesin Bubut CNC

Selama proses pembubutan, mesin bubut *CNC* yang digunakan dalam proses penelitian ini menggunakan mesin *CNC MORI SEIKI SL-25* dengan spesifikasi dibawah ini:

- Type: *MORI SEIKI SL-25*
- Pembuatan: di buat di Jepang dengan tahun pembuatan 2011



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

B. Mata Potong

Mata potong (Pahat Bubut) yang diaplikasikan dalam proses pembubutan pada penelitian ini yaitu mata potong *insert carbide WNMG*. Mata potong yang digunakan dalam melakukan penelitian ini menggunakan mata potong *insert carbide merk WNMG*, mata potong atau pahat *carbide* memiliki ketahanan aus yang baik dengan tingkat kekerasan yang tinggi pada beberapa suhu, sehingga mata potong yang terbuat dari *carbide* lebih efektif dan efisien dalam penelitian ini. Mata potong terkait pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.3. Di bawah ini:



Gambar 3. 3. Mata Potong *Insert Carbide WNMG*.

Spesifikasi mata potong *WNMG 080408-M3P* dalam penelitian dapat ditunjukkan sebagai berikut:

- Jenis pahat: *Insert Carbide*
- *Type: WNMG 080408-M3P*
- Iso: P
- Vc: 140 - 320 m/min
- Fz: 0.15 - 0.50 mm/rev
- Ap: 0.50 - 4.00 mm

C. Alat Uji Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Alat Uji berfungsi untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja proses pembubutan dimesin *CNC*. Alat uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah Alat Uji *Mitutoyo SJ-210* yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.:



Gambar 3. 4. *Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210*

Data teknis alat ukur kekasaran permukaan *Mitutoyo SJ-210* dapat dilihat pada Tabel 3.2:

Tabel 3. 2. *Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210*

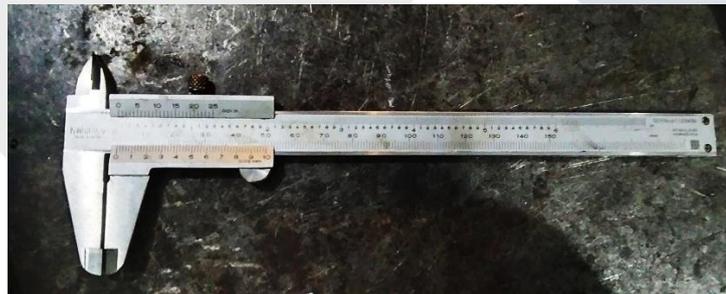
	Unit penggerak
kecepatan	Pengukuran: 0,25 mm/s, 0,5 mm/s (0,1"/s, 0,2"/s) Kembali: 0,8 mm/s (0,3"/s)
Rentang pengukuran (sumbu x)	12,5 mm
Berat	190 g
Kode batang standar	Code No. 178-395

Lanjutan Tabel 3. 2. *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SJ-210

Rentang pengukuran	350 μm (-200 μm to +150 μm)
Pena kerucut	<i>Diamond cone</i>
Jari-jari geser	40 mm
Parameter kekasaran	Ra, Ry, Rz, Rq, S, Sm, Pc, R3z Mr, Rt, Rk, Rpk, Mrl, Mr2, A1, A2, vo (<i>use-defined</i>)
Standar kekasaran	JIS, DIN, ISO, ANSI

D. Vernier caliper

Vernier caliper berfungsi untuk mengukur panjang dan diameter awal dari benda kerja penelitian, pada penelitian ini digunakan jangka sorong dengan kecermatan 0,02 mm ditunjukkan pada Gambar 3.5. dibawah ini



Gambar 3. 5. Jangka Sorong Kecermatan 0,02 mm

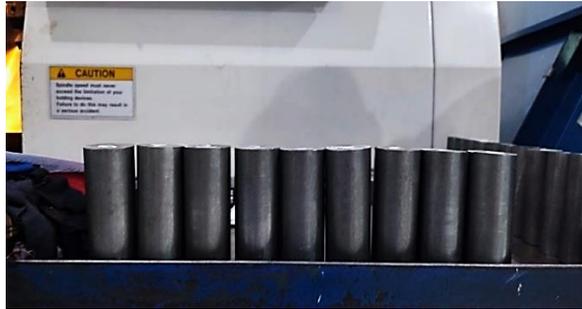
E. V-Block

Dalam penelitian ini *V-Block* berfungsi untuk meletakkan spesimen benda kerja hasil proses pembubutan dan alat uji kekasaran saat proses pengujian kekasaran permukaan.

3.4.3 Menentukan Kode Dan Jumlah Sampel

A. Baja st 40

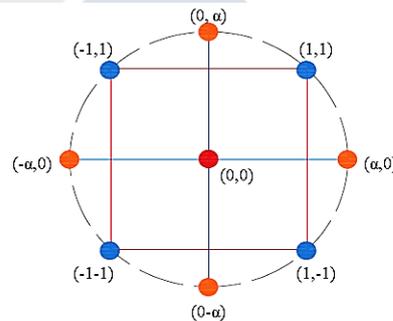
Bahan penelitian yang digunakan yaitu baja ST 40. Baja ST 40 dipilih karena baja ini merupakan material yang umum digunakan dalam pembuatan bagian-bagian mesin. Baja St 40 dalam penelitian ini memiliki panjang 100 mm dan diameter 40mm seperti pada Gambar 3.6. Sebagai berikut:



Gambar 3. 6. Bentuk Material Baja ST 40

3.4.4 Rancangan Pembuatan Sampel

Dalam suatu penelitian jumlah sampel harus ditentukan sebelum melakukan percobaan, jumlah sampel pada ditentukan menggunakan *Response Surface Methodology*. Rancangan orde model kedua *Central Composite Design* (CCD) 2 faktor digunakan untuk menentukan banyaknya sampel dalam penelitian ini. Terdapat 3 jenis data yang diambil dalam menentukan jumlah sampel. Bagian-bagian tersebut yaitu *cube point*, *aksial point* dan *center point*, 3 bagian ini adalah sebuah ketentuan dalam menentukan jumlah sampel menggunakan *Central Composite Design* (CCD). Proses menentukan jumlah sampel 2 faktor ditunjukkan pada Gambar 3.7. Sebagai berikut:



Gambar 3. 7. *Central Composite Design 2k*. Montgomery (2001)

- Titik biru pada kubus (cube point) dari Gambar 3.7. dikodekan -1 dan +1.
- Titik orange (aksial point) dari Gambar 3.7. dikodekan $(\alpha,0)$, $(-\alpha,0)$, $(0, \alpha)$, $(0, -\alpha)$.
- Titik senter pusat berwarna merah (center point) dari Gambar 3.7. berada di $(0,0)$.

Dengan demikian, jumlah sampel dalam penelitian ini adalah 11 sampel, 4 sampel dari jenis sampel cube point, 4 sampel dari jenis sampe aksial point, dan 3 sampel dari jenis sampel center point. Penentuan kode sampel dilakukan dengan cara membuat kode yang sudah ditetapkan dalam menggunakan rancangan orde model kedua yaitu *Central Composite Design (CCD)*, tabel 3.3. sebagai berikut:

Tabel 3. 3. Kode Sampel *Central Composite Design 2k*

Jenis sampel	Faktor	
	A	B
<i>Cube Point</i>	-1	-1
	-1	1
	1	-1
	1	1
<i>Aksial Point</i>	$-\alpha$	0
	$+\alpha$	0
	0	$-\alpha$
	0	$+\alpha$
<i>Center Point</i>	0	0
	0	0
	0	0

Sumber: Hasil Penentuan

Pada tabel diatas dijelaskan pada kode -1 pada jenis sampel *cube point* adalah level terendah yang terdapat pada faktor yang ditentukan, sedangkan kode +1 adalah nilai level tertinggi pada faktor yang ditentukan. Pada jenis sampel *aksial point* kode (α dan $-\alpha$) adalah nilai yang harus dihitung untuk menentukan nilai sampel pada setiap variabel, perhitungan nilai (α dan $-\alpha$) yang terdapat pada Tabel 3.4. terdapat pada lampiran 1. Dan pada jenis sampel *center point* dengan kode 0,0 adalah nilai tengah pada sebuah level variabel.

3.5 Variasi Level Variabel Pembuatan Sampel

Urutan pembuatan sampel yang digunakan menyesuaikan dengan mengikuti kode sampel pada Tabel 3.3. sehingga rancangan level pada variabel penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 3.4. Sebagai berikut:

Tabel 3. 4. Variasi level pada Varibel Penelitian

No sampel	Variabel Penelitian	
	Kecepatan Potong (m/menit)	Kedalaman Pemakanan (mm)
1	200	0,6
2	200	1
3	260	0,6
4	260	1
5	187,58	0,8
6	272,42	0,8
7	230	0,5172
8	230	1,0828
9	230	0,8
10	230	0,8
11	230	0,8

Sumber: Hasil Penentuan

3.6 Pembuatan Sampel

Pembuatan sampel pada penelitian ini memiliki beberapa tahapan, mulai dari persiapan benda kerja, penyetingan mesin bubut serta peralatan yang sudah ditentukan dalam penelitian. Dan pada proses pembuatan sampel ini terdapat beberapa langkah, sebagai berikut:

- Pembuatan program *CNC*.
- Penyiapan benda kerja baja ST 40.
- Persiapan tool yang akan digunakan adalah *insert carbide WNMG 080408-M3P*.

- Pemasangan mata potong *insert carbide WNMG 080408-M3P* pada holder mesin *CNC MORY SEIKI SL-25*.
- Pasang holder pada magazine penyimpanan holder mesin bubut *CNC MORY SEIKI SL-25*.
- Pemasangan benda kerja pada chuck mesin bubut *CNC MORY SEIKI SL-25*.
- Menginput *G code* pada mesin *CNC MORY SEIKI SL-25* sesuai dengan proses pembubutan dan nilai variabel penelitian.
- Penyetingan mesin *CNC MORY SEIKI SL-25*.
- Menyalakan mesin *CNC MORY SEIKI SL-25*, penyetingan titik 0 pemakanan benda kerja dan penyesuaian mata potong.
- Proses pembubutan benda kerja sesuai dengan rancangan level variabel penelitian dengan program yang telah ditentukan.
- Matikan mesin bubut *CNC MORY SEIKI SL-25*.
- Lepaskan material dari chuck mesin bubut CNC.
- Uji kekasaran pada permukaan benda kerja hasil pengerjaan di mesin *CNC MORY SEIKI SL-25* menggunakan alat uji *Roughness Tester*.
- Menganalisis Hasil Data pegujian kekasaran menggunakan metode *Response Surface Methodology*.

3.7 Pengujian Sampel

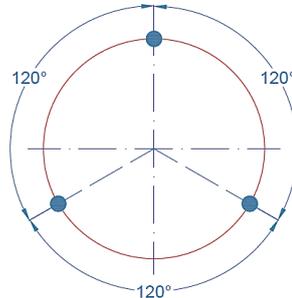
Pengujian sampel pada permukaan benda kerja ST 40 yang telah dilakukan pengerjaan di mesin bubut *CNC* memiliki langkah-langkah dalam pengujian menggunakan alat uji kekasaran, sebagai berikut:

1. Benda kerja hasil proses pembubutan yang akan diuji menggunakan *surface roughness tester* dapat dilihat pada Gambar 3.8.:



Gambar 3. 8. Benda kerja Hasil Pengerjaan *CNC MORI SEIKI SL-25*

2. Proses pengujian dilakukan pada tiga titik permukaan benda kerja, pengujian menggunakan alat uji kekasaran ditunjukkan pada Gambar 3.9. sebagai berikut:



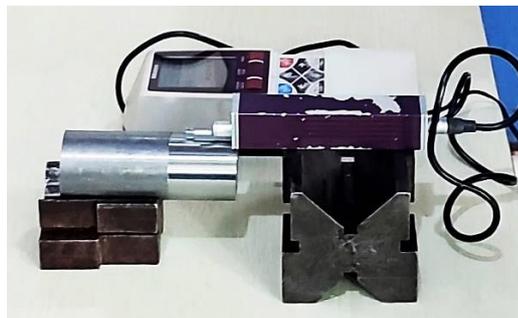
Gambar 3. 9.Skema Pengujian Benda Kerja

3. Melakukan kalibrasi pada *Surface roughness tester* agar tidak terjadi penyimpangan data hasil pengujian. di tunjukkan pada Gambar 3.10. Sebagai berikut:



Gambar 3. 10. Kalibrasi *Surface Roughness Tester*

4. Benda kerja hasil proses pembubutan di mesin *CNC MORI SEIKI SL-25* diposisikan pada *V-block* kecil, dimana alat uji kekasaran permukaan juga diposisikan pada *V-block* besar pada meja, ketinggian benda kerja dan alat uji diatur dengan ketinggian yang sama rata antara permukaan benda kerja dan dan ujung sensor alat uji. Dapat dilihat pada Gambar 3.10. Sebagai berikut:



Gambar 3. 11. Pengujian Benda Kerja *Roughness Tester*

5. Proses pengukuran, ujung sensor yang terdapat pada Raughness tester disentuhkan pada benda kerja yang sudah diseting pada alat bantu V-block.
6. Alat uji kekasaran permukaan diaktifkan untuk memulai proses pengujian kekasaran pada permukaan benda kerja.
7. Hasil pengujian kekasaran berupa nilai terlihat pada layar display *surface raughness tester*.
8. Benda kerja yang telah dilakukan pengujian dibebaskan dari ujung sensor *surface raughness tester* setelah dilakukan pengambilan data pada pengujian benda kerja.

3.8 Melakukan Analisis Hasil Penelitian

Analisis pada hasil penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh level pada variabel proses pembubutan terhadap kekasaran permukaan baja st 40 dan mengetahui rancangan variasi level variabel yang optimal pada proses pembubutan terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

3.9 Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan serta saran merupakan tahapan akhir dari proses penelitian, dimana peneliti mendapatkan hasil akhir dari penelitian yang telah dilakukan sehingga dapat memberikan kesimpulan serta saran terhadap penelitian yang dilakukan.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Proses pembubutan terhadap benda kerja penelitian diproses dengan menggabungkan variabel-variabel yang sudah ditentukan ke dalam program yang termuat pada mesin *CNC MORY SEIKI SL-25*. Adapun variabel penelitian proses pembubutan yang ditentukan pada respon kekasaran permukaan baja St 40 adalah kecepatan potong (vc) dengan level 200 m/menit, 230 m/ menit dan 260 m/menit, dan kedalaman pemakanan dengan level 0,6 mm, 0,8 mm dan 1 mm.

Pengujian dan pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja St 40 menggunakan alat uji kekasaran permukaan, setiap masing-masing benda kerja dilakukan 3 kali pengujian dalam 3 titik sudut pada permukaan benda kerja. Berikut data hasil uji kekasaran tercantum dalam Tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4. 1. Data Uji Kekasaran Menggunakan *Surface Roughness Tester*

Benda kerja	Hasil Pengujian Kekasaran (Ra)			Rata-Rata (μm)
	1	2	3	
1	0,292	0,308	0,276	0,292
2	1,619	1,577	1,672	1,623
3	1,489	1,536	1,547	1,524
4	1,332	1,373	1,406	1,370
5	1,678	1,626	1,686	1,663
6	1,244	1,287	1,324	1,285
7	1,579	1,554	1,575	1,569
8	1,342	1,361	1,326	1,343
9	0,839	0,859	0,849	0,849
10	0,878	0,897	0,888	0,888
11	0,846	0,816	0,808	0,823

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Untuk memudahkan pembacaan keseluruhan data pada penelitian ini berupa data kode sampel central composite design 2k, data variasi level variabel penelitian dan data hasil pengujian kekasaran permukaan baja ST 40 menggunakan *surface roughness tester* ditunjukkan pada tabel. 4.2. Sebagai berikut:

Tabel 4. 2. Data Keseluruhan Penelitian

BK	Kode Variabel		Variabel Penelitian		Hasil Pengujian Kekasaran (Ra)			Rata-Rata Nilai Kekasaran
	Vc	Depth	Vc	Depth	1	2	3	(μm)
1	-1	-1	200	0,6	0,292	0,308	0,276	0,292
2	-1	1	200	1	1,619	1,577	1,672	1,623
3	1	-1	260	0,6	1,489	1,536	1,547	1,524
4	1	1	260	1	1,332	1,373	1,406	1,370
5	-1,414	0	187,58	0,8	1,678	1,626	1,686	1,663
6	1,414	0	272,42	0,8	1,244	1,287	1,324	1,285
7	0	-1,414	230	0,5172	1,579	1,554	1,575	1,569
8	0	1,414	230	1,0828	1,342	1,361	1,326	1,343
9	0	0	230	0,8	0,839	0,859	0,849	0,849
10	0	0	230	0,8	0,878	0,897	0,888	0,888
11	0	0	230	0,8	0,846	0,816	0,808	0,823

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dengan hasil data Tabel 4.2 yang telah didapatkan dalam proses pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dilakukan analisis perhitungan *response surface methodology*.

4.2 Analisis Response Surface Methodology

Dalam melakukan *analisis response surface methodology* terdapat beberapa perhitungan yang harus dilakukan, hal yang pertama adalah mencari persamaan *second order model*, *Second order model* dilakukan dengan pendekatan regresi:

$$B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_{11} \\ \hat{\beta}_{22} \\ \hat{\beta}_{12} \end{bmatrix} = [(X'X)^{-1}](X'Y)$$

Dengan Kode:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X1 & X2 & X_1^2 & X_2^2 & X1.X2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1,414 & 0 & 1,999 & 0 & 0 \\ 1 & 1,414 & 0 & 1,999 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1,414 & 0 & 1,999 & 0 \\ 1 & 0 & 1,414 & 0 & 1,999 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} 0,292 \\ 1,623 \\ 1,524 \\ 1,370 \\ 1,663 \\ 1,285 \\ 1,569 \\ 1,343 \\ 0,849 \\ 0,888 \\ 0,823 \end{bmatrix}$$

Matrik X dan Y digunakan untuk mencari persamaan second order. Kode nilai matrix X diatas merupakan nilai kode sampel variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan dan nilai matrix Y merupakan nilai rata-rata hasil pengujian kekasaran permukaan menggunakan alat uji kekasaran permukaan.

Dalam perhitungan untuk mencari persamaan second order dilakukan dengan menghitung $[(X'X)^{-1}](X'Y)$, perhitungan ini dilakukan secara manual dan divalidasi menggunakan *Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License)* bertujuan untuk mencegah terjadinya kesalahan perhitungan dalam prsoes analisa. langkah-langkah perhitungan $[(X'X)^{-1}](X'Y)$ sebagai berikut:

1. Menentukan Hasil X Transpose (X')

Perhitungan nilai x *transpose* dari Nilai kode matriks x dalam pendekatan regresi, didapatkan hasil matriks X *transpose* (X')

$$X' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1,414 & 1,414 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & -1,414 & 1,414 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1,999 & 1,999 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1,999 & 1,999 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2. Menghitung $(X'X)$

Perhitungan $(X'X)$ dilakukan dengan melakukan perkalian terhadap hasil matrix X transpose (X') dengan nilai kode matriks (X), sehingga hasil matriks $(X'X)$ sebagai berikut:

$$(X'X) = \begin{bmatrix} 11 & 0 & 0 & 7,999 & 7,999 & 0 \\ 0 & 7,999 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7,999 & 0 & 0 & 0 \\ 7,999 & 0 & 0 & 11,995 & 4 & 0 \\ 7,999 & 0 & 0 & 4 & 11,995 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}$$

3. Menginvers hasil perhitungan $(X'X)$

Hasil dari matriks X transpose dikali dengan matriks X ($X'X$) kemudian diinvers $[(X'X)^{-1}]$, sehingga menghasilkan nilai matriks X invers (X^{-1}) sebagai berikut:

$$X^{-1} = \begin{bmatrix} 0,333 & 0 & 0 & -0,167 & -0,167 & 0 \\ 0 & 0,125 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,125 & 0 & 0 & 0 \\ -0,167 & 0 & 0 & 0,177 & 0,052 & 0 \\ -0,167 & 0 & 0 & 0,052 & 0,177 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,25 \end{bmatrix}$$

4. Menghitung $(X'Y)$

Perhitungan $(X'Y)$ dilakukan dengan melakukan perkalian terhadap hasil matrix X tranpose (X') dengan nilai matriks y hasil pengujian respon, sehingga hasil nilai matriks $(X'Y)$ sebagai berikut:

$$(X'Y) = \begin{bmatrix} 13,230 \\ 0,445 \\ 0,857 \\ 10,704 \\ 10,632 \\ -1,484 \end{bmatrix}$$

5. Menghitung Hasil $(X^{-1}) \cdot (X'Y)$

Perhitungan $(X^{-1}) \cdot (X'Y)$ melakukan perkalian terhadap hasil nilai matriks X invers (X^{-1}) dan hasil nilai matriks $(X'Y)$, sehingga hasil nilai matriks $(X^{-1}) \cdot (X'Y)$ sebagai berikut:

$$(X^{-1}) \cdot (X'Y) = \begin{bmatrix} 0,853 \\ 0,056 \\ 0,107 \\ 0,245 \\ 0,236 \\ -0,371 \end{bmatrix}$$

Jadi, perhitungan $[(X'X)^{-1}](X'Y)$ yang dihasilkan sebagai berikut:

$$B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_{11} \\ \hat{\beta}_{22} \\ \hat{\beta}_{12} \end{bmatrix} = [(X'X)^{-1}](X'Y) = \begin{bmatrix} 0,853 \\ 0,056 \\ 0,107 \\ 0,245 \\ 0,236 \\ -0,371 \end{bmatrix}$$

Dari hasil perkalian matrik diatas didapatkan persamaan *second-order*:

$$\hat{y} = 0,853 + 0,0556x_1 + 0,107x_2 + 0,245x_1^2 + 0,235x_2^2 - 0,371x_1x_2$$

dengan: \hat{y} : Harga taksiran untuk respon kekasaran permukaan.

x_1 : Nilai kode variabel Kecepatan Potong (m/mm).

x_2 : Nilai kode variabel kedalaman pemakanan (mm).

x_1^2 : Nilai kode variabel kecepatan potong yang dikuadratkan

x_2^2 : Nilai kode variabel kedalaman pemakanan yang dikuadratkan

x_1x_2 : Nilai kode variabel kecepatan potong dikali kedalaman pemakanan

4.3 Analysis Of Variance

Tabel analisis varian telah divalidasi menggunakan *software minitab versi 21.3 (Minitab License)* ditunjukkan pada tabel 4.3. dibawah ini:

Tabel 4. 3. Analisis Of Variance

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F-value</i>	<i>P-value</i>
Model	5	1,17100	0,234199	1,66	0,297
Linear	2	0,11654	0,058268	0,41	0,683
Kecepatan Potong (vc)	1	0,02472	0,024724	0,17	0,693
Depth of Cut	1	0,09181	0,091812	0,65	0,457
Square	2	0,50365	0,251824	1,78	0,261
Kecepatan Potong ²	1	0,33797	0,337966	2,39	0,183
Kedalaman Pemakanan ²	1	0,31355	0,313554	2,22	0,197
2-Way Interaction	1	0,55081	0,550811	3,89	0,106
Vc*Depth of Cut	1	0,55081	0,550811	3,89	0,106
Error	5	0,70741	0,141483		
Lack-of-Fit	3	0,70532	0,235106	224,17	0,004
Pure Error	2	0,00210	0,001049		
Total	10	1,87841			

Sumber: *Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License)*

- Hipotesis:
 - H₀: Kecepatan potong (VC) tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 - H₁: Kecepatan potong (VC) berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 - H₀: Kedalaman pemakanan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 - H₁: Kedalaman pemakanan berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 - H₀: Interaksi variabel kecepatan potong (VC) dan kedalaman pemakanan tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 - H₁: Interaksi variabel kecepatan potong (VC) dan kedalaman pemakanan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekasaran.

- Kriteria Uji:

Tolak H_0 : Jika $P\text{-Value} < \alpha$.

Gagal ditolak: Jika $P\text{-Value} > \alpha$.

- α : 0.05 (5%).
- Analisis:

Dari hasil tabel analisis varian menggunakan *software minitab versi 21.3 (Minitab License)*. Nilai $P\text{-value}$ variabel kecepatan potong yang didapatkan adalah (0,693), pada nilai $P\text{-value}$ variabel kedalaman pemakanan adalah (0,457) dan harga $P\text{-value}$ interaksi variabel kecepatan potong (vc) dan kedalaman pemakanan adalah (0,106). ketiga nilai $P\text{-value}$ yang didapatkan lebih besar dari nilai α (5%) yaitu 0,05 maka variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan tidak berpengaruh signifikan dikarenakan $P\text{-value}$ H_0 gagal ditolak.

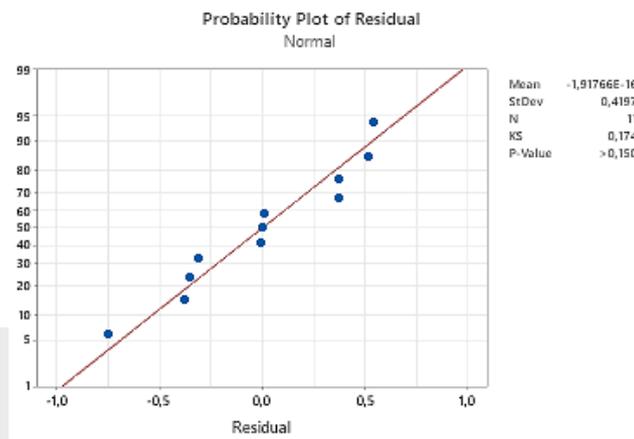
4.4 Uji *Lack of Fit*

Lact of fit pada tabel 4.3. *Analysis of Variance* menggunakan *software minitab versi 21.3 (Minitab License)* mendapatkan nilai *lact of fit P-value*.

- Hipotesis
 H_0 : ketidakcocokan model
 H_1 : kecocokan model
- Daerah penolakan:
 Hipotesis awal (H_0) ditolak apabila nilai $P\text{-Value}$ *Lact of Fit* kurang dari α , sebaliknya H_1 akan gagal ditolak apabila nilai $P\text{-Value}$ dari *Lact of Fit* lebih besar dari nilai α .
- $\alpha = 0,05$ (5%)
- Menunjukkan hasil uji ketidakcocokan model pada tabel 4.3. bahwa didapatkan nilai $P\text{-Value}$ *Lact of Fit* (0,004) lebih kecil dari harga $\alpha = 0,05$ (5%) maka didapatkan keputusan yaitu tolak H_0 , dimana model yang dibuat sudah sesuai dengan data.

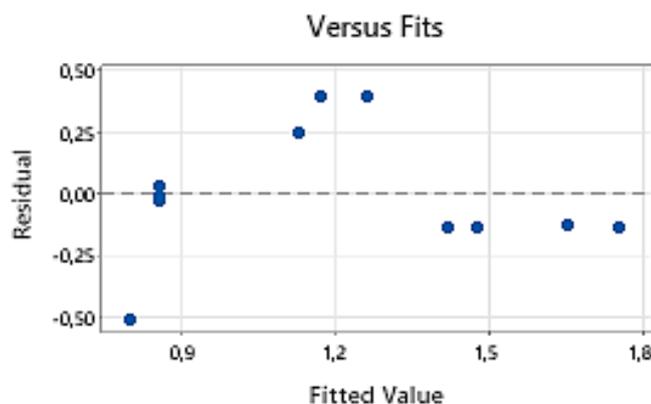
4.5 Uji Kenormalan Residual

Dalam memastikan kecocokan model tidak hanya melihat *Lact of Fit* melainkan dilakukan juga uji analisis normalitas residual, membuat plot antara residual dengan nilai taksiran model dan membuat plot antara residual dengan order model. Hasil yang didapatkan dari uji kenormalan residual ditunjukkan pada Gambar 4.1 dibawah ini:

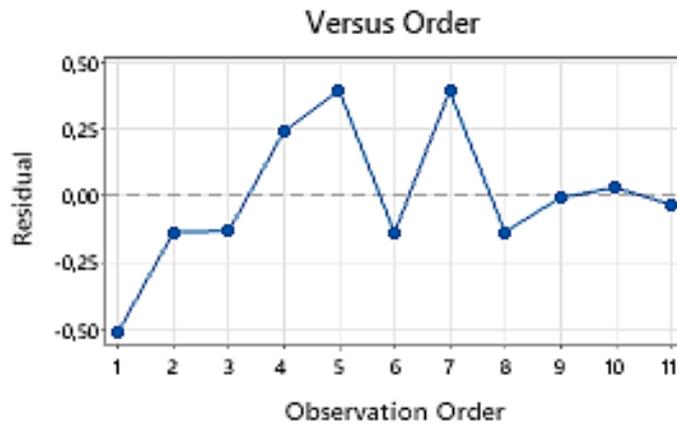


Gambar 4.1. Uji Kenormalan Residual Bentuk Regresi Linear Sederhana. (Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License))

Pada gambar 4.1. hasil uji statistik Kolmogorov-smirnov, dihasilkan titik-titik biru yang berjarak tidak jauh dari garis merah. Dikarenakan P-value > dari nilai $\alpha = 0,05$ telah memenuhi asumsi kenormalan sisaan. Sehingga dari Gambar 4.1. maka plot yang terbentuk membentuk suatu garis lurus sehingga dapat disimpulkan sisaan mengikuti sebaran normal.



Gambar 4.2. Plot Residual Pada Taksiran Model. (Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License))



Gambar 4.3. Plot Residual Pada Order Model. (*Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License)*)

Analisis residual ditunjukkan pada Gambar 4.2. dan 4.3. antara plot residual pada taksiran model dan plot residual pada order model, harus dilihat apakah titik-titik kedua output plot tersebar atau membentuk pola tertentu, jika titik-titik membentuk pola acak disekitaran harga 0 dan tidak menyesuaikan pola tertentu model regresi yang dianalisa menggunakan *Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License)* telah sesuai dengan data.

4.6 Menentukan Nilai Optimal

Dari nilai persamaan *second order* yang telah diperoleh dari hasil perkalian matriks sebagai berikut:

$$B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_{11} \\ \hat{\beta}_{22} \\ \hat{\beta}_{12} \end{bmatrix} \hat{y} = \begin{bmatrix} 0,853 \\ 0,056 \\ 0,107 \\ 0,245 \\ 0,236 \\ -0,371 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y} = 0,853 + 0,0556x_1 + 0,107x_2 + 0,245x_1^2 + 0,235x_2^2 - 0,371x_1x_2$$

Maka dilakukan perhitungan dalam menentukan nilai kode optimal menggunakan rumus 2.7.:

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{12}) \\ \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{12}) & \hat{\beta}_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0,245 & \frac{1}{2}(-0,371) \\ \frac{1}{2}(-0,371) & 0,236 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,056 \\ 0,107 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0,245 & -0,186 \\ -0,186 & 0,236 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,056 \\ 0,107 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 10,140 & 7,982 \\ 7,982 & 10,527 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,056 \\ 0,107 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1,419 \\ 1,572 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = \begin{bmatrix} -0,709 \\ -0,786 \end{bmatrix}$$

Dari perhitungan diatas dalam menentukan nilai kode optimal, diperoleh nilai *Coded Stationary Point* X_0 untuk menentukan nilai level optimal pada setiap variabel sebagai berikut:

$$X_0 \text{ (Kecepatan Potong)} = -0,709$$

$$X_0 \text{ (Kedalaman Pemakanan)} = -0,786$$

4.7 Menghitung Nilai Optimal Dari *Coded Stationary Point* (X_0)

Menghitung nilai optimal dari hasil *coded* X_0 ke nilai optimal yang sebenarnya pada variabel kecepatan potong (VC) dan kedalaman pemakanan. Maka dilakukan perhitungan nilai optimal pada setiap variabel menggunakan rumus sebagai berikut:

- **Kecepatan Potong (X_1)**

$$X_0 \text{ (Kecepatan Potong)} = \frac{VC - CENTER POINT}{\frac{1}{2}(MAX - MIN)}$$

$$-0,709 = \frac{VC - 230}{\frac{1}{2}(272,42 - 187,58)}$$

$$-0,709 = \frac{VC - 230}{42,42}$$

$$-30,07578 = VC - 230$$

$$VC = -30,07578 + 230$$

$$VC = 199,92 \text{ m/menit}$$

- **Kedalaman Pemakanan (X2)**

$$X_0 \text{ (Kedalaman Pemakanan)} = \frac{K.Pemakanan - CENTER POINT}{\frac{1}{2}(MAX-MIN)}$$

$$-0,786 = \frac{k.pemakanan - 0,8}{\frac{1}{2}(1,0828 - 0,5172)}$$

$$-0,786 = \frac{k.pemakanan - 0,8}{0,2828}$$

$$-0,2222808 = \text{Kedalaman pemakanan} - 0,8$$

$$\text{Kedalaman pemakanan} = -0,2222808 + 0,8$$

$$\text{Kedalaman pemakanan} = 0,58 \text{ mm}$$

Pada hasil perhitungan diatas nilai level optimal dari variabel kecepatan potong (VC) yang didapatkan adalah 199,92 m/menit, sedangkan nilai level optimal dari variabel kedalaman pemakanan adalah 0,58 mm.

4.8 Menentukan Model Canonical

Untuk mengetahui apakah nilai *Stationary Point* (X0) merupakan variabel optimal dalam bentuk nilai *maximum*, *minimum* atau *saddle*, maka dilakukan analisis model *canonical*. Analisis model *canonical* untuk mencari nilai eigen dari matriks B. rumus dalam mencari nilai eigen matriks B menggunakan fungsi respon (2.8) sebagai berikut. Sehingga dihasilkan:

$$\hat{y} = 0,853 + 0,0556x_1 + 0,107x_2 + 0,245x_1^2 + 0,235x_2^2 - 0,371x_1x_2$$

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1\omega_1^2 + \lambda_2\omega_2^2$$

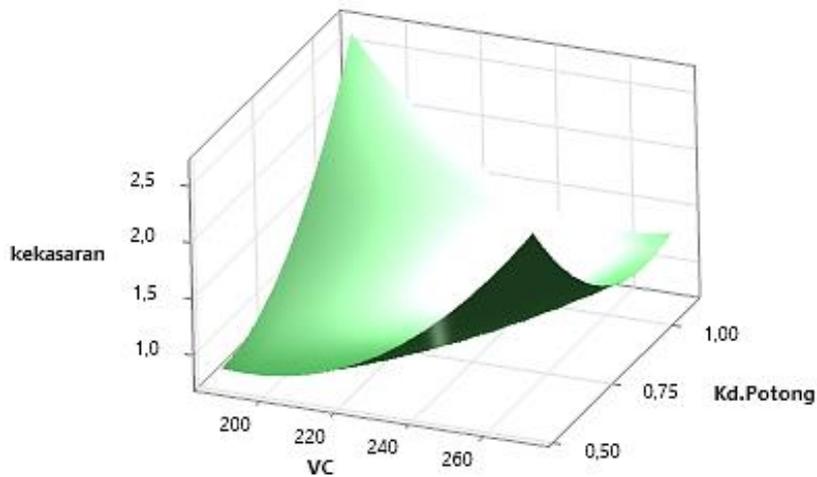
$$\hat{y} = \hat{y}_0 + 0,245\omega_1^2 + 0,236\omega_2^2$$

dengan: ω_1 = Variabel bebas baru merupakan hasil perubahan

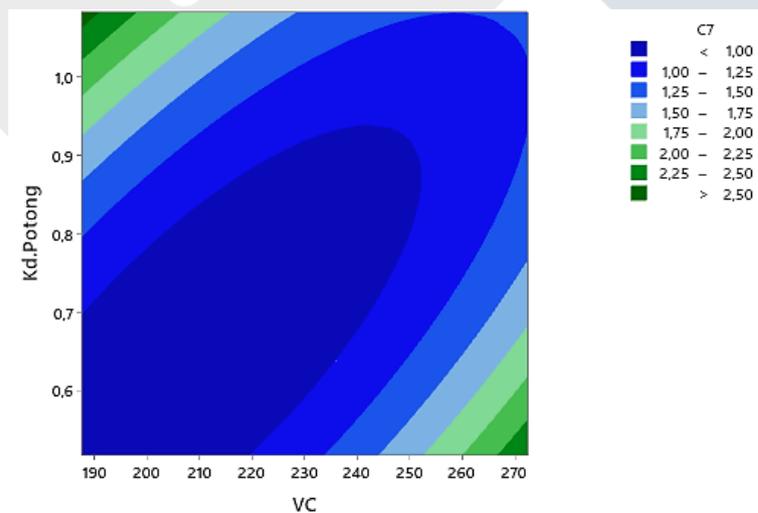
\hat{y}_0 = Estimasi harga y pada titik stasioner

λ_i = Konstanta yang merupakan nilai eigen value dari matrik B.

Karakteristik dari permukaan respon λ_i yang dihasilkan semua positif, maka X0 adalah nilai minimum. Untuk memudahkan pembacaan hasil dari X0 adalah nilai minimum ditunjukkan pada Gambar 28. dan Gambar 29. sebagai berikut:



Gambar 4.4. Surface Plot dari Respon Kekasaran. (Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License))



Gambar 4.5. Counter Plot dari Respon Kekasaran. (Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License))

Dari hasil Gambar 4.4. *Surface plot* dari respon kekasaran yang dihasilkan adalah titik minimum sehingga gambar surface plot yang dihasilkan berbentuk cekung. Dan pada Gambar 4.5. *Contour plot* respon kekasaran, nilai optimal minimum yang didapatkan pada variabel kecepatan potong (vc) adalah 199,92 m/menit dan nilai minimum yang didapatkan pada variabel kedalaman pemakanan adalah 0,58 mm. Sehingga pada gambar *contour plot* titik minimum yang dihasilkan berada pada area kekasaran <1,00 μ m.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian yang telah selesai dilakukan sesuai dengan ketentuan metode penelitian. Maka penelitian dengan judul “Optimasi Kecepatan Potong dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 40 Pada Proses Bubut *CNC* Menggunakan *Response Surface Methodology*” didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari kedua variabel yang ditetapkan yaitu kecepatan potong dengan level 200 m/menit, 230 m/menit, dan 260 m/menit, kedalaman pemakanan dengan level 0,6 mm, 0,8 mm, dan 1 mm pada proses pembubutan baja ST 40 menggunakan mesin *CNC MORY SEIKI SL-25*. didapatkan kesimpulan dimana variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan tidak berpengaruh signifikan terhadap respon kekasaran permukaan baja St 40.
2. Optimasi pengaturan variabel kecepatan potong (m/menit) dan kedalaman pemakanan (mm) terhadap kekasaran permukaan baja St 40 didapatkan nilai level variabel optimal minimum, sehingga pengaturan optimal level variabel proses pembubutan pada mesin *CNC MORY SEIKI SL-25* yaitu, Kecepatan Potong sebesar 199,92 m/menit dan Kedalaman Pemakanan sebesar 0,58 mm.

5.2 Saran

1. Penelitian berikutnya dapat dikembangkan dengan mengubah nilai level pada setiap variabel penelitian atau menambahkan variabel tambahan proses pembubutan lainnya.
2. Dapat menggunakan metode selain metode *Response Surface Methodology Central Composite Design* 2 faktor, seperti menggunakan metode *Response Surface Methodology Central Composite Design* 3 faktor, metode Taguchi ataupun metode lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, R. (2011). Pengaruh Kecepatan Spindel, Kecepatan Pemakanan Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Pemesinan Bubut Cnc Pada Baja St 40. Febriani Setyaningrum, 6.
- Apreza, S., Kurniawan, Z., & Subhan, M. (N.D.). Optimasi Kekasaran Permukaan Proses Pembubutan Baja St.42 Dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Manutech*, 73–78.
- Ariyanto, N. (2018). Optimasi Parameter Permesinan Pemrograman Cnc Milling Terhadap Waktu Proses Untuk Meningkatkan Efisiensi Di Pt . Mekar Armada Jaya Di Pt . Mekar Armada Jaya.
- Furqoni, M. R. (2020, November 5). Bagian Mesin CNC. Dipetik Januari 10, 2021, dari <https://teknikece.com/mesin-cnc/bagian-mesin-cnc/>
- Hwacheon CNC Machine Tools*. diakses pada 07 november 2021, Available at: <https://hwacheonasia.com/id/cnc-lathes/>
- Johan, C. (2018). Karakteristik Keausan Pahat Sisipan Karbida Akibat Pembubutan Kering Stainless Steel. 81.
- Montgomery, D. C. (2001). *Motgometry Design-And-Analysis-Of-Experiments-5th-Edition.Pdf(P.679)*.
<Http://Books.Google.Com/Books?Hl=En&Lr=&Id=Kmmjam5bd34c&Oi=Fnd&Pg=PA1&Dq=Design+And+Analysis+Of+Experiments&Ots=Kmiarq3hxe&Sig=GL0BRM1e2q39HIg35Ie9K8-5V1I>
- Munadi, S. (2017). Pengukuran Kekasaran Permukaan. In *Panduan Pengajar Buku Dasar-Dasar Metrologi Industri*.
- Nugraha, D. A., Qoryah, R. D. H., & Darsin, M. (2020). Pengaruh Metode Minimum Quantity Lubrication (MQL) Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan.*Rekayasa*,13(2),125–129.
<Https://Doi.Org/10.21107/Rekayasa.V13i2.6259>
- Nugroho, T. U., Saputro, H., & Estriyanto, Y. (2012). Pengaruh Kecepatan Pemakanan Dan Waktu Pemberian Pendingin Terhadap Tingkat Keausan

Cutter End Mill Hss Hasil Pemesinan Cnc Milling Pada Baja St 40. 1(1), 79–89.

Rochim, T. (2001). *Sfesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Bandung: ITB.

Rohadi, A., & Syafaat Imam, D. (2013). Analisis Keausan Baja St.40 Menggunakan Tribotester Pin-On-Disc Dengan Variasi Kondisi Pelumas. Analisis Keausan Baja St.40 Menggunakan Tribotester Pin-On-Disc Dengan Variasi Kondisi Pelumas, 9, 38–40.

Rozaq, M. M., & Iswanto, I. (2017). Analisa Pengaruh Gerak Makan Dan Putaran Spindel Terhadap Keausan Pahat Pada Proses Bubut Konvensional. R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal, 2(1), 13.

Siswanto, B., & Sunyoto. (2018). Bambang Dan Sunyoto. Pengaruh Kecepatan Dan Kedalaman Potong Pada Proses Pembubutan Konvensional Terhadap Kekasaran Permukaan Lubang, 3(2), 82–86.

Widarto, Wijanarka, B. S., Sutopo, & Paryanto. (2008). Teknik Permesinan. In Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup



A. Biodata Pribadi

1. Nama : Muhammad Afriadi
2. jenis Kelamin : Laki- Laki
3. Tempat tanggal lahir : Jakarta, 09-04-2002
4. Kebangsaan : Indonesia
5. Status : Mahasiswa
6. Agama : Islam
7. Alamat : Pulau Sabira, Kep.Seribu Utara
8. No Hp : 0813-7773-9278
9. Email : adibone09@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. SD : SD Negeri 02 Pulau Sabira
2. SMP : SMP Negeri 02 Pulau Sabira
3. SMA : MA Negeri 5 Jakarta Utara
4. Perguruan Tinggi : Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

C. Pengalaman Organisasi

1. Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin (HMJTM) POLMAN BABEL 2019/2020 sebagai Ketua Himpunan.
2. Keluarga Mahasiswa Mesin Bangka Belitung (KMM BABEL) POLMAN BABEL 2019/2020 sebagai anggota

Lampiran 2: Sertifikasi Baja St 40



SeAH Besteel Corp.
1-8, SORYONG-DONG, KUNSAN,
CHEONGBUK, KOREA(573-711)

MILL CERTIFICATE

TEL : +82-(0)53-460-8572, 8318(QA)
+82-(0)63-460-8114(Repres.)
FAX : +82-(0)53-460-8423 Page(0/0)

Date : 2018-04-20
Cert. No. : 201804-207465
Customer :
Heat No. : 273301

Steel Grade : AISI 1040/ST 40
Shape of Product : ROUND BAR
Delivery Condition : AS ROLLED

Size (mm) : 10 - 100
Length (mm) : 6,000
Weight (kg) :
Quantity(pcs) : 1

Inspection Items		Chemical Composition (wt. %)				
		C	SI	MN	P	S
		x 100	x 100	x 100	x 1000	x 1000
Spec.	Min.	15	20	0.85		
	Max.	20	24	1.067	0.016	0.021
	Result	20	24	1.067	0.025	0.024
Inspection Items		Product Hardness (HB)				
		SURFACE				

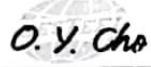
Mechanical Properties AISI 1040/ST 40

Mechanical Properties	Symbol	Steel
Young's modulus (GPa)	<i>E</i>	190 - 210
Poisson's ratio	<i>v</i>	0,26
Density (Kg/m ³)	<i>P</i>	7.860
Yield strength (MPa)	<i>S_y</i>	205 - 245
Tensile strength (MPa)	<i>S_t</i>	400 - 510
Elongation (%)		27 - 30
Hardness (Hb)	<i>Hb</i>	160

<<Remarks>>

B/D/S : 4

End of report

We hereby certify that the material described herein has been made in accordance with the rules of the contract.	Certified by  Manager of Quality Assurance Dept
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Lampiran 3: Menghitung Nilai (α dan $-\alpha$) Pada Setiap Faktor

Dalam menghitung nilai (α dan $-\alpha$) pada setiap faktor dilakukan beberapa perhitungan, sebagai berikut:

1. Menghitung Jarak titik aksial point ke center point /rotabilitas.

$$\begin{aligned}(\alpha) &= 2^{k/4} \\ &= 2^{2/4} \\ &= \sqrt{2} \\ &= 1,414\end{aligned}$$

2. Menghitung nilai (α dan $-\alpha$) faktor 1

- Nilai α kecepatan potong ($X1$):

$$(\alpha) = \frac{X1 - \text{CENTER POINT}}{\frac{1}{2}(\text{MAX} - \text{MIN})}$$

$$1,414 = \frac{X1 - 230}{\frac{1}{2}(260 - 200)}$$

$$1,414 = \frac{X1 - 230}{30}$$

$$X1 - 230 = 42,42$$

$$X1 = 42,42 + 230$$

$$X1 = 272,42$$

- Nilai $-\alpha$ kecepatan potong ($X1$):

$$(-\alpha) = \frac{X1 - \text{CENTER POINT}}{\frac{1}{2}(\text{MAX} - \text{MIN})}$$

$$-1,414 = \frac{X1 - 230}{\frac{1}{2}(260 - 200)}$$

$$-1,414 = \frac{X1 - 230}{30}$$

$$X1 - 230 = -42,42$$

$$X1 = -42,42 + 230$$

$$X1 = 187,58$$

3. Menghitung nilai (α dan $-\alpha$) faktor 2

- Nilai α Kedalaman Pemakanan (X_2):

$$(\alpha) = \frac{X_2 - CENTER\ POINT}{\frac{1}{2}(MAX - MIN)}$$

$$1,414 = \frac{X_2 - 0,8}{\frac{1}{2}(1 - 0,6)}$$

$$1,414 = \frac{X_1 - 0,8}{0,2}$$

$$X_2 = 1,414 \times 0,2 + 0,8$$

$$X_2 = 0,2828 + 0,8$$

$$X_2 = 1,0828 \text{ mm}$$

- Nilai $-\alpha$ Kedalaman Pemakanan (X_2):

$$(-\alpha) = \frac{X_2 - CENTER\ POINT}{\frac{1}{2}(MAX - MIN)}$$

$$-1,414 = \frac{X_2 - 0,8}{\frac{1}{2}(1 - 0,6)}$$

$$-1,414 = \frac{X_1 - 0,8}{0,2}$$

$$X_2 = -1,414 \times 0,2 + 0,8$$

$$X_2 = -0,2828 + 0,8$$

$$X_2 = 0,5172 \text{ mm}$$

Lampiran 4: Penyetingan Proses Pembubutan

Penyetingan Proses Pembubutan Benda Kerja Menggunakan Mesin *CNC MORY SEIKI SL-26*



Lampiran 5: Program Mesin CNC



Lampiran 6: Proses Pengujian Benda Kerja

Proses Pengujian Benda Kerja Menggunakan *Response Surface Tester*

- Mengkalibrasi *Surface Roughness Taster*



- Melakukan Penyetingan Benda Kerja dan Alat Uji



Lampiran 7: Hasil Uji Kekasaran

Hasil Pengujian benda Kerja 1.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian benda Kerja 2.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian benda Kerja 3.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian benda Kerja 4.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian benda Kerja 5.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian benda Kerja 6.



Pengujian 1

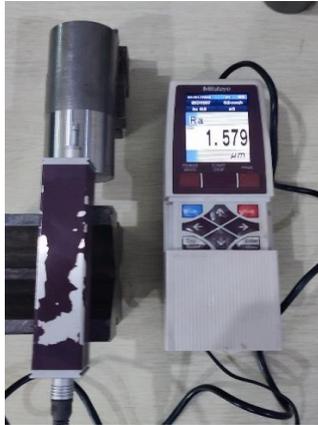


Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian Benda Kerja 7.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian Benda Kerja 8.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian benda Kerja 9.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian Benda Kerja 10.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

Hasil Pengujian benda Kerja 11.



Pengujian 1



Pengujian 2



Pengujian 3

