

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PROSES BOR BAJA  
SKD II PADA MESIN CNC**

**PROYEK AKHIR**

Proyek akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan  
Diploma/Degrees/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Dibuat Oleh:

Pagar Jufrassah

NIRM: 1041726

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG  
TAMBUK BATA**

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PROSES BOR BAJA  
SKD 11 PADA MESIN CNC**

**PROYEK AKHIR**

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



Disusun oleh:

Pajar Juliensah NIRM : 1041726

**POLITEKNIK MANUFaktur NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**2022**



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PROSES BOR BAJA SKD 11 PADA MESIN CNC

Oleh:

Pajar Juliandah/NIRM : 1041726

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

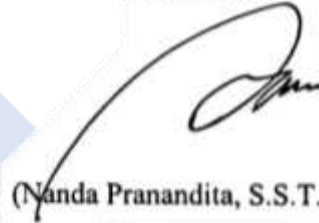
Menyetujui,

Pembimbing 1



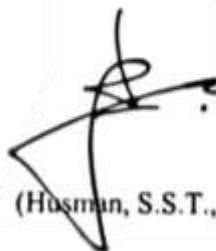
(Zulfitriyanto, S.S.T., M.T)

Pembimbing 2



(Nanda Pranandita, S.S.T., M.T)

Penguji 1



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

Penguji 2



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

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Pajar Juliansah NIRM : 1041726

Dengan Judul : Analisis Kekasaran Permukaan Proses Bor  
Baja SKD 11 Pada Mesin CNC

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

Muntok, 17 Januari 2022



Tanda Tangan

Nama Mahasiswa

I. PAJAR JULIANSAH

## ABSTRAK

*Salah satu kualitas terbaik dari suatu komponen adalah permukaan yang halus. Untuk mendapatkan nilai respon optimum, penentuan setting variabel proses harus tepat agar efektif. Baja SKD 11 adalah baja perkakas yang sering digunakan di bidang industri manufaktur sebagai alat pemotong, shear blades, alat stamping, punching, dies, dan lain lain. Oleh karena itu, diperlukan kekasaran permukaan yang baik. Kekasaran permukaan adalah ketidakraturan bentuk dan penyimpangan karakteristik permukaan dalam bentuk guratan yang akan dilihat pada profil permukaan.*

*Penelitian ini melakukan proses drilling di mesin CNC Milling MORI SEIKI MV-40M menggunakan kombinasi variabel proses putaran spindle, feed rate dan pendingin. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan penyetelan parameter untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan dan analisis data menggunakan metode ANOVA.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi variabel yang menghasilkan nilai respon optimal adalah putaran spindle 1600 rpm, feed rate 120 mm/menit, dan jenis pendingin dromus. Dan variabel yang memberikan kontribusi terhadap rata-rata dari kekasaran permukaan berturut-turut adalah feed rate dengan nilai paling besar yaitu 64,87% dan 68,17%, diikuti dengan putaran spindle 18,52% dan 18,63% dan persentase terendah adalah variabel pendingin dengan nilai 14,92% dan 11,42%.*

**Kata Kunci :** ANOVA, CNC, *drilling*, kekasaran permukaan, SKD 11

## **ABSTRACT**

*One of the best qualities of a component is a smooth surface. To get an optimum response value, the variable setting of the process must be correct in order to be effective. SKD 11 steel is often used in the manufacturing industry as the cutting tool, shear blades, stamping tools, punching, dies, and so on. Therefore, good surface roughness is required. Roughness of the surface is the irregularity of the shapes and irregularities of the surface characteristics in the shape that will be seen on the surface profile.*

*The study conducted a gradual process in the CNC milling mori SEIKI MV-40M machine using a combination of variable spindle, feed rate and cooling processes. The method used is a beautifully tuned experimental method for obtaining cost-grade coesters and data analysis using the anova method.*

*The results showed that the combination of variables that produced the optimum response rate was about 1600 RPM, the rate of 120 mm per minute, and the kind of dromus cooling. And the average contribution to the average of surface sores is the rate of 64.87% and 68.17%, followed by a BBB of 18.52% and 18.63% and a lower percentage of the ceiling is 14.92% and 11.42%.*

**Keyword :** ANOVA, CNC, drilling, surface roughness, SKD 11



## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir ini berjudul **“Analisis Kekasaran Permukaan Proses Bor Baja SKD 11 Pada Mesin CNC”**. Adapun maksud dan tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari selama penyusunan tugas akhir ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dan memberikan arahan serta membimbing penulis. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Keluarga tercinta, khususnya Ayah dan Ibu serta kakak penulis yang selalu memberikan semangat, dukungan moral maupun materil, motivasi dan doanya sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak Zulfitriyanto, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah berkenan menyediakan waktu untuk membimbing serta memberi arahan dalam penyusunan makalah tugas akhir ini.
3. Bapak Nanda Pranandita, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah berkenan menyediakan waktu untuk membimbing serta memberi arahan dalam penyusunan makalah tugas akhir ini.
4. Bapak Husman, S.S.T., M.T dan Bapak Zaldy Kurniawan, S.S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberi arahan serta saran yang bermanfaat kepada penulis.
5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Pristiansyah S.S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dan jajarannya.



7. Seluruh dosen, staf pengajar dan teknisi di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, khususnya pada program studi Teknik Mesin dan Manufaktur yang telah membuka pikiran dan wawasan keilmuan kami.
8. Seluruh pegawai Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Orang terkasih penulis, Galindra Mutiara Rahmatullah yang selalu mendukung, memotivasi dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Teman terbaik penulis, Desfia Dwi Iswara, Bagus Rendi Pratama dan *Skyhope Group* yang selalu memberikan dukungan.
10. Teman-teman seperjuangan, terutama kelas Teknik Mesin dan Manufaktur A (TMM A) yang telah memberikan motivasi, semangat, serta doa dan juga bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi serta dukungannya dalam kelancaran menyelesaikan tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Terima kasih atas semuanya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan atas keterbatasan kemampuan dan ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis sehingga dimungkinkan ada kekeliruan dan kesalahan, baik itu dari segi isi ataupun materi dalam susunan kalimatnya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan guna perbaikan dan pengembangan lebih lanjut.

Akhir kata penulis berharap semoga makalah ini dapat bermanfaat bagi semua pihak khususnya penulis dan pembaca pada umumnya untuk menambah pengetahuan kita dan semoga Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dapat tumbuh dan berkembang pada generasi yang akan datang.

Sungailiat, Januari 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

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.....	1
DAFTAR LAMPIRAN .....	1
BAB 1 .....	2
PENDAHULUAN.....	2
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II .....	7
DASAR TEORI .....	7
2.1 Proses <i>Drilling</i> .....	7
2.1.1 Pengertian Proses <i>Drilling</i> .....	7
2.1.2 Pahat <i>Drill</i> .....	8
2.1.3 Parameter Proses Permesinan <i>Drill</i> .....	8
2.2 Cairan Pendingin.....	10
2.3 Kekasaran Permukaan .....	12
2.4 Material Benda Kerja .....	15
2.4.1 Baja SKD-11 .....	16
2.5 Pengujian Homegenitas dan Normalitas .....	16
2.6 ANAVA (Analisis Variansi).....	17

<b>BAB III</b> .....	19
<b>METODE PENELITIAN</b> .....	19
<b>3.1 Tahapan Penelitian / <i>Flowchart</i></b> .....	19
<b>3.1.1 Identifikasi Masalah</b> .....	20
<b>3.1.2 Studi Pustaka</b> .....	20
<b>3.1.3 Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian</b> .....	20
<b>3.1.4 Rancangan Penelitian</b> .....	20
<b>3.1.5 Rancangan Eksperimen</b> .....	21
<b>3.1.6 Persiapan Percobaan</b> .....	22
<b>3.1.7 Pelaksanaan Percobaan</b> .....	24
<b>3.1.8 Pengukuran dan Pengambilan Data</b> .....	25
<b>3.1.9 Analisis Data</b> .....	26
<b>3.1.10 Kesimpulan</b> .....	27
<b>BAB IV</b> .....	28
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	28
<b>4.1 Pengambilan Data</b> .....	28
<b>4.2.1 Pengukuran Kekasaran Permukaan</b> .....	28
<b>4.2.2 Penentuan Kombinasi Variabel untuk Respon Optimal</b> .....	29
<b>4.2.3 Analisis Variansi</b> .....	30
<b>4.2 Perhitungan Rasio S/N Dari Respon</b> .....	34
<b>4.2.1 Pengaruh Level dari Faktor terhadap Variasi Kekasaran Permukaan</b> .....	36
<b>4.2.2 Analisis Varian Rasio S/N</b> .....	37
<b>4.3 Pembahasan dan Analisis</b> .....	41
<b>4.3.1 Hasil Perhitungan Rata-Rata</b> .....	41
<b>4.3.2 Hasil Perhitungan Rasio S/N</b> .....	42
<b>4.3.3 Analisis</b> .....	43
<b>4.3.4 Analisis Grafik</b> .....	44
<b>BAB V</b> .....	46
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	46
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	46
<b>5.2 Saran</b> .....	46

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>49</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2. 1 Putaran mata bor dan feed beberapa material .....	9
Tabel 2. 2 Rekomendasi lubrikan untuk beberapa material .....	12
Tabel 2. 3 roughness number .....	14
Tabel 2. 4 Objek pengerjaan akhir proses pemesinan .....	15
Tabel 3. 1 Setting level variabel proses .....	21
Tabel 3. 2 Spesimen Pengujian Benda Kerja .....	22
Tabel 3. 3 Spesifikasi Mesin CNC Milling MORI SEIKI MV-40M .....	23
Tabel 4. 1 Data Hasil Percobaan .....	28
Tabel 4. 2 Respon rata-rata dari pengaruh faktor .....	29
Tabel 4. 3 Kombinasi variabel proses untuk respon optimal .....	30
Tabel 4. 4 Analisis Variansi Rata-Rata Kekasaran Permukaan .....	34
Tabel 4. 5 Rasio S/N untuk respon .....	36
Tabel 4. 6 Respon Rasio S/N kekasaran permukaan .....	37
Tabel 4. 7 Kombinasi untuk respon optimal .....	37
Tabel 4. 8 Analisis variansi rasio S/N kekasaran permukaan .....	41
Tabel 4. 9 Hasil ANOVA rata-rata .....	41
Tabel 4. 10 Hasil ANOVA rata-rata rasio S/N .....	42
Tabel 4. 11 Kondisi Hipotesis Nol .....	44

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Proses Drilling (Widarto, 2008) .....	7
Gambar 2. 2 Proses Penge-drillan (Rasyid, 2020) .....	8
Gambar 2. 3 Posisi profil (Hadimi, 2008).....	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3. 2 Mesin CNC Milling Mori Seiki MV-40M .....	23
Gambar 3. 3 Pahat drill carbide.....	24
Gambar 3. 4 Surface roughness tester.....	24
Gambar 3. 5 Titik pengujian benda kerja.....	25
Gambar 4. 1 Plot rata-rata kekasaran permukaan.....	45
Gambar 4. 2 Plot rasio S/N untuk kekasaran permukaan.....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

Gambar	Halaman
Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup	49
Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran Benda kerja	50
Lampiran 3 Tes normalitas data	57
Lampiran 4 Data Analisa	58
Lampiran 5 Sertifikat	60
Lampiran 6 Perhitungan nilai parameter	63
Lampiran 7 Tabel F	64
Lampiran 8 Foto Proses Pemesinan	65



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan yang sangat pesat di industri manufaktur mengakibatkan industri manufaktur dituntut untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan waktu yang cepat serta minimum biaya. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sangat disarankan untuk menggunakan mesin dengan teknologi *Computer Numerical Control* (CNC) karena memiliki banyak keunggulan.

*Computer Numerical Control* atau yang disingkat dengan CNC ialah sistem otomasi mesin yang terdiri dari perintah yang diprogram dengan cara abstrak kemudian di simpan pada media penyimpanan. Berbeda dengan perlakuan mesin alat sebelumnya dimana mesin di kontrol manual melalui rotasi manual atau otomatisasi sederhana menggunakan cam. Mesin CNC memiliki beberapa keunggulan yaitu memiliki tingkat akurasi pengukuran yang lebih akurat, dapat membuat bentuk kompleks, pergerakan mesin dapat dipantau pada layar monitor, sebuah proses yang cepat sehingga menghemat waktu. Banyak teknik pemesinan yang bisa dilakukan pada mesin CNC, salah satunya adalah proses pengeboran (*drilling*) [1].

Proses yang paling banyak digunakan untuk membentuk produk berbahan logam adalah proses permesinan dengan persentase penggunaan sekitar 60% hingga 80%. Hasil proses diharapkan memiliki kepresisian dan kehalusan yang tinggi, karena semakin tinggi presisi dan kehalusan maka dapat meminimalkan gesekan sehingga mesin dapat bekerja secara lancar [2].

Gurdi (pengeboran) adalah proses permesinan sederhana dibandingkan proses lainnya. Proses pengeboran digunakan untuk pembuatan lubang bulat pada benda kerja dengan menggunakan alat potong berputar yang disebut mata bor (*drill*). Penggunaan proses bor terbilang penting di industri. Hampir 25% proses produksi menggunakan proses pengeboran [3]. Banyak aspek yang mempengaruhi kualitas lubang bor. Semua aspek yang terlibat dalam proses pemotongan memainkan peran penting dalam menciptakan hasil permesinan berkualitas tinggi.

Biasanya aspek-aspek ini mencakup parameter pemotongan, pahat potong, material benda kerja serta sistem pendingin yang mencakup cairan pendingin pemotongan dan strategi pendinginan yang digunakan. [4]. Dikarenakan pahat bor menyentuh benda kerja yang terpotong, maka proses pelumasan cukup sulit dilakukan sehingga biasanya dilakukan dengan menyirami benda kerja yang akan dibuat lubang dengan cairan pendingin atau disemprotkan melalui lubang di tangan pahat bor [5].

Pada proses permesinan, tingkat kekasaran permukaan menjadi parameter kualitas utama. Salah satu indikator kualitas pekerjaan permesinan adalah pengukuran kekasaran permukaan. Nilai kekasaran permukaan dapat disebabkan beberapa faktor yaitu kecepatan potong, laju pemakanan, kedalaman potong, sudut potong, jenis material, pahat yang digunakan dan laju pelepasan chip. Faktor lain yang sering muncul di lapangan yaitu pengaturan alat potong yang tidak tepat, pencekaman benda kerja, kondisi mesin serta kompetensi operator [6]. Dan salah satu faktor yang dapat memberi pengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah variasi penggunaan media pendingin (*coolant*). Pendingin terbukti dapat memperhalus permukaan benda kerja dan juga memiliki kegunaan khusus untuk memperpanjang umur pahat dan juga mengurangi gaya potong [7].

Baja SKD 11 termasuk baja perkakas *high quality* dengan ketangguhan material, kekerasan dan kekuatan yang tinggi serta memiliki ketahanan aus yang baik. Baja SKD 11 termasuk jenis *tool steel* yang sering digunakan dalam industri manufaktur sebagai perkakas potong, pisau cukur, *stamping tools, dies, punching*, dan sebagainya [8].

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Wibowo Ndaruhadi dan Bambang Santoso (2015) tentang akurasi lubang bor hasil proses pengeboran pada material SKD-11, menunjukkan bahwa kinerja *carbide drill* sebagai perkakas potong (*cutting tools*) menunjukkan hasil yang lebih baik pada semua respon dibandingkan dengan *HSS drill*. Akurasi lubang bor (*drilled hole*) yang terbaik pada semua respon permesinan yaitu pada laju pemakanan (*feed rate*) yang terendah bernilai 0,01 mm/rev dengan menggunakan *carbide drill* [4].

Pada penelitian yang dilakukan Anang Ansyori dan Rudi Saputra tentang pengaruh diameter mata bor 10 mm, 12 mm dan 14 mm jenis pahat HSS terhadap

kehalusan permukaan lubang proses permesinan bor Magnesium AZ31, menunjukkan bahwa diameter pahat bor cenderung memberikan pengaruh pada nilai kehalusan permukaan lubang bor. Diameter yang memiliki nilai terbaik yaitu pahat Ø14 mm variasi *feed* 0,10 mm/rev, 0,18 mm/rev, 0,24 mm/rev menghasilkan nilai kekasaran berturut-turut yaitu 0,49 µm, 0,61 µm, dan 0,73 µm. Nilai kekasaran permukaan paling tinggi terjadi pada Ø12 mm dengan *feed* 0,24 mm/rev dengan hasil nilai kekasaran yaitu 1,24 µm [9].

Pada penelitian yang di lakukan Gusri dkk tentang analisa kekasaran permukaan dan kebulatan paduan magnesium dengan jenis pahat HSS Ø12 mm pada permesinan *drill* yang menggunakan metode taguchi, menunjukkan hasil bahwa lubrikan (pelumas) adalah parameter yang berpengaruh secara signifikan pada kekasaran permukaan dan kebulatan lubang proses permesinan *drill* paduan magnesium. Sedangkan hasil yang terbaik adalah menggunakan pelumas dengan MQL minyak kelapa sawit dengan kecepatan putar yang tinggi yaitu 890 rpm, *feed* yang rendah yaitu 0,1 mm/rev, dan titik sudut besar yaitu 65° [10].

Pada penelitian yang dilakukan Syahbuddin dan Tataq Budi Santoso tentang optimasi parameter pemotongan proses *drilling* terhadap kekasaran permukaan dan laju pelepasan material menggunakan metode taguchi pada baja ASTM 36 dengan jenis pahat *carbide* diameter 4,9 mm dan variasi parameter kecepatan potong : 80 m/menit, 100m/menit, 120 m/menit, 140 m/menit serta pemakanan : 0,14 mm/put, 0,15mm/put, 0,16 mm/put. Didapatkan hasil bahwa parameter pemotongan yang menghasilkan nilai kekasaran minimum adalah *cutting speed* 80 m/menit (level 1) dan besar pemakanan 0,15 mm/put (level 2 ) [11].

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah dipaparkan, penulis dapat mengidentifikasi rumusan masalah dilakukannya penelitian ini yaitu apakah variabel proses (kecepatan putaran spindle, *feed rate* dan pendingin) dapat mempengaruhi kekasaran permukaan dan bagaimana *setting* variabel proses tersebut agar dapat memberikan hasil nilai kekasaran permukaan yang optimal pada proses *drilling* baja SKD 11.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yaitu mengetahui nilai pengaruh serta *setting* variasi parameter (Kecepatan putaran spindle, *feed rate* dan pendingin) yang tepat agar dapat memberikan hasil nilai kekasaran permukaan lubang bor yang optimal pada mesin CNC dengan menggunakan material jenis SKD 11.

### 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dan terarah, maka ditentukan batasan masalah, diantaranya :

1. Mesin yang digunakan CNC *Milling machine* MORI SEIKI MV-40
2. Benda kerja yang digunakan baja SKD 11 dengan panjang 20 mm dan diameter 25 mm.
3. Alat uji kekasaran permukaan adalah *Portable Surface Roughness Tester* merek Mitutoyo.
4. Alat potong pahat bor jenis *carbide* dengan diameter 12 mm.
5. Parameter yang digunakan yaitu kecepatan putaran spindle (1000 rpm, 1300 rpm, 1600 rpm), *feed rate* (120 mm/menit, 180 mm/menit, 280 mm/menit), dan pendingin (dromus, *mineral oil*, *dry cutting*) .

### 1.5 Manfaat Penelitian

Setelah penelitian ini selesai diharapkan dapat bermanfaat sebagai :

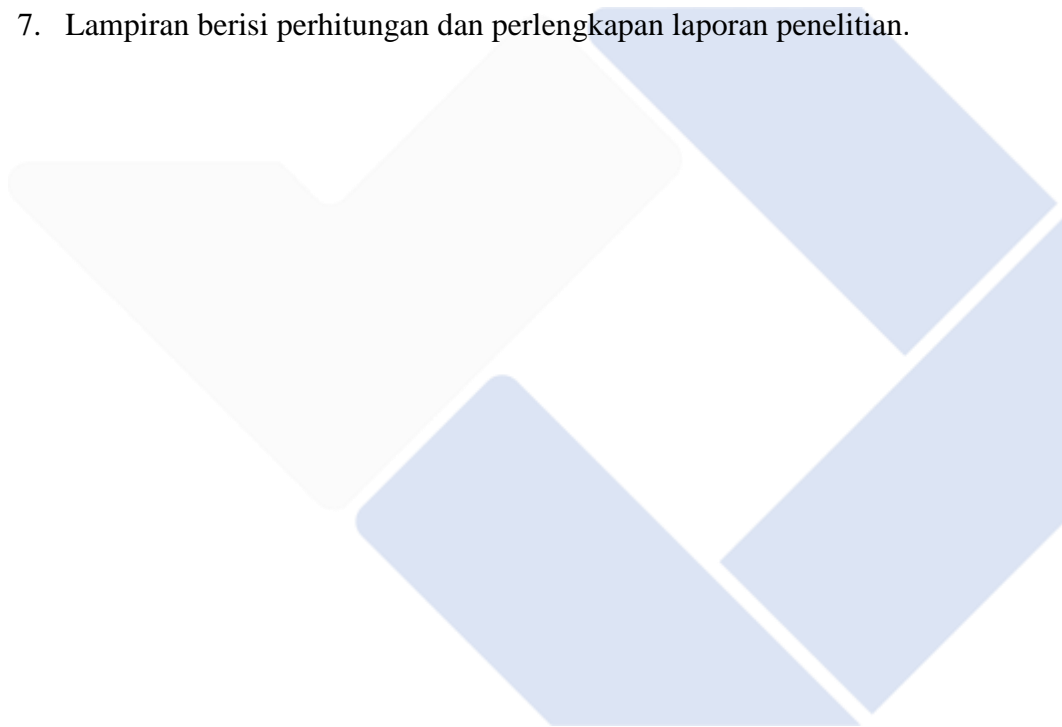
1. Bahan pembelajaran bagi peneliti yang melakukan penelitian sejenis untuk pengembangan pengetahuan tentang parameter pemesinan dan kekasaran permukaan pada proses *drilling*.
2. Informasi pemilihan variasi parameter seperti kecepatan putaran spindle, *feed rate*, dan variasi pendingin yang tepat agar menghasilkan kekasaran permukaan lubang bor yang optimal dengan menggunakan material jenis SKD 11.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bab I. Pendahuluan meliputi latar belakang penelitian, rumusan masalah penelitian, batasan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian.

2. Bab II. Landasan Teori meliputi dasar teori pemesinan bor serta penjelasan berbagai parameter sebagai landasan penelitian.
3. Bab III. Metode Penelitian meliputi alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, pemilihan parameter dan prosedur penelitian.
4. Bab IV. Hasil Dan Pembahasan berisi data-data hasil penelitian serta pembahasan dan analisis yang telah dilakukan.
5. Bab V. Penutup berisi kesimpulan yang diambil dari hasil analisis yang telah dilakukan serta saran.
6. Daftar Pustaka berisi daftar sumber yang dikutip sebagai referensi.
7. Lampiran berisi perhitungan dan perlengkapan laporan penelitian.



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Proses *Drilling*

#### 2.1.1 Pengertian Proses *Drilling*

Proses bor adalah proses permesinan paling sederhana diantara proses lainnya. Proses pengeboran digunakan untuk pembentukan lubang silindris pada benda kerja dengan alat potong berputar yang disebut mata bor. Penggunaan proses bor terbilang penting di industri. Ada sekitar 25% produksi menggunakan proses pengeboran [3].

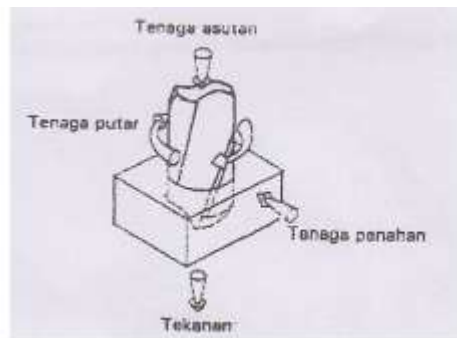


Gambar 2. 1 Proses Drilling [5]

Selama proses pengeboran, beram harus keluar dari lubang melalui alur helix pahat bor. Proses pendingin sulit dilakukan karena ujung mata bor menempel pada benda kerja yang diproses, sehingga biasanya disiram atau disemprotkan dengan *coolant* / pendingin melalui lubang yang ada di bagian tengah pahat. [5].

Sedikit berbeda dengan proses pemesinan lainnya, proses gurdi memiliki karakteristik, yaitu [5] :

- Beram harus keluar
- Terdapat masalah apabila beram yang keluar memiliki ukuran besar atau berkelanjutan.
- Bisa terjadi kesulitan apabila membuat lubang yang dalam pada saat proses pemboran.
- Pendingin disiram ke permukaan potong melewati tengah mata bor pada saat proses pembuatan lubang dalam pada benda kerja yang besar.



Gambar 2. 2 Proses Penge-drillan [12]

### 2.1.2 Pahat *Drill*

Pahat *drill* adalah suatu alat yang efektif untuk pembuatan lubang atau alur. Adapun material pahat yang biasa digunakan baik dari material yang cukup lunak maupun material yang paling keras yaitu :

- a. *High Carbon Steel* (Baja karbon tinggi)
- b. *High speed steel* (HSS)
- c. Paduan cor non logam (*cast nonferrous alloys, cast carbides*)
- d. Karbida (*cermeted carbides, hardmetals*)
- e. Keramik
- f. *Cubic Boron Nitride* (CBN)
- g. Intan (*sintered diamonds, natural diamonds*)

### 2.1.3 Parameter Proses Permesinan *Drill*

Terdapat beberapa parameter pada proses permesinan bor, yaitu [5] :

1. Putaran pahat *drill* ( $n$ )

Putaran pahat adalah gerakan di mana poros mesin bor. Besarnya putaran spindel yang dibutuhkan ditentukan oleh benda kerja yang akan digunakan, material pahat dan diameter pahat. Satuan putaran pahat adalah rpm.

2. Kecepatan potong ( $v$ )

Kecepatan potong disebabkan oleh gerakan rotasi pertama dan beban tertinggi pada mata potong. Kecepatan yang diperbolehkan tergantung pada material pahat dan benda kerja.

$$v = \frac{(\pi d n)}{1000} ; \text{ m/menit.....(2.1)}$$



Dimana :

$v = \text{kecepatan potong (m/min)}$

$d = \text{diameter pahat (mm)}$

$n = \text{putaran pahat drill (rpm : rev/min)}$

$\pi = 3,14$

3. *Feed rate* ( $f_r$ )

*Feed rate* adalah kecepatan makan alat potong terhadap benda kerja dalam suatu proses permesinan. *Feed rate* ini diukur dalam satuan mm/menit.

$$f_r = n \times f \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$f_r = \text{Feed rate (mm/menit)}$

$f = \text{Feeding (mm/put)}$

$n = \text{Putaran pahat (rpm : rev/min)}$

4. *Feed* (Gerak makan)

Berdasarkan tabel 2.1, maka gerak makan dapat ditentukan berdasarkan operator mesin.

Tabel 2. 1 Putaran mata bor dan feed beberapa material

Diameter of drill (in.)	MATERIAL AND CUTTING SPEED (FT PER MINUTE)										Feed per revolution (in.)
	Aluminum	Brass & Bronze	Cast iron	Mild steel 0.2-0.3 carbon (LOW)	Steel 0.4-0.5 carbon (MED)	Tool steel 1.2 carbon and drop forgings	Conn. rod molybdenum steel	3.5 nickel steel	Stainless steel and monel metal	Malleable iron	
	300	200	100	110	80	60	55	80	50	85	
	Revolutions per minute										
1/16	18,338	12,224	6,112	6,724	4,663	3,665	3,404	3,678	3,056	5,182	0.0018
1/8	9,168	6,112	3,056	3,362	2,444	1,834	1,702	1,838	1,528	2,588	0.002-0.003
3/16	6,108	4,072	2,036	2,242	1,630	1,222	1,120	1,224	1,018	1,794	0.004
1/4	4,584	3,056	1,528	1,661	1,222	817	851	994	764	1,298	0.006
5/16	3,888	2,444	1,222	1,344	978	733	672	794	611	1,038	0.006
3/8	3,064	2,036	1,018	1,121	815	611	680	802	609	867	0.008
7/16	2,822	1,748	874	921	699	524	481	568	437	742	0.007
1/2	2,282	1,528	764	840	611	459	420	497	382	649	0.008
9/16	2,037	1,356	679	747	543	407	373	441	340	577	0.008
5/8	1,836	1,224	612	673	499	367	337	398	306	520	0.009
11/16	1,665	1,110	556	611	444	333	300	360	273	472	0.009
3/4	1,524	1,018	508	559	405	308	279	330	264	433	0.010
13/16	1,422	948	474	521	379	286	261	308	237	403	0.010
7/8	1,314	875	436	482	349	262	241	286	219	371	0.011
15/16	1,221	814	407	448	326	244	224	266	204	346	0.012
1	1,146	764	382	420	308	229	210	258	191	326	0.013
1 1/16	1,077	718	360	396	287	216	197	233	180	306	0.013
1 1/8	1,020	690	340	374	272	204	187	221	170	288	0.014
1 3/16	968	644	322	354	258	193	177	209	161	274	0.014
1 1/4	918	612	306	337	245	183	168	199	153	260	0.015
1 5/16	873	582	291	320	233	173	160	189	146	248	0.016
1 3/8	834	556	278	306	222	167	153	180	139	236	0.016
1 7/16	796	530	265	292	212	159	148	172	133	226	0.016
1 1/2	762	508	254	279	204	153	140	165	127	218	0.016
1 9/16	732	486	244	266	185	146	134	159	122	207	0.016
1 5/8	702	468	234	267	186	141	129	152	117	201	0.016
1 11/16	678	452	226	249	181	136	124	147	113	192	0.016
1 3/4	654	436	218	240	176	131	120	142	109	186	0.016
1 13/16	630	420	210	231	166	126	116	137	105	179	0.016
1 7/8	612	408	204	224	163	122	112	133	102	173	0.016
1 15/16	591	394	197	216	158	118	108	128	98	168	0.016
2	573	382	191	210	153	115	105	124	96	162	0.016

Sumber : [5]

Gerak makan pada mesin bor juga dapat dihitung dengan rumus empiris sebagai berikut :

Baja :

$$f = 0,084^3 \sqrt{d} ; mm/put \dots \dots \dots (2.3)$$

Besi Tuang :

$$f = 0,01^3 \sqrt{d} ; mm/put \dots \dots \dots (2.4)$$

## 2.2 Cairan Pendingin

Pendingin memiliki fungsi khusus selama permesinan yaitu memperpanjang umur pahat, mengurangi gaya potong dan menghaluskan permukaan produk permesinan dalam beberapa kasus. Pendingin juga memiliki kegunaan sebagai pembersih *chips*, melumasi elemen pemandu mesin dan memberi perlindungan benda kerja serta komponen dari korosi. Pendingin yang biasa digunakan dalam proses pemesinan dapat dibagi menjadi empat jenis utama yaitu [2]:

### 1. Cairan Sintetik

Cairan yang berupa larutan murni atau larutan aktif permukaan. Cairan ini tidak memiliki efek pelumas dan digunakan karena sifat penyerapan panas yang tinggi serta untuk melindungi benda kerja dari korosi. Menambahkan elemen lain ke cairan ini agar menjadi jenis cairan aktif permukaan dapat mengurangi tegangan permukaan yang membuatnya lebih mudah membasahi dan meningkatkan pelumasan.

### 2. Cairan Emulsi

Cairan yang berupa air yang mengandung unsur minyak ( 5 – 20  $\mu$ m). Elemen emulsi ditambahkan ke minyak dan dilarutkan pada air. Menambahkan minyak jenuh atau elemen lain (*Extreme Pressure Additives*) dapat meningkatkan pelumasan.

### 3. Cairan Semi Sintetik

Merupakan kombinasi dari cairan sintetik dan emulsi yang memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- a. Minyaknya yang terkandung lebih sedikit (10 – 45% lebih rendah dari jenis emulsi cair)
- b. Memiliki lebih banyak pengemulsi (elemen yang menurunkan tegangan permukaan) daripada cairan sintetis

Unsur minyak dalam cairan ini lebih kecil dan lebih tersebar. Bisa berupa tipe dengan minyak sangat jenuh (*super-fatted*) atau tipe EP (*Extreme Pressure*).

#### 4. *Cutting Oils*

*Cutting oils* adalah minyak yang tidak dapat diemulsi dan digunakan dalam bentuk encer pada proses permesinan. Minyak murni ini berasal dari salah satu atau lebih minyak bumi, hewan, ikan atau minyak nabati. Viskositasnya tergantung pada penggunaan dan dapat berupa encer sampai kental. Mencampur minyak mentah dengan minyak nabati (hewani) dapat meningkatkan kapasitas pembasahan serta meningkatkan pelumasan. Dengan menambahkan elemen lain seperti sulfur, klorin atau fosfor (*EP additives*) dapat meningkatkan pelumasan pada suhu dan tekanan tinggi.

Tabel 2. 2 Rekomendasi lubrikan untuk beberapa material

<i>Material</i>	<i>Drilling</i>	<i>Reaming</i>	<i>Tapping</i>	<i>Turning</i>	<i>Threading</i>	<i>Milling</i>
<i>Aluminium</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>
	<i>Kerosene</i>	<i>Kerosene</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>	<i>Kerosen</i>	<i>Lard oil</i>
	<i>Lard Oil</i>	<i>Mineral</i>	<i>Mineral</i>		<i>Lard oil</i>	<i>Mineral oil</i>
		<i>oil</i>	<i>oil</i>			
<i>Brass</i>	<i>Dry</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>
	<i>Soluble oil</i>	<i>Dry</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>	<i>Lard oil</i>	<i>Dry</i>
	<i>Kerosene</i>		<i>Lard oil</i>			
	<i>Lard oil</i>					
<i>Bronze</i>	<i>Dry</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>
	<i>Soluble oil</i>	<i>Lard oil</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>	<i>Lard oil</i>	<i>Dry</i>
	<i>Lard oil</i>	<i>Dry</i>	<i>Lard oil</i>			
	<i>Mineral oil</i>		<i>Dry</i>			
<i>Cast iron</i>	<i>Dry</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Mineral</i>	<i>Soluble</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>
	<i>Soluble oil</i>	<i>Mineral</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>
	<i>Dry jet</i>	<i>oil</i>	<i>Lard oil</i>	<i>Mineral</i>		
		<i>Lard oil</i>		<i>oil</i>		
				<i>Lard oil</i>		
			<i>Dry</i>			
<i>Copper</i>	<i>Dry</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>
	<i>Soluble oil</i>	<i>Lard oil</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>	<i>Lard oil</i>	<i>Dry</i>
	<i>Lard oil</i>	<i>Dry</i>	<i>Lard oil</i>			
	<i>Kerosene</i>		<i>Dry</i>			
	<i>Mineral oil</i>					
<i>Malleable Iron</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble</i>	<i>Lard oil</i>	<i>Dry</i>
	<i>Soda water</i>	<i>Soda</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>	<i>Soda</i>	<i>Soda water</i>
		<i>water</i>			<i>water</i>	
<i>Monel metal</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Mineral</i>	<i>Soluble</i>	<i>Lard oil</i>	<i>Soluble oil</i>
	<i>Lard oil</i>	<i>Lard oil</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>		
			<i>Sulfurized</i>			
			<i>oil</i>			
<i>Steel alloys</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble</i>	<i>Lard oil</i>	<i>Mineral oil</i>
	<i>Sulfurized oil</i>	<i>Mineral</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>	<i>Sulfurized</i>	<i>Lard oil</i>
	<i>Mineral oil</i>	<i>oil</i>	<i>Mineral</i>		<i>oil</i>	
	<i>Lard oil</i>	<i>Lard oil</i>	<i>oil</i>			
<i>Steel forging low carbon</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>
	<i>Sulfurized oil</i>	<i>Mineral</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>	<i>Mineral</i>	<i>Mineral oil</i>
	<i>Lard oil</i>	<i>oil</i>	<i>Lard oil</i>		<i>oil</i>	<i>Lard oil</i>
	<i>Mineral oil</i>	<i>Lard oil</i>			<i>Lard oil</i>	
<i>Tool steel</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Soluble oil</i>	<i>Mineral</i>	<i>Soluble</i>	<i>Lard oil</i>	<i>Soluble oil</i>
	<i>Sulfurized oil</i>	<i>Sulfurized</i>	<i>oil</i>	<i>oil</i>	<i>Sulfurized</i>	<i>Lard oil</i>
	<i>Mineral oil</i>	<i>oil</i>	<i>Sulfurized</i>		<i>oil</i>	
	<i>Lard oil</i>	<i>Lard oil</i>	<i>oil</i>			

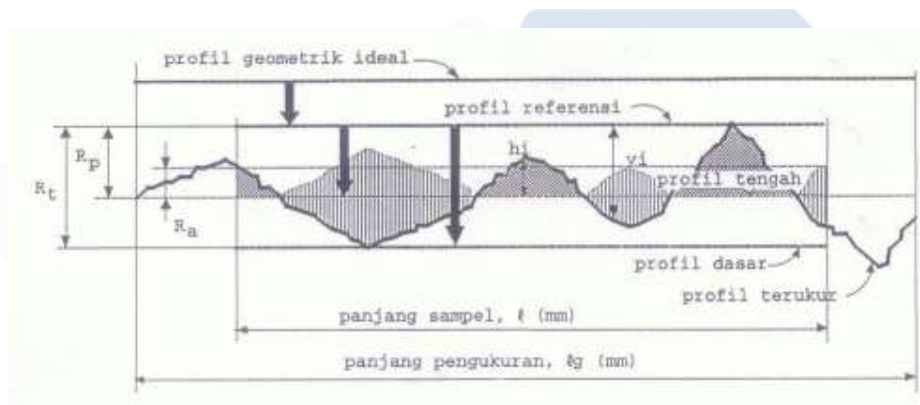
Sumber : [5]

### 2.3 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah ketidakraturan bentuk dan penyimpangan sifat permukaan dalam bentuk guratan, yang akan dilihat nanti pada profil

permukaan. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor seperti mekanisme parameter pemotongan, geometri dan dimensi pahat, cacat material, serta cacat aliran *chips*. Kekasaran permukaan sangat memberi pengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan [7].

Cara mengukur kekasaran pada permukaan adalah menggunakan alat uji kekasaran permukaan. Jarum (stylus) alat uji diatur sehingga pada posisi stabil dan tegak lurus dengan permukaan benda uji. Setelah stylus stabil, tekan tombol start pada alat untuk mengambil data nilai kekasaran dan stylus akan bergerak terus menerus [13].



Gambar 2. 3 Posisi profil [14]

Dilihat dari gambar 2.3 posisi profil satu panjang sampel, menunjukkan parameter permukaan yang terkait dengan dimensi vertikal dan lateral. Untuk arah vertikal diketahui beberapa parameter [14] :

1. Kekasaran total  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ) ialah jarak antara profil referensi dengan profil dasar
2. Kekasaran total  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) ialah jarak rata-rata antara profil referensi dan profil yang diukur.
3. Kekasaran rata-rata aritmatik  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) ialah rata-rata aritmatik dari nilai absolut jarak antara profil yang diukur dan profil tengah.
4. Kekasaran rata-rata kuadratik  $R_g$  ( $\mu\text{m}$ ) ialah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil yang diukur dan profil tengah.
5. Kekasaran total rata-rata  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) ialah jarak antara profil dasar ke profil yang diukur terhadap lima puncak tertinggi yang dikurangi jarak rata-rata profil dasar ke profil yang diukur pada lima lembah terendah.

Kekasaran rata-rata (Ra) maksimum yang diizinkan ditunjukkan dengan lambang segitiga. Satuan harus disesuaikan dengan satuan panjang (metrik atau inchi) dalam gambar teknik. Apabila diperlukan nilai minimum kekasaran Ra, maka nilai ditulis dibawah angka kekasaran maksimum [2].

Sedangkan nilai kekasaran permukaan (*roughness number*) dan panjang sampel standar dibagi menjadi 12 nilai kelas dapat dilihat pada Tabel 2.3 *roughness number* dibawah ini.

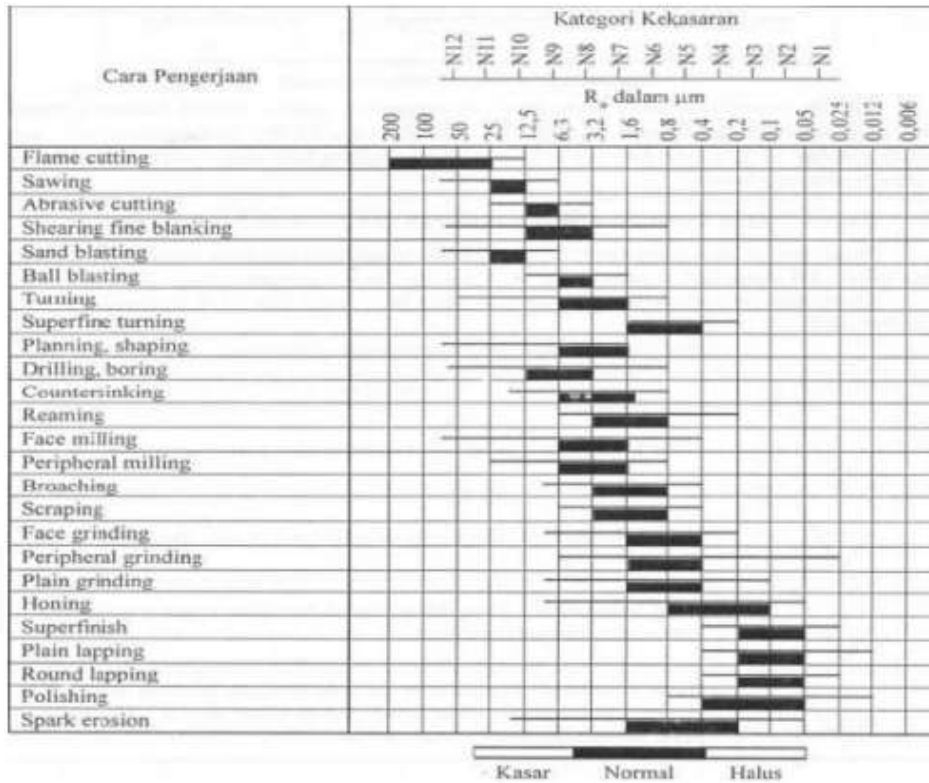
Tabel 2. 3 *roughness number*

Kekasaran Ra ( $\mu\text{m}$ )	Tingkat Kekasaran	Panjang sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2,5
6,3	N9	
3,2	N8	0,8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0,25
0,1	N3	
0,05	N2	
0,025	N1	0,8

Sumber : [15]

Angka kekasaran dirancang untuk menghindari kesalahan dalam nilai kekasaran. Oleh karena itu, spesifikasi dapat langsung ditulis ke dalam nilai numerik dengan menuliskan angka kekasaran ISO. Sesuaikan panjang sampel dengan jumlah kekasaran permukaan. Jika panjang sampel tidak ditampilkan dalam penulisan lambang, itu artinya panjang sampel 0,8 mm (jika proses diprediksi halus hingga sedang) dan 2,5 mm (jika proses diprediksi kasar). Tabel 2.4 di bawah ini memberikan nilai kekasaran rata-rata berdasarkan proses pengerjaannya [2].

Tabel 2. 4 Objek pengerjaan akhir proses pemesinan



Sumber : [13]

Untuk menentukan objek pada pengerjaan akhir proses pemesinan yang dilakukan dengan proses *drilling*, berdasarkan tabel 2.3 diatas, menunjukkan nilai Ra yang di standarkan harus mencapai nilai 0,8 – 3,2  $\mu\text{m}$  untuk kualitas permukaan yang dihasilkan.

## 2.4 Material Benda Kerja

Baja adalah paduan Besi (Fe) dan kandungan Karbon (C) tidak lebih dari 2%. Di industri dan manufaktur, baja adalah material yang sering digunakan dalam kontruksi berat maupun kontruksi mesin dikarenakan memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada besi. Berikut sifat baja :

- a. Tangguh dan kuat
- b. Mudah ditempa dan mudah diproses
- c. Sifatnya dapat berubah dengan mengubah karbon dan perlakuan panas
- d. Kandungan karbon lebih rendah dibandingkan besi



- e. Banyak digunakan untuk bahan peralatan

Namun baja juga memiliki kekurangan yaitu rentan mengalami korosi apabila kandungan besi (Fe) pada baja bersentuhan dengan Oksigen (O<sub>2</sub>) [16].

#### 2.4.1 Baja SKD-11

Material SKD-11 merupakan salah satu grade dari kelompok material jenis baja perkakas (*tool steel*) yang mengacu pada standart *JIS (Japanese Industrial Standards)*. Baja SKD-11 ini secara umum digunakan dalam komponen-komponen dari perkakas yang diperlakukan dengan pengerjaan dingin (*cold working*), diantaranya adalah *cold and pressing dies, jig and fixture*, serta produk sejenisnya [4].

Baja SKD-11 adalah baja yang memiliki kualitas tinggi, ketahanan aus yang baik, kuat tekan yang tinggi, stabilitas dimensi dan merupakan material yang tangguh. Komposisi kimia dari baja ini yaitu C 1,55%, Cr 11,60%, Mo 0,80%, Mn 0,30% dan Si 0,30% [17].

### 2.5 Pengujian Homogenitas dan Normalitas

#### 1. Homogenitas

Uji homogenitas ini dirancang untuk memenuhi apakah nilai residual memiliki distribusi data yang sama. Ini dilakukan (secara visual) dengan memerikasa grafik  $e_i$  terhadap  $Y_i$ . Uji homogenitas terpenuhi jika data terdistribusi secara acak (sekitar garis nol) dan tidak menunjukkan suatu pola. [18].

Menentukan  $F_{tabel}$  dengan taraf signifikan 5% dan  $dk = n - 1$

Kriteria pengujian :

- Apabila nilai  $sig \geq 0.05$  artinya homogen
- Apabila nilai  $sig \leq 0.05$  artinya tidak homogen

#### 2. Normalitas

Plot probabilitas Normal pada statistik dapat digunakan untuk merepresentasikan residul apakah respon memiliki distribusi normal atau tidak. *Shapiro wilk normality test* digunakan untuk menguji kenormalan residul. Digunakan hipotesis, yaitu [18]:

H<sub>0</sub> : residu memiliki distribusi normal

H<sub>1</sub> : residu tidak memiliki distribusi normal

Tolak H<sub>0</sub> apabila  $p = \text{value} < \alpha = 0,05$

## 2.6 ANAVA (Analisis Variansi)

Analisis variansi (ANOVA) adalah metode yang memungkinkan menguji perubahan pengaruh suatu faktor atau variabel sampel yang diambil. Analisis variansi digunakan untuk menentukan apakah sampel memiliki kesamaan. ANOVA juga digunakan untuk menemukan ada tidaknya pengaruh dari setiap variabel kontrol ke sebuah proses. Dan besarnya pengaruh diketahui dengan membandingkan jumlah nilai kuadrat (*sum of square*) variabel kontrol dengan seluruh variabel kontrol [13]. Persamaan/rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat, derajat kebebasan, dan nilai F ditunjukkan dibawah ini :

1. *Sum of square*/jumlah kuadrat :

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A_1}} + \frac{A_2^2}{n_{A_2}} + \frac{A_3^2}{n_{A_3}} + \dots + \frac{A_n^2}{n_{A_n}} - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

$A_1$  = Jumlah nilai data faktor A level 1

$A_2$  = Jumlah nilai data faktor A level 2

$A_3$  = Jumlah nilai data faktor A level 3

$n_{A_1}$  = Banyak data faktor A level 1

$n_{A_2}$  = Banyak data faktor A level 2

$n_{A_3}$  = Banyak data faktor A level 3

$T$  = Jumlah seluruh data

$N$  = Banyak data keseluruhan

2. Derajat kebebasan (*degree of freedom*)

$$V_a = \text{Banyak level faktor A} - 1 \dots \dots \dots (2.6)$$

$$V_t = \text{Total semua level} - 1 \dots \dots \dots (2.7)$$

$$V_e = V_t - (V_a + V_b + \dots + V_n) \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

$V_a = \text{Derajat kebebasan faktor A}$

$V_t = \text{Derajat kebebasan total}$

$V_e = \text{Derajat kebebasan error}$

3. Rata-rata kuadrat (*mean square*)

Contoh faktor A :

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} \dots \dots \dots (2.9)$$

4. Jumlah kuadrat total

$$SS_T = \sum y^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

$y = \text{Nilai data}$

5. Jumlah kuadrat rata-rata

$$SS_m = n\bar{y}^2 \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

$n = \text{Banyak data}$

6. Jumlah kuadrat *error*

$$SS_e = SS_T + SS_m + SS_{faktor} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + \dots SS_n \dots \dots \dots (2.13)$$

7. Rata-rata kuadrat *error*

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e} \dots \dots \dots (2.14)$$

8. Nilai F

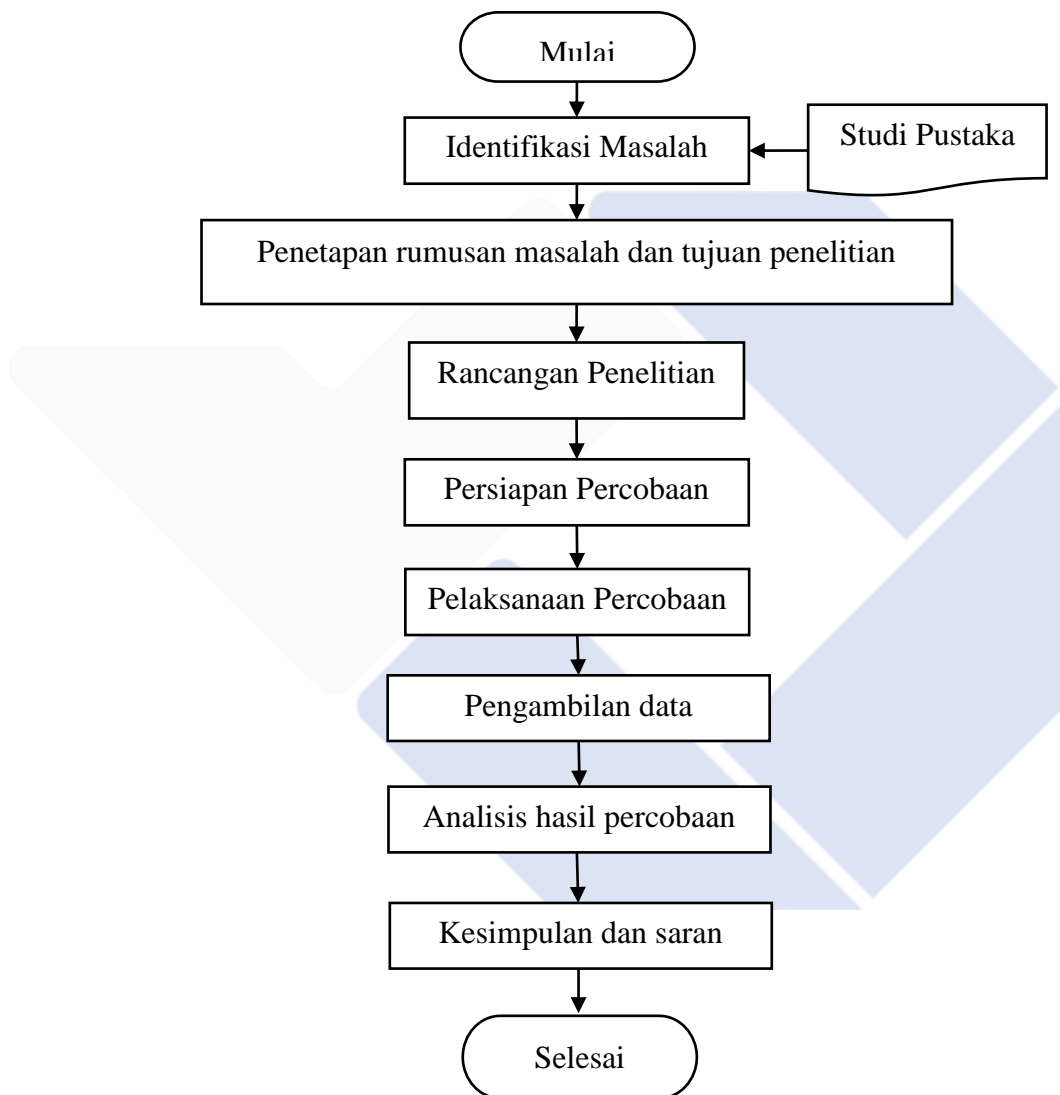
Perbandingan nilai Fhitung dan Ftabel akan memperlihatkan pengaruh dari setiap faktor dari nilai F. Apabila nilai Fhitung > Ftabel maka faktor tersebut memberikan pengaruh secara signifikan dan sebaliknya. Contoh persamaan faktor A :

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e} \dots \dots \dots (2.15)$$

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tahapan Penelitian / *Flowchart*

Langkah penyelesaian dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan *flowchart* yang ditunjukkan oleh gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian dipaparkan menjadi beberapa tahapan dan setiap tahap akan dijelaskan melalui langkah-langkah yang dilakukan.

### **3.1.1 Identifikasi Masalah**

Identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah langkah awal yang penting. Proses yang dilakukan adalah dengan mengetahui permasalahan yang diamati. Didasarkan hal tersebut, peneliti melakukan pencarian data-data sebagai pendukung penelitian. Data tersebut bisa didapatkan dengan observasi, membaca literatur atau melakukan survei awal.

### **3.1.2 Studi Pustaka**

Proses yang dilakukan peneliti adalah mengumpulkan data awal dengan kajian literatur dari beberapa sumber seperti jurnal ilmiah, artikel, buku, internet, e-book dan lainnya. Hal ini bertujuan untuk menambah data atau informasi yang diperlukan pada penelitian ini. Fungsi dari studi literatur adalah untuk mengetahui masalah yang dihadapi, serta untuk membuat rencana kerja yang akan di hadapi.

### **3.1.3 Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian**

Rumusan masalah serta tujuan penelitian harus jelas secara teknis agar dapat dimasukkan pada percobaan yang dilakukan. Tujuan penelitian adalah jawaban dari masalah yang telah dirumuskan.

### **3.1.4 Rancangan Penelitian**

Rancangan/desain penelitian adalah kerangka dasar di mana penelitian menentukan kegiatan pengumpulan informasi terhadap terhadap objek yang mempunyai variasi. Data yang dipakai pada penelitian ini adalah data pertama yang didapatkan dari hasil pengujian. Variabel penelitian adalah segala sesuatu dalam bentuk apapun yang ditetapkan oleh seorang peneliti untuk memperoleh informasi tentang hal tersebut, dilanjutkan dengan menarik kesimpulan [19]. Variabel yang digunakan ialah sebagai berikut :

1. Variabel Bebas (Variable Proses)

Variabel bebas memiliki fungsi yaitu memberi pengaruh atau menentukan munculnya variabel terikat (respon). Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi kecepatan putaran spindel, *feed rate* dan jenis pendingin.

2. Variabel Terikat (Respon)

Variabel terikat adalah variabel yang faktor-faktornya dilihat dan diukur untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan oleh variabel bebas. Pada penelitian ini, tingkat kekasaran permukaan lubang pada benda kerja hasil proses *drilling* adalah variabel respon.

### 3. Variabel Kontrol (Variabel Konstan)

Variabel kontrol (konstan) pada penelitian ini adalah :

- Material baja SKD 11
- Pahat *drill carbide* diameter 12 mm
- Alat ukur kekasaran *Surface Roughness Tester*

### 4. Variabel Gangguan (*Noise*)

Variabel gangguan berpengaruh terhadap variabel terikat (respon), namun sulit dikendalikan. Variabel yang dapat menjadi kendala di penelitian ini ialah tempat pengukuran kekasaran permukaan benda yang akan di uji. Variabel ini tidak termasuk dalam desain penelitian, sehingga pengambilan data dilakukan dengan cara replikasi (pengulangan) sehingga dapat mengatasi dampak gangguan terhadap hasil penelitian.

## 3.1.5 Rancangan Eksperimen

### 1. *Setting* Variabel Proses

Penentuan *setting* variabel proses dilakukan berdasarkan data manual mesin. Benda kerja pada penelitian ini adalah baja SKD 11 dengan ukuran diameter 25 mm dan panjang 20 mm. *Setting* variabel proses dan level variabel dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3. 1 *Setting* level variabel proses

Variabel Proses	Satuan	Level (tingkatan)		
		1	2	3
A Putaran <i>spindle</i> (n)	Rpm	1000	1300	1600
B <i>Feed rate</i> ( $f_r$ )	mm/menit	120	180	280
C Cairan pendingin	-	Dromus	<i>Mineral Oil</i>	<i>Dry Cutting</i>

## 2. Desain Eksperimen

Pada penelitian ini digunakan desain eksperimen factorial 3 x 3 dengan rancangan acak, sehingga jumlah perlakuan adalah 9. faktor yang digunakan putaran spindle variasi 1000 rpm, 1300 rpm, 1600 rpm. *Feed rate* dengan variasi 120 mm/menit, 180 mm/menit dan 280 mm/menit dan pendingin dengan variasi dromus, *mineral oil* dan *dry cutting*. Pada eksperimen ini diperlukan 9 kondisi eksperimen dengan 3 kali pengulangan.

Tabel 3. 2 Spesimen Pengujian Benda Kerja

No	Putaran <i>Spindle</i>	<i>Feed rate</i>	Cairan pendingin	Hasil Nilai Kekasaran
1	1000	120	Dromus	
2	1000	180	<i>Mineral oil</i>	
3	1000	280	<i>Dry cutting</i>	
4	1300	120	<i>Mineral oil</i>	
5	1300	180	<i>Dry cutting</i>	
6	1300	280	Dromus	
7	1600	120	<i>Dry cutting</i>	
8	1600	180	Dromus	
9	1600	280	<i>Mineral Oil</i>	

### 3.1.6 Persiapan Percobaan

#### 1. Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Mesin CNC *Milling*

Mesin CNC yang digunakan pada penelitian ini ialah mesin CNC *Milling* Mori Seiki MV-40M. Gambar 3.2 menunjukkan mesin CNC merk Mori Seiki MV-40M dan tabel 3.3 menunjukkan spesifikasi mesin.



Gambar 3. 2 Mesin CNC Milling Mori Seiki MV-40M

Tabel 3. 3 Spesifikasi Mesin CNC Milling MORI SEIKI MV-40M

<i>Merk</i>	:	MORI SEIKI MV-40 M
<i>Spesifikasi Travel</i>		
• <i>X-axis Travel</i>	:	560 mm (22.05 in)
• <i>Y-axis Travel</i>	:	410 mm (16.14 in)
• <i>Z-axis Travel</i>	:	460 mm (18.11 in)
<i>Spesifikasi Table</i>		
• <i>Working surface</i>	:	900 x 450 mm (33.43 x 17.72 in)
• <i>Table loading capacity</i>	:	300 kg (660 lb)
<i>Spesifikasi Spindle</i>		
• <i>Maximum spindle speed</i>	:	8000 rpm [10000 rpm, 12000 rpm]
• <i>Type of spindle taper hole</i>	:	7/2 taper, No.40
<i>Feedrate</i>		
• <i>Rapid traverse rate (X-axis, Y-axis)</i>	:	20000 mm/min (787.40)
• <i>Rapid traverse rate (Z-axis)</i>	:	12000 mm/min (472.44 ipm)
• <i>Feedrate (X-axis, Y-axis, Z-axis)</i>	:	1 – 5000 mm/min (0.01 – 196.85 ipm)
• <i>Jog feedrate</i>	:	0 – 1260 mm/min (0 – 50 ipm) 15 steps

- Pahat *drill carbide*

Pahat *drill carbide* adalah pahat yang digunakan untuk membuat lubang pada benda uji penelitian. Diameter pahat pada penelitian ini



adalah diameter 12. Gambar 3.3 menunjukkan pahat *drill carbide* diameter 12.



Gambar 3. 3 Pahat *drill carbide*

- Alat Uji Kekasaran

Kekasaran permukaan suatu benda kerja dapat diukur menggunakan alat *surface roughness tester* dan alat uji yang digunakan pada penelitian ini menggunakan merk Mitutoyo.



Gambar 3. 4 *Surface roughness tester*

## 2. Bahan / Material Spesimen Uji

Material pada penelitian ini ialah Baja SKD 11 dengan diameter 25 mm dan panjang 20 mm. Baja SKD 11 adalah jenis baja karbon tinggi dikarenakan kandungan karbonnya 1,55%. Baja SKD 11 ialah jenis baja perkakas yang berkualitas tinggi, *hardenability* dan kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan aus yang baik, serta stabilitas dimensi dan termasuk material tangguh.

### 3.1.7 Pelaksanaan Percobaan

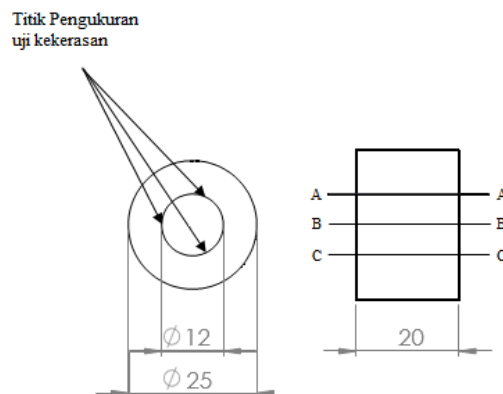
Berikut ini langkah-langkah proses *drilling* pada baja SKD 11 dengan proses permesinan CNC *Milling* menggunakan *setting* parameter yang telah ditentukan.

1. Mempersiapkan benda kerja dan peralatan yang akan dipakai seperti pahat/alat potong.
2. Pembuatan program CNC berdasarkan benda kerja yang akan diproses dengan ketentuan variasi, kemudian masukan program yang sudah dibuat sebelumnya pada mesin CNC *Milling*.
3. Memasang pahat *drill* pada mesin CNC *Milling* Mori Seiki MV-40M.
4. Memasang benda uji di ragum mesin CNC *Milling* Mori Seiki MV-40M.
5. Menyalakan mesin CNC *Milling* Mori Seiki MV-40M dan lakukan penyetelan variabel proses.
6. Lakukan proses pemesinan terhadap benda kerja berdasarkan variasi parameter yang telah ditentukan.
7. Lakukan pengulangan pada semua benda kerja sesuai dengan variasi parameter yang telah ditentukan.
8. Matikan mesin CNC *Milling* Mori Seiki MV-40M lalu lepaskan benda kerja pada cekam mesin.

### 3.1.8 Pengukuran dan Pengambilan Data

#### 1. Pengukuran

Data kekasaran permukaan benda uji didapatkan dari hasil pengukuran pada permukaan benda kerja yang sudah di proses secara langsung menggunakan *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-400. Pengukuran kekasaran permukaan terdiri dari pengaturan alat dan benda, penentuan *sampling length* dan pengukuran.



Gambar 3. 5 Titik pengujian benda kerja

Berikut langkah-langkah pengukuran menggunakan *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-400 :

- 1) Lepaskan *drive unit* dari *display unit* dan hubungkan dengan kabel koneksi khusus. Lalu kalibrasi alat ukur *surface roughness tester*.
  - 2) Ukur panjang benda kerja menggunakan jangka sorong. Lalu letakkan benda kerja yang akan diuji pada dudukan V Block, sesuaikan tinggi alat ukur kekasaran permukaan dengan benda uji.
  - 3) Atur jumlah sampel (n) pada kondisi pengukuran
  - 4) Pastikan bahwa keadaan detektor tetap dalam keadaan yang benar.
  - 5) Kembali ke tampilan utama pada *display unit*. Kemudian tekan tombol [START/STOP]
  - 6) Tunggu sampai detektor berhenti bergerak. Lalu catat hasil pengukuran dan simpan data pengukuran.
  - 7) Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap spesimen. Ulangi langkah tersebut pada titik pengukuran yang berbeda.
2. Pengambilan Data

Kekasaran rata-rata aritmatika ( $R_a$ ) dihitung dari rata-rata nilai absolut jarak antara profil yang diukur dan profil pusat. Dalam perhitungan  $R_a$ , area di bawah pusat (lembah) diproyeksikan keatas dan dirata-ratakan dengan area diatas profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{n} \sum y (\mu m) \dots \dots \dots (3.1)$$

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan percobaan variasi kecepatan putaran *spindle*, *feed rate* dan cairan pendingin. Tujuan utama pada penelitian ini ialah mengetahui berapa besar pengaruh variasi terhadap kekasaran permukaan.

### 3.1.9 Analisis Data

Bagian ini melakukan kegiatan seperti pengumpulan, akurasi, perhitungan dan penyajian data dilakukan dalam tata letak tertentu sesuai dengan rancangan eksperimen yang dipilih. Teknik yang dipakai dalam analisis data adalah statistik

deskriptif atau teknis analisis data, yang meliputi penafsiran hasil penelitian dalam bentuk tabel, bagan dan grafik.

Analisis yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode *analysis of variance* (ANOVA) untuk menentukan parameter pemesinan memiliki pengaruh terbesar pada kekasaran permukaan.

### **3.1.10 Kesimpulan**

Pada tahap ini adalah tahap terakhir penelitian dimana peneliti melakukan pengambilan kesimpulan dari analisis hasil pengujian yang sudah dilakukan.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan dengan mengkombinasikan variabel-variabel proses pada mesin CNC Milling MORI SEIKI MV-40M. Adapun variabel proses yang diduga dapat memberi pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan yaitu kecepatan spindle (A), *feed rate* (B), pendingin (C). Setelah data pengujian didapatkan, maka dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode eksperimen yang dilakukan perhitungan secara manual dan menggunakan *software* Statistik. Beberapa langkah dalam pengambilan data adalah sebagai berikut :

#### 4.2.1 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Pengukuran kekasaran benda kerja menggunakan alat ukur *surface roughness tester*. Data yang didapatkan dari hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah :

Tabel 4. 1 Data Hasil Percobaan

Eks.	Faktor			Replikasi			Mean
	A	B	C	1	2	3	
1	1	1	1	1,120	1,133	1,078	1,110
2	1	2	2	1,567	1,597	1,523	1,562
3	1	3	3	2,011	2,006	2,020	2,012
4	2	1	2	1,153	1,110	1,205	1,156
5	2	2	3	1,629	1,697	1,708	1,678
6	2	3	1	1,665	1,410	1,519	1,531
7	3	1	3	0,978	0,954	1,020	0,984
8	3	2	1	1,190	1,132	1,078	1,133
9	3	3	2	1,587	1,562	1,592	1,580

Pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekasaran permukaan dapat dihitung. Tahap selanjutnya dilakukan perhitungan untuk rata-rata respon setiap faktor, yaitu:

Perhitungan rata-rata untuk Faktor A (Kecepatan Spindel)

$$A1 = 1/3 (1,110 + 1,562 + 2,012) = 1,561$$

$$A2 = 1/3 (1,156 + 1,678 + 1,531) = 1,455$$

$$A3 = 1/3 (0,984 + 1,133 + 1,580) = 1,232$$

Perhitungan rata-rata untuk Faktor B (*Feed rate*)

$$B1 = 1/3 (1,110 + 1,562 + 0,984) = 1,083$$

$$B2 = 1/3 (1,562 + 1,678 + 1,133) = 1,458$$

$$B3 = 1/3 (2,012 + 1,531 + 1,581) = 1,708$$

Perhitungan rata-rata untuk Faktor C (Pendingin)

$$C1 = 1/3 (1,110 + 1,531 + 1,133) = 1,258$$

$$C2 = 1/3 (1,562 + 1,156 + 1,580) = 1,433$$

$$C3 = 1/3 (2,012 + 1,678 + 0,984) = 1,558$$

#### 4.2.2 Penentuan Kombinasi Variabel untuk Respon Optimal

Untuk ketiga faktor yang diamati yaitu kecepatan spindel, feed rate dan pendingin. Adapun faktornya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Respon rata-rata dari pengaruh faktor

Simbol Parameter	Parameter Proses	Level	Level	Level
		1	2	3
A	Putaran Spindel	1,561	1,455	1,232
B	<i>Feed rate</i>	1,083	1,458	1,708
C	Pendingin	1,258	1,433	1,558
Total nilai rata-rata =			1,416	

Berdasarkan nilai rata-rata kekasaran permukaan untuk setiap level variabel proses, sehingga didapatkan nilai kombinasi dari variabel proses yang memberi hasil respon optimal. Kombinasi variabel untuk respon terbaik ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Kombinasi variabel proses untuk respon optimal

	Variabel Proses	Tingkat Level	Nilai Level
<b>A</b>	Putaran spindel	3	1600 rpm
<b>B</b>	<i>Feed rate</i>	1	120 mm/menit
<b>C</b>	Pendingin	1	Dromus

Sumber : Hasil perhitungan

#### 4.2.3 Analisis Variansi

ANOVA berfungsi untuk mengidentifikasi variabel proses yang mempunyai kontribusi dalam mengurangi variasi respon kekasaran permukaan terhadap benda kerja.

Model analisis yang digunakan adalah analisis ANOVA dua arah (*two way anova*) meliputi perhitungan derajat bebas, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, dan F rasio.

$$SS_A = \left[ \sum_i^{K_A} 1 \left[ \frac{A_{Ai}}{n_{Ai}} \right] \right] - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (4.1)$$

Dimana :

- $K_A$  = Jumlah level faktor A
- $A_i$  = level ke 1 faktor A
- $n_{Ai}$  = Jumlah percobaan level ke i faktor A
- $T$  = Jumlah seluruh nilai data
- $n$  = Banyaknya data keseluruhan

**Perhitungan Jumlah Kuadrat (sum of square) Faktor A :**

$$SS_A = \frac{A1^2}{n_{A1}} + \frac{A2^2}{n_{A2}} + \frac{A3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* faktor A :

$$SS_A = \frac{4,684^2}{3} + \frac{4,365^2}{3} + \frac{3,697^2}{3} - \frac{12,746^2}{9} = 0,1691$$

Derajat kebebasan :

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*mean square*) :

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{0,1691}{2} = 0,0845$$

Jumlah kuadrat total :

$$\begin{aligned} SST &= \sum Y^2 \\ &= (1,110^2) + (1,562^2) + (2,012^2) \dots \dots \dots (1,580^2) \\ &= 18,96441 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$\begin{aligned} SS_m &= n \cdot \bar{Y}^2 \\ &= 9 \times (1,41622^2) \\ &= 18,05117 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error :

$$\begin{aligned} SS_{\text{faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_c \\ &= 0,1691 + 0,5924 + 0,1362 \\ &= 0,8978 \end{aligned}$$

*Residual Error* :

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 18,96441 - 18,05117 - 0,8978 \\ &= 0,015446 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{F rasio} &= \frac{SS_A}{SS_e} \\
 &= \frac{0,1691}{0,015446} \\
 &= 10,9499
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Jumlah Kuadrat (*sum of square*) Faktor B :**

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

Perhitungan *sum of square* faktor B :

$$SS_B = \frac{3,250^2}{3} + \frac{4,373^2}{3} + \frac{5,123^2}{3} - \frac{12,746^2}{9} = 0,5924$$

Derajat kebebasan :

$$V_B = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*mean square*) :

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B} = \frac{0,5924}{2} = 0,2962$$

Jumlah kuadrat total :

$$\begin{aligned}
 SST &= \sum Y^2 \\
 &= (1,120^2) + (1,562^2) + (2,012^2) \dots \dots \dots (1,580^2) \\
 &= 18,96441
 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$\begin{aligned}
 SS_m &= n \cdot \bar{Y}^2 \\
 &= 9 \times (1,41622^2) \\
 &= 18,05117
 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error :

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_c \\
 &= 0,1691 + 0,5924 + 0,1362 = 0,8978
 \end{aligned}$$

*Residual Error* :

$$\begin{aligned}
SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{faktor} \\
&= 18,96441 - 18,05117 - 0,8978 \\
&= 0,015446
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F \text{ rasio} &= \frac{SS_B}{SS_e} \\
&= \frac{0,5924}{0,015446} \\
&= 38,355
\end{aligned}$$

**Perhitungan Jumlah Kuadrat (*sum of square*) Faktor C :**

$$SS_C = \frac{C1^2}{n_{B1}} + \frac{C2^2}{n_{B2}} + \frac{C3^2}{n_{B3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* faktor C :

$$SS_C = \frac{3,774^2}{3} + \frac{4,298^2}{3} + \frac{4,674^2}{3} - \frac{12,746^2}{9} = 0,1362$$

Derajat kebebasan :

$$V_C = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*mean square*) :

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = \frac{0,1362}{2} = 0,0681$$

Jumlah kuadrat total :

$$\begin{aligned}
SST &= \sum Y^2 \\
&= (1,120^2) + (1,562^2) + (2,012^2) \dots \dots \dots (1,580^2) \\
&= 18,96441
\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$\begin{aligned}
SS_m &= n \cdot \bar{Y}^2 \\
&= 9 \times (1,41622^2) = 18,05117
\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error :

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

$$= 0,1691 + 0,5924 + 0,1362$$

$$= 0,8978$$

*Residual Error :*

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{faktor}$$

$$= 18,96441 - 18,05117 - 0,8978$$

$$= 0,015446$$

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e} = \frac{0,015466}{2} = 0,0077$$

$$F \text{ rasio} = \frac{SS_C}{SS_e}$$

$$= \frac{0,1362}{0,015446}$$

$$= 8,8192$$

$$SS_{Total} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_e$$

$$= 0,1691 + 0,5924 + 0,1362 + 0,015446$$

$$= 0,9132$$

Hasil perhitungan ANAVA terhadap nilai rata-rata ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Analisis Variansi Rata-Rata Kekasaran Permukaan

<b>Faktor</b>	<b>V</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F-rasio</b>
<b>A</b>	2	0,1691	0,0846	10,95
<b>B</b>	2	0,5924	0,2962	38,35
<b>C</b>	2	0,1362	0,0681	8,82
<b>Error</b>	2	0,015446	0,0077	
<b>Total</b>	8	0,9132		

#### 4.2 Perhitungan Rasio S/N Dari Respon

*Signal-to-noise* dirancang untuk melakukan perubahan data yang berulang kedalam suatu nilai ukuran variasi keluar. Harga S/N didasarkan pada tipe karakteristik kualitas setiap respon. Berikut perhitungan nilai rasio S/N :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (Y_i^2) \right]$$

Dimana :

$Y_i$  = Nilai kekasaran permukaan benda hasil pengamatan

$n$  = Jumlah replikasi (pengulangan)

Karakteristik kualitas sebagai sasaran peningkatan kualitas memaksimalkan variabilitas kekasaran permukaan benda kerja. Kualitas ukuran kekasaran benda kerja yang diharapkan adalah kekasaran minimum. Semakin kecil nilai kekasaran permukaan maka akan semakin baik (*smaller is better*).

Dalam penelitian ini, nilai yang diharapkan ialah kekasaran permukaan benda kerja yang terkecil. Perhitungan S/N dilakukan dengan pengulangan 3 kali :

Pada eksperimen 1

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,120^2 + 1,133^2 + 1,078^2) \right] = -0,9110$$

Pada eksperimen 2

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,567^2 + 1,597^2 + 1,523^2) \right] = -3,8771$$

Pada eksperimen 3

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (2,011^2 + 2,006^2 + 2,020^2) \right] = -6,0740$$

Pada eksperimen 4

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,153^2 + 1,110^2 + 1,205^2) \right] = -1,2640$$

Pada eksperimen 5

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,629^2 + 1,697^2 + 1,708^2) \right] = -4,4977$$

Pada eksperimen 6

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,665^2 + 1,410^2 + 1,519^2) \right] = -3,7215$$

Pada eksperimen 7

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (0,978^2 + 0,954^2 + 1,020^2) \right] = 0,1367$$

Pada eksperimen 8

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,190^2 + 1,132^2 + 1,078^2) \right] = -1,0942$$

Pada eksperimen 9

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,587^2 + 1,563^2 + 1,592^2) \right] = -3,9752$$

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, didapatkan nilai rasio S/N untuk respon kekasaran permukaan masing-masing kombinasi variabel. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rasio S/N untuk respon

Eks	Faktor			Replikasi			S/N
	A	B	C	1	2	3	
1	1	1	1	1,120	1,133	1,078	-0,9110
2	1	2	2	1,567	1,597	1,523	-3,8771
3	1	3	3	2,011	2,006	2,020	-6,0740
4	2	1	2	1,153	1,110	1,205	-1,2640
5	2	2	3	1,629	1,697	1,708	-4,4977
6	2	3	1	1,665	1,410	1,519	-3,7215
7	3	1	3	0,978	0,954	1,020	0,1367
8	3	2	1	1,190	1,132	1,078	-1,0942
9	3	3	2	1,587	1,562	1,592	-3,9752
<b>Rata-Rata</b>							-2,8086

#### 4.2.1 Pengaruh Level dari Faktor terhadap Variasi Kekasaran Permukaan

Untuk mengetahui pengaruh level setiap faktor terhadap rata-rata kekasaran permukaan benda kerja maka dilakukan perhitungan untuk rata-rata respon setiap faktor, yaitu:

$$A1 = \frac{1}{3}((-0,9110)+(-3,8771)+(-6,0740)) = -3,6207$$

$$\begin{aligned}
A2 &= 1/3((-1,2640)+(-4,4977)+(-3,7215)) = -3,1610 \\
A3 &= 1/3((0,1367)+(-1,0942)+(-3,9752)) = -1,6442 \\
B1 &= 1/3((-0,9110)+(-1,2640)+(0,1367)) = -0,6794 \\
B2 &= 1/3((-3,8771)+(-4,4977)+(-1,0942)) = -3,1563 \\
B3 &= 1/3((-6,0740)+(-3,7215)+(-3,9752)) = -4,5902 \\
C1 &= 1/3((-0,9110)+(-3,7215)+(-1,0942)) = -1,9098 \\
C2 &= 1/3((-3,8771)+(-1,2640)+(-3,9752)) = -3,0387 \\
C3 &= 1/3((-6,0740)+(-4,4977)+(0,1367)) = -3,478
\end{aligned}$$

Untuk faktor utama yang diamati yaitu putaran spindel, *feed rate*, dan pendingin pengaruhnya dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 6 Respon Rasio S/N kekasaran permukaan

	A	B	C
<b>Level 1</b>	-3,6207	-0,6794	-1,9098
<b>Level 2</b>	-3,1610	-3,1563	-3,0387
<b>Level 3</b>	-1,6442	-4,5902	-3,4783
<b>Selisih</b>	1,9764	3,9108	1,5694
<b>Ranking</b>	3	1	2

Berdasarkan nilai rasio S/N untuk setiap level variabel proses, didapatkan nilai level untuk kombinasi variabel proses yang menghasilkan respon terbaik. Kombinasi variabel proses untuk respon optimal ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Kombinasi untuk respon optimal

Simbol	Variabel Proses	Tingkatan Level	Nilai Level
<b>A</b>	Putaran Spindel	3	1600 rpm
<b>B</b>	<i>Feed rate</i>	1	120 mm/menit
<b>C</b>	Pendingin	1	Dromus

#### 4.2.2 Analisis Varian Rasio S/N

Untuk mencari faktor-faktor yang secara signifikan memberi pengaruh pada nilai rasio *signal-to-noise* dapat dilakukan menggunakan analisis variansi dua arah.

Perhitungan analisis variansi meliputi perhitungan derajat bebas, jumlah kuadrat dan jumlah kuadrat.

**Perhitungan *sum of square* (jumlah derajat) Faktor A :**

$$SS_A = \frac{A1^2}{n_{A1}} + \frac{A2^2}{n_{A2}} + \frac{A3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* faktor A :

$$SS_A = \frac{-10,863^2}{3} + \frac{-9,483^2}{3} + \frac{-4,933^2}{3} - \frac{-25,278^2}{9} = 6,419$$

Derajat kebebasan :

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*mean square*) :

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{6,419}{2} = 3,209$$

Jumlah kuadrat total :

$$\begin{aligned} SST &= \sum Y^2 \\ &= (-0,911^2) + (-3,877^2) + (-6,074^2) \dots \dots \dots (-3,975^2) \\ &= 105,4539 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$\begin{aligned} SS_m &= n \cdot \bar{Y}^2 \\ &= 9 \times (-2,8086^2) \\ &= 70,9974 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error :

$$\begin{aligned} SS_{faktor} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 6,419 + 23,4861 + 3,9331 \\ &= 33,8383 \end{aligned}$$

*Residual Error* :

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{faktor} \\ &= 105,4539 - 70,9974 - 33,8383 = 0,6180 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F rasio} &= \frac{SS_A}{SS_e} \\
 &= \frac{6,419}{0,618} \\
 &= 10,386
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Jumlah Kuadrat (*sum of square*) Faktor B :**

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

Perhitungan *sum of square* faktor B :

$$SS_B = \frac{-2,038^2}{3} + \frac{-9,469^2}{3} + \frac{-13,771^2}{3} - \frac{-25,278^2}{9} = 23,486$$

Derajat kebebasan :

$$V_B = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*mean square*) :

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B} = \frac{23,486}{2} = 11,743$$

Jumlah kuadrat total :

$$\begin{aligned}
 SST &= \sum Y^2 \\
 &= (-0,911^2) + (-3,877^2) + (-6,074^2) \dots \dots \dots (-3,975^2) \\
 &= 105,4539
 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$\begin{aligned}
 SS_m &= n \cdot \bar{Y}^2 \\
 &= 9 \times (-2,8086^2) \\
 &= 70,9974
 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error :

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_c \\
 &= 6,419 + 23,4861 + 3,9331 \\
 &= 33,8383
 \end{aligned}$$

*Residual Error* :



$$\begin{aligned}
 SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{faktor} \\
 &= 105,4539 - 70,9974 - 33,8383 = 0,6180
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F rasio} &= \frac{SS_B}{SS_e} \\
 &= \frac{23,486}{0,618} \\
 &= 38,003
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Jumlah Kuadrat (*sum of square*) Faktor C :**

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

Perhitungan *sum of square* faktor C :

$$SS_C = \frac{-5,727^2}{3} + \frac{-9,116^2}{3} + \frac{-10,435^2}{3} - \frac{-25,278^2}{9} = 3,933$$

Derajat kebebasan :

$$V_C = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*mean square*) :

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = \frac{3,933}{2} = 1,966$$

Jumlah kuadrat total :

$$\begin{aligned}
 SST &= \sum Y^2 \\
 &= (-0,911^2) + (-3,877^2) + (-6,074^2) \dots \dots \dots (-3,975^2) \\
 &= 105,4539
 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) :

$$\begin{aligned}
 SS_m &= n \cdot \bar{Y}^2 \\
 &= 9 \times (-2,8086^2) \\
 &= 70,9974
 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error :

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

$$= 6,419 + 23,4861 + 3,9331 = 33,8383$$

Residual Error :

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{faktor} \\ &= 105,4539 - 70,9974 - 33,8383 = 0,6180 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F rasio} &= \frac{SS_C}{SS_e} \\ &= \frac{3,933}{0,618} = 6,364 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan analisis variansi terhadap rasio S/N ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Analisis variansi rasio S/N kekasaran permukaan

Sumber	V	SS	MS	F-rasio
A	2	6,419	3,209	10,386
B	2	23,486	11,743	38,003
C	2	3,933	1,966	6,364
Error	2	0,618	0,309	
Total	8	34,456		

### 4.3 Pembahasan dan Analisis

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, diketahui bahwa kombinasi parameter yang memberi pengaruh terhadap rata-rata dan variansi kekasaran permukaan adalah sama yaitu putaran spindel 1600 rpm, *feed rate* 120 mm/menit dan pendingin jenis dromus.

#### 4.3.1 Hasil Perhitungan Rata-Rata

Berdasarkan perhitungan, rata-rata ANOVA untuk kekasaran permukaan benda kerja dilihat pada Tabel 4.9 yang diolah melalui aplikasi statistik.

Tabel 4. 9 Hasil ANOVA rata-rata

Sumber	Db	Kontribusi	SS	MS	F-Value	P-Value
Putaran Spindel	2	18,52%	0,16913	0,084564	10,92	0,084
<i>Feed Rate</i>	2	64,87%	0,59242	0,296209	38,26	0,025
Pendingin	2	14,92%	0,13622	0,068108	8,80	0,102
Error	2	1,70%	0,01548	0,007741		
Total	8	100,00%	0,91325			

Berdasarkan Tabel 4.9 diatas, diketahui bahwa nilai  $F_{hitung}$  *feed rate* memiliki nilai paling besar yakni 38,26. Maka nilai  $F_{hitung}$  dibandingkan dengan nilai  $F_{tabel}$  dimana :

Jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , artinya tidak ada pengaruh terhadap kekasaran permukaan

Jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , artinya ada pengaruh terhadap kekasaran permukaan

Mencari nilai  $F_{tabel}$  menggunakan rumus:

$$Df1 = K - 1 \text{ (Pembilang Numerator)}$$

$$Df2 = N - K \text{ (Penyebut Denominator)}$$

Ket :

$$K = \text{Jumlah variabel bebas}$$

$$N = \text{Jumlah percobaan}$$

Maka didapatkanlah nilai  $F_{tabel(0,05;2;6)}$  yakni 5,14, sehingga didapatkan nilai  $F_{hitung}$  (38,26)  $>$   $F_{tabel}$  (5,14). Hal ini menunjukkan bahwa *feed rate* memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan. Variabel-variabel yang memberikan kontribusi terhadap total variansi dari kekasaran adalah variabel B (*feed rate*) sebesar 64,87 % sebagai kontribusi terbesar, diikuti oleh variabel A (kecepatan spindel) sebesar 18,52%, dan variabel C (pendingin) sebesar 14,92%.

#### 4.3.2 Hasil Perhitungan Rasio S/N

Berdasarkan perhitungan, rata-rata rasio S/N analisis variansi untuk kekasaran permukaan benda kerja ditampilkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil ANOVA rata-rata rasio S/N

Sumber	Db	Kontribusi	SS	MS	F-Value	P-Value
Putaran Spindel	2	18,63%	6,4185	3,2092	10,42	0,088
Feed rate	2	68,17%	23,4855	11,7427	38,14	0,026
Pendingin	2	11,42%	3,9329	1,9665	6,39	0,135
Error	2	1,79%	0,6157	0,3078		
Total	8	100,00%	34,4522			

Berdasarkan Tabel 4.10, didapatkan bahwa nilai  $F_{hitung}$  *feed rate* memiliki nilai paling besar yakni 38,14. Maka nilai  $F_{hitung}$  dibandingkan dengan nilai  $F_{tabel}$  dimana :

Jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , maka tidak ada pengaruh terhadap kekasaran permukaan

Jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , maka ada pengaruh terhadap kekasaran permukaan

Mencari nilai  $F_{tabel}$  menggunakan rumus:

$$Df1 = K - 1 \text{ (Pembilang Numerator)}$$

$$Df2 = N - K \text{ (Penyebut Denominator)}$$

Ket :

$$K = \text{Jumlah variabel bebas}$$

$$N = \text{Jumlah percobaan}$$

Maka didapatkanlah nilai  $F_{tabel(0,05;2;6)}$  yakni 5,14, sehingga didapatkan nilai  $F_{hitung} (38,14) > F_{tabel} (5,14)$ . Hal ini menunjukkan bahwa *feed rate* memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan. Variabel-variabel yang memberikan kontribusi terhadap total variansi dari kekasaran adalah variabel B (*feed rate*) sebesar 68,17% sebagai kontribusi terbesar, diikuti oleh variabel A (kecepatan spindel) sebesar 18,63%, dan variabel C (pendingin) sebesar 11,42%.

### 4.3.3 Analisis

Nilai  $F_{hitung}$  yang lebih besar daripada  $F_{tabel}$  menandakan bahwa variabel proses berpengaruh secara signifikan terhadap respon. Begitu pula sebaliknya apabila  $F_{hitung}$  lebih kecil daripada  $F_{tabel}$  maka tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Uji hipotesis yang digunakan untuk  $H_0$  dan  $H_1$  menggunakan distribusi F sebagai berikut :

1. Variabel A (putaran spindel)

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = 0 \text{ (Perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan)}$$

$$H_1 = \text{paling sedikit ada satu } \tau \neq 0 \text{ (Ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaan)}$$

Kesimpulan :  $F_{hitung} = 10,92 > F_{(0,05;2;6)} = 5,14$ , maka  $H_0$  ditolak, itu berarti variabel putaran spindel berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

2. Variabel B (*feed rate*)

$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = 0$  (Perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan )

$H_1 =$  paling sedikit ada satu  $\beta \neq 0$  (Ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaan)

Kesimpulan :  $F_{hitung} = 38,26 > F_{(0,05;2;6)} = 5,14$ , maka  $H_0$  ditolak, itu berarti variabel *feed rate* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

3. Variabel C (pendingin)

$H_0 = \gamma_1 = \gamma_2 = 0$  (Perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan )

$H_1 =$  paling sedikit ada satu  $\gamma \neq 0$  (Ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaan)

Kesimpulan :  $F_{hitung} = 8,80 > F_{(0,05;2;6)} = 5,14$ , maka  $H_0$  ditolak, itu berarti variabel pendingin berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

Kondisi  $H_0$  setiap variabel proses dilihat pada Tabel 4.11 di bawah ini :

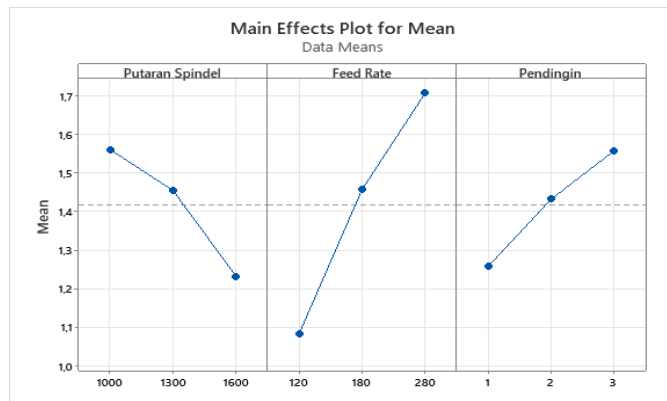
Tabel 4. 11 Kondisi Hipotesis Nol

Sumber variabel	Kondisi $H_0$
A	Ditolak
B	Ditolak
C	Ditolak

Tabel 4.11 menunjukkan kondisi  $H_0$  secara serentak. Variabel kecepatan spindle, *feed rate*, dan pendingin memberi pengaruh terhadap kekasaran permukaan. Variabel-variabel yang memberikan kontribusi terhadap total variansi dari kekasaran adalah variabel B (*feed rate*) sebesar 64,87% dan 68,17 % sebagai kontribusi terbesar, diikuti oleh variabel A (kecepatan spindle) sebesar 18,52 dan 18,63%, variabel C (pendingin) sebesar 14,92 dan 11,42%.

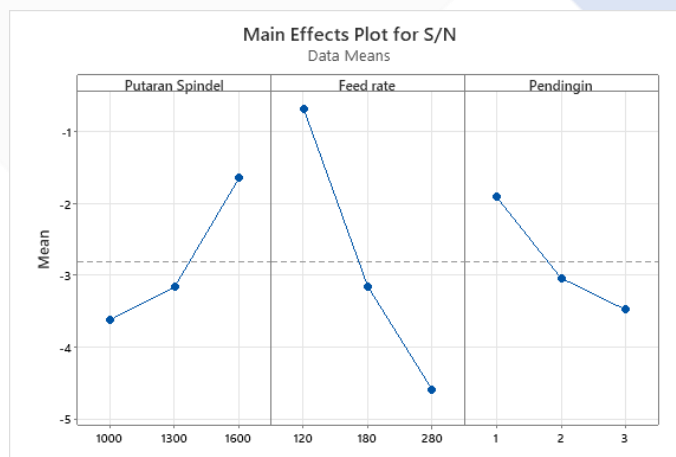
#### 4.3.4 Analisis Grafik

Agar dapat memahami lebih jelas perbandingan pengaruh dari setiap variabel terhadap tingkat kekasaran permukaan ditunjukkan pada plot dibawah ini:



Gambar 4. 1 Plot rata-rata kekasaran permukaan

Berdasarkan gambar plot 4.1, menunjukkan bahwa variabel proses yang berpengaruh pada nilai rata-rata kekasaran permukaan ditunjukkan dengan nilai mean terkecil berturut-turut yaitu *feed rate* level 1 (120 mm/menit), putaran spindel level 3 (1000 rpm) dan pendingin level 1 (dromus).



Gambar 4. 2 Plot rasio S/N untuk kekasaran permukaan

Berdasarkan gambar plot 4.2, menunjukkan bahwa variabel proses yang berpengaruh pada nilai rasio S/N untuk kekasaran permukaan menunjukkan hasil yang sama dengan plot rata-rata kekasaran permukaan yaitu *feed rate* level 1 (120 mm/menit), putaran spindel level 3 (1000 rpm) dan pendingin level 1 (dromus).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan percobaan dan hasil analisis yang sudah dilakukan, maka dari penelitian yang berjudul “Analisis Kekasaran Permukaan Proses Bor Baja SKD 11 Pada Mesin CNC” didapatkan hasil bahwa kombinasi variabel yang menghasilkan nilai respon optimal adalah putaran spindle 1600 rpm, *feed rate* 120 mm/menit, dan jenis pendingin dromus dengan nilai kekasaran adalah 0,916  $\mu\text{m}$ . Serta variabel yang memberikan pengaruh terhadap rata-rata dari kekasaran permukaan berturut-turut adalah *feed rate* (variabel B) dengan nilai kontribusi paling besar yaitu 64,87% dan 68,17%, diikuti dengan putaran spindle (variabel A) 18,52% dan 18,63% dan nilai kontribusi terendah adalah pendingin (variabel C) dengan nilai 14,92% dan 11,42%.

#### **5.2 Saran**

Berikut saran yang dapat diberikan setelah melaksanakan penelitian ini yaitu:

1. Melakukan pengujian serupa dengan menggunakan variasi parameter yang berbeda.
2. Melakukan pengujian serupa dengan menggunakan metode yang berbeda seperti metode *taguchi*.
3. Melakukan pengujian dengan penggunaan material yang berbeda namun dengan proses pemesinan yang sama.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. S. Rahman, I. f. Rahmad and A. Saleh, "Perancangan Mesin CNC (Computer Numericaly Control) Mini Plotter Berbasis Arduino," *IT Journal*, pp. 152-161, 2017.
- [2] M. F. Ilhamsyah, "Pengaruh Variasi Debit dan Jenis Cairan Pendingin Terhadap Kekasaran Permukaan A1 6061 Pada Proses Drilling," *Skripsi*, pp. 1-71, 2015.
- [3] N. Dwijayanti, "Optimasi Multirespon Gaya Tekan, Torsi, Keausan Tepi Pahat dan Kekasaran Permukaan Pada Proses Gurdi Untuk Material EMS-45 Dengan Menggunakan Metode Taguchi-GRA," *Tugas Akhir*, pp. 1-151, 2017.
- [4] P. W. Ndaruhadi and B. Santosa, "Akurasi Lubang Bor Hasil Proses Pengeboran Pada Material SKD-11," *Prosiding SNIJA*, pp. 191-195, 2015.
- [5] Widarto, *Teknik Permesinan Jilid 2*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [6] H. Abbas, Y. Bontong and Y. Aminya, "Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Operasi Pemotongan Milling Terhadap Getaran dan Tingkat Kekasaran Permukaan (Surface Roughness)," *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII)*, pp. 971-976, 2013.
- [7] A. Suseno, "Analisis Variasi Metode Pendingin Milling CNC Tipe VMC-L-540 Pada Kekasaran Permukaan S45C Dengan Metode Taguchi," *Skripsi*, pp. 1-69, 2016.
- [8] I. Saputra, N. P. Ariyanto and M. Febri, "Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Pembentukan Struktur Mikro dan Kekerasan Baja SKD 11 Untuk Tool Steel," *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan*, pp. 10-13, 2020.
- [9] A. Ansyori and R. Saputra, "Pengaruh Diameter Mata Bor Terhadap Tingkat Kehalusan Permaukaan Lubang Bor Pada Proses Permesinan Bor Magnesium AZ31," *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung*, pp. 7-18, 2019.
- [10] G. A. Ibrahim, H. Subagio, A. Hamni and S. M. P. Lestari, "Analisa Kekasaran Permukaan dan Kebulatan Pada Permesinan Drill Paduan Magnesium Menggunakan Metode Taguchi," *Jurnal Teknik Mesin*, pp. 1-8, 2019.
- [11] Syahbuddin and T. B. Santoso, "Optimasi Parameter Pemotongan Proses Drilling Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Laju Pelepasan Material Menggunakan Metode Taguchi," *Prosiding KITT (Konferensi Ilmiah Teknologi Texmaco)*, pp. 117-124, 2018.



- [12] M. A. N. Rasyid, "Perbaikan Mesin Drill Bangku Menjadi Gang Drill Dan Penambahan Rangkaian Kelistrikan Dengan Menggunakan Magnetic Contractor di Laboratorium Teknologi Mekanik IST AKPRIND Yogyakarta," *Skripsi*, pp. 1-79, 2020.
- [13] M. F. Burli, "Optimasi Kekasaran Permukaan Proses Drilling Baja SKD 11 Pada CNC Milling Menggunakan Metode Taguchi," *Skripsi*, pp. 1-99, 2021.
- [14] Hadimi, "Pengaruh Perubahan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Pembubutan," *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, pp. 18-28, 2008.
- [15] T. Rochim, Spesifikasi, Metodologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik, Bandung: ITB PRESS, 2001.
- [16] J. Supriyandi, "Optimasi Kekasaran Proses CNC Turning Baja SKD-11 Dengan Menggunakan Metode Taguchi," *Skripsi*, pp. 1-87, 2021.
- [17] M. G. R. Prasetya and S. Mulyono, "Analisa Pengaruh Variasi Jenis Cairan Pendingin terhadap Kekasaran Permukaan SKD 11 serta Prosedur Perawatannya pada Mesin Milling Konvensional," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, pp. 696-700, 2019.
- [18] M. Nopiansyah, "Analisis Pengaruh Kecepatan Spindle dan Kedalaman Pemakanan Terhadap tingkat kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Pemesinan Bubut CNC Pada Baja ST41," *Skripsi*, pp. 20-63, 2021.
- [19] Prof.Dr.Sugiyono, Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D, Bandung: ALFABETA, 2010.
- [20] T. Rochim, Teknik Pemesinan, Bandung: ITB, 1993.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

#### Daftar Riwayat Hidup

##### Data Pribadi

Nama : Pajar Juliansah  
NPM : 1041726  
Tempat Tanggal Lahir : Mentok, 12 Juli 1999  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Prodi/Jurusan/kelas : D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur/ TMM A  
Alamat : Gang Bakti 1 Dusun VII, RT005/RW000, Kel.Belo Laut, Kec. Muntok, Kab.Bangka Barat, Prov. Kepulauan Bangka Belitung  
Email : pjelrosa22@gmail.com

##### Riwayat Pendidikan













SD : SDN 03 Muntok Tahun 2005-2011  
SMP : SMPN 3 Muntok Tahun 2011-2014  
SMK : SMKN 1 Muntok Tahun 2014-2017

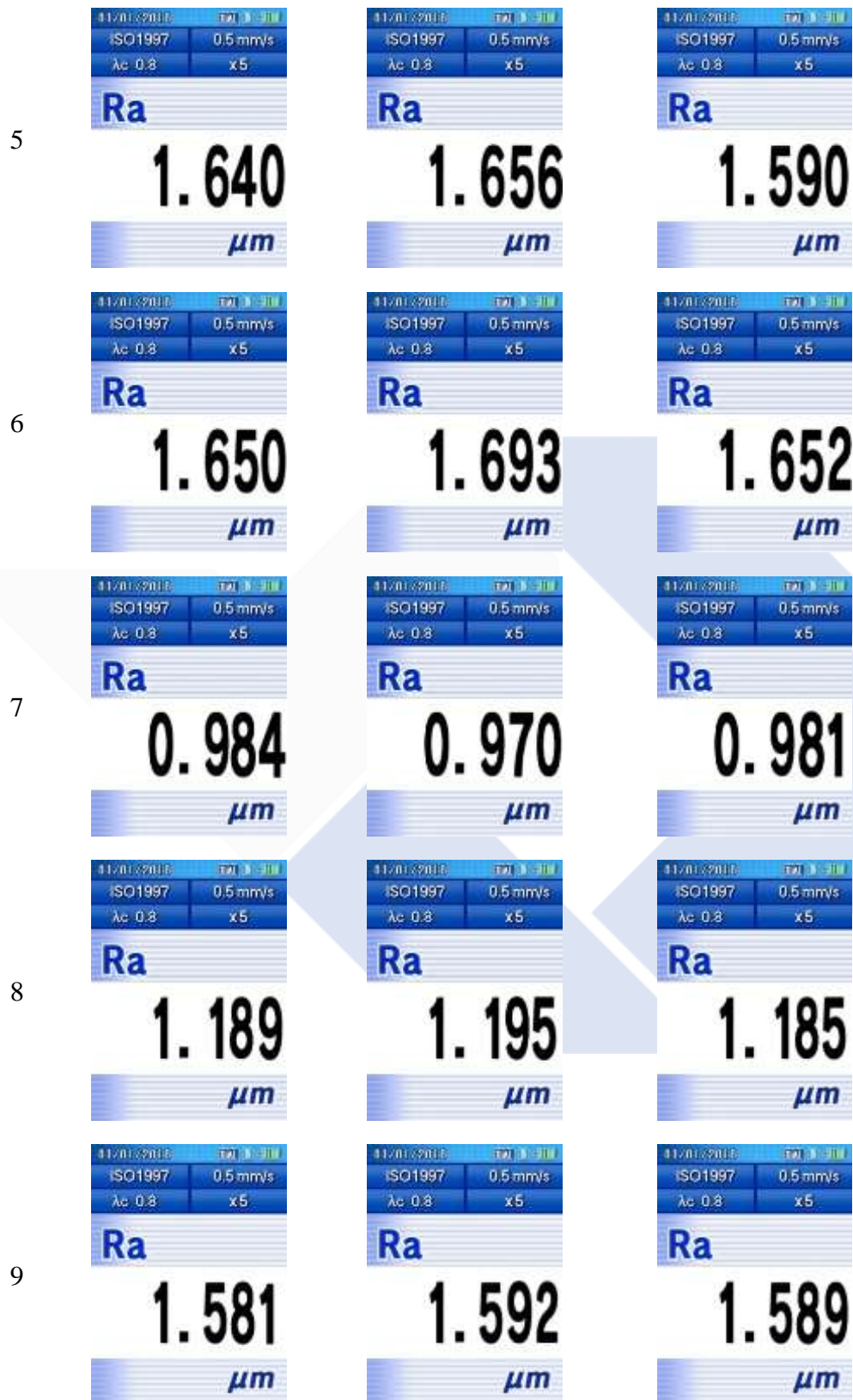
Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran Benda kerja

No	Putaran Spindle	Feed rate	Pendingin	Nilai Kekasaran			Mean
				T1	T2	T3	
1	1000	120	1	1,140	1,109	1,110	1,120
2	1000	180	2	1,560	1,572	1,568	1,567
3	1000	280	3	1,994	2,102	1,937	2,011
4	1300	120	2	1,103	1,200	1,156	1,153
5	1300	180	3	1,642	1,656	1,590	1,629
6	1300	280	1	1,650	1,693	1,652	1,665
7	1600	120	3	0,984	0,970	0,981	0,978
8	1600	180	1	1,189	1,195	1,185	1,190
9	1600	280	2	1,581	1,592	1,589	1,587
10	1000	120	1	1,136	1,129	1,135	1,133
11	1000	180	2	1,578	1,642	1,570	1,597
12	1000	280	3	2,011	1,986	2,021	2,006
13	1300	120	2	1,112	1,114	1,105	1,110
14	1300	180	3	1,702	1,690	1,700	1,697
15	1300	280	1	1,396	1,470	1,365	1,410
16	1600	120	3	0,961	0,945	0,956	0,954
17	1600	180	1	1,125	1,143	1,128	1,132
18	1600	280	2	1,595	1,510	1,580	1,562
19	1000	120	1	1,092	1,073	1,069	1,078
20	1000	180	2	1,505	1,567	1,496	1,523
21	1000	280	3	1,998	2,004	2,057	2,020
22	1300	120	2	1,171	1,192	1,253	1,205
23	1300	180	3	1,720	1,710	1,695	1,708
24	1300	280	1	1,525	1,534	1,497	1,519
25	1600	120	3	1,062	0,991	1,008	1,020
26	1600	180	1	1,107	1,130	0,998	1,078
27	1600	280	2	1,598	1,563	1,615	1,592
							1,416













Sumber : Hasil Pengukuran

# REPLIKASI 1

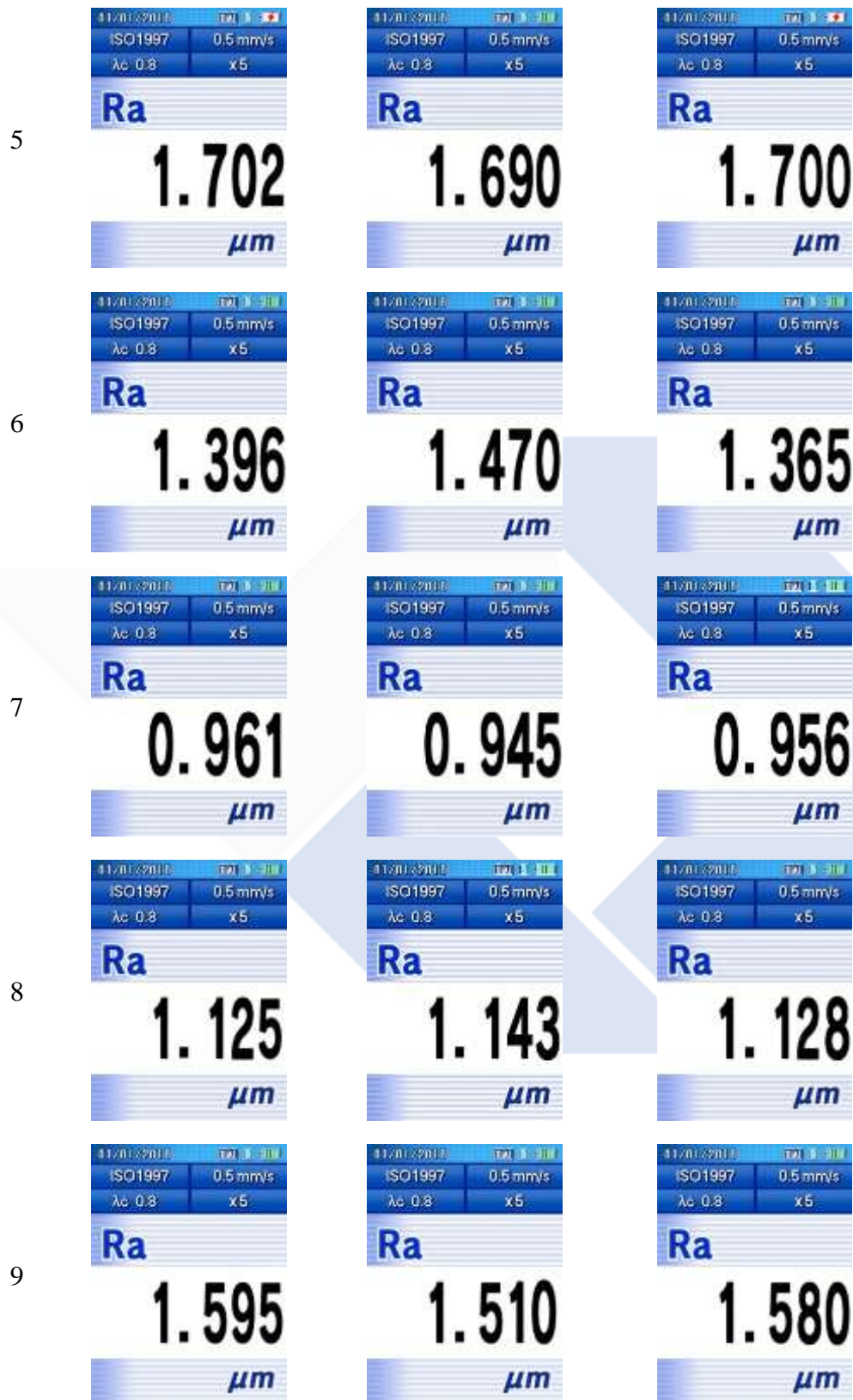
Eks.	T1	T2	T3
1	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.140</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.109</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.110</b> μm</p>
2	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.560</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.572</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.568</b> μm</p>
3	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.994</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>2.102</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.937</b> μm</p>
4	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.103</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.200</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.156</b> μm</p>















## REPLIKASI 2

Eks.	T1	T2	T3
1	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.136</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.129</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.135</b> μm</p>
2	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.578</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.642</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.570</b> μm</p>
3	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>2.011</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.986</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>2.021</b> μm</p>
4	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.112</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.114</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.105</b> μm</p>

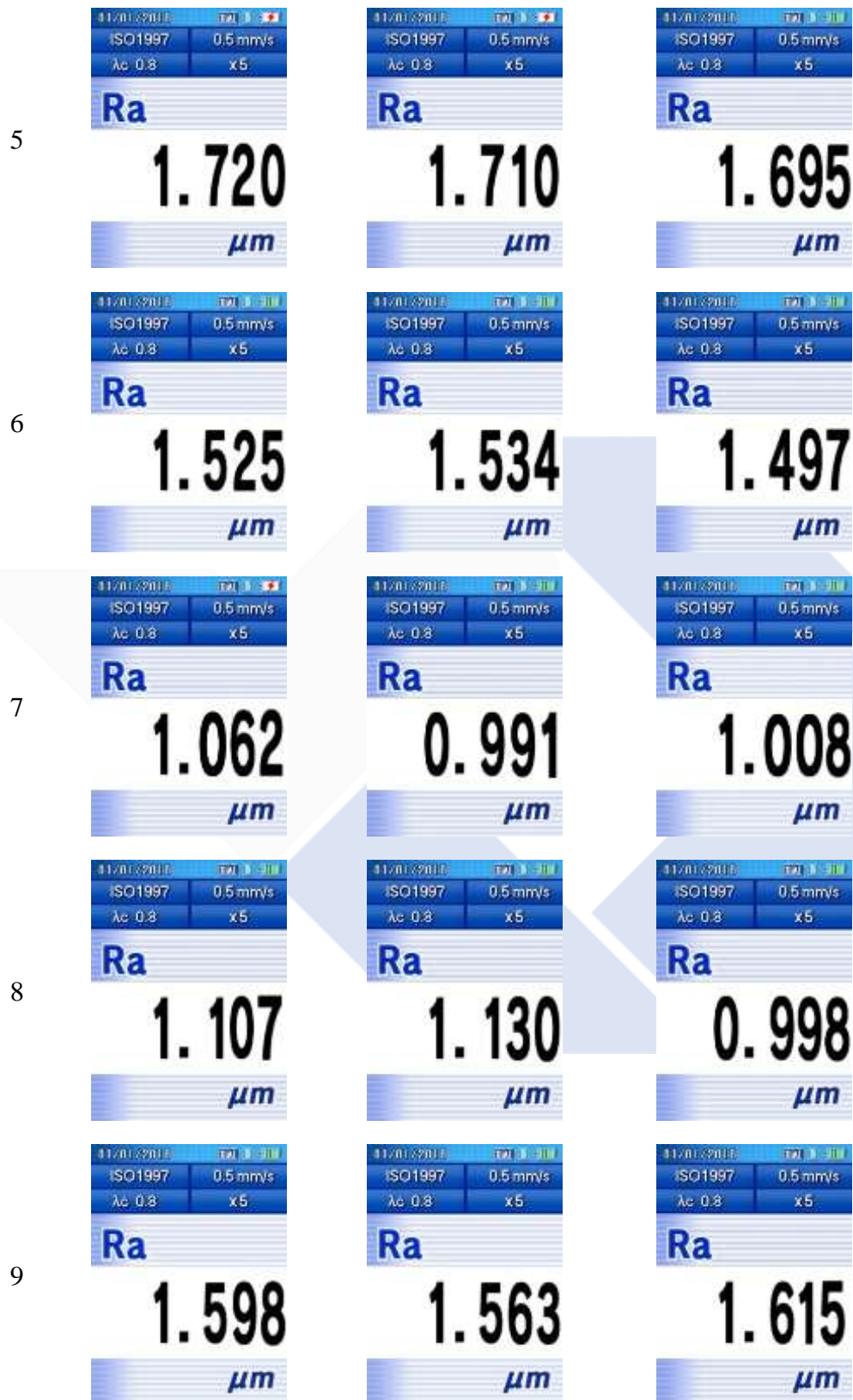




### REPLIKASI 3

Eks.	T1	T2	T3
1	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.092</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.073</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.069</b> μm</p>
2	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.505</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.567</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.496</b> μm</p>
3	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.998</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>2.004</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>2.057</b> μm</p>
4	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.171</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.192</b> μm</p>	 <p>ISO1997 0.5 mm/s λc 0.8 x5 <b>Ra</b> <b>1.253</b> μm</p>





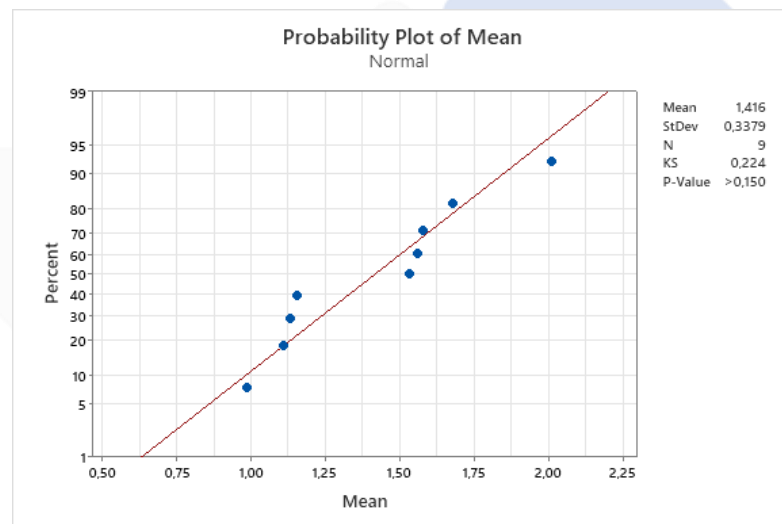
### Lampiran 3 Tes normalitas data

#### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Replikasi 1	,210	9	,200 <sup>*</sup>	,923	9	,421
Replikasi 2	,226	9	,200 <sup>*</sup>	,938	9	,566
Replikasi 3	,176	9	,200 <sup>*</sup>	,917	9	,370

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction



Lampiran 4 Data Analisa

Tabel ANAVA rata-rata kekasarn permukaan

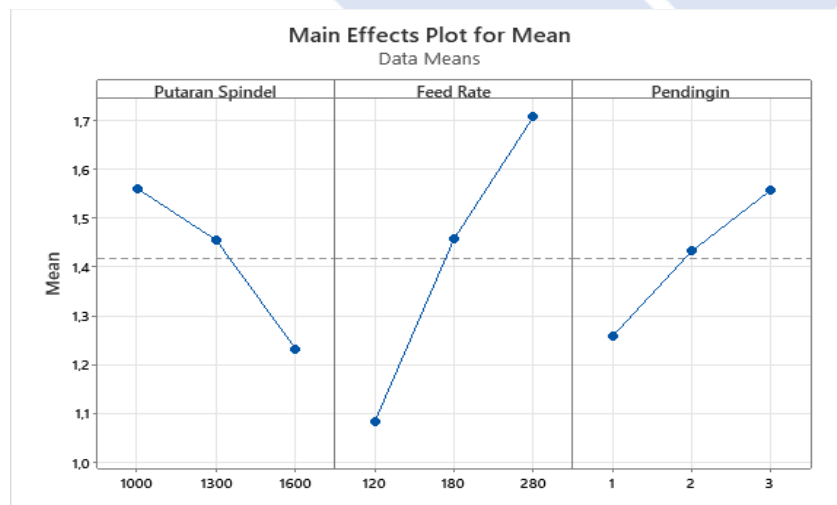
Faktor	V	SS	MS	F-rasio
A	2	0,1691	0,0846	10,95
B	2	0,5924	0,2962	38,35
C	2	0,1362	0,0681	8,82
Error	2	0,015446	0,0077	
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>0,9132</b>		

Sumber : Hasil Perhitungan

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
RPM	2	0,16913	18,52%	0,16913	0,084564	10,92	0,084
Feed Rate	2	0,59242	64,87%	0,59242	0,296209	38,26	0,025
Pendingin	2	0,13622	14,92%	0,13622	0,068108	8,80	0,102
Error	2	0,01548	1,70%	0,01548	0,007741		
Total	8	0,91325	100,00%				

Hasil ANAVA rata-rata kekasaran menggunakan aplikasi statistik



Plot rata-rata kekasaran permukaan

Tabel ANAVA rasio S/N kekasaran permukaan

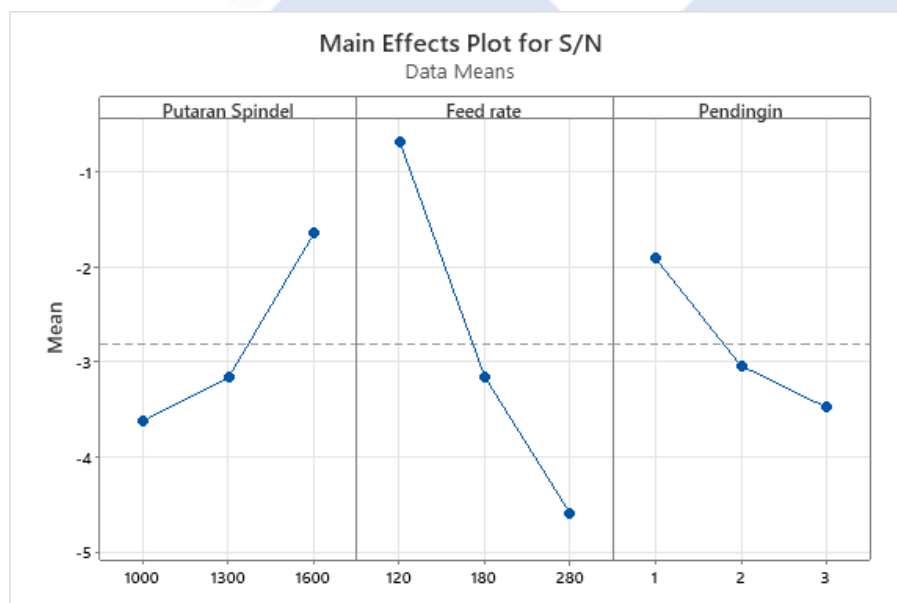
Faktor	V	SS	MS	F-rasio
A	2	6,419	3,209	10,386
B	2	23,486	11,743	38,003
C	2	3,933	1,966	6,364
Error	2	0,618	0,309	
Total	8	34,456		

Sumber : Hasil perhitungan

### Analysis of Variance

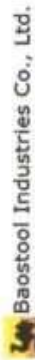
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Putaran Spindel	2	6,4185	18,63%	6,4185	3,2092	10,42	0,088
Feed rate	2	23,4855	68,17%	23,4855	11,7427	38,14	0,026
Pendingin	2	3,9329	11,42%	3,9329	1,9665	6,39	0,135
Error	2	0,6157	1,79%	0,6157	0,3078		
Total	8	34,4526	100,00%				

Hasil ANAVA rasio S/N rata-rata kekasaran menggunakan aplikasi statistik



Plot rata-rata S/N kekasaran permukaan

Lampiran 5 Sertifikat



Baostool Industries Co., Ltd.

上海精炼进出口有限公司  
CERTIFICATE OF QUALITY FOR STEEL PRODUCT  
钢材质量证明书

INVOICE NO./CONTRACT NO.: SSTD190029-2

NO	ITEM	HS CODE	SIZE (DIA. * THK)	STEEL GRADE (牌号)	SIZE NO (炉号)	QTY (支数)	WEIGHT (KG) (重量)	DELIVERY STATUS (交货状态)	CHEMICAL COMPOSITION (化学成分%)						REMARKS (备注)				
									C	SI	Mn	P	S	Cr		V	Mo		
2		722830	25	SKD11	4-11B	1B	252	BLACK	1.521	0.32	0.489	0.022	0.011	11.15	0.215	0.831			
									MECHANICAL PROPERTIES (机械性能)										
			YIELD (屈服强度)		TENSILE (抗拉强度)		ELONGATION (延伸率)		CONTRACTOR (代理商)		IMPACT (冲击功)		BENDING (弯曲)		OTHER (其他)				
			108/210/215																
									MICROSCOPIC STRUCTURE (显微组织)										
			BASED STRUCTURE (基体组织)		COMBINE LIQUID SEGREGATION (偏析物析出)		MICRO POROSITY (显微气孔率)		NON METALLIC INCLUSION (非金属夹杂物)		ULTRASONIC TESTING (超声波探伤)								
			1		2		3		4		5		6		7				
													SPECIMEN (试样号)		TEST DATE (测试日期)				
													BAOSTOOL INDUSTRIES CO., LTD.		上海精炼进出口有限公司				

注: 有异议时, 请标明钢号、炉号、规格、发货日期、原因, 并将提供状态的实物, 出示质量证明书原件。  
NOTE: WHEN THERE'S ANY COMPLAINT, YOU ARE KINDLY REQUESTED TO MARK THE STEEL GRADE, HEAT NO, SPACE SPECIFICATION DELIVERY DATE REASON AND RESERVE THE MATERIAL IN DELIVERY CONDITION.

# BW CUT EP-523

Neat cutting, grinding fluid

**Description** EP-523 is high performance mineral oil-based, included oily improver and E/P additives, neat cutting fluids for general cutting processing.

**Performance**

1. It has an excellent lubricity - reduction of friction/wear, built-up edge, sticking
2. Improvement of roughness, extension of tool life
3. It has a good lubricity, odor, anti-oxidative ability

**Characteristics**

Items	Specification		Results	Test method
	Min	Max		
Appearance, conc	-	-	Light yellow transparent	-
Specific gravity, 15/4 °C	0.86	0.90	0.88	ASTM D1122
Viscosity, 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	21.7	25.3	23.0	ASTM D445
Flash point, COC, °C	176	216	196	ASTM D92
Copper corrosion, 100 °C, 1hr	-	-	Max 2	ASTM D130

\* Above test results are new fluid's typical properties, can be changed by quality improvement.

**Application**

Ferrous metals : Drilling, Milling, Tapping, Grinding etc.  
 Non-ferrous metals: Turning, Milling, Drilling, etc.  
 Using the concentrate as it is.

**Term of validity** 12 months from the date of manufacture at sealed state, 0 to 40 °C.

**Quality Certificate** KS 2 species No.4 by KS M 2173

**Composition**

Material	Conent(%)	Remarks
Mineral oil	85	
Fatty oil	5	
Others	10	

Approved By



**Yang Daeseok**  
 Technical Manager  
 2011년 9월 20일 화요일

The information contained and the recommendations made in this data sheet are based upon data collected and believed by us to be correct. However, no guarantee or warranty of any kind, expressed or implied, is made herein with respect to the merchandise described and we assume no responsibility for the results or the use there of.



**DH404, DH423, DH443,  
DH424, DH444** SERIES

without COOLANT HOLES

Vc = m/min  
RPM = rev./min.  
FEED = mm/min.

ISO	VDI 3323	Material Description	Vc	Parameter	Drill Diameter (mm)		Vc	Parameter	Drill Diameter (mm)			
					1.0	2.0			3.0	4.0	5.0	6.0
P	2	Non-alloy steel	70	RPM	22280	11140	100	RPM	10610	7960	6370	5310
				FEED	003-0.05	005-0.07		FEED	0.06-0.12	008-0.14	0.14-0.20	0.16-0.22
				RPM	22280	11140		RPM	10610	7960	6370	5310
	3	Non-alloy steel	70	RPM	22280	11140	100	RPM	10610	7960	6370	5310
				FEED	003-0.05	005-0.07		FEED	0.06-0.12	008-0.14	0.14-0.20	0.16-0.22
				RPM	22280	11140		RPM	10610	7960	6370	5310
	4	Non-alloy steel	70	RPM	22280	11140	100	RPM	10610	7960	6370	5310
				FEED	003-0.05	005-0.07		FEED	0.04-0.10	007-0.13	0.10-0.16	0.12-0.18
				RPM	19100	9550		RPM	8490	6370	5090	4240
	5	Non-alloy steel	60	RPM	19100	9550	80	RPM	8490	6370	5090	4240
				FEED	003-0.05	005-0.07		FEED	0.04-0.10	007-0.13	0.10-0.16	0.12-0.18
RPM				22280	11140	RPM		10610	7960	6370	5310	
6	low alloy steel	70	RPM	22280	11140	100	RPM	10610	7960	6370	5310	
			FEED	003-0.05	005-0.07		FEED	0.06-0.12	008-0.14	0.14-0.20	0.16-0.22	
			RPM	19100	9550		RPM	8490	6370	5090	4240	
7	low alloy steel	60	RPM	19100	9550	80	RPM	8490	6370	5090	4240	
			FEED	003-0.05	005-0.07		FEED	0.06-0.12	008-0.14	0.10-0.20	0.12-0.24	
			RPM	19100	9550		RPM	8490	6370	5090	4240	
8	low alloy steel	60	RPM	19100	9550	80	RPM	8490	6370	5090	4240	
			FEED	002-0.04	003-0.05		FEED	0.04-0.10	007-0.13	0.10-0.16	0.12-0.18	
			RPM	9550	4770		RPM	4240	3180	2550	2120	
9	low alloy steel	30	RPM	9550	4770	40	RPM	4240	3180	2550	2120	
			FEED	002-0.04	003-0.05		FEED	0.03-0.08	005-0.11	0.08-0.14	0.10-0.16	
			RPM	15920	7960		RPM	7430	5570	4460	3710	
10	High alloyed steel, and tool steel	50	RPM	15920	7960	70	RPM	7430	5570	4460	3710	
			FEED	003-0.05	005-0.07		FEED	0.04-0.10	007-0.13	0.10-0.16	0.12-0.18	
			RPM	9550	4770		RPM	4240	3180	2550	2120	
11	High alloyed steel, and tool steel	30	RPM	9550	4770	40	RPM	4240	3180	2550	2120	
			FEED	002-0.04	003-0.05		FEED	0.03-0.08	005-0.11	0.08-0.14	0.10-0.16	
			RPM	15920	7960		RPM	7430	5570	4460	3710	
M	12	Stainless steel	50	RPM	15920	7960	70	RPM	7430	5570	4460	3710
				FEED	003-0.05	005-0.07		FEED	0.06-0.12	008-0.14	0.14-0.20	0.16-0.22
				RPM	11140	5570		RPM	4770	3580	2860	2390
13	Stainless steel	35	RPM	11140	5570	45	RPM	4770	3580	2860	2390	
			FEED	002-0.04	003-0.05		FEED	0.04-0.10	007-0.13	0.10-0.16	0.12-0.18	
			RPM	22280	11140		RPM	10610	7960	6370	5310	
K	15	Grey cast iron	70	RPM	22280	11140	100	RPM	10610	7960	6370	5310
				FEED	004-0.06	004-0.06		FEED	0.08-0.14	0.12-0.18	0.18-0.24	0.14-0.26
				RPM	20690	10350		RPM	8490	6370	5090	4240
16	Grey cast iron	65	RPM	20690	10350	80	RPM	8490	6370	5090	4240	
			FEED	004-0.06	004-0.06		FEED	0.06-0.12	008-0.14	0.14-0.20	0.16-0.22	
			RPM	22280	11140		RPM	10610	7960	6370	5310	
17	Nodular cast iron	70	RPM	22280	11140	100	RPM	10610	7960	6370	5310	
			FEED	004-0.06	004-0.06		FEED	0.08-0.14	0.12-0.18	0.18-0.24	0.14-0.26	
			RPM	15920	7960		RPM	7430	5570	4460	3710	
18	Nodular cast iron	50	RPM	15920	7960	70	RPM	7430	5570	4460	3710	
			FEED	004-0.06	004-0.06		FEED	0.06-0.12	008-0.14	0.14-0.20	0.16-0.22	
			RPM	19100	9550		RPM	8490	6370	5090	4240	
19	Malleable cast iron	60	RPM	19100	9550	80	RPM	8490	6370	5090	4240	
			FEED	004-0.06	004-0.06		FEED	0.08-0.14	0.12-0.18	0.18-0.24	0.14-0.26	
			RPM	15920	7960		RPM	7430	5570	4460	3710	
20	Malleable cast iron	50	RPM	15920	7960	70	RPM	7430	5570	4460	3710	
			FEED	003-0.05	005-0.07		FEED	0.06-0.12	008-0.14	0.14-0.20	0.16-0.22	

ISO	VDI 3323	Material Description	Vc	Parameter	Drill Diameter (mm)						
					8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
P	2	Non-alloy steel	100	RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590
				FEED	0.18-0.24	0.22-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	0.24-0.34	0.28-0.38	0.30-0.40
				RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590
	3	Non-alloy steel	100	RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590
				FEED	0.18-0.24	0.22-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	0.24-0.34	0.28-0.38	0.30-0.40
				RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590
	4	Non-alloy steel	100	RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590
				FEED	0.14-0.2	0.18-0.24	0.14-0.24	0.16-0.26	0.18-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32
				RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270
	5	Non-alloy steel	80	RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270
				FEED	0.14-0.2	0.18-0.24	0.14-0.24	0.16-0.26	0.18-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32
RPM				3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590	
6	low alloy steel	100	RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590	
			FEED	0.18-0.24	0.22-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	0.24-0.34	0.28-0.38	0.30-0.40	
			RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270	
7	low alloy steel	80	RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270	
			FEED	0.16-0.28	0.20-0.30	0.21-0.30	0.22-0.35	0.25-0.36	0.28-0.38	0.30-0.40	
			RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270	
8	low alloy steel	80	RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270	
			FEED	0.14-0.2	0.18-0.24	0.14-0.24	0.16-0.26	0.18-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	
			RPM	1590	1270	1060	910	800	710	640	
9	low alloy steel	40	RPM	1590	1270	1060	910	800	710	640	
			FEED	0.12-0.18	0.14-0.20	0.12-0.22	0.13-0.23	0.14-0.24	0.16-0.26	0.18-0.28	
			RPM	2790	2230	1860	1590	1390	1240	1110	
10	High alloyed steel, and tool steel	70	RPM	2790	2230	1860	1590	1390	1240	1110	
			FEED	0.14-0.20	0.18-0.24	0.14-0.24	0.16-0.26	0.18-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	
			RPM	1590	1270	1060	910	800	710	640	
11	High alloyed steel, and tool steel	40	RPM	1590	1270	1060	910	800	710	640	
			FEED	0.12-0.18	0.14-0.20	0.12-0.22	0.13-0.23	0.14-0.24	0.16-0.26	0.18-0.28	
			RPM	2790	2230	1860	1590	1390	1240	1110	
M	12	Stainless steel	70	RPM	2790	2230	1860	1590	1390	1240	1110
				FEED	0.18-0.24	0.22-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	0.24-0.34	0.28-0.38	0.30-0.40
				RPM	1790	1430	1190	1020	900	800	720
13	Stainless steel	45	RPM	1790	1430	1190	1020	900	800	720	
			FEED	0.14-0.20	0.18-0.24	0.14-0.24	0.16-0.26	0.18-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	
			RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590	
K	15	Grey cast iron	100	RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590
				FEED	0.16-0.28	0.24-0.34	0.26-0.36	0.28-0.38	0.30-0.40	0.32-0.42	0.34-0.44
				RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270
16	Grey cast iron	80	RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270	
			FEED	0.18-0.24	0.22-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	0.24-0.34	0.28-0.38	0.30-0.40	
			RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590	
17	Nodular cast iron	100	RPM	3980	3180	2650	2270	1990	1770	1590	
			FEED	0.16-0.28	0.24-0.34	0.26-0.36	0.28-0.38	0.30-0.40	0.32-0.42	0.34-0.44	
			RPM	2790	2230	1860	1590	1390	1240	1110	
18	Nodular cast iron	70	RPM	2790	2230	1860	1590	1390	1240	1110	
			FEED	0.18-0.24	0.22-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	0.24-0.34	0.28-0.38	0.30-0.40	
			RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270	
19	Malleable cast iron	80	RPM	3180	2550	2120	1820	1590	1410	1270	
			FEED	0.16-0.28	0.24-0.34	0.26-0.36	0.28-0.38	0.30-0.40	0.32-0.42	0.34-0.44	
			RPM	2790	2230	1860	1590	1390	1240	1110	
20	Malleable cast iron	70	RPM	2790	2230	1860	1590	1390	1240	1110	
			FEED	0.18-0.24	0.22-0.28	0.20-0.30	0.22-0.32	0.24-0.34	0.28-0.38	0.30-0.40	

► Recommend to reduce the feed rate as following  
**Feed 100%** : DH404(3xD), DH423(3xD), DH424(5xD)

Phone: +82-32-526-0909, www.yg1.kr, E-mail: yg1@yg1.kr

YG YG-1 CO., LTD.

39

Lampiran 6 Perhitungan nilai parameter

$$\begin{aligned}v &= \frac{(\pi d n)}{1000} \\n_1 &= \frac{1000 \cdot cs}{\pi \cdot d} \\&= \frac{1000 \cdot 40}{\frac{22}{7} \cdot 12} \\&= 1060 \text{ rpm (1000 rpm)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{r1} &= n \times f \\&= 1000 \times 0,12 \\&= 120 \text{ mm/menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_2 &= \frac{1000 \cdot cs}{\pi \cdot d} \\&= \frac{1000 \cdot 50}{\frac{22}{7} \cdot 12} \\&= 1326 \text{ rpm (1300 rpm)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{r2} &= n \times f \\&= 1300 \times 0,14 \\&= 182 \text{ mm/menit} \\&\text{(180 mm/menit)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_3 &= \frac{1000 \cdot cs}{\pi \cdot d} \\&= \frac{1000 \cdot 60}{\frac{22}{7} \cdot 12} \\&= 1591 \text{ rpm (1600 rpm)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{r3} &= n \times f \\&= 1600 \times 0,18 \\&= 288 \text{ mm/menit} \\&\text{(280 mm/menit)}\end{aligned}$$



Lampiran 7 Tabel F

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk pem yebuat (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,40	19,41	19,42	19,42	19,43
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,76	8,74	8,73	8,71	8,70
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,94	5,92	5,89	5,87	5,86
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,70	4,68	4,66	4,64	4,62
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00	3,98	3,96	3,94
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,60	3,57	3,55	3,53	3,51
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,31	3,28	3,26	3,24	3,22
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,10	3,07	3,05	3,03	3,01
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,94	2,91	2,89	2,86	2,85
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,82	2,79	2,76	2,74	2,72
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,72	2,69	2,66	2,64	2,62
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,63	2,60	2,58	2,55	2,53
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,57	2,54	2,51	2,48	2,46
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,51	2,48	2,45	2,42	2,40
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,46	2,43	2,40	2,37	2,35
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,41	2,38	2,35	2,33	2,31
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,37	2,34	2,31	2,29	2,27
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,34	2,31	2,28	2,26	2,23
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,31	2,28	2,25	2,23	2,20
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,28	2,25	2,22	2,20	2,18
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,26	2,23	2,20	2,17	2,15
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,24	2,20	2,18	2,15	2,13
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,22	2,18	2,15	2,13	2,11
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,20	2,16	2,14	2,11	2,09
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,18	2,15	2,12	2,09	2,07
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,17	2,13	2,10	2,08	2,06
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,15	2,12	2,09	2,06	2,04
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,14	2,10	2,08	2,05	2,03
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,13	2,09	2,06	2,04	2,01
31	4,16	3,30	2,91	2,68	2,52	2,41	2,32	2,25	2,20	2,15	2,11	2,08	2,05	2,03	2,00
32	4,15	3,29	2,90	2,67	2,51	2,40	2,31	2,24	2,19	2,14	2,10	2,07	2,04	2,01	1,99
33	4,14	3,28	2,89	2,66	2,50	2,39	2,30	2,23	2,18	2,13	2,09	2,05	2,03	2,00	1,98
34	4,13	3,28	2,88	2,65	2,49	2,38	2,29	2,22	2,17	2,12	2,08	2,05	2,02	1,99	1,97
35	4,12	3,27	2,87	2,64	2,49	2,37	2,29	2,22	2,16	2,11	2,07	2,04	2,01	1,99	1,96
36	4,11	3,26	2,87	2,63	2,48	2,36	2,28	2,21	2,15	2,11	2,07	2,04	2,00	1,98	1,95
37	4,11	3,25	2,86	2,63	2,47	2,35	2,27	2,20	2,14	2,10	2,06	2,02	2,00	1,97	1,95
38	4,10	3,24	2,85	2,62	2,46	2,35	2,26	2,19	2,14	2,09	2,05	2,02	1,99	1,96	1,94
39	4,09	3,24	2,85	2,61	2,46	2,34	2,26	2,19	2,13	2,08	2,04	2,00	1,98	1,95	1,93
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,04	2,00	1,97	1,95	1,92
41	4,08	3,23	2,83	2,60	2,44	2,33	2,24	2,17	2,12	2,07	2,03	2,00	1,97	1,94	1,92
42	4,07	3,22	2,83	2,59	2,44	2,32	2,24	2,17	2,11	2,06	2,03	1,99	1,96	1,94	1,91
43	4,07	3,21	2,82	2,59	2,43	2,32	2,23	2,16	2,11	2,06	2,02	1,99	1,96	1,93	1,91
44	4,06	3,21	2,82	2,58	2,43	2,31	2,23	2,16	2,10	2,05	2,01	1,98	1,95	1,92	1,90
45	4,06	3,20	2,81	2,58	2,42	2,31	2,22	2,15	2,10	2,05	2,01	1,97	1,94	1,92	1,89

Lampiran 8 Foto Proses Pemesinan



Setting ragum



Proses *drilling*  
Diameter bor 10 mm



Proses *drilling*  
(*finishing*)  
Diameter bor 12 mm



Program CNC  
1000 rpm



Program CNC  
1300 rpm



Program CNC  
1600 rpm

