

**OPTIMASI KEKASARAN PERMUKAAN BAJA SKD-11  
PROSES *CNC TURNING* MENGGUNAKAN  
METODE TAGUCHI**

**PROYEK AKHIR**

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



Disusun oleh:

Rabinaswil Samuel NIRM: 1041821

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG  
2021/2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

### OPTIMASI KEKASARAN PERMUKAAN BAJA SKD-11 PROSES *CNC* *TURNING* MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Oleh:

Rabinaswil Samuel NIRM: 1041821

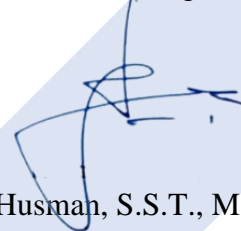
Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Pembimbing 1



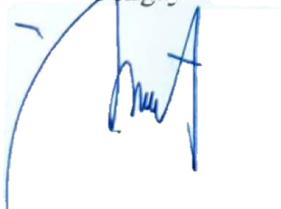
Robert Napitupulu, S.S.T., M.T

Pembimbing 2



Husman, S.S.T., M.T

Penguji 1



Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng

Penguji 2



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

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Rabinaswil Samuel

NIRM : 1041821

Dengan Judul : Optimasi Kekasaran Permukaan Baja Skd-11 Proses *CNC Turning* Menggunakan Metode Taguchi

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

Sungailiat, 31 Januari 2022



Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. RABINASWIL SAMUEL

## ABSTRAK

*Kemajuan teknologi dibidang industri perkembangannya sangatlah pesat. Perkembangan tersebut berpengaruh pada proses pemesinan konvensional yaitu mesin bubut CNC–Turning. Hasil dari proses pembubutan CNC-Turning diperoleh nilai kekasaran permukaan yang halus, namun bertolak belakang dengan waktu pengerjaan karena semakin lama pengerjaan mesin, maka hasilnya semakin halus. Disisi lain semakin lama proses permesinan, berdampak pada biaya yang harus dikeluarkan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari setting parameter yang tepat dari variabel- variabel proses CNC-Turning agar diperoleh kekasaran permukaan benda yang minimum. Selain itu, juga mencari kontribusi persentase dari variable parameter proses CNC-Turning dengan respon kekasaran permukaan benda kerja. Variabel proses pemesinan yang divariasikan adalah putaran spindle, kedalaman pemakanan, dan gerak makan. Metode yang digunakan adalah metode taguchi, Rancangan percobaan berupa matriks orthogonal  $L_{18} (2^1 \times 3^2)$ . Untuk menghindari terjadinya gangguan maka dilakukan replikasi sebanyak 1 kali. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa setting parameter yang tepat dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang minimum yaitu putaran spindle 640 put/min, kedalaman pemakanan 1 mm, dan gerak makan 0,05 mm/rev. Serta mengurangi variasi dari respon kekasaran permukaan yaitu terdapat pada putaran spindle memiliki persen kontribusi terbesar, yaitu 81,55%, kedalaman pemakanan memiliki persen kontribusi sebesar 0,47% dan gerak makan memiliki persen kontribusi sebesar 1,97%.*

**Kata Kunci:** *kekasaran, konvensional, matriks, taguchi, variable*

## **ABSTRACT**

*The development of the technological industry is rapid. The action affects the conventional machining process, the CNC-Turning lathe. The turning process of the CNC-Turning lathe will obtain a smooth surface roughness value, in contrast to the processing time, where the more extended the machining process, the smoother the results. On the other hand, the machining process will impact the incurred costs. Therefore, this study aims to find the suitable parameter settings of the CNC-Turning process variables to obtain the object's minimum surface roughness. In addition, it also looks for the percentage contribution of the CNC-Turning process parameter variables to the response of the work piece surface roughness. The machining process variables that are varied are spindle rotation, feeding depth, and feeding motion. The method used in this research is the Taguchi method. The experimental design is an orthogonal L<sub>18</sub> matrix (2<sup>1</sup>x3<sup>2</sup>). To avoid interference in the process, replication is carried out once. The results of this study indicate that setting the suitable parameters can produce minimum surface roughness, namely spindle rotation of 640 put/min, feeding depth of 1 mm, and feeding motion of 0.05 mm/rev. The results also show that it is crucial to reduce the variation of the surface roughness response. Spindle rotation has the most significant percentage contribution of 81.55%, depth of feed has a percentage contribution of 0.47%, and feed motion has a contribution percentage of 1.97%.*

**Keywords:** *conventional, matrix, roughness, taguchi, variable*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang senantiasa menjadi penopang dan teman terbaik disepanjang waktu. Karena kebaikan Kasih dan Berkat-Nya lah yang menuntun penulis dalam mengerjakan skripsi ini yang berjudul **“Optimasi Kekasaran Permukaan Baja Skd-11 Proses *Cnc Turning* Menggunakan Metode Taguchi.”**

Penulisan penelitian ini bermaksud untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Diploma IV Jurusan Teknik Mesin pada Prodi D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan oleh terbatasnya pengetahuan dan kurangnya pengalaman penulis. Oleh karena itu dengan penuh kerendahan hati saran dan kritik yang bersifat membangun sangatlah penulis harapkan demi mencapai kata sempurna untuk penulisan tugas akhir ini.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis banyak memperoleh bantuan moril, bimbingan, dorongan, serta semangat dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis banyak mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang bersangkutan demi memberikan bantuan moril serta bimbingan yang baik dengan secara langsung maupun tidak langsung untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini sampai dengan selesai, terutama kepada:

1. Kepada Orang Tua Penulis Helmi Aritonang serta saudari kandung penulis yang selalu memberikan cinta kasih dan sayang, doa yang baik, didikan, serta motivasi yang diberikan untuk penulis dari awal penulisan sampai dengan selesainya tugas akhir ini.
2. Bapak Robert Napitupulu, S.S.T., M.T. selaku pembimbing I.
3. Bapak Husman, S.S.T., M.T. selaku pembimbing II.
4. Bapak I Made Andika Setiawan, M.Eng., Ph.D selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin.

6. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur.
7. Dan seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Staf Pegawai Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang sudah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat sebelum penulisan tugas akhir ini.
8. Semua keluarga Saroha Generation yang telah memberikan semangat dan motivasi.
9. Semua keluarga besar kelas A Teknik Mesin dan Manufaktur Angkatan 2018.
10. Teman, sahabat dan orang-orang terdekat yang selalu memberikan Penulis motivasi.

Akhir kata penulis ucapkan terima kasih banyak kepada semua orang yang telah bersangkutan dan apabila ada yang tidak disebutkan Penulis, Penulis juga mengucapkan mohon maaf. Dengan harapan besar semoga penulisa tugas akhir ini yang dituliskan oleh Penulis dapat bermanfaat khususnya untuk Penulis sendiri dan umum bagi pembaca. Bagi para pihak yang telah membantu dalam penulisan tugas akhir ini semoga diberikan kesehatan dan rezeki yang berlimpah dari Tuhan Yang Maha Esa, Amin.

Sungailiat, 31 Januari 2022



Penulis

## DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT .....	iii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 DASAR TEORI .....	5
2.1. Mesin Bubut <i>CNC</i> .....	5
2.1.1 Pengertian Mesin Bubut <i>CNC</i> .....	5
2.2. Pahat Keramik .....	5
2.3. Karakteristik Baja SKD-11 .....	6
2.4. Kekasaran Permukaan .....	6
2.5. Variabel Proses.....	9
2.5.1. Putaran <i>Spindle</i> .....	9
2.5.2. Kedalaman Pemakanan .....	10
2.5.3. Gerak Makan.....	11



2.6.	Media pendingin.....	12
2.7.	Metode <i>Taguchi</i> .....	12
2.7.1.	<i>Matriks Orthogonal</i> .....	13
2.7.2.	<i>Signal to Noise Ratio ( S/N Rasio)</i> .....	14
2.7.3.	Analisis Dalam Metode <i>Taguchi</i> .....	15
2.7.4.	Eksperimen Konfirmasi .....	19
2.7.5.	Uji Normalitas .....	19
2.7.6.	Uji Homogenitas .....	19
<b>BAB 3 METODE PELAKSANAAN .....</b>		<b>21</b>
3.1	Identifikasi Masalah .....	22
3.2	Studi Literatur.....	22
3.3	Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian.....	22
3.4	Desain Eksperimen.....	22
3.4.1	Variabel Proses.....	22
3.4.2.	Variabel Respon .....	23
3.4.3.	Variabel Konstan.....	23
3.4.4.	Bahan dan Peralatan Penelitian .....	23
3.4.5.	Mesin <i>CNC Turning</i> .....	25
3.4.6.	Peralatan Ukur.....	25
3.4.7.	Peralatan Bantu .....	26
3.4.8.	Rancangan Eksperimen.....	27
3.5	Pelaksanaan Percobaan.....	29
3.6	Pengambilan Data Hasil .....	29
3.7	Optimasi S/N Ratio .....	31
3.7.1.	Menghitung S/N Ratio .....	31
3.8.	Eksperimen Konfirmasi.....	31
3.9	Melakukan Analisa Hasil Penelitian .....	32
3.10	Kesimpulan dan Saran.....	32
<b>BAB 4 PEMBAHASAN.....</b>		<b>33</b>
4.1	Pengambilan Data Hasil Percobaan.....	33
4.1.1.	Perhitungan Mean Terhadap Respon .....	35

4.1.2.	Penentuan Kombinasi Variabel Untuk Respon Optimal.....	37
4.2	Analisis Variansi Dan Persen Kontribusi .....	38
4.3	Analisis Variansi Rata-Rata Kekasaran Permukaan.....	38
4.4	Hasil Prediksi Nilai Kekasaran Permukaan Dan Interval Keyakinan ....	44
4.5	Perhitungan Rasio S/N Dari Respon .....	44
4.5.1.	Pengaruh <i>Level</i> dari Faktor Terhadap Variansi kekasaran.....	47
4.5.2.	Analisis Variansi Rasio .....	48
4.5.3.	Prediksi Rasio S/N Kekasaran Permukaan Yang Optimal.....	54
4.6	Eksperimen Konfirmasi.....	58
4.7	Pembahasan .....	63
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran .....	65
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Nilai Kekasaran Dan Tingkat Kekasaran (Rochim, 2001).....	8
3. 1 Variabel proses dan pengaturan <i>level</i> .....	27
3. 2 Total Derajat Kebebasan Parameter Dan <i>Level</i> .....	27
3. 3 Rancangan Eksperimen <i>Matriks Orthogonal L<sub>18</sub>(2<sup>1</sup>x3<sup>2</sup>)</i> .....	28
4. 1 Data Hasil Pengukuran Uji Kekasaran Awal .....	34
4. 2 Data Hasil Pengukuran Uji Kekasaran Awal Replikasi .....	35
4. 3 Data hasil perhitungan pengukuran kekasaran.....	36
4. 4 Respon Rata-Rata Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Dari Pengaruh Faktor .....	37
4. 5 Kombinasi Variabel Proses Untuk Respon optimal.....	38
4. 6 Analisis Variansi Rata-rata Kekasaran Permukaan.....	42
4. 7 Persen Kontribusi .....	43
4. 8 Rasio S/N Untuk Respon .....	47
4. 9 Respon Rasio S/N Kekasaran Permukaan Dari Pengaruh Faktor .....	48
4. 10 Analisis Variansi Rasio S/N Kekasaran Permukaan .....	53
4. 11 Persen kontribusi.....	54
4. 12 Hasil ANOVA .....	55
4. 13 Kondisi Hipotesis Nol Respon Secara Serentak .....	57
4. 14 Kombinasi Variabel Proses Untuk Kondisi Awal Dan Kondisi Optimum...	59
4. 15 Hasil Uji Kombinasi Awal .....	59
4. 16 Hasil Uji Kombinasi Optimum .....	59
4. 17 Hasil Respon-Respon Dengan Menggunakan Kombinasi Awal Dan Kombinasi Optimum.....	60
4. 18 S/N Rasio Pada Kombinasi Awal Dan Kombinasi Optimum.....	60
4. 19 Hasil Uji Kenormalan Data .....	62
4. 20 Hasil Uji Dua Variansi .....	62

4. 21 Hasil Uji Kesamaan Rata-Rata.....	63
4. 22 Interpretasi Hasil Ukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja.....	64



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Mata pemotong keramik ( <a href="http://www.ntkcuttingtools.com">www.ntkcuttingtools.com</a> ) .....	6
2. 2 Penyimpangan rata-rata aritmatika (Juhana, 2000).....	7
2. 3 Parameter dalam profil permukaan (Soesanti, 2012).....	8
2. 4 Panjang benda kerja yang dilalui pahat setiap putaran .....	10
2. 5 Gerak makan (f) dan kedalaman pemakanan (a) (Widarto, 2008).....	11
3. 1 Diagram alir tahap penelitian .....	21
3. 2 Bentuk benda kerja dengan ukuran $\varnothing 30$ , dan panjang 50 mm.....	24
3. 3 Pahat keramik CNGA120408 .....	25
3. 4 Mesin <i>CNC</i> SL-25 B/500 .....	25
3. 5 <i>Surface roughness tester</i> .....	26
3. 6 Jangka sorong, kecermatan 0,05 mm .....	26
3. 7 Benda kerja hasil <i>CNC</i> SL-25 B/500 .....	30
3. 8 Skema proses pengukuran kekasaran permukaan benda kerja .....	30
3. 9 Pengkalibrasian alat uji <i>surface roughness tester</i> .....	30
4. 1 Pengambilan data kekasaran permukaan .....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup
- Lampiran 2 Analisa Variabel Respon Individu
- Lampiran 3 Hasil uji perbandingan rata-rata kekasaran permukaan
- Lampiran 4 Lanjutan
- Lampiran 5 Uji kesamaan rata-rata
- Lampiran 6 Data spesifikasi mesin bubut *CNC*
- Lampiran 7 Sertifikat Baja SKD-11 dan Katalog Insert Bubut
- Lampiran 8 Katalog Spesifikasi Alat Ukur *Surface Roughness Tester*
- Lampiran 9 Gambar Tabel f Probabilitas 0,05
- Lampiran 10 Program pemesinan *CNC*
- Lampiran 11 Proses penyetingan Pemesinan Hasil Proses Pemesinan
- Lampiran 12 Proses Pengukuran Benda Kerja
- Lampiran 13 Benda Kerja Penelitian

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi dibidang industri telah berkembang sebagai hasil dari kebutuhan produk. Sebagai hasil dari pertumbuhan sebuah produk ini, ada permintaan yang lebih besar untuk produk-produk berkualitas tinggi dengan profil dan struktur yang kompleks, serta tingkat efisiensi dan efektivitas yang lebih tinggi dalam proses manufaktur. Sebuah industri manufaktur tidak terlepas dari adanya proses pemesinan (*machining process*), Sekitar 70% dari total proses produksi industri menggunakan proses pemesinan. Kualitas produk hasil pemesinan dengan seberapa dekat spesifikasi produk yang dihasilkan (dimensi geometri, kekasaran permukaan dan reflektif geometri) itu terhadap spesifikasi yang ditentukan. Oleh karena itu, proses pemesinan dibutuhkan untuk mengatasi kendala-kendala tersebut (Anshori, 2018).

(Allam, 2019) menyatakan proses pemesinan bubut dibagi menjadi 2 yaitu konvensional dan non konvensional, mesin ini paling banyak digunakan dalam industri. Mesin *CNC (Computer Numerically Controlled)* salah satu mesin konvensional yang mempunyai keunggulan dibandingkan dengan mesin perkakas yang sejenis. Keunggulan mesin *CNC* diantaranya adalah dapat menghasilkan benda yang baik dari segi kualitas, keakuratan ukuran, tingkat kepresisian dan lain sebagainya. Mesin bubut *CNC* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu akurasi dimensi, keausan pahat, dan kualitas dari kekasaran permukaan adalah faktor-faktor yang dapat diproses. Diantara berbagai kondisi, proses kekasaran permukaan adalah parameter utama untuk menentukan kualitas suatu benda kerja atau produk.

Material yang digunakan adalah SKD-11 adalah jenis baja tahan karat berkualitas tinggi yang merupakan baja perkakas dan banyak dipergunakan dalam industri karena memiliki sifat kekerasan yang tinggi dan tahan aus. Komposisi kimia dari baja perkakas SKD-11 yaitu, C 1,55%, Cr 11,60%, Mo 0,80%, Mn

0,30%, Si 0,30%. Pemilihan material juga akan menghasilkan proses pembubutan seperti *stamping dies*, cetakan plastik dan sebagainya. Jenis pahat yang digunakan keramik, karena jenis keramik alat potong tersebut sudah dalam type *hardness steel* yang bisa memotong material yang keras seperti baja SKD-11 (Hermawan, 2015).

Dalam Penelitian Material Baja SKD-11 yang telah dilakukan untuk mengetahui variable kekasaran permukaan dengan proses *CNC Turning*. Parameter yang digunakan putaran *spindle* (n), kedalaman pemakanan (a) dan gerak makan (f). Dari beberapa penelitian yang dilakukan yaitu Hasil penelitian tentang Optimasi Parameter Pemesinan untuk Kekasaran Permukaan dan Umur Pahat pada Proses Bubut dengan Menggunakan Metode *Grey-Fuzzy* pada Material SKD-11 yang telah dilakukan, dengan parameter kekasaran permukaan, umur pahat dan GFRG. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi faktor atau parameter proses pada proses bubut SKD-11 yang dapat menghasilkan nilai respon paling optimal adalah putaran *spindle* pada level 144 put/min, kedalaman pemakanan pada level 0,50 mm, gerak makan pada level 0,15 mm/put dan radius pojok pahat pada level 0,4 mm (Soesanti, 2012).

Penelitian tentang Investigasi Proses Pemesinan Keras (*Hard Machining*) Atas Pengaruh Dari Kecepatan Potong Dan Laju Pemakanan Pada Proses Bubut Baja Perkakas Aisi D2(SKD-11) Menggunakan Pahat Cbn Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja yang telah dilakukan, dengan parameter gerak makan 0,09; 0,10; 0,13; 0,15 dan 0,16 mm/put, variasi putaran *spindle* 74,82; 80,00; 92,50; 105 dan 110,1 put/min dan kedalaman pemakanan 0,5 mm. Kesimpulan yang didapat dari investigasi ini bahwa terjadi peningkatan harga Ra pada saat feeding / gerak makan dinaikkan, dan penurunan nilai Ra pada saat putaran *spindle* bertambah, disaat kedalaman pemakanan sebesar 0,5 mm (Kurniawan, 2013).

Penelitian tentang Investigasi gaya potong, kekasaran permukaan dan keausan pahat selama pemesinan berbantuan laser pada baja SKD-11 *Tool* yang telah dilakukan, dengan parameter pengaruh sinar laser pada gaya potong, suhu permukaan, kekasaran permukaan dan keausan pahat. Penelitian ini memaparkan hasil investigasi pembubutan berbantuan laser pada SKD 11 menggunakan sisipan keramik berlapis TiN. Studi pemanasan ekstensif dilakukan untuk memahami



interaksi bahan laser. Parameter LAM dipilih berdasarkan hasil dari studi pemanasan. Dalam studi ini, pengaruh sinar laser pada gaya potong minimum pada laser 1000 W, suhu permukaan sekitar 600-750°C untuk pemesinan yang lebih baik, kekasaran permukaan ditingkatkan 50% jika dibandingkan dengan konvensional dan keausan pahat dianalisis pada berbagai putaran *spindle* 100 put/menit dan gerak makan 0,03 mm/put (Xavierarockiaraj, 2014).

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini dapat mengurangi waktu dan biaya serta hasilnya bisa dioptimalkan supaya hasil percobaan dengan tingkat kesalahan yang minimum dengan parameter yang dihasilkan yaitu putaran *spindle* (n), kedalaman pemakanan (a) dan gerak makan (f) dengan metode taguchi. Hasil Penelitian tersebut belum pernah dilakukan, Dalam hasil penelitian ini dapat kita peroleh yaitu Optimasi Kekasaran Permukaan Baja SKD-11 Proses *CNC Turning* Menggunakan Metode *Taguchi*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana *setting* parameter yang tepat pada *CNC Turning* sehingga dapat meminimumkan Kekasaran permukaan baja SKD-11?
2. Apakah faktor-faktor proses (putaran *spindle*, kedalaman pemakanan dan gerak makan) mempunyai kontribusi persentase dalam mengurangi variasi dari respon Kekasaran permukaan baja SKD-11?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah dalam penelitian ini lebih jelas focus dan terarah, maka pembahasan masalah dibatasi. Adapun batasan-batasan masalahnya adalah:

1. Proses pembubutan *medium roughing* menggunakan mesin Bubut *CNC SL-25 B/500*.

2. Material yang digunakan adalah baja SKD-11 dalam bentuk diameter.
3. Jenis Pahat yang digunakan CNGA Keramik.
4. Pada penelitian ini penulis hanya mengoptimasi hasil kekasaran permukaan dengan menggunakan tiga parameter pada proses *CNC Turning* dengan material Baja SKD-11.
5. Tidak menghitung waktu proses pembubutan.
6. Menggunakan media pendingin yaitu dromus B secara normal dalam proses pemesinan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penulis melakukan penelitian ini adalah bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui setting parameter yang tepat pada *CNC Turning* sehingga dapat meminimumkan Kekasaran permukaan baja SKD-11.
2. Untuk mengetahui faktor-faktor proses (putaran *spindle*, kedalaman pemakanan dan gerak makan) mempunyai kontribusi persentase dalam mengurangi variasi dari respon Kekasaran permukaan baja SKD-11.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun sebagai referensi sebagai berikut:

1. Supaya proses pemesinan dalam batas pengerjaan *medium roughing* dengan hasil yang diinginkan dan cepat dalam produksi harus menggunakan pahat keramik.
2. Parameter proses yang tepat agar diperoleh kekasaran permukaan yang minimum.
3. Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenisnya dalam rangka pengembangan pengetahuan tentang optimasi kekasaran permukaan benda kerja SKD-11.

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1. Mesin Bubut CNC**

##### **2.1.1 Pengertian Mesin Bubut CNC**

Mesin Bubut CNC adalah mesin dimana benda kerja atau part di cekam dan diputar oleh *spindle* (poros pemutar) utama, sementara alat potong yang digunakan, dipasang dan bergerak dalam berbagai sumbu (*axis*) dioperasikan dengan sistem *Computer Numerical Control (CNC)* dan dilengkapi dengan instruksi desain yang presisi, Contoh: Penulisan M30 pada layar monitor mesin akan memutar spindle mesin, dan penulisan M05 akan menghentikan spindle mesin.

Mesin bubut CNC umumnya digunakan dalam proses pembuatan berbagai komoditas, di mana benda kerja dijepit dan diputar, dan alat pemotong ditempatkan untuk operasi OD (diameter luar) dan ID (diameter dalam) seperti: poros dan pipa. Mesin bubut CNC ini memiliki bentuk simetris/melingkar dan cocok untuk bagian-bagian yang memiliki poros (poros putar) yang dapat menangkap (memperbaiki dengan lingkaran) poros. Mesin bubut dengan opsi tambahan seperti sumbu Y, spindle tambahan, atau opsi tambahan khusus untuk otomatisasi biasanya disebut sebagai "*Turning center*".

Alat canggih untuk pemesinan suku cadang kompleks ini melebihi standar OD dan ID mesin bubut dan dapat mencakup mesin pembubutan, dan pengeboran untuk menyelesaikan produksi suku cadang dalam satu konfigurasi. Produktivitas sangat ditingkatkan dengan melakukan proses dari bahan mentah/material menjadi produk jadi dengan mesin "universal ([www.hwacheonasia.com](http://www.hwacheonasia.com)).

#### **2.2. Pahat Keramik**

Alat pemotong keramik adalah bahan keras non logam yang dapat mempertahankan kekerasan suhu tinggi, ketahanan aus yang sangat baik dan ketahanan aus, konduktivitas termal rendah, dan kecepatan potong tinggi sekitar 150-650 m/menit. Pahat keramik ideal untuk memotong besi tuang, baja keras, dan

paduan super. Alat potong keramik lebih keras dari alat potong karbida, namun alat potong keramik tidak seefektif alat potong serbaguna (Mustofa, 2018).

Keramik berbasis alumina biasanya digunakan untuk menyelesaikan logam besi dan beberapa logam non-ferrous pada kecepatan sedang. Keramik berbasis silikon nitrida biasanya digunakan untuk medium roughing, roughing dan pemesinan berat besi cor dan *superalloy*. Sisipan pemotong keramik alumina memiliki ketahanan aus yang lebih tinggi, kekerasan, dan ketahanan kimia yang lebih baik daripada sisipan pemotong HSS dan karbida.



Gambar 2. 1 Mata pemotong keramik ([www.ntkcuttingtools.com](http://www.ntkcuttingtools.com))

### 2.3. Karakteristik Baja SKD-11

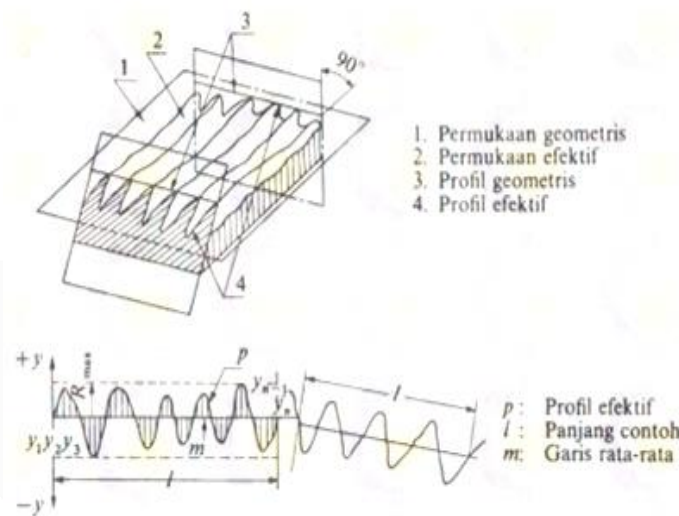
Baja perkakas SKD-11 adalah jenis baja tahan karat berkualitas tinggi yang merupakan baja perkakas dan banyak dipergunakan dalam industri karena memiliki sifat kekerasan yang tinggi dan tahan aus. Komposisi kimia dari baja perkakas SKD-11 yaitu, *carbon*(C) 1,55%, *kromium*(Cr) 11,60%, *molibdenum*(Mo) 0,80%, *mangan*(Mn) 0,30%, *silikon*(Si) 0,30%. Pemilihan material juga akan menghasilkan proses pembubutan seperti *stamping dies*, cetakan plastik dan sebagainya (Hermawan, 2015).

### 2.4. Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan produk yang dihasilkan dari proses pemesinan (salah satunya adalah proses pembubutan) merupakan salah satu karakteristik kualitas utama dalam pembuatan dan desain bagian-bagian mesin (Rochim, 2001). Kekasaran permukaan adalah deviasi rata-rata aritmatika dari garis tengah profil.

Aritmatika (Ra) adalah jumlah rata-rata puncak tertinggi dan terendah dari setiap gelombang yang diukur pada panjang tertentu.

(Juhana, 2000) mendefinisikan deviasi rata-rata aritmatika (Ra) sebagai rerata koordinat profil efektif garis tengah. Profil efektif adalah kontur dari luas permukaan efektif yang memotong bidang yang secara tradisional ditentukan untuk permukaan geometris yang ideal. Representasi yang lebih jelas dari luas geometrik, luas efektif, profil geometrik, dan profil efektif ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Penyimpangan rata-rata aritmatika (Juhana, 2000)

Kekasaran permukaan yang paling umum adalah kekasaran rata-rata aritmatika. (Rochim, 2001), mendefinisikan kekasaran mean aritmatika ini sebagai mean aritmatika dari nilai absolut jarak antara profil yang diukur dan profil rata-rata. Rata-rata aritmatika kekasaran permukaan dapat dirumuskan sebagai berikut.

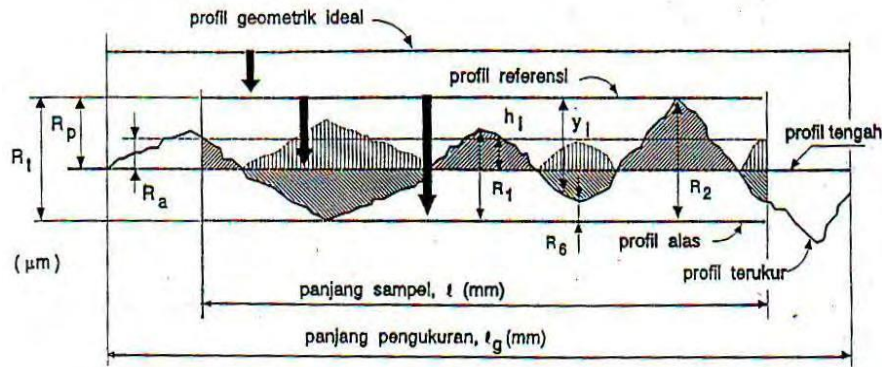
$$Ra = \frac{1}{n} \sum y (\mu m) \quad (2.1)$$

$$= \frac{y_1 + y_2 + y_3}{n}$$

Keterangan :

- Ra = Kekasaran Permukaan Rata-rata; ( $\mu m$ )
- y = Jarak Profil Referensi ke Profil Terukur
- n = Jumlah Sampel

Gambar 2.2 menunjukkan posisi Ra dan parameter kekasaran lainnya seperti bentuk profil yang dibaca dari pengukur kekasaran permukaan, panjang benda uji, dan panjang pengukur.



Gambar 2. 3 Parameter dalam profil permukaan (Soesanti, 2012)

ISO (Organisasi Internasional untuk Standardisasi) telah membagi Kekasaran Mean Aritmatika (Ra) menjadi 12 tingkat kekasaran, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Angka kekasaran permukaan ini dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan kesalahan dalam menginterpretasikan harga satuan kekasaran permukaan. Ini memungkinkan Anda untuk menentukan nilai Ra atau menggunakan nilai kekasaran ISO untuk menulis kekasaran permukaan secara langsung.

Tabel 2. 1 Nilai kekasaran dan tingkat kekasaran (Rochim, 2001).

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	0,08

(Rochim, 2001) Parameter Ra lebih sensitif terhadap penyimpangan yang terjadi dalam proses pemesinan dibandingkan dengan parameter kekasaran permukaan lainnya, sehingga cocok untuk memeriksa kualitas permukaan akhir benda kerja yang diproduksi secara massal, Namun jika identifikasi permukaan digunakan untuk menerangkan ketidakraturan konfigurasi permukaan yang bersangkutan, parameter Ra sebenarnya tidak mempunyai dasar yang kuat untuk mengidentifikasi hal tersebut. Hal ini dikarenakan pada beberapa profil permukaan dapat memiliki nilai Ra yang hampir sama. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah sebagai berikut:

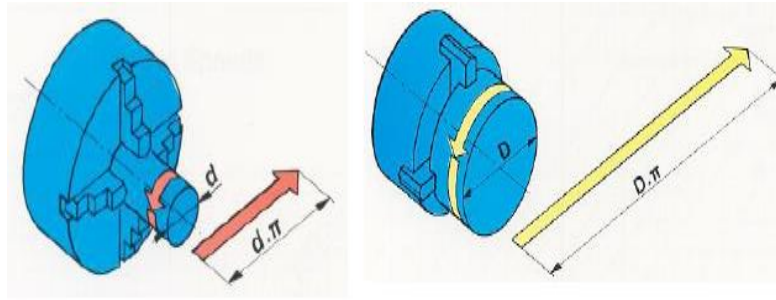
1. Parameter pemesinan, yaitu kecepatan potong, kedalaman potong dan gerak makan.
2. Bentuk pahat, yaitu radius pojok dan sudut geram.
3. Sifat material benda kerja dan bahan pahat.
4. Peralatan bantu dan cairan pendingin yang digunakan.
5. Jenis dan kualitas dari mesin yang digunakan.
6. Getaran antara alat potong pahat, benda kerja dan mesin.

## **2.5. Variabel Proses**

Parameter pemotongan pada proses pembubutan yang dimaksud dengan parameter pemotongan pada proses pembubutan adalah informasi dasar-dasar perhitungan, rumus dan tabel-tabel yang mendasari teknologi proses pemotongan/penyayatan pada mesin bubut diantaranya. Parameter pemotongan pada proses pembubutan meliputi:

### **2.5.1. Putaran *Spindle***

Putaran *spindel* sering dikaitkan dengan putaran pembubutan dalam benda kerja. Kecepatan putaran mesin bubut didefinisikan sebagai jumlah putaran per menit (RPM) dari *spindel*, sehingga mewakili kecepatan putaran. Untuk pembubutan, putaran *spindel* (kecepatan potong atau  $V_c$ ), atau kecepatan benda kerja yang dilalui pahat, atau keliling benda kerja, sangat penting, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Panjang benda kerja yang dilalui pahat setiap putaran  
(Rahdiyanta, 2010)

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan kecepatan potong pada putaran *spindle* adalah sebagai berikut

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2.2)$$

Dimana:  $V_c$ : adalah kecepatan potong (mm/menit).

$\pi$ : adalah konstanta, senilai 3.14

$d$ : diameter rata-rata benda kerja  $((d_0 + d_m)/2) \text{ (mm)}$

$n$ : putaran *spindle* (rpm)

### 2.5.2. Kedalaman Pemakanan

Kedalaman pemakanan adalah perbedaan rata-rata antara diameter benda kerja sebelum berputar dan diameter benda kerja setelah diputar. Kedalaman pemakanan dapat disesuaikan dengan menggeser peluncur silang melalui roda pemintal (skala dial menunjukkan perbedaan nilai diameter). Kedalaman pemakanan dapat diartikan sebagai kedalaman pahat yang menembus benda kerja selama pemotongan, atau ketebalan sisipan mesin bubut. Kedalaman feeder dirumuskan sebagai berikut:

$$a = \frac{d_0 - d_m}{2} \quad (2.3)$$

dimana:  $a$ : kedalaman pemakanan (mm)

$d_0$ : diameter awal (mm)

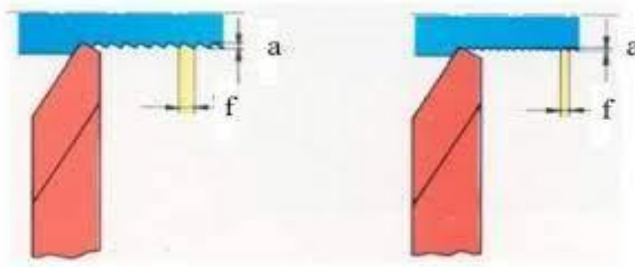
$d_m$ : diameter akhir (mm)



### 2.5.3. Gerak Makan

Gerak makan adalah jarak yang ditempuh oleh pahat penyayat ketika langkah pemakanan berlangsung. Gerak makan (*feeding*) adalah jarak tempuh perkakas (mm) setiap perputaran benda kerja. Menurut (Widarto, 2008) gerak makan (*feeding*) adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali, sehingga satuan  $f$  adalah mm/putaran atau inchi/put. Lebih besar gerak makan lebih tebal pula bram/serpih yang dihasilkan. Gerak makan juga tergantung pada tipe pemakanan (*roughing/finishing*), jenis bahan yang dikerjakan dan pahat potong yang digunakan.

Kualitas permukaan potong tergantung pada kondisi pemotongan, misalnya kecepatan potong rendah dengan *feeding* dan *depth of cut* yang besar akan menghasilkan permukaan yang kasar (*roughing*) sebaliknya kecepatan potong tinggi dengan *feeding* dan *depth of cut* kecil menghasilkan permukaan yang halus.



Gambar 2. 5 Gerak makan ( $f$ ) dan kedalaman pemakanan ( $a$ ) (Widarto, 2008)

Untuk menghitung kecepatan gerak makan menggunakan rumus dibawah ini:

$$V=f.n \quad (2.4)$$

Dimana:  $V$  = kecepatan gerak makan (m/min)

$f$  = gerak makan (mm/rev)

$n$  = putaran benda kerja (rad/min)

## 2.6. Media pendingin

Media pendingin memiliki kegunaan yang khusus dalam proses pemesinan. Secara umum dapat dikatakan bahwa peran utama media pendingin adalah untuk mendinginkan dan melumasi. Fungsi Media pendingin sebagai berikut:

1. Untuk memperpanjang umur pahat,
2. Cairan pendingin dapat mengurangi gaya dan mampu menurunkan rasio penempatan tebal beram yang mengakibatkan penurunan gaya potong.
3. Media pendingin juga berfungsi sebagai pembersih/pembawa beram (terutama dalam proses pembubutan) dan melumasi elemen pembimbing (ways) mesin perkakas serta melindungi benda kerja dan komponen mesin dari korosi (Saputra, 2020).

## 2.7. Metode Taguchi

Metode *Taguchi* adalah metode penelitian teknik baru yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas benda kerja dan proses sambil meminimalkan biaya dan sumber daya. Proses *Taguchi* berusaha untuk mencapai tujuan ini dengan membuat benda kerja dan proses tidak terpengaruh oleh berbagai variabel gangguan (*noise*), misalnya bahan material, peralatan manufaktur, tenaga kerja dan kondisi operasional. Metode Taguchi membuat benda kerja atau proses kuat terhadap variabel-variabel gangguan (*noise*) tersebut. Oleh karena itu, Metode Taguchi juga disebut *robust design* (Soejanto, 2009).

Metode Taguchi mempunyai beberapa kelebihan seperti:

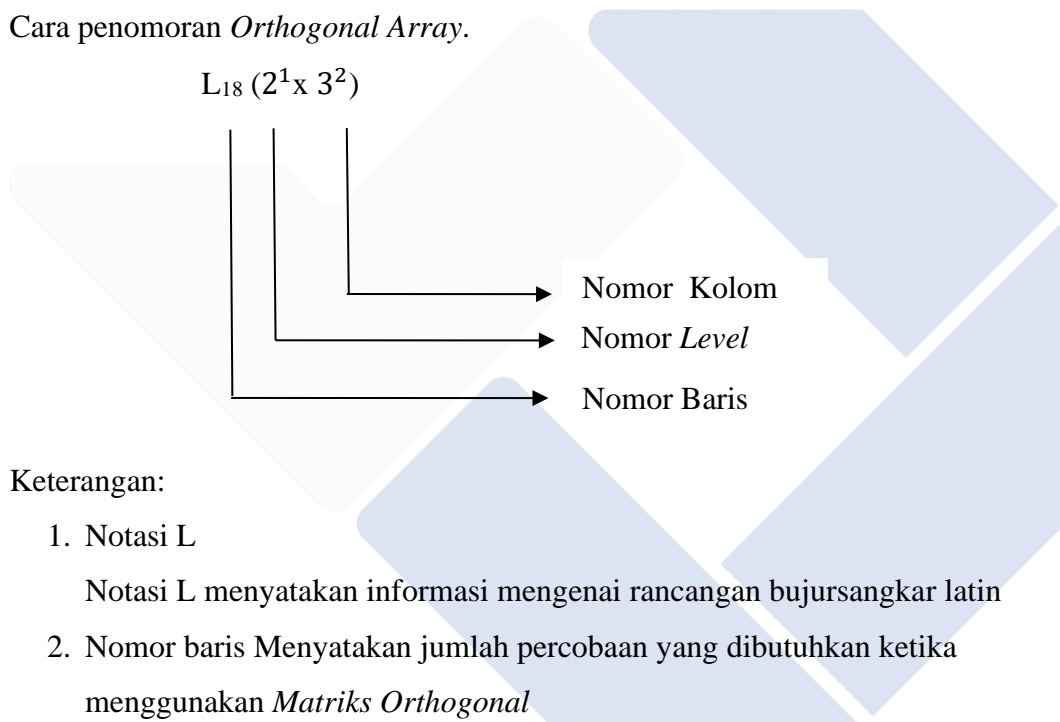
1. Desain eksperimen *Taguchi* lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
2. Desain eksperimen *Taguchi* memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol (faktor gangguan).
3. Metode *Taguchi* menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan *level* dari faktor-faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

### 2.7.1. *Matriks Orthogonal*

*Matriks Orthogonal* adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merepresentasikan faktor dapat berubah dari suatu percobaan ke percobaan lainnya. Baris merupakan kombinasi dari faktor dalam percobaan. *Matriks* disebut *Orthogonal* karena setiap *level* dari masing-masing faktor adalah seimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain dalam percobaan (Soejanto, 2009).

Jadi *Matriks Orthogonal* merupakan suatu matriks seimbang dari faktor dan *level* sedemikian hingga pengaruh dari faktor atau *level* yang lain.

Cara penomoran *Orthogonal Array*.



Keterangan:

1. Notasi L

Notasi L menyatakan informasi mengenai rancangan bujursangkar latin

2. Nomor baris Menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *Matriks Orthogonal*
3. Nomor kolom Menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam *Matriks Orthogonal*
4. Nomor *level* Menyatakan jumlah level faktor

Untuk 2 *level*, tabel OA terdiri dari  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{16}$ , dan  $L_{32}$ , sedangkan untuk 3 *level* tabel OA terdiri dari  $L_9$ ,  $L_{18}$ ,  $L_{27}$ . Pemilihan jenis *Matriks Orthogonal* akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat bebas total. Penentuan derajat bebas berdasarkan pada:

1. Jumlah faktor utama yang diamati dan interaksi.
2. Jumlah *level* dari faktor yang diamati.

### 3. Resolusi percobaan yang diinginkan atau batasan biaya

*Matriks orthogonal* memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

1. Kesimpulan yang diambil dapat mencapai setiap *level* secara keseluruhan dengan kisaran parameter kontrol.
2. Sangat menghemat pelaksanaan percobaan karena tidak menggunakan prinsip *fully operational* seperti percobaan yang biasa, tetapi menggunakan prinsip *fractional factorial*. Artinya Anda tidak perlu mencoba semua kombinasi layer, cukup beberapa saja.
3. Kemudahan dalam analisis data.

Pemilihan matrik *orthogonal* yang sesuai ditentukan dari jumlah derajat kebebasan dan jumlah *level* variabel. Matriks *orthogonal* memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah variabel dengan jumlah percobaan yang minimum. Suatu matriks *orthogonal* dilambangkan persamaan:

La ( $b^c$ ) dengan: L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya percobaan

b = Banyaknya *level* variabel

c = Banyaknya variable

#### 2.7.2. *Signal to Noise Ratio* ( S/N Rasio)

Menurut (Soejanto, 2009) metode *Taguchi* memperkenalkan pendekatan rasio S/N untuk meneliti pengaruh faktor noise terhadap variasi yang timbul. Jenis dari rasio S/N tergantung pada karakteristik yang diinginkan. Karakteristik kualitas yang digunakan dalam metode *Taguchi* ada 3 jenis, yaitu sebagai berikut:

- *Smaller is Better*

Analisis jenis ini biasanya untuk menganalisis suatu cacat pada produk, yang mana harga idealnya kalau bisa harus sama dengan nol. Yang berarti semakin kecil kekasaran permukaan maka akan semakin baik. Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2.5)$$

Keterangan:

Yi = nilai kekasaran permukaan benda kerja

n = jumlah replikasi (pengulangan)

- *Larger is Better*

Analisis jenis ini merupakan kebalikan dari analisis *Smaller is Better*. Kasus yang biasanya dianalisa dengan cara ini adalah untuk mencari kecepatan penghasil Gram (MMR) yang paling besar, yang berarti semakin besar MRR maka semakin produktif proses produksi tersebut. Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus dibawah ini

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (2.6)$$

- *Nominal the Better*

Jenis analisis ini sering digunakan ketika nilai yang ditentukan adalah mutlak atau sangat diharapkan. Oleh karena itu, tidak boleh lebih besar atau lebih kecil dari nilai yang ditetapkan sebelumnya. Contohnya adalah dimensi bagian mekanik (di industri manufaktur).

$$S/N = -10 \times \log \frac{y^{-2}}{s^2} \quad (2.7)$$

### 2.7.3. Analisis Dalam Metode Taguchi

ANOVA (*Analysis of Variant*)

Anova atau analisis varian, digunakan untuk menentukan besarnya dampak dari setiap parameter kontrol dalam proses. Besarnya pengaruh ini dapat ditentukan dengan membandingkan nilai jumlah kuadrat dari parameter kontrol dengan semua parameter kontrol (Supriyandi, 2021).

Berikut merupakan persamaan untuk perhitungan derajat kebebasan, menghitung jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat, derajat kebebasan, nilai F dan nilai probabilitas:

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{KA} \left( \frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.8)$$

Dimana:

KA = Jumlah *level* faktor A

- $A_i$  = *Level* ke  $i$  faktor A
- $n_{A_i}$  = Jumlah percobaan *level* ke  $i$  faktor A
- T = Jumlah seluruh nilai data
- N = Banyak data keseluruhan

1. Jumlah kuadrat (*sum of square*)

Jumlah kuadrat setiap faktor, contoh untuk faktor A:

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A_1}} + \frac{A_2^2}{n_{A_2}} + \frac{A_3^2}{n_{A_3}} - \frac{T^2}{N} \quad (2.9)$$

Dimana:

- $A_1$  = Jumlah nilai data pada faktor A
- $A_2$  = Jumlah nilai data pada faktor A *level* 2
- $A_3$  = Jumlah nilai data pada faktor A *level* 3
- $n_{A_1}$  = Banyak data pada faktor A *level* 1
- $n_{A_2}$  = Banyak data pada faktor A *level* 2
- $n_{A_3}$  = Banyak data pada faktor A *level* 3
- T = Jumlah seluruh nilai data
- N = Banyak data keseluruhan

2. Derajat kebebasan (*degree of freedom*)

Derajat kebebasan setiap faktor, derajat kebebasan total dengan *error* dan derajat kebebasan *error*.

$$V_a = \text{Banyak } level \text{ pada faktor A} - 1 \quad (2.10)$$

$$V_t = \text{Total semua } level - 1$$

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

Dimana:

$$V_a = \text{Derajat kebebasan faktor A} \quad V_e = \text{Derajat kebebasan } error$$

$$V_t = \text{Derajat kebebasan total}$$

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

Rata-rata kuadrat setiap faktor, contoh untuk faktor A:

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} \quad (2.11)$$

4. Jumlah kuadrat total

$$SST = \sum y^2 \quad (2.12)$$

Dimana:

y = Nilai data

5. Jumlah kuadrat karena rata-rata

$$SSm = n \bar{y}^2 \quad (2.13)$$

Dimana:

n = Banyak data

6. Jumlah kuadrat *error*

$$SSe = SST - SSm - Ssfaktor \quad (2.14)$$

Dimana:

$$Ssfaktor = SSA + SSB + \dots SSn$$

7. Rata-rata kuadrat *error*

$$(MS_e) = \frac{SS_e}{V_e} \quad (2.15)$$

8. Nilai F

$$F \text{ rasio} = \frac{SSA}{SSe} \quad (2.16)$$

9. Nilai probabilitas

Nilai P atau nilai probabilitas dapat diartikan sebagai peluang kesalahan yang diamati dari suatu uji statistik. Proses analisis nilai P selalu dibandingkan dengan  $\alpha$  yaitu nilai signifikansi atau juga disebut sebagai nilai kesalahan maksimum yang dapat diterima.

10. Persen kontribusi

Persen kontribusi menunjukkan porsi (kekuatan relatif) masing-masing variabel proses terhadap total variansi dari respon-respon yang diamati secara serentak.

$$SS'_A = SSA - MS_e(V_A) \quad (2.17)$$

Dengan:

$SS'_A$  = jumlah kuadrat dari variabel yang dihitung persen kontribusinya

$SS_T$  = jumlah kuadrat total

$V_A$  = derajat kebebasan dari variabel yang dihitung persen kontribusinya

$MS_E$  = rata-rata kuadrat dari variabel *error*

$$\rho = \frac{SS'_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\% \quad (2.18)$$

Perhitungan prediksi nilai kekasaran permukaan yang optimal didasarkan pada rata-rata kekasaran setiap *level* variabel. Nilai prediksi kekasaran dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\hat{n} = n_m + \sum_{i=1}^q (\bar{n} - n_m) \quad (2.19)$$

Dengan:

$n_m$  = jumlah rata-rata

$\bar{n}$  = hasil rata-rata minimum

Penerima interval kepercayaan rata-rata untuk kekasaran permukaan yang diprediksi awalnya digunakan untuk menghitung jumlah pengamatan yang valid. Pengamatan yang valid dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$n_{\text{eff}} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan variabel untuk menduga rata-rata}} \quad (2.20)$$

$$CI_{\text{optimasi}} : \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E}{n_{\text{eff}}}} \quad (2.21)$$

Dengan:  $n_{\text{eff}}$  = banyaknya pengamatan

$F_{\alpha}$  = f tabel

$v_E$  = variabel *error*

$MS_E$  = rata-rata kuadrat dari variabel *error*

$$u_{\text{prediksi}} = \bar{Y} + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{C}_2 - \bar{Y}) \quad (2.22)$$

Dengan:

$u_{\text{prediksi}}$  = dugaan rata-rata pada kombinasi optimum

$\bar{Y}$  = rata-rata S/N

$$u_{\text{Prediksi}} - CI \leq u_{\text{Prediksi}} \leq u_{\text{Prediksi}} + CI \quad (2.23)$$



#### 2.7.4. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan eksperimen yang dilakukan berdasarkan kombinasi variabel hasil optimasi. Tujuannya adalah untuk mencocokkan hasil prediksi dengan hasil respon secara aktual dan sekaligus membandingkan hasil respon pada kondisi awal dengan hasil respon setelah dilakukan proses optimasi (Supriyandi, 2021).

Langkah-langkah dalam eksperimen konfirmasi dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Melakukan eksperimen berdasarkan kombinasi untuk respon optimal.
- b. Membandingkan rata-rata hasil eksperimen konfirmasi dengan rata-rata hasil prediksi.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil apabila:

- a. Rata-rata hasil percobaan hasil konfirmasi mendekati rata-rata hasil prediksi.
- b. Interval keyakinan dari rata-rata respon percobaan konfirmasi berhimpit atau beririsan dengan interval keyakinan  $(1-\alpha)$  100% dari rata-rata respon hasil optimal.

#### 2.7.5. Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah suatu data berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas yang penulis gunakan pada penelitian ini menggunakan *Kolmogorov Smirnov* (Soejanto, 2009).

- Hipotesis uji kenormalan data adalah

$H_0$ : data berdistribusi normal (maka Terima  $H_0$ )

$H_1$ : data tidak berdistribusi normal (maka Tolak  $H_0$ )

- Kriteria penolakan adalah :

Tolak  $H_0$ :  $p\text{-value} > \alpha$  dan  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

Terima  $H_0$ :  $p\text{-value} < \alpha$  dan  $\alpha = 5\% = 0,05$

#### 2.7.6. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah kelompok dalam populasi yang sama atau tidak. Jika kelompok dalam populasi tersebut mempunyai

variansi yang sama maka kelompok tersebut dikategorikan homogen (Soejanto, 2009).

- Hipotesis uji dua variansi adalah:

$H_0 : \sigma^2 = \sigma^2_{\frac{2}{2}}$  maka Tolak  $H_0$  (Homogen)

$H_1 : \sigma^2 \neq \sigma^2_{\frac{2}{2}}$  maka Terima  $H_0$  (Tidak homogen)

- Kriteria penolakan adalah :

Tolak  $H_0 : p\text{-value} > \alpha$  dan  $\alpha = 5 \% = 0,05$ .

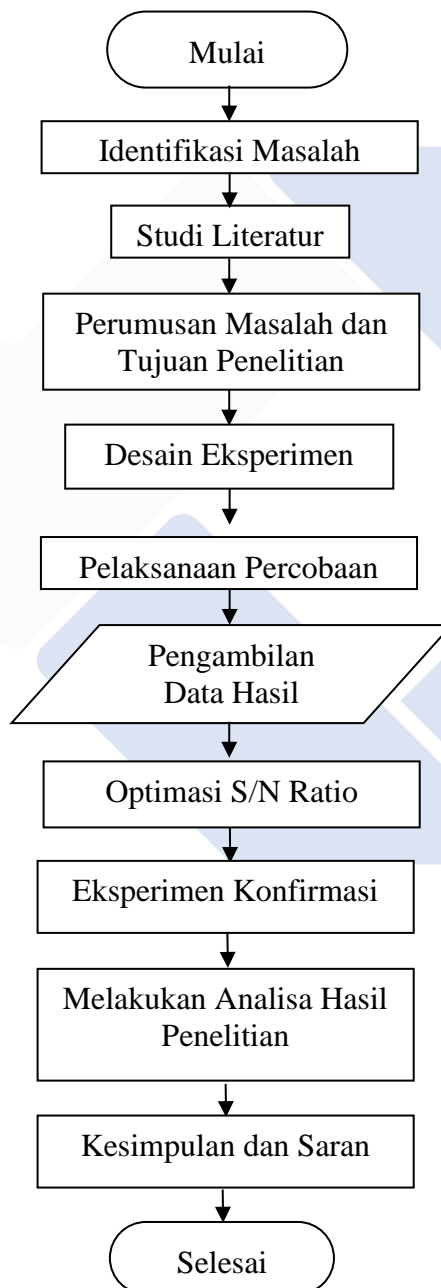
Terima  $H_0 : p\text{-value} < \alpha$  dan  $\alpha = 5 \% = 0,05$



### BAB 3

#### METODE PELAKSANAAN

Tahapan penelitian yang dilakukan mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir tahap penelitian

### **3.1 Identifikasi Masalah**

Identifikasi masalah adalah suatu proses yang paling penting dalam melakukan sebuah penelitian selain dari latar belakang dan juga perumusan masalah yang ada. Dari sanalah peneliti dapat mengambil langkah untuk mengetahui lebih lanjut, bisa dengan melakukan observasi dan membaca literatur.

### **3.2 Studi Literatur**

Studi literatur adalah serangkaian kegiatan penelitian yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian.

### **3.3 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian**

Rumusan masalah adalah sebuah proposal penelitian paling mendasar yang menjadi penentu mengenai apa bahasan yang akan kemudian dilakukan di dalam penelitian tersebut dan Tujuan Penelitian adalah Proses penyelesaian di dalam rumusan masalah berhubungan erat dengan keapikan yang terdapat di dalam sebuah proposal penelitian.

### **3.4 Desain Eksperimen**

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari hasil eksperimen. Variabel yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

#### **3.4.1 Variabel Proses**

Variabel bebas atau disebut juga dengan faktor kendali adalah faktor yang dapat dikendalikan yang nilainya dapat ditentukan berdasarkan tujuan penelitian yang dilakukan dan pertimbangan lainnya. Faktor kontrol yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a) Putaran *spindle* ( put/menit)

Putaran *spindle* yang dipakai pada penelitian ini yaitu besarnya antara 210 put/menit, 420 put/menit, dan 640 put/menit. Penelitian ini dilakukan pada mesin *CNC SL- 25 B/500*.

b) Kedalaman pemakanan (a, mm)

Kedalaman pemakanan yang dipakai pada penelitian ini yaitu antara range 1 mm, 1,5 mm, dan 2 mm, dengan dua tingkatan proses yaitu *Facing* benda kerja dan proses *Medium Roughing*.

c) Gerak makan (f, mm/rev)

Gerak makan yang digunakan pada penelitian ini yaitu besarnya antara 0,02mm/rev, dan 0,05 mm/rev.

### 3.4.2. Variabel Respon

Variabel respons adalah variabel yang nilainya tidak dapat ditentukan, yang nilainya dipengaruhi oleh proses yang dilakukan, dan yang hasilnya diketahui setelah percobaan. Variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah kekasaran permukaan ( $R_a$ ,  $\mu\text{m}$ ).

### 3.4.3. Variabel Konstan

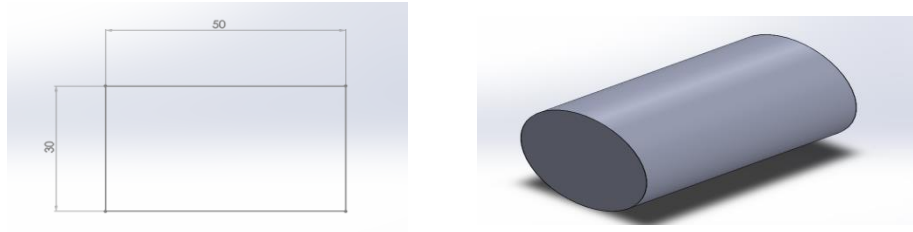
Variabel konstan adalah faktor-faktor yang belum diselidiki dalam penelitian, dan nilai-nilai faktor ini dijaga konstan agar tidak berubah selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian secara signifikan. Faktor-faktor konstan dalam penelitian ini adalah *G Code G97* dan Media pendingin *Dromus B* tidak berubah-ubah.

### 3.4.4. Bahan dan Peralatan Penelitian

Sebelum melakukan dilakukan persiapan-persiapan terhadap benda kerja, pahat, mesin *CNC*, peralatan pengukuran dan alat bantu yang akan digunakan sebagai berikut:

- **Bahan benda kerja**

Material yang digunakan adalah baja SKD-11 dengan dimensi diameter 30mm, dengan panjang 50 mm. Bentuk dan dimensi benda kerja ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Bentuk benda kerja dengan ukuran Ø30, dan panjang 50 mm

- **Pahat**

Pahat yang digunakan untuk mengerjakan penelitian adalah pahat keramik CNGA 120408. Terlihat seperti Gambar 3.3. sedangkan untuk spesifikasi pahat dapat dilihat di Lampiran 9.

$$V_c = 20-60 \text{ mm/min}$$

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot D}$$

$$= \frac{20 \times 1000}{\frac{22}{7} \times 30} = 210 \text{ mm/menit}$$

→ *Minimum*

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot D}$$

$$= \frac{40 \times 1000}{\frac{22}{7} \times 30} = 420 \text{ mm/menit}$$

→ *Middle*

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot D}$$

$$= \frac{60 \times 1000}{\frac{22}{7} \times 30} = 640 \text{ mm/menit}$$

→ *Maksimum*



Gambar 3. 3 Pahat keramik CNGA120408

### 3.4.5. Mesin *CNC Turning*

Mesin bubut yang digunakan pada proses pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja adalah mesin bubut *CNC SL-25 B/500* yang ada dibengkel Mekanik Polman Babel dan spesifikasi mesin bubut *CNC* pada Lampiran 7, dapat dilihat berikut ini Gambar 3.4



Gambar 3. 4 Mesin *CNC SL-25 B/500*

### 3.4.6. Peralatan Ukur

- *Surface Roughness Tester*

*Surface roughness tester* digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan dari suatu proses permesinan. *Surface tester* yang digunakan yaitu *Surface roughness tester* dengan kecermatan  $0,001 \mu\text{m}$  dilihat pada Gambar 3.5, sedangkan untuk spesifikasi alat ukur dapat dilihat di Lampiran 10.



Gambar 3. 5 *Surface roughness tester*

### 3.4.7. Peralatan Bantu

- **Jangka sorong**

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi benda kerja sebelum dan sesudah proses pembubutan *CNC*. Jangka sorong yang digunakan pada penelitian ini dengan ketelitian 0,05 mm. dapat ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3. 6 Jangka sorong, kecermatan 0,05 mm

- **Meja rata**

Meja rata digunakan untuk meletakkan spesimen uji pada saat pengukuran kekasaran permukaan benda kerja.

- ***V-block***

*V-block* digunakan untuk meletakkan benda kerja pada saat proses pengujian kekasaran permukaan.



### 3.4.8. Rancangan Eksperimen

#### 1. Setting Variabel Pada Mesin CNC

Penelitian ini diawali dengan pemilihan matriks yang tergantung dari banyaknya variabel Proses dan level dari masing-masing variabel tersebut.

Terlihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3. 1 Variabel proses dan pengaturan *level*

No	Variable Proses	Level		
		1	2	3
1	Putaran <i>spindle</i> (put/min)	210	420	640
2	Kedalaman pemakanan (mm)	1	1,5	2
3	Gerak makan (mm/rev)	0,02	0,05	

Sumber : Hasil Penentuan

#### 2. Pemilihan *Matriks Orthogonal*

Derajat kebebasan pada *matriks orthogonal* harus bernilai sama atau lebih besar dari pada total derajat kebebasan faktor dan *level* yang telah ditetapkan. Berdasarkan banyaknya variabel bebas dan jumlah *level*, maka dilakukan perhitungan derajat kebebasan untuk menentukan *matriks orthogonal* yang digunakan. Derajat kebebasan faktor dan level disajikan pada Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3. 2 Total derajat kebebasan parameter dan level

No	Faktor	Jumlah Level	UfI(K-1)
1	Putaran <i>Spindle</i> (put/min)	3	2
2	Kedalaman Pemakanan (mm)	3	2
3	Gerak makan (mm/rev)	2	1
Total Derajat Kebebasan			5

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3.2 menunjukkan bahwa total *degree of freedom* dari variabel proses dan level gabungan yang digunakan adalah 5. Oleh karena itu, matriks ortogonal yang memenuhi persyaratan yang digunakan sebagai desain eksperimen adalah  $L_{18}$ . Rancangan percobaan matriks ortogonal  $L_{18}$  memiliki 3 kolom dan 18 baris. Desain ini dapat digunakan untuk tiga variabel bebas.

Matriks yang digunakan dalam penelitian ini adalah matriks *orthogonal* yaitu  $L_{18}(2^1 \times 3^2)$ . Eksperimen dilakukan secara acak dengan kombinasi variable proses mengacu pada rancangan percobaan yang sesuai dengan *matriks orthogonal*. Pengacakan ini dilakukan dengan menggunakan *randomizer numerik* dengan perangkat lunak statistik. Setiap kombinasi variabel proses diduplikasi sebanyak dua kali untuk mengatasi variabel *noise* yang terjadi selama proses pemotongan berlangsung. Tabel 3.3 menunjukkan susunan data ketika data eksperimen dikumpulkan dengan menggabungkan setting variabel sebagai berikut:

Tabel 3.3 Rancangan eksperimen *matriks orthogonal*  $L_{18}(2^1 \times 3^2)$

No	Faktor			Respon
	Putaran Spindle (put/min)	Kedalaman Pemakanan (mm)	Gerak Makan (mm/put)	Kekasaran Permukaan ( $\mu\text{m}$ )
1.	210	1	0,02	Y112
2.	210	1,5	0,05	Y122
3.	210	2	0,02	Y132
4.	420	1	0,02	Y112
5.	420	1,5	0,05	Y222
6.	420	2	0,02	Y232
7.	640	1	0,02	Y212
8.	640	1,5	0,05	Y222
9.	640	2	0,02	Y332
10.	210	1	0,05	Y312
11.	210	1,5	0,02	Y322
12.	210	2	0,05	Y332
13.	420	1	0,05	Y412
14.	420	1,5	0,02	Y422
15.	420	2	0,05	Y432
16.	640	1	0,05	Y412
17.	640	1,5	0,02	Y522
18.	640	2	0,05	Y532

Sumber : Hasil Penentuan

### 3.5 Pelaksanaan Percobaan

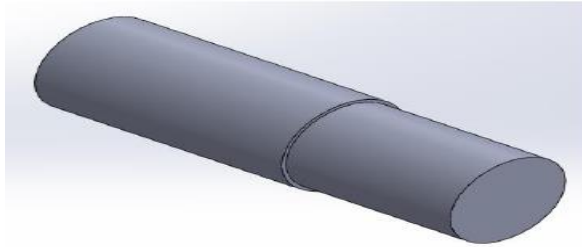
Langkah-langkah percobaan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan program *CNC*.
2. Penyiapan benda kerja, meliputi penyesuaian dimensi dan memastikan bahan tersebut bahan SKD-11.
3. Persiapan *Tool* yang akan dipakai adalah pahat keramik CNGA120408.
4. Pemasangan *Insert* pada Holder mesin *CNC* SL-25B/500
5. Pasang pahat pada rumah pahat mesin bubut *CNC* SL-25B/500.
6. Membuat program *CNC* sesuai benda kerja yang akan dikerjakan dengan ketentuan yang sudah divariasikan.
7. Pemasangan benda kerja dan pemrograman benda kerja sesuai setting parameter.
8. Penyetingan mesin *CNC* SL-25B/500.
9. Memasukkan program yang sudah dibuat sebelumnya pada mesin bubut *CNC* SL-25B/500.
10. Penyalaaan mesin *CNC* SL-25B/500 dan penyetingan variabel-variabel proses kemudian masukkan nilai variabel proses pada program mesin *CNC* untuk penyayatan benda kerja sesuai parameter.
11. Proses pembubutan benda kerja sesuai nilai variabel proses pada program untuk penyayatan benda kerja sesuai parameter.
12. Matikan mesin bubut *CNC*.
13. Lepaskan benda kerja pada cekam mesin bubut *CNC*.
14. Pengujian kekasaran permukaan benda dengan alat uji *surface roughness tester* kerja hasil dari proses bubut *CNC*.
15. Menganalisis hasil pengujian kekasaran pengukuran dengan *metode taguchi*.

### 3.6 Pengambilan Data Hasil

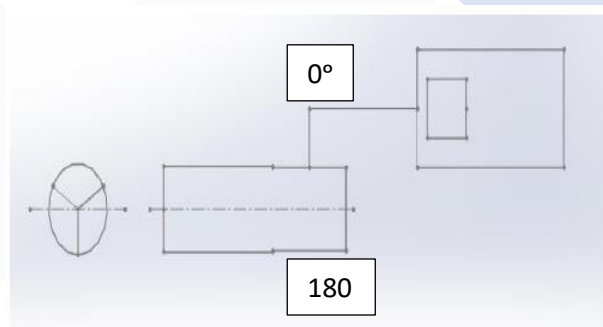
Langkah-langkah dari pengukuran dan pengambilan data kekasaran permukaan pada baja SKD-11 dengan menggunakan *Surface Roughness Tester* adalah sebagai berikut:

- a. Benda kerja yang akan diuji dengan *surface roughness tester* ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Benda kerja hasil CNC SL-25 B/500

- b. Proses skema pengukuran benda kerja dengan *surface roughness tester* dngan sudut  $0^\circ$  an  $180^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Skema proses pengukuran kekasaran permukaan benda kerja

- c. Pengkalibrasian alat uji *surface roughness tester*, ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Pengkalibrasian alat uji *surface roughness tester*

- d. Benda kerja hasil pemesinan CNC SL-25B/500 diletakkan pada *V-block* dan meja rata, dimana *Surface Roughness Tester* juga diletakkan pada meja perata atur ketinggian alat uji dengan benda kerja.

- e. Proses pengukuran, Ujung sensor dari *Surface Roughness Tester* disentuhkan pada permukaan benda kerja hasil proses *CNC SL-25B/500*.
- f. *Surface Roughness Tester* diaktifkan untuk melakukan proses pengukuran kekasaran permukaan benda kerja.
- g. Nilai kekasaran permukaan dapat dilihat pada layar display *Surface Roughness Tester*.
- h. Spesimen uji dibebaskan dari ujung sensor *Surface Roughness Tester* setelah selesai pengukuran dan pengambilan data.

### **3.7 Optimasi S/N Ratio**

Pada tahap ini adalah mencari hasil rata-rata dari hasil pengukuran benda kerja. Tujuan dilakukan perhitungan rata-rata untuk mengetahui nilai rata-rata yang paling minimum dari hasil percobaan. Untuk rumus yang digunakan yaitu Rumus (2.1).

#### **3.7.1. Menghitung S/N Ratio**

*Smaller is Better*

S/N rasio yang digunakan pada penelitian ini adalah *Smaller is Better*, tujuannya dilakukannya perhitungan S/N rasio untuk mengetahui nilai S/N rasio yang mempengaruhi kekasaran permukaan. Untuk rumus yang digunakan yaitu Rumus (2.5).

### **3.8. Eksperimen Konfirmasi**

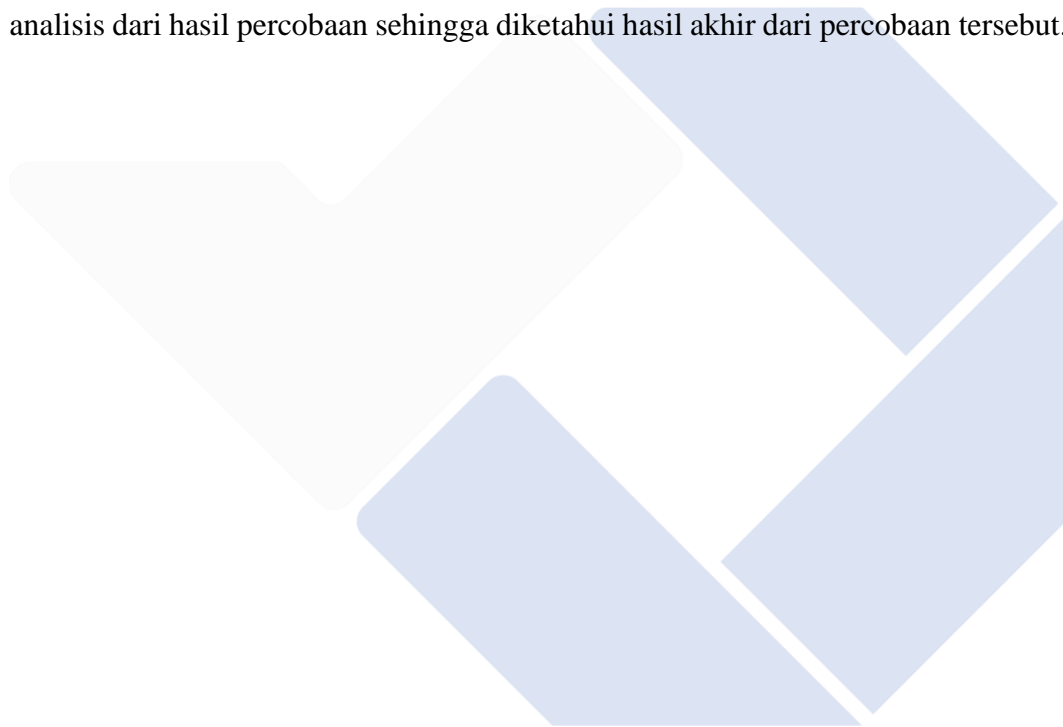
Eksperimen konfirmasi untuk memvalidasi hasil yang telah diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan interval keyakinan rata-rata kekasaran eksperimen konfirmasi. Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan kombinasi *setting* variabel yang diperoleh dari hasil optimasi. Dalam melakukan pengambilan data eksperimen konfirmasi benda kerja membutuhkan minimal 5 benda kerja untuk dilakukannya proses pengambilan data tersebut.

### **3.9 Melakukan Analisa Hasil Penelitian**

Analisa pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Metode Taguchi*, dimana akan dilakukan pengumpulan data dan perhitungan, serta pengujian data dengan statistik antara lain analisis varians, test hipotesa, serta penerapan rumus-rumus pada data hasil percobaan. Tujuannya untuk mengetahui parameter proses paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

### **3.10 Kesimpulan dan Saran**

Pada tahap ini adalah tahap terakhir dari penelitian dimana penulis melakukan analisis dari hasil percobaan sehingga diketahui hasil akhir dari percobaan tersebut.



## BAB 4

### PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan data penelitian dilakukan dengan cara mengkombinasikan dengan variabel-variabel proses yang terdapat pada mesin *CNC Turning SL-25 B/500*. Adapun variabel-variabel proses yang diduga berpengaruh terhadap respon kekasaran permukaan adalah putaran *spindle* (A), kedalaman pemakanan (B), gerak makan (C). pelaksanaan pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Pengambilan data kekasaran permukaan

Adapun langkah-langkah pengambilan data eksperimen :

1. Pembuatan data program *CNC* menggunakan aplikasi *swansoft* dengan variable konstan *G Code G97*. Rincian pembuatan data program *CNC* dapat dilihat pada Lampiran 11.
2. Melakukan setting mesin dan memasukkan program yaitu melakukan pengecekan pada *chuck*. Kemudian memasang benda kerja material SKD-11 dan memasang *insert* bubut *CNC* dengan jenis keramik. Selanjutnya memasukkan data program pada mesin *CNC*. Rincian setting mesin dapat dilihat pada Lampiran 12.
3. Proses *machining*.
4. Pengukuran dan Pengambilan data kekasaran benda kerja. Pengukuran dan Pengambilan data kekasaran benda kerja dilakukan setelah proses

pembubutan, pengukuran dan pengambilan data kekasaran dengan menggunakan alat ukur *surface roughness tester* , setiap benda kerja masing-masing dilakukan 1 kali replikasi, 2 titik sudut dan 3 kali pengulangan saat mengukur. Sebelum menggunakan alat *surface roughness*, alat tersebut harus melakukan kalibrasi terlebih dahulu. Selanjutnya data kekasaran benda kerja dirata-ratakan.

Berikut data hasil pengukuran uji kekasaran awal ditunjukkan pada Tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4. 1 Data hasil pengukuran uji kekasaran awal

No	Posisi						Rata-rata
	0°			180°			
	1	2	3	1	2	3	
1	4,47	4,812	4,494	4,439	4,375	4,945	4,589
2	4,367	4,184	4,121	4,138	3,934	3,958	4,117
3	4,221	4,182	4,202	4,326	4,332	4,331	4,265
4	3,097	3,08	3,114	2,91	2,845	2,81	2,976
5	2,99	3,09	2,906	2,272	2,203	2,237	2,616
6	2,35	2,384	2,203	2,402	2,382	2,379	2,35
7	1,878	1,867	1,87	1,44	1,433	1,43	1,653
8	1,353	1,576	1,532	1,537	1,427	1,421	1,474
9	1,164	1,156	1,138	1,805	1,834	1,778	1,479
10	2,922	2,92	3,027	3,17	3,098	3,139	3,046
11	3,869	3,887	3,779	4,061	4,016	4,017	3,938
12	3,482	3,322	3,394	3,579	3,739	3,754	3,545
13	1,586	1,441	1,699	1,474	1,223	1,136	1,426
14	1,914	1,903	1,989	1,981	1,988	2,097	1,978
15	2,129	1,936	2,005	1,896	1,959	1,932	1,976
16	1,614	1,601	1,605	1,103	0,978	0,958	1,309
17	1,916	2,014	2,117	1,592	1,623	1,625	1,814
18	2,526	2,316	2,336	2,417	2,404	2,374	2,395

Sumber : Hasil perhitungan dan pengukuran



Tabel 4. 2 Data hasil pengukuran uji kekasaran awal replikasi

No	Posisi						Rata-rata
	0°			180°			
	1	2	3	1	2	3	
1	4,138	4,014	4,137	4,127	3,789	4,175	4,063
2	4,011	3,94	3,721	3,922	3,911	3,78	3,88
3	3,995	4,061	3,778	3,981	4,134	3,895	3,974
4	3,143	3,214	3,126	2,911	3,121	3,033	3,091
5	2,858	2,977	2,816	2,833	3,007	2,934	2,904
6	2,621	2,48	2,361	2,677	2,384	2,293	2,469
7	1,721	1,623	1,701	1,743	1,711	1,798	1,716
8	1,637	1,735	1,626	1,659	1,752	1,701	1,685
9	1,303	1,175	1,39	1,324	1,247	1,218	1,276
10	3,171	2,922	2,883	3,008	2,91	2,991	2,98
11	3,685	3,796	3,404	3,598	3,623	3,557	3,61
12	3,582	3,477	3,298	3,567	3,61	3,299	3,472
13	1,87	1,713	1,698	1,786	1,584	1,899	1,758
14	1,989	2,197	1,978	1,99	1,989	2,38	2,087
15	1,924	1,996	2,053	1,897	2,087	1,972	1,988
16	1,402	1,331	1,413	1,517	1,451	1,383	1,416
17	1,952	1,725	1,833	1,901	1,811	1,702	1,82
18	2,227	1,989	2,487	2,128	2,217	2,26	2,218

Sumber : Hasil perhitungan dan pengukuran

#### 4.1.1. Perhitungan Mean Terhadap Respon

Perhitungan respon dari mean pada parameter pemesinan yang digunakan dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

Mengolah data Kekasaran dilakukan dengan cara perhitungan menggunakan Rumus 2.1

$$\bar{A}_{eks} = \frac{4,589+4,063}{2} = 4,326$$

Dari persamaan diatas didapatkan nilai rata-rata yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4. 3 Data hasil perhitungan pengukuran kekasaran

Eksperimen	Matriks <i>Orthogonal</i> $L_{18}(2^1 \times 3^2)$					Jumlah	Mean
	Faktor			Awal	Replikasi		
	A	B	C	1	1		
1	210	1	0,02	4,589	4,063	8,652	4,326
2	210	1,5	0,05	4,117	3,880	7,997	3,998
3	210	2	0,02	4,265	3,974	8,239	4,119
4	420	1	0,02	2,976	3,091	6,067	3,033
5	420	1,5	0,05	2,616	2,904	5,52	2,76
6	420	2	0,02	2,35	2,469	4,819	2,409
7	640	1	0,02	1,653	1,716	3,369	1,684
8	640	1,5	0,05	1,474	1,685	3,159	1,579
9	640	2	0,02	1,479	1,276	2,755	1,377
10	210	1	0,05	3,046	2,98	6,026	3,013
11	210	1,5	0,02	3,938	3,610	7,548	3,774
12	210	2	0,05	3,545	3,472	7,017	3,508
13	420	1	0,05	1,426	1,758	3,184	1,592
14	420	1,5	0,02	1,978	2,087	4,065	2,032
15	420	2	0,05	1,976	1,988	3,964	1,982
16	640	1	0,05	1,309	1,416	2,725	1,362
17	640	1,5	0,02	1,814	1,820	3,634	1,817
18	640	2	0,05	2,395	2,218	4,613	2,306
<b>Mean</b>						5,186	2,593

Sumber : Hasil perhitungan dan pengukuran

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kondisi pemotongan kekasaran sedang (*medium roughing*). Hasil percobaan awal tersebut menunjukkan bahwa rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* kombinasi awal pada percobaan kombinasi ke-16 adalah sebesar 1,362  $\mu\text{m}$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil percobaan ini memberikan nilai kekasaran permukaan yang berada pada *range* kondisi pemotongan kekasaran sedang (*medium roughing*).

Pengaruh *level* dari faktor terhadap rata-rata kekasaran permukaan benda kerja. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk rata-rata respon setiap faktor, yaitu:

Perhitungan rata-rata faktor A untuk Putaran *Spindle* :

$$A1 = 1/6 (4,326 + 3,998 + 4,119 + 3,013 + 3,774 + 3,508) = 3,790$$

$$A2 = 1/6 (3,033 + 2,760 + 2,409 + 1,592 + 2,032 + 1,982) = 2,301$$

$$A3 = 1/6 (1,684 + 1,579 + 1,377 + 1,362 + 1,817 + 2,306) = 1,687$$

Perhitungan rata-rata faktor B untuk Kedalaman Pemakanan :

$$B1 = 1/6 (4,326 + 3,033 + 1,684 + 3,013 + 1,592 + 1,362) = 2,501$$

$$B2 = 1/6 (3,998 + 2,760 + 1,579 + 3,774 + 2,032 + 1,817) = 2,660$$

$$B3 = 1/6 (4,119 + 2,409 + 1,377 + 3,508 + 1,982 + 2,306) = 2,617$$

Perhitungan rata-rata faktor C untuk Gerak Makan :

$$C1 = 1/9 (4,326 + 4,119 + 3,033 + 2,409 + 1,684 + 1,377 + 3,774 + 2,032 + 1,817) = 2,730$$

$$C2 = 1/9 (3,013 + 3,508 + 1,592 + 1,982 + 1,362 + 2,306 + 3,998 + 2,760 + 1,579) = 2,455$$

#### 4.1.2. Penentuan Kombinasi Variabel Untuk Respon Optimal

Untuk ketiga faktor utama yang diamati yaitu putaran *spindle*, kedalaman pemakanan, dan gerak makan, adapun faktornya dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini:

Tabel 4. 4 Respon rata-rata hasil pengukuran kekasaran permukaan dari pengaruh faktor

Simbol variabel	Variabel respon	Level 1	Level 2	Level 3
A	Putaran <i>Spindle</i>	3,790	2,301	1,687
B	Kedalaman Pemakanan	2,501	2,660	2,617
C	Gerak Makan	2,730	2,455	

Total nilai rata-rata kekasaran permukaan = 2,593

Berdasarkan nilai rata-rata kekasaran permukaan pada masing-masing *level* variabel proses, maka dapat ditentukan nilai *level* untuk kombinasi variabel-variabel.

Proses yang menghasilkan respon optimal. Kombinasi variabel-variabel proses untuk respon optimal ditunjukkan pada Tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4. 5 Kombinasi variabel proses untuk respon optimal

	Variabel proses	Tingkat <i>level</i>	Nilai <i>level</i>
A	Putaran <i>Spindle</i>	3	640 rpm
B	Kedalaman Pemakanan	1	1 mm/put
C	Gerak Makan	2	0,05 mm

#### 4.2 Analisis Variansi Dan Persen Kontribusi

Analisis varians (ANOVA) digunakan untuk menentukan variabel proses yang berkontribusi dalam mengurangi variasi respons kekasaran permukaan benda kerja. Pada penelitian ini dilakukan ANOVA terhadap kekasaran yang merupakan respon yang mewakili respon secara keseluruhan.

#### 4.3 Analisis Variansi Rata-Rata Kekasaran Permukaan

Dengan melakukan analisis dua arah dari model varians yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, kuadrat rata-rata, F-rasio seperti perhitungan (2.8)

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

Untuk perhitungan jumlah kuadrat menggunakan Rumus 2.9

$$SS_A = \frac{22,738^2}{6} + \frac{13,808^2}{6} + \frac{10,125^2}{6} - \frac{46,671^2}{18}$$

$$SS_A = 14,022$$

Untuk perhitungan derajat kebebasan menggunakan Rumus 2.10

Derajat kebebasan:

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Untuk perhitungan rata-rata kuadrat menggunakan Rumus 2.11

Rata-rata kuadrat (*Mean square*):

$$MS_A = \frac{14,022}{2} = 7,011$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat total menggunakan Rumus 2.12

Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned}SS_T &= (4,326)^2 + (3,998)^2 + (4,119)^2 + \dots + (2,306)^2 \\ &= 138,230\end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat karena rata-rata menggunakan Rumus 2.13

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

$$\begin{aligned}SS_m &= 18 \times (2,593)^2 \\ &= 121,014\end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

Jumlah kuadrat *error*:

$$\begin{aligned}SS_{Faktor} &= 14,022 + 0,080 + 0,339 \\ &= 14,441\end{aligned}$$

Untuk perhitungan rata-rata kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

*Residual error*:

$$\begin{aligned}SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{Faktor} \\ &= 138,230 - 121,014 - 14,441 \\ &= 2,775\end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai f rasio menggunakan Rumus 2.16

$$\begin{aligned}F \text{ rasio} &= \frac{SS_A}{SS_e} \\ &= \frac{14,441}{2,775} = 5,203\end{aligned}$$

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

Untuk perhitungan jumlah kuadrat menggunakan Rumus 2.9

$$\begin{aligned}SS_B &= \frac{15,01^2}{6} + \frac{15,96^2}{6} + \frac{15,701^2}{6} - \frac{46,671^2}{18} \\ SS_B &= 0,080\end{aligned}$$

Untuk perhitungan derajat kebebasan menggunakan Rumus 2.10

Derajat kebebasan:

$$V_B = 3 - 1 = 2$$

Untuk perhitungan rata-rata kuadrat menggunakan Rumus 2.11

Rata-rata kuadrat (*Mean square*):

$$MS_B = \frac{0,080}{2} = 0,040$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat total menggunakan Rumus 2.12

Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned} SS_T &= (4,326)^2 + (3,998)^2 + (4,119)^2 + \dots + (2,306)^2 \\ &= 138,230 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat karena rata-rata menggunakan Rumus 2.13

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

$$\begin{aligned} SS_m &= 18 \times (2,593)^2 \\ &= 121,014 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

Jumlah kuadrat *error*:

$$\begin{aligned} SS_{Faktor} &= 14,022 + 0,080 + 0,339 \\ &= 14,441 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

*Residual error*:

$$\begin{aligned} SSe &= 138,230 - 121,014 - 14,441 \\ &= 2,775 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai f rasio menggunakan Rumus 2.16

$$F \text{ rasio} = \frac{0,080}{2,775} = 0,0288$$

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

Untuk perhitungan jumlah kuadrat menggunakan Rumus 2.9

$$SS_C = \frac{24,571^2}{9} + \frac{22,1^2}{9} - \frac{46,671^2}{18}$$

$$SS_C = 0,339$$

Untuk perhitungan derajat kebebasan menggunakan Rumus 2.10

Derajat kebebasan:

$$V_C = 2 - 1 = 1$$

Untuk perhitungan rata-rata kuadrat menggunakan Rumus 2.11

Rata-rata kuadrat (*Mean square*):

$$MS_C = \frac{0,339}{1} = 0,339$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat total menggunakan Rumus 2.12

Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned} SS_T &= (4,326)^2 + (3,998)^2 + (4,119)^2 + \dots + (2,306)^2 \\ &= 138,230 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat karena rata-rata menggunakan Rumus 2.13

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

$$\begin{aligned} SS_m &= 18 \times (2,593)^2 \\ &= 121,014 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

Jumlah kuadrat *error*:

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= 14,022 + 0,080 + 0,339 \\ &= 14,441 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

*Residual error:*

$$\begin{aligned}SS_e &= 138,230 - 121,014 - 14,441 \\ &= 2,775\end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai f rasio menggunakan Rumus 2.16

$$F \text{ rasio} = \frac{0,339}{2,775} = 0,122$$

Untuk perhitungan rata-rata kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.15

*Residual error:*

$$MS \text{ Residual error } (MS_e) = \frac{2,775}{2} = 0,387$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat total menggunakan Rumus 2.12

$$\begin{aligned}SS_{\text{Total}} &= 14,022 + 0,080 + 0,339 + 2,775 \\ &= 17,216\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan analisis variansi terhadap rata-rata kekasaran diatas dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Analisis variansi rata-rata kekasaran permukaan

Sumber	V	SS	MS	F-rasio
A	2	14,022	7,011	5,203
B	2	0,080	0,040	0,0288
C	1	0,339	0,339	0,122
<i>Error</i>	12	2,775	0,387	-
Total	17	17,216	-	-

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dihitung SS' seperti terdapat pada Rumus 2.17

$$\begin{aligned}SS'_A &= 14,022 - 0,387 (2) \\ &= 13,635\end{aligned}$$

$$SS'_B = 0,080 - 0,387 (2)$$



$$= -0,307$$

$$\begin{aligned} SS'_c &= 0,339 - 0,387 \text{ (1)} \\ &= -0,048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_e &= 17,216 - 13,635 - (-0,307) - (-0,048) \\ &= 3,936 \end{aligned}$$

Lalu persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus 2.18

$$\rho^A = \frac{13,635}{17,216} \times 100\% = 79,199\%$$

$$\rho^B = \frac{-0,307}{17,216} \times 100\% = -1,78\%$$

$$\rho^C = \frac{-0,048}{17,216} \times 100\% = -0,27\%$$

$$\rho^e = \frac{3,936}{17,216} \times 100\% = 22,86\%$$

Hasil perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata diperlihatkan pada Tabel 4.7 dibawah ini :

Tabel 4. 7 Persen kontribusi

Sumber	V	SS	MS	SS'	P(%)
A	2	14,022	7,011	13,635	79,19%
B	2	0,080	0,040	-0,307	-1,78%
C	1	0,339	0,339	-0,048	-0,27%
Error	12	2,775	0,387	3,936	22,86%
Total	17	17,216	-	-	100%

Dari tabel hasil data perhitungan faktor kontribusi di atas menunjukkan pengaruh faktor A (putaran *spindle*) memberikan kontribusi yang paling besar terhadap kekasaran permukaan jika dibandingkan dengan faktor lain, yaitu 79,199%.

#### 4.4 Hasil Prediksi Nilai Kekasaran Permukaan Dan Interval Keyakinan

Dengan kombinasi variabel pada respon yang optimal seperti terdapat pada Tabel 4.2 dapat ditentukan prediksi dari nilai kekasaran permukaan yang optimal. Perhitungan prediksi nilai kekasaran permukaan yang optimal didasarkan pada rata-rata kekasaran setiap *level* variabel yang terdapat pada Tabel 4.3. Nilai prediksi kekasaran dihitung menggunakan rumus 2.19 berikut:

$$\hat{n} = 2,593 + (1,687 - 2,593) + (2,501 - 2,593) + (2,455 - 2,593)$$

$$\hat{n} = 1,457$$

Jadi dengan nilai kekasaran permukaan hasil prediksi untuk kombinasi variabel yang menghasilkan respon optimal adalah 1,457. Penerima interval kepercayaan rata-rata untuk kekasaran permukaan yang diprediksi awalnya digunakan untuk menghitung jumlah pengamatan yang valid. Pengamatan yang valid dihitung dengan menggunakan rumus 2.20 berikut:

$$n_{\text{eff}} = \frac{18 \times 2}{1 + (2 + 2 + 1)} = \frac{36}{6}$$

$$n_{\text{eff}} = 6$$

$$\text{Nilai } F_{(0,05;2;12)} = 3,89 \text{ dan } MS_E = 0,387$$

Perhitungan interval keyakinan rata-rata kekasaran benda kerja hasil optimasi dengan menggunakan persamaan Rumus 2.21 sebagai berikut :

$$CI_{\text{optimasi}} : \sqrt{\frac{3,89 \times 0,387}{6}}$$

$$CI_{\text{optimasi}} : \pm 0,25$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata hasil optimasi adalah hasil optimasi adalah  $1,457 \pm 0,25$  atau  $1,207 \leq U_{\text{prediksi}} \leq 1,707$

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

Rasio *signal-to-noise* dirancang untuk mengubah data menjadi nilai varians yang menyebabkan iterasi data. Nilai rasio *signal-to-noise* tergantung pada sifat

atribut dari setiap respon. Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan variabilitas kekasaran permukaan benda kerja. Kualitas kekasaran benda kerja yang diharapkan adalah nilai yang terkecil.

Kekasaran memiliki karakteristik semakin kecil kekasaran benda kerja maka akan semakin baik. Adapun hasil perhitungan untuk menentukan nilai rasio *signal-to-noise* dapat dilihat pada Rumus 2.5 berikut:

Eksperimen 1

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [4,589^2 + 4,063^2] \right] = -12,737$$

Eksperimen 2

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [4,117^2 + 3,880^2] \right] = -12,041$$

Eksperimen 3

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [4,265^2 + 3,974^2] \right] = -12,302$$

Eksperimen 4

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [2,976^2 + 3,091^2] \right] = -9,640$$

Eksperimen 5

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [2,616^2 + 2,904^2] \right] = -8,829$$

Eksperimen 6

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [2,35^2 + 2,469^2] \right] = -7,641$$

Eksperimen 7

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [1,653^2 + 1,716^2] \right] = -4,531$$

Eksperimen 8

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [1,474^2 + 1,685^2] \right] = -3,989$$

Eksperimen 9

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [1,479^2 + 1,276^2] \right] = -2,805$$

Eksperimen 10

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [3,046^2 + 2,98^2] \right] = -9,580$$

Eksperimen 11

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [3,938^2 + 3,610^2] \right] = -11,544$$

Eksperimen 12

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [3,545^2 + 3,472^2] \right] = -10,902$$

Eksperimen 13

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [1,426^2 + 1,758^2] \right] = -4,085$$

Eksperimen 14

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [1,978^2 + 2,087^2] \right] = -6,163$$

Eksperimen 15

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [1,976^2 + 1,988^2] \right] = -5,942$$

Eksperimen 16

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [1,309^2 + 1,416^2] \right] = -2,693$$

Eksperimen 17

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [1,814^2 + 1,820^2] \right] = -5,187$$

Eksperimen 18

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{2} [2,395^2 + 2,218^2] \right] = -7,265$$

Dari perhitungan Rasio S/N di atas maka untuk hasil respon kekasaran permukaan benda kerja yang memiliki karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik (*smaller the better*) dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Rasio S/N untuk respon

Matriks <i>Orthogonal</i> L <sub>18</sub> (2 <sup>1</sup> x 3 <sup>2</sup> )						
Eksperimen	Faktor			Awal	Replikasi	S/N
	A	B	C	1	1	
1	210	1	0,02	4,589	4,063	-12,737
2	210	1,5	0,05	4,117	3,880	-12,041
3	210	2	0,02	4,265	3,974	-12,302
4	420	1	0,02	2,976	3,091	-9,64
5	420	1,5	0,05	2,616	2,904	-8,829
6	420	2	0,02	2,35	2,469	-7,641
7	640	1	0,02	1,653	1,716	-4,531
8	640	1,5	0,05	1,474	1,685	-3,989
9	640	2	0,02	1,479	1,276	-2,805
10	210	1	0,05	3,046	2,98	-9,58
11	210	1,5	0,02	3,938	3,610	-11,544
12	210	2	0,05	3,545	3,472	-10,902
13	420	1	0,05	1,426	1,758	-4,085
14	420	1,5	0,02	1,978	2,087	-6,163
15	420	2	0,05	1,976	1,988	-5,942
16	640	1	0,05	1,309	1,416	-2,693
17	640	1,5	0,02	1,814	1,820	-5,187
18	640	2	0,05	2,395	2,218	-7,265
<b>Mean</b>						-7,659

#### 4.5.1. Pengaruh *Level* dari Faktor Terhadap Variansi kekasaran

Perhitungan variabilitas nilai rasio S/N kekasaran permukaan benda kerja melalui kombinasi *level* dari masing-masing faktor dapat dilihat di bawah ini dengan Rumus 2.1

$$A1 = 1/6 (-12,737 + -12,041 + -12,302 + -9,58 + -11,544 + -10,902) = -11,517$$

$$A2 = 1/6 (-9,64 + -8,829 + -7,641 + -4,085 + -6,163 + -5,942) = -7,05$$

$$A3 = 1/6 (-4,531 + -3,989 + -2,805 + -2,693 + -5,187 + -7,265) = -4,411$$

$$B1 = 1/6 (-12,737 + -9,64 + -4,279 + -9,58 + -4,085 + -2,693) = -7,169$$

$$B2 = 1/6 (-12,041 + -8,829 + -3,989 + -11,544 + -6,163 + -5,187) = -7,958$$

$$B3 = 1/6 (-12,302 + -7,641 + -2,805 + -10,902 + -5,942 + -7,265) = -7,809$$

$$C1 = 1/9 (-12,737 + -12,302 + -9,64 + -7,641 + -4,531 + -2,805 + -11,544 + -6,163 + -5,187) = -8,061$$

$$C2 = 1/9 (-12,041 + -8,829 + -3,989 + -9,58 + -10,902 + -4,085 + -7,265) = -7,258$$

$$5,942 + -2,693 + -7,265)$$

Untuk ketiga faktor utama yang diamati yaitu kecepatan spindle, gerak makan, kedalaman pemakanan. Pengaruh faktornya dapat dilihat pada Tabel 4.9 :

Tabel 4. 9 Respon rasio S/N kekasaran permukaan dari pengaruh faktor

	A	B	C
Level 1	-11,517	-7,169	-8,061
Level 2	-7,05	-7,958	-7,258
Level 3	-4,411	-7,809	-
Selisih	-7,106	-0,789	-0,803
Rengking	1	3	2

#### 4.5.2. Analisis Variansi Rasio

Sebagaimana faktor yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata kekasaran permukaan, maka untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai rasio S/N juga dapat dilakukan dengan perhitungan model analisis dua arah. Perhitungan analisis variansi yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat dan rata-rata dapat dilihat seperti di bawah ini:

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

Untuk perhitungan jumlah kuadrat menggunakan Rumus 2.9

$$SS_A = \frac{-69,106^2}{6} + \frac{-42,3^2}{6} + \frac{-26,47^2}{6} - \frac{-137,876^2}{18}$$

$$SS_A = 154,832$$

Untuk perhitungan derajat kebebasan menggunakan Rumus 2.10

Derajat kebebasan :

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Untuk perhitungan rata-rata kuadrat menggunakan Rumus 2.11

Rata-rata kuadrat ( *Mean Square* )

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{154,832}{2} = 77,416$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat total menggunakan Rumus 2.12

Jumlah kuadrat total

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum Y^2 \\ &= (12,737^2) + (12,041^2) + (12,032^2) + \dots + (7,265^2) \\ &= 1.252,94 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat karena rata-rata menggunakan Rumus 2.13

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

$$\begin{aligned} SS_m &= n \times \bar{Y}^2 \\ &= 18 \times (7,659)^2 \\ &= 1.055,88 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

Jumlah kuadrat *error* :

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 154,832 + 2,112 + 2,899 \\ &= 159,843 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

*Residual Error*

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 1.252,94 - 1.055,88 - 159,843 \\ &= 37,217 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai f rasio menggunakan Rumus 2.16

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

$$= \frac{154,832}{37,217}$$

$$= 4,160$$

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

Untuk perhitungan jumlah kuadrat menggunakan Rumus 2.9

$$SS_B = \frac{-43,014^2}{6} + \frac{-47,753^2}{6} + \frac{-46,857^2}{6} - \frac{-137,624^2}{18}$$

$$SS_B = 2,112$$

Untuk perhitungan derajat kebebasan menggunakan Rumus 2.10

Derajat kebebasan :

$$V_B = 3 - 1 = 2$$

Untuk perhitungan rata-rata kuadrat menggunakan Rumus 2.11

Rata-rata kuadrat ( *Mean Square* )

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B} = \frac{2,112}{2} = 1,056$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat total menggunakan Rumus 2.12

Jumlah kuadrat total

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$= (12,737^2) + (12,041^2) + (12,032^2) + \dots + (7,265^2)$$

$$= 1.252,94$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat karena rata-rata menggunakan Rumus 2.13

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

$$SS_m = n \times \bar{Y}^2$$

$$= 18 \times (7,659)^2$$

$$= 1.055,88$$



Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

Jumlah kuadrat *error* :

$$\begin{aligned}SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 154,832 + 2,112 + 2,899 \\ &= 159,843\end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

*Residual Error*

$$\begin{aligned}SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 1.252,94 - 1.055,88 - 159,843 \\ &= 37,217\end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai f rasio menggunakan Rumus 2.16

$$\begin{aligned}F \text{ rasio} &= \frac{SS_B}{SS_e} \\ &= \frac{2,112}{37,217} \\ &= 0,056\end{aligned}$$

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

Untuk perhitungan jumlah kuadrat menggunakan Rumus 2.9

$$\begin{aligned}SS_C &= \frac{-72,55^2}{9} + \frac{-65,326^2}{9} - \frac{-137,624^2}{18} \\ SS_C &= 2,899\end{aligned}$$

Untuk perhitungan derajat kebebasan menggunakan Rumus 2.10

Derajat kebebasan :

$$V_C = 2 - 1 = 1$$

Untuk perhitungan rata-rata kuadrat menggunakan Rumus 2.11

Rata-rata kuadrat ( *Mean Square* )

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = \frac{2,899}{1} = 2,899$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat total menggunakan Rumus 2.12

Jumlah kuadrat total

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum Y^2 \\ &= (12,737^2) + (12,041^2) + (12,032^2) + \dots + (7,265^2) \\ &= 1.252,94 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat karena rata-rata menggunakan Rumus 2.13

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

$$\begin{aligned} SS_m &= n \times \bar{Y}^2 \\ &= 18 \times (7,659)^2 \\ &= 1.055,88 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

Jumlah kuadrat *error* :

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 154,832 + 2,112 + 2,899 \\ &= 159,843 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.14

*Residual Error*

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 1.252,94 - 1.055,88 - 159,843 \\ &= 37,217 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan rata-rata kuadrat *error* menggunakan Rumus 2.15

$$MS \text{ Residual Error } (MS_e) = \frac{SS_e}{V_e} = \frac{37,217}{2} = 18,608$$

Untuk perhitungan nilai f rasio menggunakan Rumus 2.16

$$\begin{aligned} \text{F rasio} &= \frac{SS_C}{SS_e} \\ &= \frac{2,899}{37,217} \\ &= 0,077 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah kuadrat total menggunakan Rumus 2.12

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_e \\ &= 154,832 + 2,112 + 2,899 + 37,217 \\ &= 197,06 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan analisis variansi terhadap rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 4.10 di bawah ini:

Tabel 4. 10 Analisis variansi rasio S/N kekasaran permukaan

Sumber	V	SS	MS	F-rasio
A	2	154,832	77,416	4,160
B	2	2,112	1,056	0,056
C	1	2,899	2,899	0,077
<i>Error</i>	12	37,217	18,608	-
Total	17	197,06	-	-

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, hitung terlebih dahulu  $SS'$  terdapat pada Rumus 2.17

$$\begin{aligned} SS'_A &= 154,832 - 18,608 (2) \\ &= 136,224 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_B &= 2,112 - 18,608 (2) \\ &= -16,496 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_C &= 2,899 - 18,608 (1) \\ &= -15,709 \end{aligned}$$

$$SS_e = 197,06 - 136,224 - (-16,496) - (-15,709)$$

$$= 93,041$$

Sedangkan persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus 2.18

$$\rho^A = \frac{136,224}{197,06} \times 100\% = 69,12\%$$

$$\rho^B = \frac{-16,496}{197,06} \times 100\% = -8,37\%$$

$$\rho^C = \frac{-15,709}{197,06} \times 100\% = -7,97\%$$

$$\rho^e = \frac{93,041}{197,06} \times 100\% = 47,21\%$$

Hasil perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.11 di bawah ini:

Tabel 4. 11 Persen kontribusi

Sumber	V	SS	MS	SS'	P(%)
A	2	154,832	77,416	136,224	69,12%
B	2	2,112	1,056	-16,496	-8,37%
C	1	2,899	2,899	-15,709	-7,97%
<i>Error</i>	12	37,217	18,608	93,041	47,21%
Total	17	197,06			100%

Dari tabel perhitungan kontribusi faktor diatas menunjukkan bahwa faktor A (putaran *spindle*) memberikan kontribusi yang paling besar terhadap rasio S/N bila dibandingkan dengan faktor lainnya yaitu 69,12%.

#### 4.5.3. Prediksi Rasio S/N Kekasaran Permukaan Yang Optimal

Telah diketahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap

rasio S/N kekasaran permukaan benda kerja yang optimal:

- Faktor A *level 3* ( Putaran *Spindle* 640 rpm)
- Faktor B *level 1* ( Kedalaman Pemakanan 1 mm)
- Faktor C *level 2* (Gerak Makan 0,05 mm/put)

Sehingga model persamaan rata-rata kekasaran permukaan dengan Rumus

2.22 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Uprediksi} &= \bar{B}_1 + \bar{A}_3 + \bar{C}_2 + 2 \times \bar{Y} \\ &= 7,169 + 4,411 + 7,258 + 2 \times 7,659 \\ &= 34,156 \end{aligned}$$

Sedangkan interval kepercayaan rata-rata kekasaran permukaan benda kerja tingkat kepercayaan 95% dengan Rumus 2.20 sebagai berikut :

Diketahui :  $F(0,05;2;12) = 3,89$  dan  $V_e / MS_e = 18,60$

$$n_{\text{eff}} = \frac{18 \times 2}{1 + (2 + 2 + 1)} = \frac{36}{6}$$

$$n_{\text{eff}} = 6$$

$$\begin{aligned} CI_{\text{optimasi}} &= \pm \sqrt{F_{(0,05;2;12)} V_E \times \frac{1}{n_{\text{eff}}}} \\ &= \pm \sqrt{3,89 \times 18,60 \times \frac{1}{6}} \\ &= \pm 12,059 \end{aligned}$$

$$u_{\text{Prediksi}} - CI \leq u_{\text{Prediksi}} \leq u_{\text{Prediksi}} + CI$$

$$34,156 - 12,059 \leq 34,156 \leq 34,156 + 12,059$$

$$22,097 \leq 34,156 \leq 46,215$$

Berdasarkan perhitungan, ANOVA untuk kekasaran permukaan benda kerja ditunjukkan pada Tabel 4.12 berikut ini :

Tabel 4. 12 Hasil anova

Simbol	Dd	SS	MS	F <sub>hitung</sub>	Kontribusi(%)
A	2	14,020	7,010	30,57	81,55%

B	2	0,080	0,040	0,18	0,47%
C	1	0,339	0,339	1,48	1,97%
Error	12	2,751	0,229	-	16,01%
Total	17	17,191	-	-	100,00%

Jika nilai  $F_{hitung}$  lebih besar dari  $F_{tabel}$  hal ini menunjukkan bahwa variabel proses berpengaruh yang signifikan terhadap respon secara serentak. Hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang digunakan dalam pengujian hipotesis dengan menggunakan distribusi F sebagai berikut:

1. Variabel A (Putaran *Spindle*)

$H_0$  : Variansi perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

$H_1$  : Ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaannya.

- Kriteria penolakan adalah:

Tolak  $H_0$ , jika nilai P-value  $< \alpha$  dan  $\alpha = 5\% = 0,05$

- Hasil:

Menggunakan *software statistik* P-value = 30,57

Menggunakan hitungan manual F Tabel = 3,89

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 30,57 > F(0,05;2;12) = 3,89$  maka  $H_0$  ditolak  $H_1$  diterima, artinya adanya pengaruh variabel putaran *spindle* terhadap kekasaran permukaan.

2. Variabel B (Kedalaman Pemakanan)

$H_0$  : Variansi perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

$H_1$  : Ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaannya.

- Kriteria penolakan adalah:

Tolak  $H_0$ , jika nilai P-value  $< \alpha$  dan  $\alpha = 5\% = 0,05$

- Hasil:

Menggunakan *software statistik* P-value = 0,18

Menggunakan hitungan manual F Tabel = 3,89

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 0,18 < F(0,05;2;12) = 3,89$  maka  $H_0$  diterima  $H_1$  ditolak, artinya bahwa tidak adanya pengaruh variabel kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan.

3. Variabel C (Gerak Makan)

$H_0$  : Variansi perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

$H_1$  : Ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaannya.

- Kriteria penolakan adalah:  
Tolak  $H_0$ , jika nilai P-value  $< \alpha$  dan  $\alpha = 5\% = 0,05$
- Hasil:  
Menggunakan *software statistik* P-value = 1,48  
Menggunakan hitungan manual F Tabel = 3,89

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 1,48 < F(0,05;2;12) = 3,89$  maka  $H_0$  diterima  $H_1$  ditolak, artinya tidak adanya pengaruh variabel gerak makan terhadap kekasaran permukaan.

Kondisi hipotesis nol ( $H_0$ ) untuk masing-masing variabel proses ditunjukkan pada Tabel 4.13 di bawah ini:

Tabel 4. 13 Kondisi hipotesis nol respon secara serentak

Sumber Variabel	Kondisi $H_0$
A	Ditolak
B	Diterima
C	Diterima

Pada tabel 4.13 yang menunjukkan kondisi hipotesis nol respon. Dari variabel-variabel tersebut variabel A (Putaran *Spindle*) yang memberikan pengaruh

secara signifikan terhadap kekasaran permukaan pada benda kerja, *Error* yang kecil dengan kontribusi 16,01% mengindikasikan adanya variabel yang berpengaruh tetapi terabaikan.

Perhitungan persen kontribusi berdasarkan hasil analisis variansi dilakukan dengan menggunakan persamaan. Contoh perhitungan persen kontribusi untuk variabel A (Putaran *Spindle*) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SS'_A &= SS_A - MS_e(V_A) \\ &= 14,022 - 0,387 (2) \\ &= 13,635\end{aligned}$$

Dengan demikian;

$$\rho^A = \frac{13,635}{17,216} \times 100\% = 81,55\%$$

Tabel 4.13 menunjukkan bahwa variabel-variabel putaran *spindle*, kedalaman pemakanan, dan gerak makan mempengaruhi kekasaran permukaan. Variabel-variabel proses yang memiliki kontribusi yang besar terhadap total variansi dari kekasaran adalah putaran *spindle*, yaitu sebesar 81,55%, diikuti oleh kedalaman pemakanan yang memiliki persen kontribusi sebesar 0,47%, dan gerak makan memiliki persen kontribusi sebesar 1,97%.

#### 4.6 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi untuk memvalidasi hasil yang telah diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan interval keyakinan rata-rata kekasaran eksperimen konfirmasi. Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan kombinasi *setting* variabel yang diperoleh dari hasil optimasi. Pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan respon hasil kombinasi awal dengan respon pada kombinasi optimum. Kombinasi awal dan kombinasi optimum pada eksperimen konfirmasi ditunjukkan pada Tabel 4.14 di bawah ini:



Tabel 4. 14 Kombinasi variabel proses untuk kondisi awal dan kondisi optimum

Variabel proses	Kombinasi Awal		Kombinasi Optimum	
	Nilai	Level	Nilai	Level
Kecepatan <i>spindle</i>	640	3	640	3
Kedalaman pemakanan	1	1	1	1
Gerak makan	0,05	2	0,05	2

Tabel 4. 15 Hasil uji kombinasi awal

Eksperimen Ke	A (mm/put)	B (mm)	C (mm/rev)	Rata-rata Ra( $\mu$ m)
1	640	1	0,05	1,378
2	640	1	0,05	1,479
3	640	1	0,05	1,482
4	640	1	0,05	1,543
5	640	1	0,05	1,571
Rata-rata				1,491

Tabel 4. 16 Hasil uji kombinasi optimum

Eksperimen Ke	A (mm/put)	B (mm)	C (mm/rev)	Rata-rata Ra( $\mu$ m)
1	640	1	0,05	1,302
2	640	1	0,05	1,260
3	640	1	0,05	1,316
4	640	1	0,05	1,344
5	640	1	0,05	1,401
Rata-rata				1,324

Hasil respon-respon dengan menggunakan kombinasi awal dan kombinasi optimum ditunjukkan pada Tabel 4.17

Tabel 4. 17 Hasil respon-respon dengan menggunakan kombinasi awal dan kombinasi optimum

	Replikasi					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Kombinasi Awal A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	1,378	1,479	1,482	1,543	1,571	1,491
Kombinasi Optimum A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	1,302	1,260	1,316	1,344	1,401	1,324

Perhitungan rasio S/N untuk masing-masing respon dilakukan dengan menggunakan persamaan. Hasil perhitungan rasio S/N tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.18 di bawah ini:

Tabel 4. 18 S/N rasio pada kombinasi awal dan kombinasi optimum

Setting Respon	Kombinasi Awal A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>		Kombinasi Optimum A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	
	Nilai Rata-rata	Rasio S/N	Nilai Rata-rata	Rasio S/N
Kekasaran Permukaan(μm)	1,491	3,467	1,324	2,441

Dengan demikian penentuan interval keyakinan rata-rata kekasaran untuk eksperimen konfirmasi dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung banyaknya pengamatan efektif. Banyaknya pengamatan efektif dihitung dengan menggunakan persamaan Rumus 2.20 sebagai berikut:

Diketahui :

$$F(0,05;2;12) = 3,89 \text{ dan } MS_e = 0,387 \text{ r}=4$$

$$n_{\text{eff}} = \frac{18 \times 2}{1 + (2 + 2 + 1)} = \frac{36}{6}$$

$$n_{\text{eff}} = 6$$

Perhitungan interval keyakinan rata-rata kekasaran eksperimen konfirmasi dengan menggunakan persamaan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
CI_{konfirmasi} &= \pm \sqrt{F_{(0,05;2;12)} MS_E \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \\
&= \pm \sqrt{3,89 \times 0,387 \left[ \frac{1}{6} + \frac{1}{4} \right]} \\
&= \pm 0,791
\end{aligned}$$

Oleh karena itu, interval kepercayaan 95% untuk rata-rata kekasaran yang dikonfirmasi adalah  $1,491 \pm 0,791$  atau 0,700 dan kekasaran yang dikonfirmasi adalah 2,282. Eksperimen konfirmasi digunakan untuk memvalidasi data bahwa sarana yang ditafsirkan valid untuk variabel dan *level* yang dipilih dari eksperimen. Estimasi rata-rata sebenarnya dalam kondisi optimal didasarkan pada hasil rata-rata yang diperoleh dari percobaan. Validasi dinyatakan ketika rata-rata hasil eksperimen konfirmasi berada dalam interval hasil prediksi.

Dengan *setting* kombinasi yang optimal, rata-rata kekasaran permukaan masih dalam kisaran *medium roughing*. Nilai kekasaran batas *medium roughing* rata-rata adalah yang sesuai dengan N1 hingga N4. Karena kami perlu mengetahui perbedaan antara nilai respons kombinasi awal dan nilai respons kombinasi optimal, kami melakukan uji statistik menggunakan uji kesamaan rata-rata untuk setiap respons. Prosedur pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Uji normalitas data
2. Uji dua variansi
3. Uji kesamaan rata-rata

Hasil pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Uji normalitas data (menggunakan uji kolmogorov-smirnov)
  - Hipotesis uji kenormalan data :
    - $H_0$  : data berdistribusi normal
    - $H_1$  : data tidak terdistribusi normal
  - Kriteria penolakan adalah:
    - Tolak  $H_0$ , jika nilai P-value  $< \alpha$  dan  $\alpha = 5\% = 0,05$
  - Hasil:
    - Menggunakan *software statistic* P-value = 0,150 (kekasaran permukaan awal)
    - Menggunakan *software statistic* P-value = 0,150 (kekasaran permukaan optimum)

- Kesimpulan

Berdasarkan kriteria penolakan, Hasil uji normalitas data kekasaran permukaan ditunjukkan pada tabel 4.19 dibawah ini:

Tabel 4. 19 Hasil uji kenormalan data

Respon	P-value	Kondisi H <sub>0</sub>	Data
Kekasaran permukaan awal	0,150	Gagal ditolak	Berdistribusi normal
Kekasaran permukaan optimum	0,150	Gagal ditolak	Berdistribusi normal

Hasil uji kenormalan data untuk respon kekasaran permukaan diperoleh nilai *p-Value* lebih besar dari  $\alpha = 0,05$ , sehingga H<sub>0</sub> gagal ditolak. Jadi dapat disimpulkan kedua respon tersebut berdistribusi normal.

## 2. Uji dua variansi (*two variances*)

- Hipotesis uji dua variansi adalah:

$$H_0 : \sigma^2 = \sigma^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

- Kriteria penolakan adalah:

Tolak H<sub>0</sub>, jika nilai *P-value* <  $\alpha$  dan  $\alpha = 5\% = 0,05$

- Hasil:

Menggunakan *software statistic* *P-value* = 0,483

- Kesimpulan

Berdasarkan kriteria penolakan, Hasil uji dua variansi untuk respon kekasaran permukaan ditunjukkan pada tabel 4.20 dibawah ini:

**Tabel 4. 20** Hasil Uji Dua Variansi

Respon	P-value	Kondisi H <sub>0</sub>	Variansi
Kekasaran permukaan	0,483	Gagal ditolak	Sama

Dari tabel 4.20 hasil uji dua variansi data untuk respon kekasaran permukaan diperoleh nilai *p-Value* lebih besar dari  $\alpha = 0,05$ , sehingga H<sub>0</sub> gagal ditolak. Jadi dapat disimpulkan kedua respon tersebut bernilai sama.

### 3. Uji kesamaan rata-rata (*two sample t-test*)

- Hipotesis uji dua variansi adalah:  
 $H_0$  : kekasaran permukaan awal = kekasaran permukaan optimum  
 $H_1$  : kekasaran permukaan awal > kekasaran permukaan optimum
- Kriteria penolakan adalah:  
Tolak  $H_0$ , jika nilai  $P\text{-value} < \alpha$  dan  $\alpha = 5\% = 0,05$
- Hasil:  
Menggunakan *software statistic*  $P\text{-value} = 0,004$
- Kesimpulan  
Berdasarkan kriteria penolakan, hasil uji dua varian untuk respon kekasaran permukaan ditunjukkan pada Tabel 4.21 berikut.

Tabel 4. 21 Hasil uji kesamaan rata-rata

Respon	P-value	Kondisi $H_0$	Rata-rata
Kekasaran permukaan	0,004	ditolak	Kekasaran permukaan awal > kekasaran permukaan optimum

Hasil uji kesamaan rata-rata data untuk respon kekasaran permukaan diperoleh nilai *p-Value* lebih besar dari  $\alpha = 0,05$ , sehingga  $H_0$  ditolak. Jadi dapat disimpulkan Kekasaran permukaan awal lebih besar dari kekasaran permukaan optimum.

#### 4.7 Pembahasan

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada analisa sebelumnya, maka diketahui kombinasi faktor yang berpengaruh terhadap rata-rata dan variansi kekasaran permukaan adalah sama dengan *setting-an* parameter putaran *spindle* 640 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, gerak makan 0,05 mm/put.

Dari hasil perhitungan interval kepercayaan pada tingkat kepercayaan 95% untuk eksperimen awal kemudian dibandingkan dengan interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi berada pada interval kepercayaan eksperimen *taguchi*. Interval kepercayaan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 22 Interpretasi hasil ukuran kekasaran permukaan benda kerja

Respon (kekasaran permukaan)		Prediksi	Optimasi
Eksperimen kombinasi awal	Rata – rata ( $\mu\text{m}$ )	1,491	$1,491 \pm 0,791$
	Variabilitas (S/N)	3,467	$3,467 \pm 5,490$
Eksperimen <i>taguchi</i>	Rata – rata ( $\mu\text{m}$ )	1,362	$1,457 \pm 0,25$
	Variabilitas (S/N)	34,156	$34,156 \pm 12,059$
Eksperimen kombinasi optimum	Rata – rata ( $\mu\text{m}$ )	1,324	$1,324 \pm 0,791$
	Variabilitas (S/N)	2,441	$2,441 \pm 5,490$

Berdasarkan interpretasi hasil perhitungan kekasaran permukaan pada Tabel 4.22, yaitu eksperimen *Taguchi* ke eksperimen konfirmasi mengalami penurunan. Dengan demikian kombinasi optimal faktor-faktor tersebut diatas terbukti dapat meningkatkan nilai kekasaran permukaan benda kerja menjadi minimum.

Eksperimen konfirmasi digunakan untuk memverifikasi bahwa nilai rata-rata yang ditaksir untuk variabel dan *level* yang telah dipilih dari percobaan adalah valid.

Rata-rata kekasaran konfirmasi yaitu 1,324 berada di antara interval keyakinan rata-rata hasil prediksi ( $0,533 \leq \text{kekasaran konfirmasi} \leq 2,115$ ). Oleh karena itu, kita dapat menyimpulkan bahwa *setting* kombinasi *level* variabel pada kondisi optimum yang telah didapat adalah valid.

Tabel 4.22 menunjukkan bahwa percobaan dengan *setting* kombinasi awal memiliki rata-rata kekasaran permukaan 1,491, dan *setting* kombinasi optimal digunakan untuk menghasilkan rata-rata kekasaran permukaan 1,324. Rata-rata kekasaran permukaan dengan *setting* kombinasi optimal berada dalam batas kerja *medium roughing*. Batas kerja *medium roughing* mencakup nilai kekasaran dari N1 hingga N4.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil percobaan yang dilakukan seperti proses optimasi, eksperimen konfirmasi, dan analisis. Maka pada penelitian ini yang berjudul “Optimasi Kekasaran Permukaan Baja SKD-11 Proses *CNC Turning* Menggunakan Metode Taguchi” dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. *Setting-an* kombinasi *level* variabel-variabel yang memiliki hasil kekasaran permukaan yang optimal pada mesin *CNC Turning* SL-25 B/500 adalah sebagai berikut:
  - a. Putaran *spindle* diatur sebesar 640 rpm
  - b. Kedalaman pemakanan diatur sebesar 1 mm
  - c. Gerak makan diatur sebesar 0,05 mm/put
2. Persen kontribusi dari variabel-variabel proses dalam mengurangi variansi respon kekasaran permukaan benda kerja adalah:
  - a. Putaran *spindle* memiliki persen kontribusi sebesar yaitu 81,55%
  - b. Kedalaman pemakanan memiliki persen kontribusi terbesar, sebesar yaitu 0,47%
  - c. Gerak makan memiliki persen kontribusi sebesar yaitu 1,97%

#### 5.2 Saran

Ada juga saran yang dapat diberikan setelah melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya gunakan metode lain agar dapat dikembangkan.
2. Di penelitian ini hasil nilai prediksi dengan variabel kombinasi awal kurang objektif, maka dipenelitian selanjutnya diperlukan proses pemesinan yang tepat agar sesuai dengan SOP pemesinan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allam, T. S., (2019), "Pengaruh Laju Pemakanan Dan Kedalaman Pemakanan Pada Proses CNC Turning Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja St 60", *Journal Unnes*, pp. 1-58.
- Anshori, P. H. L., (2018), "Analisis Perbandingan Kekasaran Permukaan Pada Proses Turning", *Jurnal Teknik Mesin*, pp. 1-5.
- Hawin Mustofa, S. d. W. I. A., (2018). In: T. Grasindo, ed. *Teknik Pemesinan Bubut*. Jakarta: PT Gramedia Widiasarana Indonesia, pp. 2-149.
- Hermawan, O. W., (2015), "Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Komponen Stud Pin Winder Baja Skd-11 Yang Mengalami Perlakuan Panas Disertai Pendinginan Nitrogen", *Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta*, pp. 1-13.
- Hwacheon CNC Machine Tools*. diakses pada 07 november 2021, Available at: <https://hwacheonasia.com/id/cnc-lathes/>
- Juhana, O. d. S. M., M., (2000). Menggambar Teknik Mesin dengan Standar ISO. *Pustaka Grafika*.
- Kurniawan, E., (2013), "Investigasi Proses Pemesinan Keras (Hard Machining) Atas Pengaruh Dari Kecepatan Potong Dan Laju Pemakanan Pada Proses Bubut Baja Perkakas Aisi D2 Menggunakan Pahat Cbn Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja", *Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*, pp. 1-24.
- Rahdiyanta, D., (2010). Buku 2 Proses Bubut (Turning). In: D. D. Rahdiyanta, ed. s.l.:Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rochim, T., (2001), "Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik", *Institut Teknologi Bandung*.
- Saputra, A., (2020), "Pengaruh Variasi Media Pendingin Oli, Dromus, Minyak Sayur Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Ss-400 Pada Proses Mesin Bubut Konvensional (Lathe Machine)", *eprints.polsri.ac.id*.
- Soesanti, B. O. S. P., (2012), "Optimasi Parameter Pemesinao untuk Kekasaran Permukaan dan Umur Pahat pada Proses Bubut dengan Menggunakan Metode Grey-Fuzzy pada Material SKD 11", *Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada*, pp. 1-10.



Supriyandi, J., (2021), "Optimasi Kekasaran Permukaan Proses CNC Turning Baja Skd-11 Dengan Menggunakan Metode Taguchi", *repository.polman-babel.ac.id*.

Widarto, D., (2008). Teknik Pemesinan untuk SMK (Budi Santosa, Ed). In: D. P. Nasional, ed. Jakarta: Dirketorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah.

Xavierarockiaraj.S, K.P, (2014), "Investigation of cutting forces, surface roughness and tool wear during Laser assisted machining of SKD11Tool steel", *ScienceDirect*, pp. 1-10.





**LAMPIRAN**

## Lampiran 1

### Daftar Riwayat Hidup



#### Informasi Pribadi

Nama : Rabinaswil Samuel Napitupulu  
NPM : 1041821  
Tempat Tanggal Lahir : Jakarta, 17 Agustus 1999  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Prodi/Jurusan/Kelas : D-IV/Teknik Mesin dan Manufaktur/4 TMMA  
Alamat : Jl.Imam Bonjol No.55 Sungailiat, RT 000/RW  
000, Kecamatan Parit Padang, Kabupaten  
Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

#### Nama Orang Tua

Ayah : Alm.Muriwil Hasgen Napitupulu  
Ibu : Helmi Ernita Aritonang  
Nomor Hp : 083802210439  
Email : [napitupulurabin48@gmail.com](mailto:napitupulurabin48@gmail.com)  
Golongan Darah : AB

## Lampiran 2

### Analisa Variabel Respon Individu

Analisis variansi rata-rata dan persen kontribusi respon kekasaran permukaan

Sumber	V	SS	MS	SS'	P(%)
A	2	14,022	7,011	13,635	79,19%
B	2	0,080	0,040	-0,307	-1,78%
C	1	0,339	0,339	-0,048	-0,27%
Error	12	2,775	0,387	3,936	22,86%
Total	17	17,216	-	-	100%

Analisis variansi rasio S/N dan persen kontribusi respon kekasaran permukaan

Sumber	V	SS	MS	SS'	P(%)
A	2	154,832	77,416	136,224	69,12%
B	2	2,112	1,056	-16,496	-8,37%
C	1	2,899	2,899	-15,709	-7,97%
Error	12	37,217	18,608	93,041	47,21%
Total	17	197,06			100%

### Hasil ANOVA

Simbol	Dd	SS	MS	F <sub>hitung</sub>	Kontribusi(%)
A	2	14,020	7,010	30,57	81,55%
B	2	0,080	0,040	0,18	0,47%
C	1	0,339	0,339	1,48	1,97%
Error	12	2,751	0,229	-	16,01%
Total	17	17,191	-	-	100,00%

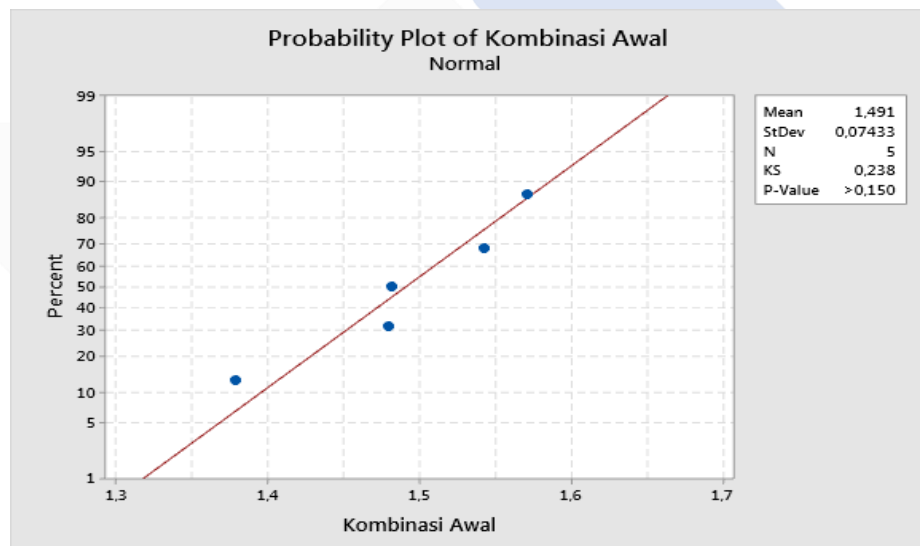
### Lampiran 3

**Hasil uji perbandingan rata-rata kekasaran permukaan dengan *setting* kombinasi awal dan rata-rata kekasaran optimum dengan menggunakan *setting* kombinasi optimum**

Langkah-langkah dari uji kesamaan rata-rata adalah sebagai berikut:

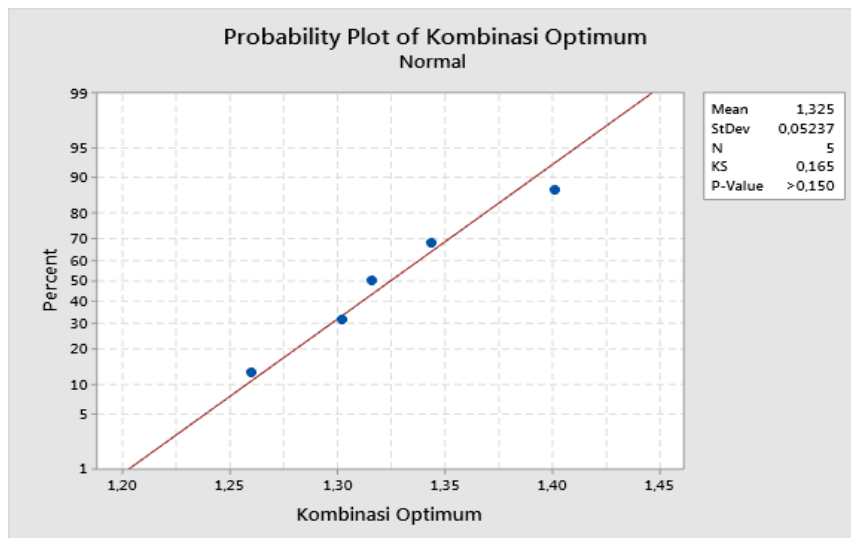
**a. Hasil Uji Kenormalan Data**

Plot grafik untuk pengujian kenormalan data dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smimov*.



Gambar 5.1 Plot uji kenormalan data kekasaran permukaan dengan menggunakan kombinasi awal

## Lampiran 4



Gambar 5.2 Plot uji kenormalan data kekasaran permukaan dengan menggunakan kombinasi optimum

## Uji dua variansi

### Test and CI for Two Variances: Kombinasi awal; Kombinasi optimum

#### Test

Null hypothesis  
Alternative hypothesis  
Significance level

$H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$   
 $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$   
 $\alpha = 0,05$

Method	Test			P-Value
	Statistic	DF1	DF2	
Bonett	0,49	1		0,483
Levene	0,32	1	8	0,590

Hasil uji dua variansi menunjukkan bahwa nilai *p-value* lebih besar dari  $\alpha = 0,05$ , sehingga hipotesis awal gagal ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* variabel Kombinasi awal dan rata-rata kekasaran dengan *setting* variabel kombinasi optimum memiliki variansi yang sama.

## Lampiran 5

### Uji kesamaan rata-rata

#### Two-Sample T-Test and CI: Kombinasi awal; Kombinasi optimum Test

Null hypothesis  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$   
Alternative hypothesis  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

<b>T-Value</b>	<b>DF</b>	<b>P-Value</b>
4,08	8	0,004

Dapat disimpulkan bahwa uji rata-rata kekasaran permukaan diperoleh *p-value* dengan nilai 0,004 maka nilai *p-value* lebih besar dari  $\alpha = 0,05$ , sehingga keputusannya hipotesis awal ditolak. Dengan demikian, bahwa secara statistic rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* variabel kombinasi awal lebih besar dibandingkan dengan rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* kombinasi optimum.

## Lampiran 6

### Data spesifikasi mesin bubut CNC

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



	<i>Square shank height of tool</i>		25(1)
	<i>Shank diameter of boring bar</i>		Max. 50(2)
<i>Feedrate</i>	<i>Rapid treverse rate</i>	mm/min	X: 1200(472.44) Z: 15000 (590.55)
		(ipm)	
	<i>Feed per revolution</i>		X:0.001-342 Z:0.001-428
	<i>Jog feedrate</i>	mm/min (ipm)	X,Z:0-1260(0-50)<15steps>
<i>Tailstock</i>	<i>Tailstock travel</i>		491(19.33)
	<i>Tailstock spindle diameter</i>		110(4.33)
	<i>Taper hole of tail stock spindle</i>		MT5<live center>
	<i>Tailstock spindle travel</i>		100(3.94)
<i>Motors</i>	<i>Spindle dirve motor (30 min/cont)</i>		15/11(20/15)[18.5/15(25/20 )]
	<i>kW (HP)</i>		
	<i>Feed motors</i>	kW (HP)	X: 0.9(1.21) Z: 1.8(2.41)
	<i>Hydraulic pump motor</i>	kW (HP)	1.5(2)
	<i>Lubricant pump motor</i>	kW (HP)	0.017(0.02)
	<i>Coolant pump motor</i>	kW	0.52(0.70)
		(HP)	
<i>Power sources</i>	<i>Electrical power suplay</i>		26[34]
	<i>(continuous rating)</i>	kVA	MSD-516ll: 27 [34]
	<i>Compressed air suplay</i>		-
	<i>Mpa (psi), L/min(gpm)</i>		
	<i>Hydraulic oil tank capacity</i>	L	39(10.30)
		(gal.)	
	<i>Lubricant tank capcity</i>	L	2(0.53)
		(gal.)	
	<i>Coolant tank capacity</i>	L	100(26.40)
		(gal.)	
	<i>Machine height</i>		1930(75.98)

<i>Machine size</i>	<i>Floor space</i>	3033 × 1647 [MSD-516: 1621]
		(119.41 × 64.84 [63.82])
	<i>Mass of machine</i> (lb.)	kg 4200(9240)
	<i>Clamping force of turret</i> N (kgf) (lbf)	28440{2900}(6380)<at 3.4 Mpa {35 kgf/cm <sup>2</sup> >
	<i>Coupling diameter</i>	210(8.27)
<i>Force dan Diameter</i>	<i>Ball screw diameter &lt;pitch&gt;</i>	X: 28 (1.10)<6> Z: 40(1.57)<10>
	<i>Thrust force of tailstock</i> N (kgf) (lbf)	9880 {1000} (2000) <at 3.4 MPa {35 kgf/cm <sup>2</sup> >
	<i>Clamping force of tail stock</i> N (kgf) (lbf)	Manual: 107910 {11000} (24200), [Automatic: 65720 {6700} (14740)] <at 3.4 MPa {35 kgf/cm <sup>2</sup> >

## Lampiran 7

### Sertifikat Baja SKD-11

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.: SSTB190229-2

NO. (炉号)	ITEM CODE (规格)	STEEL GRADE (牌号)	HEAT NO. (炉号)	QTY (数量)	WEIGHT (重量)	SURFACE CONDITION (表面状态)	CHEMICAL COMPOSITION (化学成分 %)							
							C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
1	722K30 20	SKD11	4-118	20	192	BLACK	1.521	0.32	0.489	0.022	0.011	11.15	0.215	0.931
2	722K30 25	SKD11	4-118	18	232	BLACK	1.521	0.32	0.489	0.022	0.011	11.15	0.215	0.931
3	722K30 30	SKD11	4-118	8	172	BLACK	1.521	0.32	0.489	0.022	0.011	11.15	0.215	0.931
4	722K30 32	SKD11	4-118	17	490	BLACK	1.521	0.32	0.489	0.022	0.011	11.15	0.215	0.931
5	722K30 28	SKD11	4-118	23	834	BLACK	1.521	0.32	0.489	0.022	0.011	11.15	0.215	0.931
6	722K30 40	SKD11	4-034	26	1932	BLACK	1.508	0.311	0.422	0.021	0.009	11.08	0.201	0.909

MECHANICAL PROPERTIES (机械性能)				MICROSCOPIC STRUCTURE (显微组织)				ULTRASONIC TESTING (超声波探伤)	
TENSILE (抗拉)	YIELD (屈服)	ELONGATION (伸长)	IMPACT (冲击)	GRAIN SIZE (晶粒度)	NON-METALLIC INCLUSION (非金属夹杂物)	SEMI-QUANTITATIVE ANALYSIS (半定量分析)	GRAIN SIZE (晶粒度)	DEFECTS (缺陷)	
490/205/190		198/210/215						OK	
		220/190/200						OK	
		230/215/190						OK	
		212/195/220						OK	
		225/210/228						OK	

注: 交货时, 请标明炉号、炉号、规格、发货日期、数量, 并附供货状态的实物, 出示质量证明书附件。  
 NOTE: WHEN THERE'S ANY COMPLAINT, YOU ARE KINDLY REQUESTED TO MARK THE STEEL GRADE, HEAT NO, SPECIFICATION, DELIVERY DATE, REASON AND RESOLVE THE MATERIAL IN DELIVERED CONDITION.

Katalog insert bubut ([www.who-sells-it.com](http://www.who-sells-it.com))

#### Recommended Cutting Conditions

Work Material: Hardened steel (50-62HRC), SKD11, SKD61, SKH51, high-speed steel powder, high-speed steel

Process	Cutting Speed $v_c$ (m/min)	Feed Rate $f$ (mm/rev)	Depth of Cut $a_p$ (mm)	Recommended Chipbreaker
Finishing	40 to 100	0.02 to 0.10	< 1	Without Chipbreaker Inserts
Medium Roughing	20 to 60	0.02 to 0.05	1 to 3	GH Type

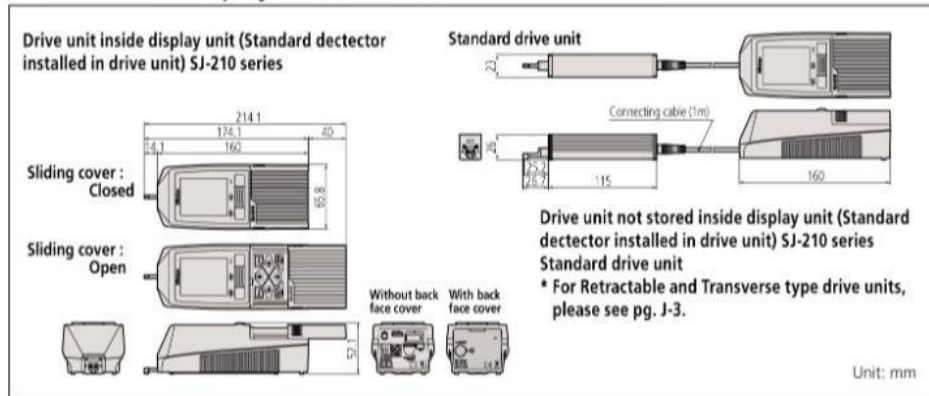
For hardened steel (50 to 62HRC)

## Lampiran 8

### Katalog Spesifikasi Alat Ukur *Surface Roughness Tester*

Model No.	SJ-210					
Order No. (inch/mm)	178-561-01A	178-561-02A	178-563-01A	178-563-02A	178-565-01A	178-565-02A
Drive unit	Standard type (178-230-2)		Retractable type (178-235)		Transverse tracing type (178-233-2)	
Detector	0.75mN type (178-296)	4mN type (178-390)	0.75mN type (178-296)	4mN type (178-390)	0.75mN type (178-387)	4mN type (178-386)
Display unit	Compact type (178-253A)					
Detector: Tip angle	60°	90°	60°	90°	60°	90°
Stylus tip radius	2µm	5µm	2µm	5µm	2µm	5µm
Detector measuring force	0.75mN	4mN	0.75mN	4mN	0.75mN	4mN
Standard accessories	<b>12BAA303</b> Connecting cable <b>178-602</b> Roughness specimen (Ra 3.00µm) <b>12BAK699</b> Carrying case <b>12BAK700</b> Calibration stage <b>12BAK820</b> Protective sheets for display AC Adapter Operation manual Quick reference manual Warranty			<b>12BAA303</b> Connecting cable <b>178-606</b> Roughness specimen (Ra 1.00µm) <b>12AAE643</b> Point-contact adapter <b>12AAE644</b> V-type adapter <b>12BAK699</b> Carrying case <b>12BAK700</b> Calibration stage <b>12BAK820</b> Protective sheets for display AC Adapter, Operation manual Quick reference manual, Warranty		

### DIMENSIONS Display unit, Drive unit



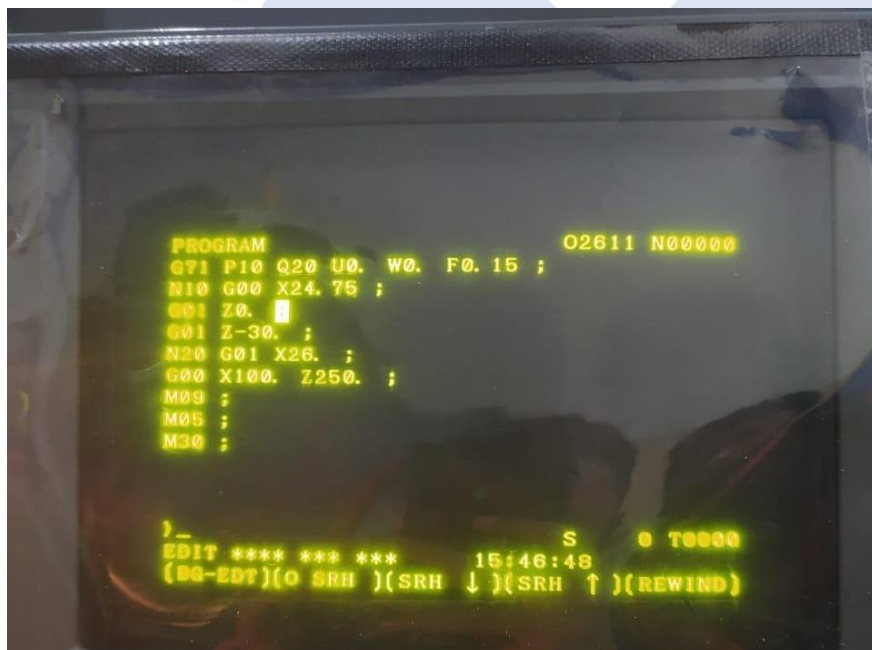
Lampiran 9

Gambar Tabel f Probabilitas 0,05

df untuk penyebut (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	5.91	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	2.53	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	2.42	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	2.22	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	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	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	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	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	2.01	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 10

### Program pemesinan CNC



## Lampiran 11

### Proses penyetingan Pemesinan Hasil Proses Pemesinan



## Lampiran 12

### Proses Pengukuran Benda Kerja





**Lampiran 13**

**Benda Kerja Penelitian**

