

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

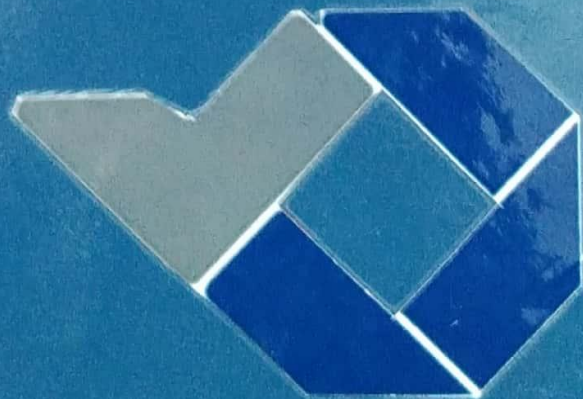
Optimizing Surface Roughness Of SKD-11 Steel Lathe Using Taguchi Method

Tugas Akhir ini Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur
Di Jurusan Teknik Mesin

Oleh :

JONDI SUPRIYANDI

NPM: 1041714



**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAMUN 2011**

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

Optimizing Surface Roughness Of SKD-11 Steel Lathe Using Taguchi Method

Tugas Akhir ini Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur
Di Jurusan Teknik Mesin

Oleh :

JONDI SUPRIYANDI

NPM: 1041714



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN dan MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG
2021

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

Optimizing Surface Roughness Of SKD-11 Steel Lathe Using Taguchi Method

Tugas Akhir ini Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur
Di Jurusan Teknik Mesin

Oleh :

JONDI SUPRIYANDI

NPM: 1041714



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN dan MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG
2021

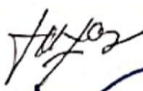
OPTIMASI KEKASARAN PERMUKAAN PROSES CNC *TURNING* BAJA SKD-11 DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI


Penulis :


JONDI SUPRIYANDI

NPM : 1041714

Penguji :

1. Ketua : Eko Yudo, S.S.T., M.T. 

2. Anggota : Juanda, S.S.T., M.T. 

3. Anggota : Idiar, S.S.T., M.T. 

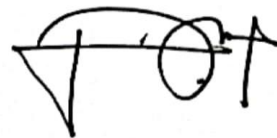
Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 23 Februari 2021 dan disahkan sesuai dengan ketentuan

Pembimbing Utama,



Eko Yudo, S.S.T., M.T.
NIP 207807074

Pembimbing Pendamping,



Angga Sateria, S.S.T., M.T.
NIP 198805222019031011

Ketua Jurusan,



Pristiansyah, S.S.T., M.Eng.
NIP 198801242019031008

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Jondi Supriyandi

NPM : 1041714

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

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

Sungailiat, Februari 2021

Jondi Supriyandi

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

Abstrak

Berdasarkan nilai kekasaran permukaan yang minimal merupakan proses kerja mesin yang ingin dicapai pada proses mesin CNC *Turning* merk Mori Seiki tipe SL-25 B/500, perlu dilakukan pengaturan variabel-variabel proses CNC *Turning* merk Mori Seiki tipe SL-25 B/500 yang tepat agar diperoleh respon kekasaran permukaan benda kerja yang minimal.

Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk menentukan kontribusi dari variabel-variabel proses CNC *Turning* merk Mori Seiki tipe SL-25 B/500 untuk mengurangi variasi dari respon kekasaran permukaan benda kerja secara serentak. Selain itu, juga dilakukan penentuan *setting* yang tepat dari variabel-variabel proses CNC *Turning* merk Mori Seiki tipe SL-25 B/500 agar diperoleh kekasaran permukaan benda yang minimal. Variabel proses pemesinan yang divariasikan adalah kecepatan *spindle*, laju pemakanan, dan tebal pemakanan. Rancangan percobaan ditetapkan berdasarkan metode Taguchi dan berupa matriks *orthogonal* L₉ (3³). Percobaan dilakukan secara acak dengan replikasi 3 kali untuk mengatasi faktor gangguan yang terjadi selama proses pemesinan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengurangi variasi dari respon secara serentak, laju pemakanan memiliki persen kontribusi terbesar, yaitu 85,93%, putaran *spindle* memiliki persen kontribusi sebesar 3,35% dan tebal pemakanan memiliki persen kontribusi sebesar 0,129%. Untuk memperoleh kekasaran permukaan benda kerja yang minimal, kecepatan *spindle* diatur sebesar 2360 rpm, laju pemakanan diatur sebesar 0,25 mm/put, tebal pemakanan sebesar 0,425 mm.

Kata Kunci: Optimasi, Pembubutan, Kekasaran, Taguchi, Variabel

OPTIMIZING SURFACE RUDENESS OF SKD-11 STEEL CNC TURNING PROCESS USING TAGUCHI METHOD

Abstract

Based on the minimum surface roughness value is the machine work process that you want to achieve in the CNC Turning machine process for the Mori Seiki type SL-25 B / 500, it is necessary to adjust the correct CNC Turning process variables for the Mori Seiki type SL-25 B / 500. in order to obtain a minimal response to the surface roughness of the workpiece.

The research that has been done aims to determine the contribution of the CNC Turning process variables for the Mori Seiki type SL-25 B / 500 to reduce the variation of the surface roughness response of the workpiece simultaneously. In addition, determining the exact settings of the CNC Turning process variables for the Mori Seiki type SL-25 B / 500 was also carried out in order to obtain a minimum surface roughness. The machining process variables that were varied were spindle speed, infeed rate, and infeed thickness. The experimental design was based on the Taguchi method and was in the form of an L9 (33) orthogonal matrix. The method used is Taguchi. The experiment was carried out randomly with replication 3 times to overcome the disturbance factors that occurred during the machining process.

The results showed that to reduce the variation of the simultaneous response, the infeed rate had the largest percentage contribution, namely 85.93%, the spindle rotation had a percentage contribution of 3.35% and the infeed thickness had a percentage contribution of 0.129%. To obtain minimal surface roughness, the spindle speed was set at 2360 rpm, the infeed rate was set at 0.25 mm / put, and the infeed thickness was 0.425 mm.

Keywords: *Optimization, Purning, Roughness, Taguchi, Variables*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah menganugerahkan rahmat serta inayah-Nya, yang karena-Nya, penulis diberikan kekuatan dan kesabaran untuk menyelesaikan skripsi berjudul “Optimasi Kekasaran Permukaan Proses Cnc *Turning* Baja Skd-11 Dengan Menggunakan Metode Taguchi”.

Tujuan penulisan skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Diploma pada Jurusan Teknik Mesin pada Prodi DIV Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna dan banyak kekurangan baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis. Sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun mudah-mudahan di kemudian hari dapat memperbaiki segala kekurangannya.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis selalu mendapatkan bimbingan, dorongan, serta semangat dari banyak pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati :

1. Kedua Orang Tua Penulis Aripin dan Siti serta seluruh keluarga saya yang selalu memberikan cinta kasih sayang, dukungan moral, doa yang tulus, dan materi serta telah mendidik, mengarahkan, dan memotivasi dari awal hingga selesainya skripsi ini.

2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur.
5. Bapak Eko Yudo, S.S.T., M.T. selaku pembimbing utama.
6. Bapak Angga Sateria, S.S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Staf Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah membekali saya ilmu yang bermanfaat sebelum menyusun skripsi ini.
8. Segenap keluarga besar kelas A Teknik Mesin dan Manufaktur 2017. Kita adalah sebuah kisah klasik yang unik untuk dikenang selalu.
9. Sahabat, teman dan orang-orang terdekat dibalik layar yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.

Akhirnya, Penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada semua pihak dan apabila ada yang tidak disebutkan Penulis mohon maaf. Dengan besar harapan semoga penulisan skripsi ini yang ditulis oleh Penulis ini dapat bermanfaat khususnya bagi Penulis sendiri dan umumnya bagi pembaca. Bagi para pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini semoga segala amal dan kebbaikannya mendapatkan balasan yang berlimpah dari Tuhan Yang Maha Esa, Aamiin.

Sungailiat, Februari 2021

Jondi Supriyandi

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | |
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN | I-1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | I-1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | I-3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | I-3 |
| 1.4 Ruang Lingkup | I-3 |
| 1.5 Batasan Masalah | I-3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | I-4 |
| BAB II DASAR TEORI..... | II-1 |
| 2.1 Proses Bubut (<i>Turning</i>)..... | II-1 |
| 2.1.1 Prinsip Dasar Mesin CNC <i>Turning</i> | II-2 |
| 2.1.2 Bagian-Bagian Utama Mesin <i>Turning</i> | II-3 |
| 2.2 Parameter Mesin <i>Turning</i> | II-4 |

| | | |
|---------|---|--------|
| | 2.2.1 Putaran Benda Kerja..... | II-5 |
| | 2.2.2 Kecepatan Makan..... | II-5 |
| | 2.2.3 <i>Feeding</i> | II-6 |
| | 2.2.4 Kecepatan Potong..... | II-6 |
| | 2.2.5 Kedalaman Potong..... | II-7 |
| | 2.3 Material Benda Kerja..... | II-7 |
| | 2.4 Sisipan Pahat..... | II-8 |
| | 2.5 Teoritis Kekasaran Permukaan..... | II-9 |
| | 2.5.1 Parameter-Parameter Permukaan..... | II-10 |
| | 2.5.2 Toleransi Harga Kekasaran Permukaan..... | II-11 |
| | 2.6 Metode Taguchi..... | II-12 |
| | 2.6.1 Tahapan Dalam Desain Produk Atau Proses Menurut Taguchi..... | II-13 |
| | 2.6.2 Langkah Penelitian Taguchi..... | II-14 |
| | 2.6.3 Rasio S/N (<i>Signal-to-Noise ratio</i>)..... | II-18 |
| | 2.6.4 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA)..... | II-19 |
| BAB III | METODELOGI PENELITIAN..... | III-1 |
| | 3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian..... | III-1 |
| | 3.2 Diagram Alir Penelitian..... | III-1 |
| | 3.3 Rancangan Penelitian..... | III-3 |
| | 3.4 Variabel Percobaan..... | III-4 |
| | 3.4.1 Variabel Bebas..... | III-4 |
| | 3.4.2 Respon..... | III-5 |
| | 3.4.3 Variabel <i>Control</i> | III-5 |
| | 3.5 Bahan Dan Alat Penelitian..... | III-5 |
| | 3.5.1 Bahan Penelitian..... | III-5 |
| | 3.5.2 Alat Penelitian..... | III-6 |
| | 3.6 Pengambilan Data..... | III-9 |
| | 3.6.1 Proses Pemesinan CNC..... | III-10 |
| | 3.6.2 Pengujian Kekasaran (<i>roughness</i>)..... | III-11 |
| BAB IV | ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN..... | IV-1 |

| | | |
|-------|---|-------|
| 4.1 | Pengambilan Data Hasil Percobaan | IV-1 |
| 4.1.1 | Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja | IV-1 |
| 4.2 | Penentuan Kombinasi Variabel Untuk Respon Optimal | IV-2 |
| 4.3 | Analisis Variansi Dan Persen Kontribusi | IV-3 |
| 4.3.1 | Analisis Variansi Rata-Rata Kekasaran Permukaan... | IV-3 |
| 4.4 | Hasil Prediksi Nilai Kekasaran Permukaan Dan Interval Keyakinan | IV-8 |
| 4.5 | Perhitungan Rasio S/N Dari Respon..... | IV-9 |
| 4.6 | Analisis Variansi Dan Persen Kontribusi | IV-11 |
| 4.6.1 | Pengaruh Level Faktor Untuk Variansi Kekasaran Permukaan | IV-13 |
| 4.6.2 | Analisis Variansi Rasio..... | IV-13 |
| 4.7 | Prediksi Rasio S/N Kekasaran Permukaan Yang Optimal ... | IV-19 |
| 4.8 | Percobaan Konfirmasi..... | IV-22 |
| 4.9 | Hasil Pengolahan Data Eksperimen Kombinasi Awal | IV-27 |
| 4.10 | Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Kombinasi Awal | IV-28 |
| 4.11 | Hasil Pengolahan Data Eksperimen Kombinasi | IV-29 |
| 4.12 | Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi | IV-29 |
| 4.13 | Pembahasan | IV-30 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | V-1 |
| 5.1 | Kesimpulan | V-1 |
| 5.2 | Saran | V-1 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|-------|
| Tabel 2.1 | Kecepatan Potong Bahan Teknik Untuk Proses Perautan Perautan <i>Roughing</i> Dan <i>Finishing</i> | II-7 |
| Tabel 2.2 | Kedalaman Potong Yang Direkomendasikan Berdasarkan Radius Pahat..... | II-7 |
| Tabel 2.3 | Menunjukkan Harga Kekasaran Rata-rata Beserta Toleransinya..... | II-12 |
| Tabel 3.1 | Parameter Kendali Dan Level Untuk <i>Orthogonal Array</i> L9 | III-3 |
| Tabel 3.2 | Total Derajat Kebebasan Parameter Dan Level..... | III-3 |
| Tabel 3.3 | <i>Orthogonal Array</i> Untuk Taguchi L9 | III-4 |
| Tabel 3.4 | Komposisi Kimia Dari Baja SKD-11 | III-5 |
| Tabel 3.5 | Spesifikasi Mesin | III-6 |
| Tabel 4.1 | Data Hasil Percobaan | IV-1 |
| Tabel 4.2 | Respon Rata-rata Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Dari Pengaruh Faktor..... | IV-2 |
| Tabel 4.3 | Kombinasi Variabel Proses Untuk Respon Optimal..... | IV-3 |
| Tabel 4.4 | Analisis Variansi Rata-rata Kekasaran Permukaan | IV-7 |
| Tabel 4.5 | Persen Kontribusi..... | IV-8 |
| Tabel 4.6 | Rasio S/N Untuk Respon | IV-10 |
| Tabel 4.7 | Kombinasi Variabel Proses Untuk Respon Optimal..... | IV-10 |
| Tabel 4.8 | Matriks <i>Orthogonal</i> L9 (3^3)..... | IV-12 |
| Tabel 4.9 | Respon Rasio S/N Kekasaran Permukaan Dari Pengaruh Faktor | IV-13 |
| Tabel 4.10 | Analisis Variansi Rasio S/N kekasaran Permukaan | IV-17 |

| | | |
|------------|---|-------|
| Tabel 4.11 | Persen Kontribusi..... | IV-18 |
| Tabel 4.12 | Hasil ANOVA..... | IV-20 |
| Tabel 4.13 | Kondisi Hipotesis Nol Respon Secara Serentak..... | IV-21 |
| Tabel 4.14 | Kombinasi Variabel Proses Untuk Kondisi Awal Dan Kondisi Optimum | IV-22 |
| Tabel 4.15 | Hasil Respon-respon Dengan Menggunakan Kombinasi Awal Dan Kombinasi Optimum..... | IV-23 |
| Tabel 4.16 | Rasio Pada Kombinasi Awal Dan Kombinasi Optimum..... | IV-23 |
| Tabel 4.17 | Kekasaran Pada Kombinasi Awal Dan Kombinasi Optimum | IV-23 |
| Tabel 4.18 | Hasil Uji Kenormalan Data..... | IV-25 |
| Tabel 4.19 | Hasil Uji Dua Variansi..... | IV-26 |
| Tabel 4.20 | Hasil Uji Kesamaan Rata-Rata | IV-27 |
| Tabel 4.21 | Interprestasi Hasil Ukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja..... | IV-31 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|--|--------|
| Gambar 2.1 | Proses Bubut Rata, Bubut Permukaan Dan Bubut Tirus | II-1 |
| Gambar 2.2 | Persumbuan Mesin Bubut | II-2 |
| Gambar 2.3 | Parameter Proses Pembubutan | II-4 |
| Gambar 2.4 | Kekasaran Permukaan Teknis Perekaman Khusus | II-11 |
| Gambar 3.1 | Benda Kerja Dan Ukuran | III-5 |
| Gambar 3.2 | Mesin CNC bubut Mori Seiki SL-25 B/500 | III-8 |
| Gambar 3.3 | <i>Surface Roughness Tester</i> Mitutoyo | III-9 |
| Gambar 3.4 | <i>Insert Carbide</i> Lamina CNMG 120408 | III-9 |
| Gambar 3.5 | Benda Kerja Proses CNC <i>Turning</i> | III-11 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|-------------|--|------|
| Lampiran 1 | Daftar Riwayat Hidup | L-1 |
| Lampiran 2 | Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan | L-2 |
| Lampiran 3 | Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja Kombinasi Awal..... | L-3 |
| Lampiran 4 | Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda kerja Konfirmasi Optimum | L-4 |
| Lampiran 5 | Analisa Variabel Respon Individu | L-5 |
| Lampiran 6 | Hasil Uji Perbandingan Rata-Rata Kekasaran Permukaan Dengan <i>Setting</i> Kombinasi Awal Dan Rata-Rata Kekasaran Optimum Dengan Menggunakan <i>Setting</i> Kombinasi Optimum..... | L-6 |
| Lampiran 7 | Katalog Spesifikasi Alat Ukur <i>Surface Roughness Tester</i> | L-9 |
| Lampiran 8 | Gambar Tabel f Probabilitas 0,05 | L-10 |
| Lampiran 9 | Program Pemesinan CNC | L-12 |
| Lampiran 10 | Proses Penyetingan Pemesinan dan Benda Kerja Hasil Proses Pemesinan | L-14 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan teknologi manufaktur yang semakin maju dan semakin pesat ini proses pemesinan yang menggunakan sebuah mesin sangatlah penting untuk melakukan proses produksi. Terutama *Computer Numeric Control (CNC) Turning* yang dimana ketika memproduksi produk dengan jumlah yang banyak dan ketelitian yang tinggi pastinya bukan dilakukan dengan keahlian manusia tetapi menggunakan sebuah mesin melalui operator. Maka hal itu untuk mendapatkan hasil kualitas produk yang baik proses pemesinannya harus dicapai, Salah satunya dengan mendapatkan *setting-an* parameter yang tepat.

Dalam penelitian ini akan mengoptimalkan kekasaran permukaan secara bersamaan menggunakan kombinasi proses pembubutan parameter. Penelitian dilakukan pada material S45-C, metode yang digunakan Taguchi. Percobaan desain menggunakan *orthogonal array* L9 (3^3) memvariasikan tiga parameter yang masing-masing parameter memiliki tiga tingkatan. Rancangan percobaan faktor variasi *orthogonal* L9 atau parameter pemotongan seperti kecepatan *spindle* (n), laju pemakanan (f) dan kedalaman potong (a). Hasil dari proses optimasi merupakan kombinasi parameter itu menghasilkan respon yang optimal. Berdasarkan kombinasi parameter tersebut akan dilakukan uji konfirmasi. Uji konfirmasi dilakukan untuk mencocokkan hasil prediksi dengan respon yang sebenarnya. Hasil menunjukkan Kombinasi parameter proses pembubutan S45-C yang dapat menghasilkan respon optimal adalah putaran *spindle* (n) 605 Rpm, laju umpan (f) 0,031 mm / menit dan kedalaman potong (a) 0,125 [1].

Nilai kekasaran permukaan yang minimal merupakan kinerja yang ingin dicapai pada proses CNC NLX 2500, perlu dilakukan pengaturan variabel-variabel proses CNC NLX 2500 yang tepat agar diperoleh respon kekasaran permukaan benda kerja yang minimal. Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk menentukan kontribusi dari variabel-variabel proses CNC NLX 2500 untuk

mengurangi variasi dari respon kekasaran permukaan benda kerja secara serentak. Selain itu, juga dilakukan penentuan *setting* yang tepat dari variabel-variabel proses CNC NLX 2500 agar diperoleh kekasaran permukaan benda kerja yang minimal. Variabel proses pemesinan yang divariasikan adalah putaran *spindle*, gerak makan, dan dalam pemakanan rancangan percobaan ditetapkan berdasarkan metode Taguchi dan berupa matriks *orthogonal* L_9 (3^3) metode optimasi yang digunakan adalah Taguchi. Percobaan dilakukan secara acak dengan replikasi sebanyak 2 kali untuk mengatasi faktor gangguan yang terjadi selama proses pemesinan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengurangi variasi dari respon secara serentak, gerak makan memiliki persen kontribusi terbesar, yaitu sebesar 99,48%, putaran *spindle* memiliki persen kontribusi sebesar 0,0974%, dalam pemakanan memiliki persen kontribusi sebesar -0,126%. Untuk memperoleh kekasaran permukaan benda kerja yang minimal, putaran *spindle* diatur sebesar 2748 rpm, gerak makan diatur sebesar 0,15 mm/putaran, dalam pemakanan diatur sebesar 0.5 mm [2].

Penelitian ini telah membahas aplikasi metode Taguchi untuk menginvestigasi dan mempelajari pengaruh parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan Aluminium 6061 dengan menggunakan mesin bubut CNC. Proses pembubutan yang akan memberikan hasil pembubutan dengan nilai kekasaran permukaan yang terbaik sesuai dengan rentang adalah proses pemesinan dengan parameter $A_2B_2C_2$ yaitu pada kecepatan *spindle* yaitu 2093 rpm, gerak makan yaitu 0,07 mm/ref, dan dalam pemakanan yaitu 0,05 mm. Pada tingkat signifikan 5% dari ketiga parameter tersebut yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan adalah gerak makan yang memberikan kontribusi sebesar 62,5% dibanding parameter lainnya seperti kecepatan *spindle* dan dalam pemakanan yang hanya memberikan kontribusi berturut-turut sebesar 5% dan 2,5% [3].

Pada proses pemesinan non-konvensional ini atau *Computer Numeric Control* (CNC) terutama *CNC Turning* ini digunakan untuk mengerjakan produk-produk dengan bentuk permukaan yang kompleks dan kepresisian yang akurat agar mendapatkan kekasaran yang seminimal mungkin. Dengan demikian material

yang digunakan SKD-11 yang dimana akan mempengaruhi parameter-parameternya seperti kecepatan *spindle*, laju pemakanan (*feeding*), tebal pemakanan (*depth of cut*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat ditentukan rumusan masalahnya yaitu bagaimana pengaruh kecepatan potong, laju pemakanan, dan tebal pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan benda uji hasil pemesinan CNC *Turning* pada material baja SKD-11 dengan menggunakan metode Taguchi.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, dengan ini tujuan penelitiannya yaitu mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang optimal pada baja SKD-11 proses pemesinan CNC *Turning* dengan menggunakan metode Taguchi.

1.4 Ruang Lingkup

Pada pembahasan ini hanya terfokus pada:

1. Menguji material baja SKD-11 dengan proses pemesinan CNC *Turning* menggunakan metode Taguchi agar mengetahui *settingan* parameter manakah yang lebih baik sehingga didapatkan kekasaran permukaan yang optimal.

1.5 Batasan Masalah

Agar arah tujuan dari penelitian ini tidak melenceng maka penulis akan membatasi pembahasan masalahnya sebagai berikut:

1. Material uji yang digunakan yaitu baja SKD-11.
2. Proses pemesinan menggunakan CNC *Turning* Mori Seiki SL-25 B/ 500.
3. Pahat yang digunakan adalah pahat *Carbide* CNMG 120408.
4. Alat untuk pengukuran kekasaran yaitu *Surface Roughness Tester*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bab I. Pendahuluan meliputi:

Latar belakang dari penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, batasan masalah, dan sistematika pelaporan.

Bab II. Tinjauan Pustaka/Landasan Teori:

berisikan dasar-dasar teori tentang cara kerja pemessinan CNC *Turning* dan penjelasan berbagai *setting*-an parameter yang digunakan dalam melaksanakan penelitian.

Bab III. Cara/Metode Penyelesaian:

Terdapat uraian rinci tentang langkah-langkah dan metodologi penyelesaian masalah, bahan atau materi TA, alat yang dipergunakan, metode pengambilan data, atau metode analisa hasil, masalah yang dihadapi beserta dengan cara penyelesaian.

Bab IV. Proses, Hasil dan Pembahasan:

Berisikan proses, hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil dari penelitian tersebut juga dapat dibandingkan dengan hasil TA terdahulu yang sejenis.

Bab V. Kesimpulan dan Saran:

Berisikan gambaran akhir dari penarikan kesimpulan untuk membuktikan hipotesis dan keberhasilan menjawab permasalahan yang telah diketahui. Saran dibuat berdasarkan pengalaman penulis ditujukan kepada para mahasiswa/peneliti yang sudah melaksanakan.

Daftar Pustaka berisikan daftar sumber-sumber yang menjadi referensi.

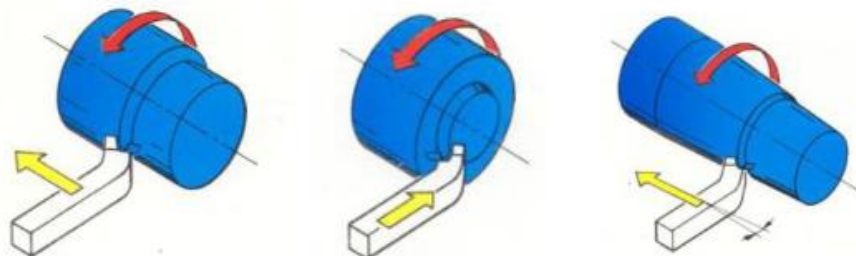
Lampiran berisikan perhitungan dan perlengkapan laporan penelitian.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Proses *Turning*

Proses *Turning* merupakan salah satu dari berbagai macam proses pemesinan dimana proses pemesinan sendiri adalah proses pemotongan logam yang bertujuan untuk mengubah bentuk suatu benda kerja dengan pahat potong yang dipasang pada mesin perkakas. Jadi proses *turning* dapat didefinisikan sebagai proses pemesinan yang biasa dilakukan pada mesin *turning* dimana pahat bermata potong tunggal pada mesin *turning* bergerak memakan benda kerja yang berputar, dalam hal ini pahat bermata potong tunggal adalah gerak potong dan gerak translasi pahat adalah gerak makan [4].

Secara umum terdapat beberapa gerakan utama pada mesin *turning*. Yang pertama yaitu gerakan pemakanan dengan pahat sejajar terhadap sumbu benda kerja pada jarak tertentu sehingga akan membuang permukaan luar benda kerja atau biasa disebut dengan proses bubut rata. Lalu terdapat pemakanan yang identik dengan proses bubut rata, tetapi arah gerakan pemakanan tegak lurus terhadap sumbu benda kerja atau gerak pemakanannya menuju ke sumbu benda kerja, gerak pemakanan ini biasa disebut proses bubut permukaan (*surface turning*). Dan yang terakhir adalah proses bubut tirus (*taper turning*), proses bubut ini sebenarnya identik dengan proses bubut rata di atas, hanya jalannya pahat membentuk sudut tertentu terhadap sumbu benda kerja [5].



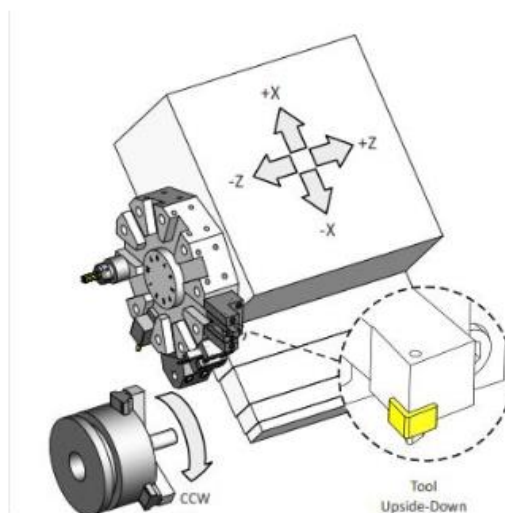
Gambar 2.1 Proses Bubut Rata, Bubut Permukaan dan Bubut Tirus
(Widarto, dkk, 2008)

2.1.1 Prinsip Dasar Mesin Cnc *Turning*

Mesin CNC adalah mesin yang menggunakan program suatu komputer, dimana singkatan CNC tersebut adalah *Computer Numeric Control*. Merupakan sistem otomatisasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram secara abstrak dan disimpan di media penyimpanan, hal ini berlawanan dengan kebiasaan sebelumnya dimana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan atau otomatisasi sederhana menggunakan cam.

Kata NC sendiri adalah singkatan dari kata *Numerical Control* yang artinya Kontrol Numerik. Dalam hal ini mesin perkakas biasa ditambahkan dengan motor yang akan menggerakkan pengontrol mengikuti titik-titik yang dimasukkan kedalam sistem oleh perekam kertas.

Mesin perpaduan antara servo motor dan mekanis ini segera digantikan dengan sistem analog dan kemudian komputer digital menciptakan Mesin perkakas modern yang disebut mesin CNC yang dikemudian hari telah merevolusi proses desain.



Gambar 2.2 Persumbuan Mesin *Turning* (Rochim,1993)

2.1.2 Bagian-Bagian Utama Mesin *Turning*

Pada mesin CNC *turning* terdapat bagian-bagian yang mana merupakan bagian terpenting dari mesin tersebut. Bagian yang paling utama ada 2 yaitu : Bagian Mekanik, dan Bagian Pengendali.

1. Bagian Mekanik Mesin CNC *Turning*

a. Motor Utama

Motor utama adalah motor penggerak putaran *spindle* dan berfungsi memutar benda kerja. Motor utama berperan dalam mengatur putaran dan menjadi variabel yang penting dalam proses pembubutan.

b. Step Motor

Step motor berfungsi menggerakkan eretan kearah sumbu X dan sumbu Z. pada arah sumbu X bertujuan untuk melakukan pemotongan benda kerja sedangkan pada arah sumbu Z bertujuan untuk penyayatan benda kerja. Ketelitian dari step motor pada tiap mesin CNC rata-rata adalah 0.01 mm dan dengan maksimal kecepatan bervariasi tergantung dari jenis mesin yang disesuaikan dengan kebutuhan. Pada dasarnya tiap-tiap mesin mempunyai spesifikasi ketelitian dan kecepatan yang bervariasi tergantung kebutuhan.

c. *Head stock*

Head stock atau kepala tetap adalah bagian yang berputar. Berfungsi mencekam benda kerja dan memutarnya. Putaran ini dikendalikan oleh motor utama.

d. *Support*

Support adalah bagian yang digunakan untuk mendukung benda kerja. Berfungsi untuk menahan benda kerja agar tetap pada posisi center dan tetap pada poros putar terutama untuk benda kerja yang mempunyai dimensi yang panjang.

e. *Revolver*

Revolver adalah bagian yang berfungsi sebagai rumah alat potong. *Revolver* akan berputar dan menempatkan alat potong sesuai program. Dengan *revolver*, maka alat potong yang sedang tidak terpakai dalam posisi aman dan selalu siap digunakan ketika program yang dipakai adalah multi *tool*.

f. Bed Mesin

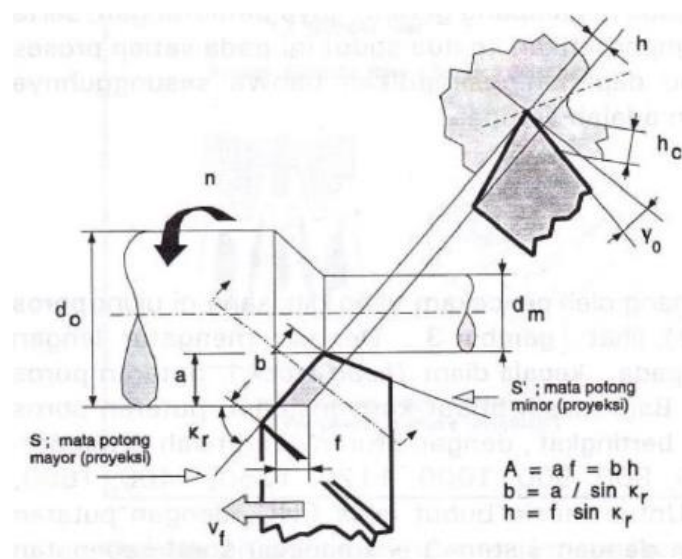
Bed mesin adalah sebagai tempat bertumpunya bagian-bagian mesin, sebagai penyangga beban dan sebagai alas.

2. Bagian Pengendali/Panel Kontrol

a. Panel Kontrol

Mesin CNC *turning* Pada dasarnya setiap mesin CNC memiliki kontrol panel yang prinsip kerjanya sama. Hanya saja biasanya terdapat perbedaan pada pengaturan tata letak, simbol, ataupun istilah yang dipakai. Pada setiap mesin akan disertakan buku petunjuk manual untuk lebih memahami tentang mesin tersebut. Pada panel kontrol ada tombol yang bersifat satu fungsi. Berikut gambar kontrol panel mesin CNC *turning*.

2.2 Parameter Mesin *Turning*



Gambar 2.3 Parameter Proses Pembubutan (Rochim,1993)

Dalam teori dan teknologi proses pemesinan [4] secara umum pada proses *turning* terdapat tiga parameter utama yaitu kecepatan potong (v), pemakanan(f), dan kedalaman potong (a). Elemen dasar pada proses *turning* dapat diketahui

menggunakan rumus yang dapat diturunkan berdasarkan gambar 2.3 di atas dimana kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut :

a. Benda Kerja :

| | | |
|-------|------------------------|----------|
| D | = Diameter Benda Kerja | (mm) |
| v_f | = Kecepatan Makan | (mm/min) |
| a | = Kedalaman Potong | (mm) |
| L | = Panjang | (mm) |
| d_o | = Diameter Awal | (mm) |
| d_m | = Diameter Akhir | (mm) |

b. Pahat Bubut :

| | |
|------------|----------------------|
| γ_0 | = Sudut Geram |
| K_r | = Sudut Potong Utama |
| θ | = Sudut Gesek |
| r_μ | = Sudut Gesek |

2.2.1 Putaran Benda Kerja

Bagian paling fundamental adalah putaran benda kerja karena akan mempengaruhi parameter-parameter yang lainnya. Putaran benda kerja bergantung pada jenis material, diameter material, dan pada aplikasi lapangan juga memperhitungkan panjang benda kerja serta tingkat kesulitan pengerjaan.

$$n = \frac{v \times 1000}{\pi \times d} ; rpm \quad (2.1)$$

Keterangan :

| | | |
|---|-----------------------|---------|
| n | = Putaran Benda Kerja | (rpm) |
| v | = Kecepatan Potong | (m/min) |
| d | = Diameter Awal Benda | (mm) |

2.2.2 Kecepatan Makan

Kecepatan makan adalah kecepatan gerak *tool* atau tapat relatif terhadap benda kerja atau material yang dihitung berdasarkan panjang pemakanan dibagi waktu pemakanan.

$$Vf = f \times n \text{ ;/min} \quad (2.2)$$

Keterangan :

| | | |
|----|-----------------------|----------|
| Vf | = Kecepatan Makan | (mm/min) |
| f | = Gerak Makan | (mm/r) |
| n | = Putaran Benda Kerja | (rpm) |

2.2.3 Feeding

Kecepatan makan adalah kecepatan gerak *tool* atau tapat relatif terhadap benda kerja atau material yang dihitung berdasarkan panjang pemakanan dibagi rotasi.

$$f = \frac{vf}{n} \text{ ; mm/r} \quad (2.3)$$

Keterangan :

| | | |
|----|-----------------------|---------|
| n | = Putaran Benda Kerja | (rpm) |
| vf | = Kecepatan Potong | (m/min) |

2.2.4 Kecepatan Potong

Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan atau pemotongan benda kerja [6]. Harga kecepatan potong ditentukan oleh jenis alat potong dan jenis benda kerja yang dipotong :

$$v = \frac{v \times d \times n}{1000} \text{ m/min} \quad (2.4)$$

Keterangan :

| | | |
|---|------------------------|---------|
| v | = Kecepatan Potong | (m/min) |
| d | = Diameter Benda Kerja | (mm) |
| n | = Kecepatan Putar | (rpm) |

Tabel 2.1 Kecepatan Potong Bahan Teknik Untuk Proses Perautan
Roughing Dan Finishing

| NO | Material | Range for Roughing and Finishing | | |
|----|------------------------------------|----------------------------------|--------------|------------------------|
| | | Deep of Cut Mm | Feed mm/r | Cutting Speed m/min |
| 1 | Low-C and Free Machining Steels | 0,5-7,6 | 0,15-1,1 | 60-135 |
| 2 | Medium and High-C Steels | 2,5-7,6 | 0,15-0,75 | 45-120 |
| 3 | Cast Iron, Gray | 0,4-12,7 | 0,1-0,75 | 75-185 |

2.2.5 Kedalaman Potong

Kedalaman potong suatu material ditentukan dari jenis material, putaran benda kerja, radius pahat, dan keadaan pemotongan. Rekomendasi kedalaman potong didapatkan dari rekomendasi tabel dibawah ini:

Tabel 2.2 Rekomendasi Kedalaman Pemotongan Berdasarkan Radius Mata Pahat
Potong

| a ; mm | r ; mm |
|------------|-------------|
| s.d. 3 | 0.5 s.d 0.8 |
| 3 s.d. 10 | 0.8 s.d 1.5 |
| 10 s.d. 20 | 1.5 s.d 2.0 |

2.3 Material Benda Kerja

Baja adalah besi karbon campuran logam yang dapat berisi konsentrasi dari elemen campuran lainnya, ada ribuan campuran logam lainnya yang mempunyai perlakuan bahan dan komposisi berbeda. Sifat mekanis adalah *sensitive* kepada isi dari pada karbon, yang mana secara normal kurang dari 1,0 %C. sebagian dari baja umum digolongkan menurut konsentrasi karbon, yakni kedalam rendah, medium dan jenis karbon tinggi.

Dalam dunia industri dan manufaktur baja merupakan material yang paling banyak digunakan baik itu dalam segmen konstruksi berat seperti pembuatan rangka gedung dan jembatan maupun untuk konstruksi mesin, baja adalah material yang sangat umum untuk digunakan. Dari produk berbasis logam, baja menduduki peringkat 90% logam yang paling digunakan. Baja merupakan paduan Besi (Fe) dengan Karbon (C), dimana kandungan karbon tidak lebih dari 2%.

Baja banyak digunakan karena baja mempunyai sifat mekanis lebih baik daripada besi, sifat baja antara lain :

- a. Tangguh dan ulet
- b. Mudah ditempa
- c. Mudah diproses
- d. Sifatnya dapat diubah dengan mengubah karbon
- e. Sifatnya dapat diubah dengan perlakuan panas
- f. Kadar karbon lebih rendah dibandingkan besi
- g. Banyak dipakai untuk berbagai bahan peralatan

Walaupun baja adalah sebagai bahan yang ideal dan paling banyak digunakan, namun unsur Besi (Fe) pada baja sangat rentan mengalami korosi jika bersentuhan langsung dengan unsur oksigen (O_2).

2.4 Sisipan Pahat

Bagian perkakas potong/pahat yang berfungsi sebagai pelaksana proses pemotongan (pembentukan geram) disebut sebagai badan (*tool body*) yang keseluruhannya dapat terbuat dari material pahat (HSS) atau sebagai sisipan pahat yang dipasang pada badan yang terbuat dari baja biasa. Untuk memungkinkan pemakaiannya secara luas, *International Organization For Standardization (ISO)* telah membuat standar bentuk dan ukuran sisipan pahat sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar, modifikasi sisipan pahat tersebut mencakup beberapa hal berikut:

1. Bentuk sisipan : Menentukan mata potong yang bisa di pakai.
2. Sudut bebas : Bersama-sama dengan orientasi dudukan sisipan pada pemegang pahat menentukan sudut bebas pasif.
3. Toleransi : Menentukan ketelitian dan kedalaman pencekam sisipan.
4. Bentuk pematah geram : Menentukan kemudahan pembuangan geram.
5. sisi utama sisipan : Menentukan kendala pemakaian.
6. Tebal sisipan : -
7. Radius ujung pahat : -
8. Kondisi mata potong : -
9. Arah gerak makan : -

Simbol khusus, menurut pabrik pembuat (berkaitan dengan pematah geram).

Sisipan pahat tersebut dapat dipasang dengan secara tetap dengan cara patri keras (*brazing*) atau secara tak tetap dengan menggunakan klem pengikat pada badan pahat. Pahat dengan sisipan yang terpasang tetap biasanya di asah kembali apabila telah aus. Bagi pahat dengan sisipan yang di klem tak pernah di asah dan mata potong yang aus di ganti dengan yang baru dengan mengubah posisi pemasangan sisipan tersebut atau telah menggantikan dengan sisipan baru bila seluruh sisi aktif/mata potongnya telah aus.

2.5 Teoritis Kekasaran Permukaan

Salah satu karakteristik geometris yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus. Dalam prakteknya memang tidak mungkin untuk mendapatkan suatu komponen dengan permukaan yang betul-betul halus. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya faktor manusia (operator) dan faktor-faktor dari mesin-mesin yang digunakan untuk membuatnya. Akan tetapi, dengan kemajuan teknologi terus berusaha membuat peralatan yang mampu membentuk permukaan komponen dengan tingkat kehalusan yang cukup tinggi menurut standar ukuran yang berlaku dalam metrologi yang dikemukakan oleh para ahli pengukuran geometris benda melalui pengalaman penelitian.

2.5.1 Parameter-parameter Permukaan

Untuk memahami Parameter-parameter permukaan, harus dipahami dulu beberapa hal dibawah ini, yaitu :

1. Profil Geometris Ideal

Profil ini merupakan profil dari geometris permukaan yang ideal yang tidak mungkin diperoleh dikarenakan banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam proses pembuatannya. Bentuk dari profil geometris ideal ini dapat berupa garis lurus, lingkaran, dan garis lengkung.

2. Profil Referensi

Profil ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis karakteristik dari suatu permukaan. Bentuknya sama dengan bentuk profil geometris ideal, tetapi tepat menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur pada panjang sampel yang diambil dalam pengukuran.

3. Profil Terukur

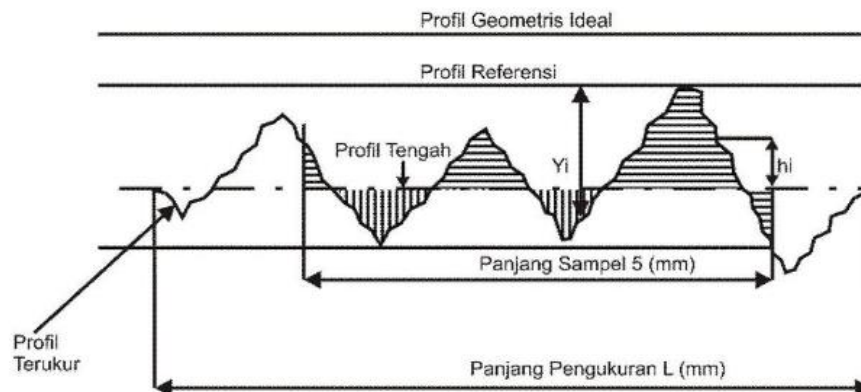
Profil terukur adalah profil dari suatu permukaan yang diperoleh melalui proses pengukuran. Profil inilah yang dijadikan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan produk pemesinan.

4. Profile Dasar

Profil dasar adalah profil referensi yang digeserkan ke bawah hingga tepat pada titik paling rendah pada profil terukur.

5. Profil Tengah

Profil tengah adalah profil yang berada di tengah-tengah dengan posisi sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagian atas profil tengah sampai pada profil terukur sama dengan jumlah luas bagian bawah profil tengah sampai pada profil terukur. Profil tengah ini sebetulnya merupakan profil referensi yang digeserkan ke bawah dengan arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal sampai pada batas tertentu yang membagi luas penampang permukaan menjadi dua bagian yang sama yaitu atas dan bawah.



Gambar 2.4 Kekasaran Permukaan Teknis Perekaman Khusus Sumber
(Rochim, 2001)

Kekasaran Rata-rata Aritmetis (*Mean Roughness Indec/CenterLine Average, CLA*), Roughness average (Ra) merupakan harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan profil tengah.

$$Ra = \frac{y_1+y_2+y_3+\dots+y_n}{n} \quad (2.5)$$

Keterangan :

- Ra = Kekasaran Permukaan Rata-rata; (μm)
- y = Jarak Profil Referensi ke Profil Terukur
- n = Jumlah Sampel

2.5.2 Toleransi Harga Kekasaran Permukaan

Seperti halnya toleransi ukuran (poros dan lubang), harga kekasaran permukaan rata-rata aritmetis (Ra) juga mempunyai toleransi kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N1 sampai N12. Besarnya toleransi untuk (Ra) biasanya diambil antara 50% keatas dan 25% kebawah.

Table 2.3 Menunjukkan Harga Kekasaran Rata-rata Beserta Toleransinya
(Pratama, 2016)

| Kelas kekasaran | Harga C.L.A (μm) | Harga Ra (μm) | Toleransi N-25% +50% | Panjang sampel (μm) |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| N1 | 1 | 0.0025 | 0.02 –0.04 | 0.08 |
| N2 | 2 | 0.05 | 0.04 –0.08 | |
| N3 | 4 | 0.0 | 0.08 –0.15 | 0.25 |
| N4 | 8 | 0.2 | 0.15 –0.3 | |
| N5 | 16 | 0.4 | 0.3 –0.6 | |
| N6 | 32 | 0.8 | 0.6 –1.2 | |
| N7 | 63 | 1.6 | 1.2 –2.4 | |
| N8 | 125 | 3.2 | 2.4 –4.8 | 0.8 |
| N9 | 250 | 6.3 | 4.8 –9.6 | |
| N10 | 500 | 12.5 | 9.6 –18.75 | 2.5 |
| N11 | 1000 | 25.0 | 18.75 –37.5 | |
| N12 | 2000 | 50.0 | 37.5 –75.0 | 8 |

2.6 Metode Taguchi

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang. Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*.

Definisi kualitas menurut taguchi adalah kerugian yang diterima oleh masyarakat sejak produk tersebut dikirimkan. Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari empat buah konsep, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target.

3. Produk harus didesain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
4. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Metode Taguchi merupakan *off-line quality control* artinya pengendalian kualitas yang preventif, sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. *Off-line quality control* dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (*to get right first time*). Kontribusi Taguchi pada kualitas adalah:

1. *Loss Function*

Loss Function Merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan. Bagi produsen yaitu dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah adanya ketidakpuasan atau kecewa atas produk yang dibeli atau dikonsumsi karena kualitas yang jelek.

2. *Orthogonal Array*

Orthogonal array digunakan untuk mendesain percobaan yang efisien dan digunakan untuk menganalisis data percobaan. *Orthogonal array* digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variable-variabel input untuk masing-masing eksperimen.

3. *Robustness*

Meminimasi sensitivitas sistem terhadap sumber-sumber variasi.

2.6.1 Tahapan Dalam Desain Produk Atau Proses Menurut Taguchi

Dalam metode Taguchi tiga tahap untuk mengoptimasi desain produk atau proses produksi yaitu [7]:

System Design yaitu upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode baru dan lainnya dimunculkan untuk memberi peningkatan produk . Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk

baru atau inovasi proses. Konsep mungkin berasal dari dari percobaan sebelumnya, pengetahuan alam/teknik, perubahan baru atau kombinasinya.

1. *Parameter Design*

Tahap ini merupakan pembuatan secara fisik atau prototipe secara matematis berdasarkan tahap sebelumnya melalui percobaan secara statistik. Tujuannya adalah mengidentifikasi *setting* parameter yang akan memberikan performansi rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan pada variasi dari target.

2. *Tolerance Design*

Penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian pada masyarakat akibat penyimpangan produk dari target. Pada tahap ini, kualitas ditingkatkan dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk.

2.6.2 Langkah Penelitian Taguchi

Langkah-langkah ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah :

1. Fase perencanaan

Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan levelnya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen.

2. Fase pelaksanaan

Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, analisis akan lebih mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan level.

3. Fase analisis

Fase analisis adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya.

Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif.

Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut [7]:

- a. Perumusan masalah: Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya dan secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan.
- b. Tujuan eksperimen: Tujuan yang melandasi percobaan harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati.
- c. Memilih karakteristik kualitas (variabel tak bebas): Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselidiki.
- d. Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (variabel bebas): Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselidiki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselidiki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah *brainstorming, flow charting, and cause effect diagram*.
- e. Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol: Dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factors*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.

- f. Penentuan jumlah level dan nilai faktor: Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan ongkos percobaan.
- g. Identifikasi interaksi antar faktor kontrol: Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuan proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada *main effect* (penyebab utama) sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.
- h. Perhitungan derajat kebebasan (*degrees of freedom/dof*): Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.
- i. Pemilihan *Orthogonal Array (OA)*: Dalam memilih jenis *Orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati yaitu:
 - a. Jika semua faktor adalah dua level: Pilih jenis OA untuk level dua faktor.
 - b. Jika semua faktor adalah tiga level: Pilih jenis OA untuk level tiga faktor.
 - c. Jika beberapa faktor adalah dua level dan lainnya tiga level: Pilih yang mana yang dominan dan gunakan *dummy treatment*, metode kombinasi, atau *metode idle column*.
 - d. Jika terdapat campuran dua, tiga, atau empat level faktor: lakukan modifikasi OA dengan metode *Merging Column*.
- j. Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada *orthogonal array*: Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada *orthogonal array* terpilih dengan memperhatikan grafik

linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu OA.

- k. **Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan:** Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.
 - a. **Jumlah Replikasi**

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi bertujuan untuk: 1) Mengurangi tingkat kesalahan percobaan, 2) Menambah ketelitian data percobaan, dan 3) Mendapatkan harga estimasi kesalahan percobaan sehingga memungkinkan diadakan test signifikansi hasil eksperimen.
 - b. **Randomisasi**

Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk: 1) Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan, 2) Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama, dan 3) Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (independen) satu sama lain. Pelaksanaan percobaan taguchi adalah pengerjaan berdasarkan *setting* faktor pada OA dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi.
- l. **Analisis Data:** Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *layout* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih. Selain itu dilakukan perhitungan dan penyajian data dengan statistik analisis variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan.
- m. **Interpretasi Hasil:** Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis telah dilakukan. Interpretasi yang dilakukan antara lain

dengan menghitung persentase kontribusi dan perhitungan selang kepercayaan faktor untuk kondisi perlakuan saat percobaan.

- n. Percobaan Konfirmasi: Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi: 1) Dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya, dan 2) *setting* parameter (faktor) yang optimum hasil analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

2.6.3 Rasio S/N (*Signal-to-Noise ratio*)

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 [7]:

1. *Smaller the better*

Karakteristik kualitas dimana semakin rendah nilainya, maka kualitas semakin baik. Contohnya adalah kekasaran permukaan.

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

Dimana:

n=Jumlah tes di dalam percobaan

2. *Large the Better*

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik. Contohnya kekuatan material.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2.7)$$

3. *Nominal the better*

Karakteristik kualitas dimana ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, jika nilainya semakin mendekati nilai nominal tertentu tersebut maka kualitasnya semakin baik. Contohnya adalah ukuran produk dimana semakin mendekati ukuran nominal yang ditetapkan, maka kualitasnya semakin baik.

$$S/N = -10 \log.Ve$$

$$S/N = -10 \log \left[\frac{Vm-Ve}{Ve} \right] \quad (2.8)$$

2.6.4 Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of variance (ANOVA) merupakan teknik yang memungkinkan untuk menguji perbedaan variasi pengaruh satu faktor dari sampel yang diambil. Dengan menggunakan ANOVA dapat ditarik kesimpulan apakah sampel yang diambil memiliki kesamaan rata-rata atau tidak. *Analysis of variance* (ANOVA) digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut bisa diketahui dengan membandingkan nilai *sum of square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

Analysis of variance (ANOVA) pada metode Taguchi digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil percobaan. ANOVA merupakan teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. *Analysis of variance* (ANOVA) yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model bisa ditentukan. ANOVA yang digunakan dalam hasil eksperimen dengan metode Taguchi pada umumnya adalah ANOVA dua arah. ANOVA dua arah adalah data percobaan yang terdiri dari dua level atau lebih dan dua faktor atau lebih [8].

Berikut merupakan persamaan untuk menghitung jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat, derajat kebebasan, nilai F dan nilai probabilitas [9]:

1. Jumlah kuadrat (*sum of square*)

Jumlah kuadrat setiap faktor, contoh untuk faktor A:

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

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*.

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

$$V_t = \text{Total semua level} - 1 \quad (2.11)$$

$$V_e = V_t - (V_a + V_b + \dots + V_n) \quad (2.12)$$

Dimana:

V_a = Derajat kebebasan faktor A V_e = Derajat kebebasan *error*

V_t = Derajat kebebasan total

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

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

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} \quad (2.13)$$

4. Jumlah kuadrat total

$$SS_T = \sum y^2 \quad (2.14)$$

Dimana:

y = Nilai data

5. Jumlah kuadrat karena rata-rata

$$SS_m = n \bar{y}^2 \quad (2.15)$$

Dimana:

n = Banyak data

6. Jumlah kuadrat *error*

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \quad (2.16)$$

Dimana:

$$SS_{\text{faktor}} = SS_A + SS_B + \dots + SS_n \quad (2.17)$$

7. Rata-rata kuadrat *error*

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e} \quad (2.18)$$

8. Nilai F

Pengaruh masing-masing faktor dapat dilihat dari nilai F. Dimana untuk melakukan pengujian nilai F ini akan dibandingkan dengan F pada tabel statistik (terlampir). Jika nilai F hitung $>$ F tabel maka faktor tersebut memberikan pengaruh yang signifikan. Sebaliknya, jika nilai F hitung $<$ F tabel maka faktor tersebut tidak memberikan pengaruh secara signifikan. Nilai F dihitung dari pembagian rata-rata kuadrat dengan rata-rata kuadrat *error*. Contoh untuk faktor A:

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e} \quad (2.19)$$

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 α 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. Jika persen kontribusi *error* kurang dari lima belas persen, maka tidak ada variabel yang berpengaruh terabaikan tetapi jika persen kontribusi *error* lebih dari lima belas persen mengindikasikan ada variabel yang berpengaruh terabaikan sehingga *error* yang terjadi terlalu besar. Jumlah derajat kebebasan *error* sangat disarankan tidak melebihi dari setengah derajat kebebasan total [9]. Interpretasi yang dilakukan pada hasil percobaan dengan menggunakan desain percobaan Taguchi adalah sebagai berikut:

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} 100\% \quad (2.20)$$

$$SS'_A = SS_A - v_A \times MS_E \quad (2.21)$$

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*

Interval keyakinan $(1-\alpha)$ 100% untuk hasil optimasi:

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan parameter-parameter menduga rata-rata}} \quad (2.22)$$

$$CI = \sqrt{F_{\alpha; 1; v_E} \times MS_E \times \frac{1}{n_{eff}}} \quad (2.23)$$

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI \quad (2.24)$$

Dengan:

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

n_{eff} = banyaknya pengamatan efektif

11. Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi merupakan percobaan 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.

Langkah-langkah dalam percobaan konfirmasi dapat dijabarkan sebagai berikut:

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

Percobaan 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.

Interval keyakinan percobaan konfirmasi dapat dihitung dengan

menggunakan rumus [7]:

$$CI \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \times MS_E \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (2.25)$$

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI \quad (2.26)$$

Dengan:

r = jumlah pengulangan dalam percobaan konfirmasi

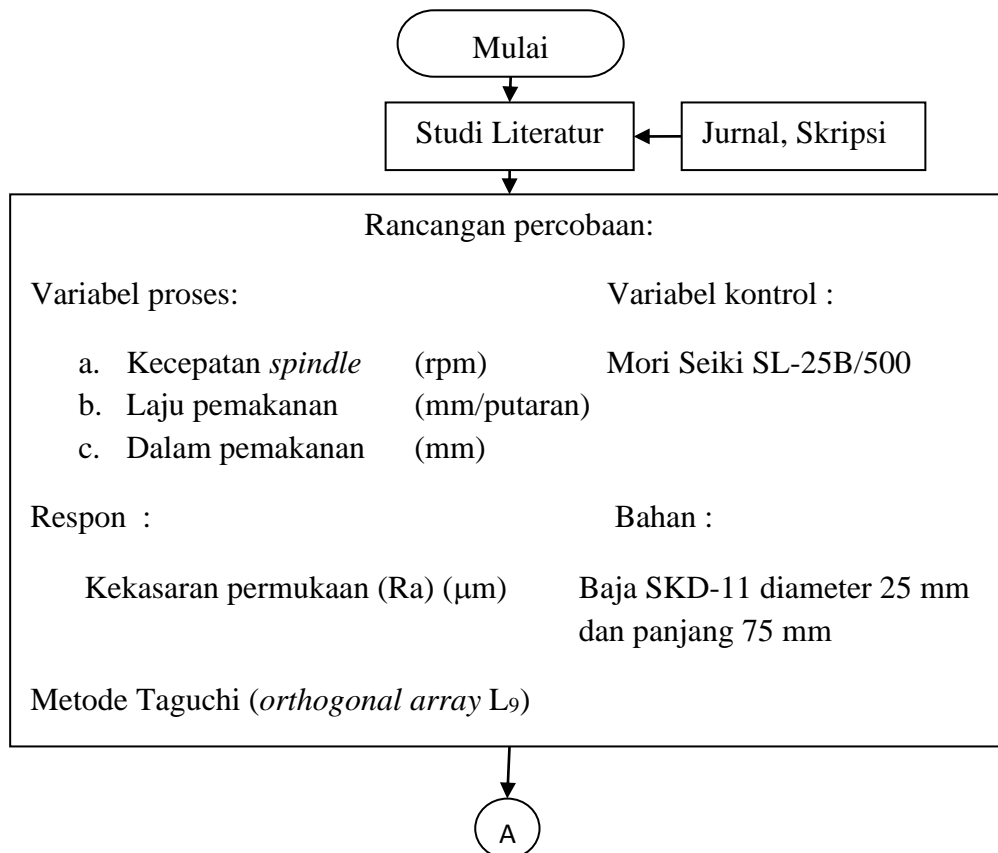
BAB III METODELOGI PENELITIAN

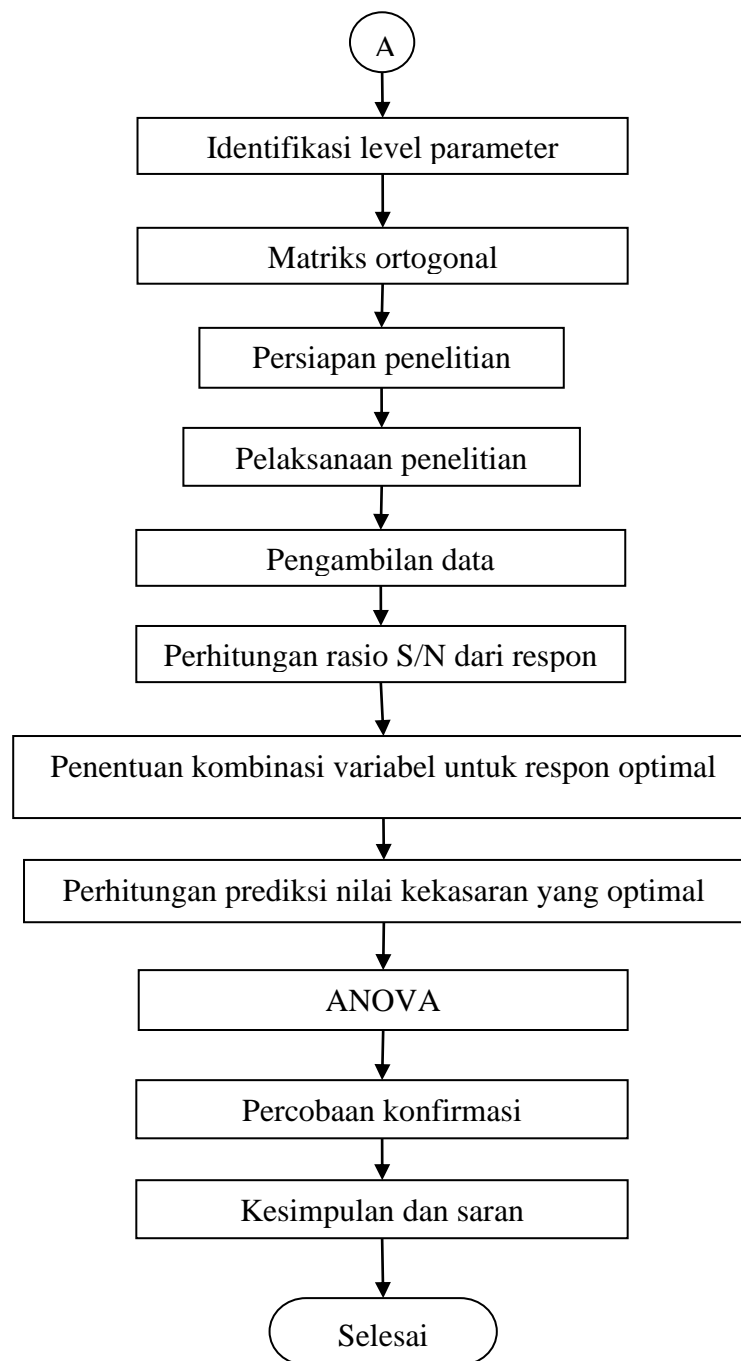
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini direncanakan selama kurang lebih 6 bulan yang dimulai pada semester VII sampai dengan selesai. Tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah di Lab Mekanik Polman Negeri Bangka Belitung tepatnya di ruangan CNC yang beralamat di Kawasan Industri Air Kantung, Jalan Timah Raya Sungailita Bangka 33211.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penyelesaian pada penelitian ini dilakukan dengan mengikuti diagram alir penelitian yang ada di bawah ini:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Rancangan Penelitian

Desain penelitian merupakan suatu rancangan percobaan dengan tiap langkah tindakan yang betul-betul terdefinisikan sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dapat dikumpulkan.

Metode eksperimen yang digunakan penelitian ini adalah metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan metodologi baru untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), karenanya metode ini disebut juga perancangan kokoh (*robust design*) [9].

Pemilihan matriks *orthogonal* taguchi menyesuaikan dengan nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap-tiap faktor. Matriks *orthogonal* yang dipilih adalah $L_9 (3^3)$.

Tabel 3.1 Parameter Kendali Dan level untuk *Orthogonal Array* L9

| Kontrol Faktor | satuan | Level | | |
|--------------------------|--------|-------|-------|------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Kecepatan <i>Spindle</i> | rpm | 2360 | 2640 | 2920 |
| Laju Pemakanan | mm/put | 0,15 | 0,25 | 0,65 |
| Tebal Pemakanan | mm | 0,3 | 0,425 | 0,6 |

Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Parameter Dan Level

| No | Parameter | Jumlah level (k) | $V_s = (k - 1)$ |
|-------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|
| 1 | Kecepatan <i>Spindle</i> | 3 | 2 |
| 2 | Laju Pemakanan | 3 | 2 |
| 3 | Tebal Pemakanan | 3 | 2 |
| Total derajat kebebasan | | | 6 |

Table 3.2 menunjukkan total derajat kebebasan parameter dan level yang digunakan adalah 7. Hal ini mengakibatkan derajat kebebasan minimum yang

harus dimiliki oleh matriks *orthogonal* yang akan digunakan adalah 6. Oleh karena itu, sesuai dengan pilihan yang tersedia, matriks *orthogonal* L_9 (3^3) memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai rancangan percobaan matriks *orthogonal* L_9 ditunjukkan oleh Tabel.

Tabel 3.3 *Orthogonal Array* Untuk Taguchi L_9

| No. Percobaan | Parameter Kendali | | |
|---------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------|
| | Kecepatan <i>Spindle</i> (Rpm) | Laju pemakanan (mm/put) | Tebal pemakanan (mm) |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 |
| 5 | 2 | 2 | 3 |
| 6 | 2 | 3 | 1 |
| 7 | 3 | 1 | 3 |
| 8 | 3 | 2 | 1 |
| 9 | 3 | 3 | 2 |

3.4 Variabel Percobaan

Variabel yang akan digunakan untuk penelitian ini adalah variabel bebas dan variabel terikat.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilai-nilainya ditentukan bebas oleh peneliti variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Variasi kecepatan *spindle*.
- b. Variasi laju pemakanan.
- c. Variasi tebal pemakanan.

3.4.2 Respon

Respon adalah variabel yang faktornya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variabel bebas. Respon yang ada pada penelitian ini yaitu kekasaran permukaan benda kerja.

3.4.3 Variabel *Control*

Variabel kontrol adalah variabel yang dipertahankan oleh peneliti selama percobaan. Variabel ini juga dikenal dengan variabel konstan, pada penelitian ini menggunakan variabel kontrol yaitu Mesin CNC *Turning* Mori Seiki SL-25/500.

3.5 Bahan Dan Alat Penelitian

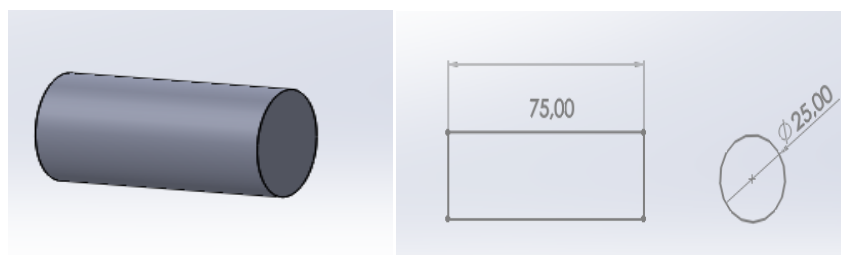
3.5.1 Bahan Penelitian

1. Baja SKD-11

Dalam proses pemesinan ini, bahan yang digunakan yaitu baja SKD-11 yang mana jenis baja tahan karat berkualitas tinggi yang merupakan baja perkakas dan banyak digunakan dalam industri karena memiliki sifat kekerasan yang tinggi dan tahan lama. Komposisi kimia dari baja SKD-11 yaitu :

Tabel 3.4 Komposisi Kimia Dari Baja SKD-11

| C | Cr | Mo | Mn | Si |
|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1,55% | 11,60% | 0,80% | 0,30% | 0,30% |



Gambar 3.1 Benda Kerja Dan Ukuran

3.5.2 Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin CNC *Turning* Mori Seiki SL-25 B/500

Mesin ini digunakan dalam proses pembubutan baja SKD-11 yang akan dilakukan pada saat penelitian berlangsung. Mesin yang digunakan sudah tersedia dan tidak memiliki kendala, siap digunakan kapanpun yang jelas pada saat melakukan penelitian. Sebelum melakukan penelitian perhatikan APD dan ikuti prosedur penggunaan mesin maupun aturan – aturan yang ada. Adapun spesifikasi mesin ini yang telah ditentukan yaitu:

Tabel 3.5 Spesifikasi Mesin

| <i>SL Series</i> | SL-25 B/500 |
|------------------|---|
| | <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>Capacity</i> | <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 speed range</i> 35-292-3500 |
| | <i>Numbers spindle speed ranges</i> 1 |
| | <i>Type of spindle nose</i> Jls A ₂ -6 |
| <i>Spindle</i> | <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>Number of turrets</i> 1 |
| | <i>Type of turret</i> 10 st. |
| <i>Turret</i> | <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 traverse 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 drive motor (30 min/cont)</i> | | 15/11(20/15)[18.5/15(25/20)] |
| | | kW (HP) | |
| | <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 (HP) | 0.52(0.70) |
| <i>Power sources</i> | <i>Electrical power supply</i> | | 26[34] |
| | | (continuous rating) | kVA MSD-516II: 27 [34] |
| | <i>Compressed air supply</i> | | - |
| | | Mpa (psi), L/min(gpm) | |
| | <i>Hydraulic oil tank capacity</i> | L | 39(10.30) |
| | | (gal.) | |
| | <i>Lubricant tank capacity</i> | L | 2(0.53) |
| | | (gal.) | |
| | <i>Coolant tank capacity</i> | L | 100(26.40) |
| | | (gal.) | |
| <i>Machine size</i> | <i>Machine height</i> | | 1930(75.98) |
| | <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 ² }> |
| | <i>Coupling diameter</i> | 210(8.27) |
| <i>Force dan Diameter</i> | <i>Ball screw diameter <pitch></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 ² }> |
| | <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 ² }> |



Gambar 3.2 Mesin CNC *Turning* Mori Seiki SL-25 B/500

2. Alat Uji Kekasaran Permukaan (*surface roughness tester*)

Surface roughness tester ini digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan pada suatu benda kerja atau material. Alat ini digunakan pada penelitian sebagai pengukuran kekasaran permukaan baja SKD-11 yang telah melalui tahap proses pemesinan CNC *Turning*.



Gambar 3.3 *Surface Roughness Tester* Mitutoyo

3. Alat potong/pahat (*carbide*)

Alat potong yang digunakan pada saat proses pemesinan CNC *turning* yaitu *carbide*. Banyak sekali jenis dan bentuk untuk alat potong CNC *turning* ini tetapi pada penelitian ini hanya digunakan pahat proses finishing untuk melakukan pemotongan pada baja SKD-11, dikarenakan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekasaran permukaannya saja.



Gambar 3.4 *Insert Carbide Lamina* CNMG 120408

3.6 Pengambilan Data

Benda kerja yang dikerjakan melalui proses mesin dan dilakukan pemotongan pada permukaannya mendapatkan hasil yang kurang bagus yaitu tidak rata dan halus, maka akan meninggalkan bekas berupa seperti berbukit yang disebut dengan kekasaran permukaan. Kekasaran rata-rata secara aritmetis (R_a) dihitung berdasarkan rata-rata dari nilai absolut jarak antara profil terukur dengan profil bagian tengah. Pada perhitungan (R_a) daerah-daerah yang berada dibawah

profil tengah (lembah) diproyeksikan keatas dan dirata-ratakan dengan daerah diatas profil tengah. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

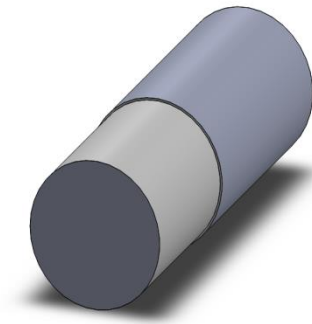
Keterangan :

| | |
|----|--|
| Ra | = Kekasaran Permukaan Rata-rata;(μm) |
| y | = Jarak Profil Referensi ke Profil Terukur |
| n | = Jumlah Sampel |

3.6.1 Proses pemesinan CNC

Berikut ini langkah-langkah proses pembubutan baja SKD-11 dengan proses pemesinan CNC dengan *setting*-an parameter yang telah ditentukan.

1. Persiapkan benda kerja yaitu baja SKD-11 dengan ukuran yang telah ditentukan.
2. Persiapkan pahat/alat potong yang digunakan dalam proses pembubutan.
3. Pemasangan benda kerja dan pemrograman benda kerja sesuai settingan nomor percobaan.
4. Pemasangan *insert* dan *holder* mesin CNC *Turning* Mori Seiki SL-25 B/500.
5. Melakukan proses pembubutan benda kerja dengan menyalakan mesin CNC dan menyeting variabel-variabel proses kemudian masukan nilai variabel proses pada program untuk penyayatan benda kerja.
6. Proses dilakukan sampai semua benda kerja telah selesai melalui proses pembubutan. Lakukan proses pembubutan sesuai nilai variabel proses pada program untuk pembubutan benda kerja sedalam sesuai kombinasi.



Gambar 3.5 Benda kerja Proses CNC *Turning*

3.6.2 Pengujian Kekasaran (*roughness*)

Pengujian kekasaran dilakukan untuk mengetahui nilai kekasaran suatu permukaan dengan standar atau properties pengukuran (Ra), (Rz), (Rq), (Rmax) dan keteli alat 0,02 μm . Pengujian ini dilakukan dipolman babel. Adapun prosedur yang dilakukan sebagai berikut:

1. Persiapkan benda kerja hasil pemesinan CNC SL-25 B/500 diletakkan pada *V-block* dan meja rata, dimana alat uji *surface roughness tester* juga diletakkan pada landasan paralel pad, atur ketinggian alat dengan benda kerja.
2. Dial indicator diatur sehingga ujung dari dial indicator berada dalam posisi stabil pada pembacaan skala tekanan terhadap permukaan objek pengukuran
3. Sebelum menjalankan alat dipersiapkan standar yang ingin digunakan seperti (Ra), (Rq), (Rz), dan (Rmax). Dan juga memasukan faktor-faktor seperti panjang dari permukaan objek yang ingin diperiksa.
4. Pada saat pengambilan data, indicator dial posisi bergerak dengan konstan sesuai dengan sumbu horizontal dan sejajar benda uji
5. Kemudian jika telah selesai cetak hasil dari pengujiannya dengan printer yang ada pada alat uji.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan

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

4.1.1 Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Pengukuran kekasaran permukaan benda kerja dilakukan dengan menggunakan alat ukur *surface roughness tester*. Data hasil percobaan secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan

| Matriks <i>Orthogonal</i> $L_9(3^3)$ | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|---|---|-----------|-------|-------|--------|-------|
| Eksperimen | Faktor | | | Replikasi | | | Jumlah | Mean |
| | A | B | C | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0,459 | 0,155 | 0,239 | 0,853 | 0,284 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0,273 | 0,228 | 0,333 | 0,834 | 0,278 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 1,319 | 0,510 | 1,133 | 2,962 | 0,987 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0,370 | 0,349 | 0,390 | 1,109 | 0,370 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0,394 | 0,526 | 0,412 | 1,332 | 0,444 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 1,260 | 1,689 | 2,086 | 5,035 | 1,678 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0,247 | 0,407 | 0,206 | 0,860 | 0,287 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0,231 | 0,519 | 0,337 | 1,087 | 0,362 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1,455 | 1,729 | 1,681 | 4,865 | 1,621 |
| Rata-rata | | | | | | | | 0,701 |

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kondisi pemotongan halus (*finishing*). Hasil percobaan awal tersebut menunjukkan bahwa rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* kombinasi awal pada percobaan kombinasi ke-2 adalah sebesar 0,278 μm . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil percobaan ini memberikan nilai kekasaran permukaan yang berada pada *range* kondisi pemotongan halus (*finishing*).

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

Perhitungan rata-rata untuk faktor A

$$A1 = 1/3 (0,284 + 0,278 + 0,987) = 0,516$$

$$A2 = 1/3 (0,370 + 0,444 + 1,678) = 0,831$$

$$A3 = 1/3 (0,287 + 0,362 + 1,621) = 0,757$$

Perhitungan rata-rata untuk faktor B

$$B1 = 1/3 (0,284 + 0,370 + 0,287) = 0,314$$

$$B2 = 1/3 (0,278 + 0,444 + 0,362) = 0,361$$

$$B3 = 1/3 (0,987 + 1,678 + 1,621) = 1,429$$

Perhitungan rata-rata untuk faktor C

$$C1 = 1/3 (0,284 + 1,678 + 0,362) = 0,775$$

$$C2 = 1/3 (0,278 + 0,370 + 1,621) = 0,756$$

$$C3 = 1/3 (0,987 + 0,444 + 0,287) = 0,572$$

4.2 Penentuan Kombinasi Variabel Untuk Respon Optimal

Untuk ketiga faktor utama yang diamati yaitu kecepatan *spindle*, laju pemakanan, dan tebal pemakanan, adapun faktornya dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini:

Tabel 4.2 Respon Rata-Rata Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Dari Pengaruh Faktor

| Simbol variabel | Variabel respon | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|-----------------|--------------------------|---------|---------|---------|
| A | Kecepatan <i>Spindle</i> | 0,516 | 0,831 | 0,757 |

| | | | | |
|---|-----------------|-------|-------|-------|
| B | Laju pemakanan | 0,314 | 0,361 | 1,429 |
| C | Tebal pemakanan | 0,775 | 0,756 | 0,572 |
| Total nilai rata-rata kekasaran permukaan = 0,701 | | | | |

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 tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.3 dibawah ini:

Tabel 4.3 Kombinasi Variabel Proses Untuk Respon optimal

| | Variabel proses | Tingkat level | Nilai level |
|---|--------------------------|---------------|-------------|
| A | Kecepatan <i>Spindle</i> | 1 | 2360 rpm |
| B | Laju pemakanan | 2 | 0,25 mm/put |
| C | Tebal pemakanan | 2 | 0,425 mm |

4.3 Analisis Variansi Dan Persen Kontribusi

Analisis Variansi (ANOVA) digunakan untuk mengetahui variabel proses yang memiliki kontribusi dalam mengurangi variasi respon kekasaran permukaan benda kerja. Pada penelitian ini, Anova dilakukan pada kekasaran yang merupakan respon yang mewakili keseluruhan respon.

4.3.1 Analisis Variansi Rata-Rata Kekasaran Permukaan

Dengan melakukan model analisis variansi dua arah yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, F-rasio seperti perhitungan dibawah ini:

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

Dimana:

KA = Jumlah level faktor A

A_i = Level ke 1 faktor A

n_{A_i} = Jumlah percobaan level ke i faktor A

T = Jumlah seluruh nilai data

N = Banyak data keseluruhan

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

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

Perhitungan *sum of square* faktor A:

$$SS_A = \frac{1,549^2}{3} + \frac{2,492^2}{3} + \frac{2,270^2}{3} - \frac{6,311^2}{9} = 0,162$$

Derajat kebebasan:

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*Mean square*):

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{0,162}{2} = 0,081$$

Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum y^2 \\ &= (0,284)^2 + (0,278)^2 + (0,987)^2 + \dots + (1,621)^2 \\ &= 7,123 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} SS_m &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 9 \times (0,701)^2 \\ &= 4,4226 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat *error*:

$$\begin{aligned} SS_{\text{faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 0,162 + 2,392 + 0,0749 \\ &= 2,629 \end{aligned}$$

Residual error:

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 7,123 - 4,4226 - 2,629 \\ &= 0,0714 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{rasio}} &= \frac{SS_A}{SS_e} \\
 &= \frac{0,162}{0,0714} \\
 &= 2,269
 \end{aligned}$$

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

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

Perhitungan *sum of square* faktor B:

$$SS_B = \frac{0,932^2}{3} + \frac{1,084^2}{3} + \frac{4,286^2}{3} - \frac{6,302^2}{9} = 2,392$$

Derajat kebebasan:

$$V_B = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*Mean square*):

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B} = \frac{2,392}{2} = 1,196$$

Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned}
 SS_T &= \sum y^2 \\
 &= (0,284)^2 + (0,370)^2 + (0,362)^2 + \dots + (1,621)^2 \\
 &= 7,123
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 SS_m &= n \cdot \bar{y}^2 \\
 &= 9 \times (0,701)^2 \\
 &= 4,4226
 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat *error*:

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\
 &= 0,162 + 2,392 + 0,0749 \\
 &= 2,629
 \end{aligned}$$

Residual error:

$$\begin{aligned}
 SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\
 &= 7,123 - 4,4226 - 2,629 \\
 &= 0,0714
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{rasio}} &= \frac{SS_B}{SS_e} \\
 &= \frac{2,392}{0,0714} \\
 &= 33,501
 \end{aligned}$$

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

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

Perhitungan *sum of square* faktor C:

$$SS_C = \frac{2,324^2}{3} + \frac{2,269^2}{3} + \frac{1,718^2}{3} - \frac{6,311^2}{9} = 0,0749$$

Derajat kebebasan:

$$V_C = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*Mean square*):

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = \frac{0,0749}{2} = 0,03745$$

Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned}
 SS_T &= \sum y^2 \\
 &= (0,284)^2 + (1,678)^2 + (0,362)^2 + \dots + (0,287)^2 \\
 &= 7,123
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 SS_m &= n \cdot \bar{y}^2 \\
 &= 9 \times (0,701)^2 \\
 &= 4,4226
 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat *error*:

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\
 &= 0,162 + 2,392 + 0,0749 \\
 &= 2,629
 \end{aligned}$$

Residual error:

$$\begin{aligned}
 SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\
 &= 7,123 - 4,4226 - 2,629 \\
 &= 0,0714
 \end{aligned}$$

$$MS_{\text{Residual error}} (MS_e) = \frac{SS_e}{V_e} = \frac{0,0714}{2} = 0,0357$$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{rasio}} &= \frac{SS_C}{SS_e} \\
 &= \frac{0,0749}{0,0714} \\
 &= 1,049
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_e \\
 &= 0,162 + 2,392 + 0,0749 + 0,0714 \\
 &= 2,7003
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan analisis variansi terhadap rata-rata ditunjukkan pada Tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4 Analisis Variansi Rata-rata Kekasaran Permukaan

| Sumber | V | SS | MS | F-rasio |
|--------------|---|--------|---------|---------|
| A | 2 | 0,162 | 0,081 | 2,269 |
| B | 2 | 2,392 | 1,196 | 33,501 |
| C | 2 | 0,0749 | 0,03745 | 1,049 |
| <i>Error</i> | 2 | 0,0714 | 0,0357 | - |
| Total | 8 | 2,7003 | - | - |

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dihitung SS' seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 SS'_A &= SS_A - MS_e(V_A) \\
 &= 0,162 - 0,0357(2) \\
 &= 0,0906
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS'_B &= SS_B - MS_e(V_B) \\
 &= 2,392 - 0,0357(2) \\
 &= 2,3206
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS'_C &= SS_C - MS_e(V_C) \\
 &= 0,0749 - 0,0357(2) \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_e &= SS_T - SS'_A - SS'_B - SS'_C \\
 &= 2,7003 - 0,0906 - 2,3206 - 0,0035 \\
 &= 0,286
 \end{aligned}$$

Lalu persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{SS'_{faktor}}{SS_T} \times 100\% \\
 \rho^A &= \frac{0,0906}{2,7003} \times 100\% = 3,35\% \\
 \rho^B &= \frac{2,3206}{2,7003} \times 100\% = 85,93\% \\
 \rho^C &= \frac{0,0035}{2,7003} \times 100\% = 0,129\% \\
 \rho^e &= \frac{0,286}{2,7003} \times 100\% = 10,59\%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata diperlihatkan pada Tabel 4.5 dibawah ini :

Tabel 4.5 Persen Kontribusi

| Sumber | V | SS | MS | SS' | P(%) |
|--------|---|--------|---------|--------|-------|
| A | 2 | 0,162 | 0,081 | 0,0906 | 3,35 |
| B | 2 | 2,392 | 1,196 | 2,3206 | 85,93 |
| C | 2 | 0,0749 | 0,03745 | 0,0035 | 0,129 |
| Error | 2 | 0,0714 | 0,0357 | 0,286 | 10,59 |
| Total | 8 | 2,7003 | - | - | 100 |

Dari tabel hasil data perhitungan faktor kontribusi di atas menunjukkan pengaruh faktor B (laju pemakanan) memberikan kontribusi yang paling besar terhadap kekasaran permukaan jika dibandingkan dengan faktor lain, yaitu 85,93%.

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.

Pada perhitungan prediksi nilai kekasaran permukaan yang optimal dilakukan berdasarkan rata-rata kekasaran dari masing-masing level variabel yang terdapat pada Tabel 4.3. Nilai prediksi kekasaran tersebut dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\hat{\eta} &= \eta_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\eta}_i - \eta_m) \\ &= 0,701 + (0,516 - 0,701) + (0,361 - 0,701) + (0,756 - 0,701) \\ &= 0,231\end{aligned}$$

Jadi dengan nilai kekasaran permukaan hasil prediksi untuk kombinasi variabel yang menghasilkan respon optimal adalah 0,231. Penerima interval keyakinan rata-rata kekasaran permukaan prediksi digunakan terlebih dahulu menghitung banyaknya pengamatan efektif. Banyaknya pengamatan efektif dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}N_{\text{eff}} &= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan variabel-variabel untuk menduga rata-rata}} \\ &= \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} \\ &= 3,857\end{aligned}$$

Nilai $F_{(0,001;2;2)} = 19,00$ dan $MS_E = 0,0357$

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

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

$$CI_{\text{optimasi}} : \sqrt{\frac{19,00 \times 0,0357}{3,857}}$$

$$CI_{\text{optimasi}} : 0,419$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata kekasaran permukaan hasil optimasi adalah $0,231 \pm 0,419$ atau $-0,188 \leq U_{\text{prediksi}} \leq 0,65$

4.5 Perhitungan Rasio S/N Dari Respon

Rasio S/N merupakan rancangan yang digunakan untuk melakukan transformasi pengulangan data kedalam suatu nilai ukuran variansi yang timbul. Nilai S/N rasio tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing

respon. Perhitungan nilai rasio S/N pada penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Untuk respon kekasaran permukaan benda kerja yang memiliki karakteristik kualitas semangkin kecil semakin baik (*smaller is better*), digunakan persamaan nilai rasio S/N yang diperoleh untuk respon yang diamati ditunjukkan pada pada Tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.6 Rasio S/N Untuk Respon

| Matriks Ortogonal $L_9(3^3)$ | | | | | | | |
|------------------------------|--------|---|---|-----------|-------|-------|--------|
| Eksperimen | Faktor | | | Replikasi | | | SN |
| | A | B | C | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0,459 | 0,155 | 0,239 | 10,120 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0,273 | 0,228 | 0,333 | 11,016 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 1,319 | 0,510 | 1,133 | -0,392 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0,370 | 0,349 | 0,390 | 8,635 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0,394 | 0,526 | 0,412 | 6,978 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 1,260 | 1,689 | 2,086 | -4,670 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0,247 | 0,407 | 0,206 | 10,472 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0,231 | 0,519 | 0,337 | 8,373 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1,455 | 1,729 | 1,681 | -4,223 |
| Rata-rata | | | | | | | 5,145 |

Berdasarkan rata-rata nilai 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 yang menghasilkan respon optimal tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.7 dibawah ini:

Tabel 4.7 Kombinasi Variabel Proses Untuk Respon Optimal

| | Variabel Proses | Tingkatan Level | Nilai Level |
|---|--------------------------|-----------------|-------------|
| A | Kecepatan <i>Spindle</i> | Level 1 | 2360 rpm |

| | | | |
|---|-----------------|---------|-------------|
| B | Laju pemakanan | Level 2 | 0,25 mm/put |
| C | Tebal pemakanan | Level 2 | 0,425 mm |

4.6 Analisis Variansi Dan Persen Kontribusi

Data ditransformasikan ke dalam bentuk S/N (*signal to noise*) untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variansi kualitas dimana S/N untuk karakteristik kualitas semangkin besar semangkin baik (*large the better*) adalah

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{n}[Yi^2]\right].$$

Keterangan :

Yi = nilai kekasaran permukaan hasil pengamatan benda kerja

n = jumlah replikasi (pengulangan)

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan variabilitas kekasaran permukaan benda kerja. Kualitas ukuran kekasaran permukaan benda kerja yang diharapkan adalah nilai yang terkecil. Kekasaran permukaan memiliki karakteristik semakin kecil kekasaran permukaan benda kerja maka akan semakin baik.

Dalam penelitian ini nilai yang diharapkan adalah kekasaran permukaan benda kerja yang terkecil. Dengan replikasi sebanyak 3 kali, maka perhitungan rasio S/N dapat dilihat dibawah ini :

Eksperimen 1

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{3}[0,459^2 + 0,155^2 + 0,239^2]\right] = 10,120$$

Eksperimen 2

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{3}[0,273^2 + 0,228^2 + 0,333^2]\right] = 11,016$$

Eksperimen 3

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{3}[1,319^2 + 0,510^2 + 1,133^2]\right] = -0,392$$

Eksperimen 4

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{3}[0,370^2 + 0,349^2 + 0,390^2]\right] = 8,635$$

Eksperimen 5

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{3}[0,459^2 + 0,155^2 + 0,239^2]\right] = 6,978$$

Eksperimen 6

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{3}[1,260^2 + 1,689^2 + 2,086^2]\right] = -4,670$$

Eksperimen 7

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{3}[0,247^2 + 0,407^2 + 0,206^2]\right] = 10,472$$

Eksperimen 8

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{3}[0,247^2 + 0,519^2 + 0,337^2]\right] = 8,373$$

Eksperimen 9

$$S/N = -10 \log\left[\frac{1}{3}[1,455^2 + 1,729^2 + 1,681^2]\right] = -4,223$$

Hasil perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata diperlihatkan pada Tabel 4.8 dibawah ini:

Tabel 4.8 Matriks *Orthogonal* $L_9(3^3)$

| Matriks Ortogonal $L_9(3^3)$ | | | | | | | |
|------------------------------|--------|---|---|-----------|-------|-------|----------|
| Eksperimen | Faktor | | | Replikasi | | | SN |
| | A | B | C | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0,459 | 0,155 | 0,239 | 10,120 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0,273 | 0,228 | 0,333 | 11,016 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 1,319 | 0,510 | 1,133 | -0,392 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0,370 | 0,349 | 0,390 | 8,635 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0,394 | 0,526 | 0,412 | 6,978 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 1,260 | 1,689 | 2,086 | -4,670 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0,247 | 0,407 | 0,206 | 10,472 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0,231 | 0,519 | 0,337 | 8,373 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1,455 | 1,729 | 1,681 | -4,223 |
| Rata-rata | | | | | | | 5,145444 |

4.6.1 Pengaruh Level Dari Faktor Terhadap Variansi Kekasaran Permukaan

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

$$\begin{aligned}
 A1 &= 1/3 (10,120 + 11,016 + (-0,392)) &&= 6,915 \\
 A2 &= 1/3 (8,635 + 6,978 + (-4,670)) &&= 3,648 \\
 A3 &= 1/3 (10,472 + 8,373 + (-4,223)) &&= 4,874 \\
 B1 &= 1/3 (10,120 + 8,635 + 10,472) &&= 9,742 \\
 B2 &= 1/3 (11,016 + 6,978 + 8,373) &&= 8,789 \\
 B3 &= 1/3 ((-0,392) + (-4,670) + (-4,223)) &&= -3,095 \\
 C1 &= 1/3 (10,120 + (-4,670) + 8,373) &&= 4,608 \\
 C2 &= 1/3 (11,016 + 8,635 + (-4,223)) &&= 5,142 \\
 C3 &= 1/3 ((-0,392) + 6,978 + 10,472) &&= 5,686
 \end{aligned}$$

Untuk ketiga faktor utama yang diamati yaitu kecepatan *spindle*, laju pemakanan, tebal pemakanan. Pengaruh faktornya dapat dilihat pada Tabel 4.9 di bawah ini :

Tabel 4.9 Respon Rasio S/N Kekasaran Permukaan Dari Pengaruh Faktor

| | A | B | C |
|----------|-------|--------|-------|
| Level 1 | 6,915 | 9,742 | 4,608 |
| Level 2 | 3,648 | 8,789 | 5,142 |
| Level 3 | 4,874 | -3,095 | 5,686 |
| Selisih | 2,041 | 12,837 | 1,078 |
| Rengking | 2 | 1 | 3 |

4.6.2 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

Jumlah kuadrat (*sum of square*):

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

Perhitungan *sum of square* faktor A:

$$SS_A = \frac{20,744^2}{3} + \frac{10,943^2}{3} + \frac{14,622^2}{3} - \frac{46,309^2}{9} = 16,3415$$

Derajat kebebasan:

$$V_A = 3 - 1 = 2 \text{ Rata-rata kuadrat (} Mean \text{ Square)}$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{16,3415}{2} = 8,170751$$

Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum Y^2 \\ &= (10,120^2) + (11,016^2) + ((-0,392)^2) + \dots + (-4,223^2) \\ &= 566,5886 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} SS_m &= n \times \bar{Y}^2 \\ &= 9 \times (5,145444)^2 \\ &= 238,2804 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat *error*:

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 16,3415 + 306,9354 + 1,744239 \\ &= 325,0212 \end{aligned}$$

Residual Error:

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 566,5886 - 238,2804 - 325,0212 \\ &= 3,287015 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{16,3415}{3,287015}$$

$$= 4,971533$$

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

Jumlah kuadrat (*sum of square*):

$$SS_B = \frac{B1^2}{n_{A1}} + \frac{B2^2}{n_{A2}} + \frac{B3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungansum of square faktor A:

$$SS_B = \frac{29,227^2}{3} + \frac{26,367^2}{3} + \frac{-9,285^2}{3} - \frac{46,309^2}{9} = 306,9354$$

Derajat kebebasan:

$$V_B = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat(*Mean Square*):

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B} = \frac{306,9354}{2} = 153,4677$$

Jumlah kuadrat total:

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$= (10,120^2) + (8,635^2) + (10,472^2) + \dots + (-4,223^2)$$

$$= 566,5886$$

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

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

$$= 9 \times (5,145444)^2$$

$$= 238,2804$$

Jumlah kuadrat *error*:

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

$$= 16,3415 + 306,9354 + 1,744239$$

$$= 325,0212$$

Residual Error:

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

$$= 566,5886 - 238,2804 - 325,0212$$

$$= 3,287015$$

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

$$= \frac{306,9354}{3,287015}$$

$$= 93,37817$$

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

Jumlah kuadrat (*sum of square*):

$$SS_C = \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* faktor C:

$$SS_C = \frac{13,823^2}{3} + \frac{15,428^2}{3} + \frac{17,058^2}{3} - \frac{46,309^2}{9} = 1,744239$$

Derajat kebebasan:

$$V_C = 3 - 1 = 2$$

Rata-rata kuadrat (*Mean Square*):

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = \frac{1,744239}{2} = 0,872119$$

Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum Y^2 \\ &= (10,120^2) + (-4,670^2) + (8,373^2) + \dots + (34,304^2) \\ &= 566,5886 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} SS_m &= n \times \bar{Y}^2 \\ &= 9 \times (5,145444)^2 \\ &= 238,2804 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat *error*:

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 16,3415 + 306,9354 + 1,744239 \\ &= 325,021 \end{aligned}$$

Residual Error:

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 566,5886 - 238,2804 - 325,0212 \\ &= 3,287015 \end{aligned}$$

$$MS_{\text{Residual Error}} (MS_e) = \frac{SS_e}{V_e} = \frac{3,287015}{2} = 1,643507$$

$$\begin{aligned} F \text{ rasio} &= \frac{SS_C}{SS_e} \\ &= \frac{1,744239}{3,287015} \\ &= 0,530645 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_e \\ &= 16,3415 + 306,9354 + 1,744239 + 3,287015 \\ &= 328,3082 \end{aligned}$$

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 | 16,3415 | 8,170751 | 4,971533 |
| B | 2 | 306,9354 | 153,4677 | 93,37817 |
| C | 2 | 1,744239 | 0,872119 | 0,530645 |
| <i>Error</i> | 2 | 3,287015 | 1,643507 | - |
| Total | 8 | 328,3082 | - | - |

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, hitung terlebih dahulu SS' seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS'_A - MS_e (V_A) \\ &= 16,3415 - 1,643507(2) \\ &= 13,05449 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS'_B - MS_e(V_B) \\ &= 306,9354 - 1,643507(2) \\ &= 303,6484 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_C &= SS'_C - MS_e(V_A) \\ &= 1,744239 - 1,643507(2) \\ &= -1,54278 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS'_A - SS'_B - SS'_C \\ &= 328,3082 - 13,05449 - 303,6484 - (-1,54278) \\ &= 13,14806 \end{aligned}$$

Sedangkan persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$$\rho = \frac{SS'_{faktor}}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho^A = \frac{13,05449}{328,3082} \times 100\% = 3,976291\%$$

$$\rho^B = \frac{303,6484}{328,3082} \times 100\% = 92,48883\%$$

$$\rho^C = \frac{-1,54278}{328,3082} \times 100\% = -0,46992\%$$

$$\rho^e = \frac{13,14806}{328,3082} \times 100\% = 4,004792\%$$

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 | 16,3415 | 8,170751 | 13,05449 | 3,976291% |
| B | 2 | 306,9354 | 153,4677 | 303,6484 | 92,48883% |
| C | 2 | 1,744239 | 0,872119 | -1,54278 | -0,46992% |
| Error | 2 | 3,287015 | 1,643507 | 4,004792 | 4,004792% |
| Total | 8 | 328,3082 | | | 100% |

Dari tabel perhitungan kontribusi faktor diatas menunjukkan bahwa faktor B (laju pemakanan) memberikan kontribusi yang paling besar terhadap rasio S/N bila dibandingkan dengan faktor lainnya, yaitu 92,49%.

4.7 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 1 (Kecepatan *Spindle* 2360 rpm)
- Faktor B level 2 (Laju pemakanan 0,25 mm/put)
- Faktor C level 2 (Tebal Pemakanan 0,425 mm)

Sehingga model persamaan rata-rata kekasaran permukaan adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Uprediksi} &= \bar{Y} + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y}) \\ &= \bar{B}_2 + \bar{A}_1 + \bar{C}_2 + 2 \times \bar{Y} \\ &= 8,789 + 6,915 + 5,142 + 2 \times 5,145444 \\ &= 31,13722 \end{aligned}$$

Sedangkan interval kepercayaan rata-rata kekasaran permukaan benda kerja tingkat kepercayaan 95% adalah sebagai berikut :

$$\text{Diketahui : } F(0,05;2;2) = 19,00 \text{ dan } V_e / MS_e = 1,643507$$

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

$$n_{\text{eff}} = \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} = \frac{27}{7}$$

$$n_{\text{eff}} = 3,857143$$

$$\begin{aligned} CI_{\text{optimasi}} &= \pm \sqrt{F(0,05;2;2) V_e \times \frac{1}{n_{\text{eff}}}} \\ &= \pm \sqrt{19,00 \times 1,643507 \times \frac{1}{3,857}} \\ &= \pm 2,845 \end{aligned}$$

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

$$31,13722 - 2,845 \leq 31,13722 \leq 31,13722 + 2,845$$

$$28,28022 \leq 31,13722 \leq 33,98$$

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 _{hitung} | Kontribusi(%) |
|--------|----|--------|---------|---------------------|---------------|
| A | 2 | 0,162 | 0,081 | 2,269 | 3,35 |
| B | 2 | 2,392 | 1,196 | 33,501 | 85,93 |
| C | 2 | 0,0749 | 0,03745 | 1,049 | 0,129 |
| Error | 2 | 0,0714 | 0,0357 | - | 10,59 |
| Total | 8 | 2,7003 | - | - | 100 |

Nilai F_{hitung} yang lebih besar daripada F_{tabel} mengindikasikan bahwa variabel proses tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon secara serentak. Hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang digunakan pada uji hipotesis dengan menggunakan distribusi F adalah sebagai berikut:

1. Variabel A (kecepatan *Spindle*)

H_0 : Variansi perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

H_1 : Ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaannya.

Kesimpulan: $F_{hitung} = 2,269 < F(0,05;2;2) = 19,00$ maka H_0 diterima, artinya tidak adanya pengaruh variabel kecepatan *spindle* terhadap kekasaran permukaan

2. Variabel B (Laju pemakanan)

H_0 : Variansi perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

H_1 : Ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaannya.

Kesimpulan: $F_{hitung} = 33,501 > F(0,05;2;2) = 19,00$ maka H_0 ditolak H_1 diterima, artinya bahwa adanya pengaruh variabel laju pemakanan terhadap kekasaran permukaan.

3. Variabel C (laju pemakanan)

H_0 : Variansi perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

H_1 : Ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaannya.

Kesimpulan: $F_{hitung} = 1,049 < F(0,05;2;6) = 19,00$ maka H_0 diterima, artinya tidak adanya pengaruh variabel laju pemakanan 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 | Diterima/gagal ditolak |
| B | Ditolak |
| C | Diterima/gagal ditolak |

Pada tabel 4.13 yang menunjukkan kondisi hipotesis nol respon. Dari variabel-variabel tersebut variabel B (laju pemakanan) yang memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan pada benda kerja, *Error* yang besar dengan kontribusi 85,93% mengindikasikan adanya variabel yang berpengaruh tetapi terabaikan.

Perhitungan persen kontribusi berdasarkan hasil analisis variansi dilakukan dengan menggunakan persamaan. Contoh perhitungan persen kontribusi untuk variabel B (laju pemakanan) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS_B - MS_e(V_B) \\ &= 2,392 - 0,0357(2) \\ &= 2,3206 \end{aligned}$$

Dengan demikian:

$$\rho^B = \frac{2,3206}{2,7003} \times 100\% = 85,93\%$$

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa variabel-variabel kecepatan *spindle*, laju pemakanan, tebal pemakanan mempengaruhi kekasaran permukaan. Variabel-variabel proses yang memiliki kontribusi yang besar terhadap total variansi dari kekasaran adalah kecepatan *spindle*, yaitu sebesar 3,35%, diikuti oleh laju pemakanan yang memiliki persen kontribusi sebesar 85,93%, dan tebal pemakanan memiliki persen kontribusi sebesar 0,129%.

4.8 Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi untuk memvalidasi hasil yang telah diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan interval keyakinan rata-rata kekasaran percobaan konfirmasi. Percobaan 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 percobaan 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> | 2640 | 2 | 2360 | 1 |
| Laju pemakanan | 0,25 | 2 | 0,25 | 2 |
| Tebal pemakanan | 0,425 | 2 | 0,425 | 2 |

Hasil respon-respon dengan menggunakan kombinasi awal dan kombinasi optimum ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Respon-Respon Dengan Menggunakan Kombinasi Awal Dan Kombinasi Optimum

| | Replikasi | | | | | Rata-rata |
|----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Kombinasi awal $A_2B_2C_2$ | 0,590 | 0,520 | 0,490 | 0,535 | 0,503 | 0,528 |
| Kombinasi optimum $A_1B_2C_2$ | 0,238 | 0,320 | 0,256 | 0,276 | 0,283 | 0,275 |

Perhitungan rasio S/N untuk masing-masing respon dilakukan dengan menggunakan persamaan. Hasil perhitungan rasio S/N tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.16 di bawah ini:

Tabel 4.16 Rasio Pada Kombinasi Awal Dan Kombinasi Optimum

| Setting Respon | Kombinasi awal $A_2B_2C_2$ | | Kombinasi optimum $A_1B_2C_2$ | |
|----------------|---------------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
| | Nilai Rata-rata | Rasio S/N | Nilai Rata-rata | Rasio S/N |
| | Kekasaran permukaan (μm) | 0,528 | 5,535 | 0,275 |

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara interval keyakinan rata-rata kekasaran kombinasi awal dengan interval keyakinan rata-rata kekasaran kombinasi optimum. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.17 di bawah ini:

Tabel 4.17 Kekasaran Pada Kombinasi Awal Dan Kombinasi Optimum

| | Kombinasi awal $A_2B_2C_2$ | Kombinasi optimum $A_1B_2C_2$ |
|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Kekasaran permukaan (μm) | 0,528 | 0,275 |

Tabel 4.17 menunjukkan bahwa nilai kekasaran pada kombinasi awal adalah sebesar 0,528 dan kekasaran pada kombinasi optimum adalah sebesar 0,275. Dengan demikian terjadi peningkatan kekasaran sebesar 47,22% dibandingkan dengan kekasaran pada kombinasi awal.

Penentuan interval keyakinan rata-rata kekasaran untuk percobaan konfirmasi dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung banyaknya pengamatan efektif. Banyaknya pengamatan efektif dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_{\text{eff}} &= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan variabel-variabel untuk menduga rata-rata}} \\ &= \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} \\ &= 3,857 \end{aligned}$$

Nilai $F_{(0,05;2;2)} = 19,00$ dan $MS_E = 0,0357$ $r = 5$

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

$$\begin{aligned} CI_{\text{konfirmasi}} &: \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E \left[\frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r} \right]} \\ CI_{\text{konfirmasi}} &: \sqrt{19,00 \times 0,0357 \left[\frac{1}{3,857} + \frac{1}{5} \right]} \\ CI_{\text{konfirmasi}} &: \pm 0,558 \end{aligned}$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata kekasaran konfirmasi adalah $0,275 \pm 0,558$ Atau $- 0,283 \leq \text{kekasaran}_{\text{konfirmasi}} \leq 0,833$. Percobaan konfirmasi digunakan untuk memverifikasi bahwa nilai rata-rata yang ditaksir untuk variabel dan level yang telah dipilih dari percobaan adalah Valid.

Estimasi nilai rata-rata yang sebenarnya pada kondisi optimum didasarkan pada hasil nilai rata-rata yang diperoleh dari percobaan. Validasi ditetapkan jika rata-rata dari hasil percobaan konfirmasi berada di dalam interval hasil prediksi. Rata-rata kekasaran permukaan pada *setting* kombinasi optimum masih dalam batas pengerjaan halus. Batas pengerjaan halus tersebut memiliki tingkat kekasaran adalah sebesar N4 hingga N5. Perbedaan nilai respon kombinasi awal

dengan nilai respon kombinasi optimum perlu diketahui, oleh karena itu dilakukan pengujian secara statistik dengan menggunakan uji kesamaan rata-rata untuk masing-masing respon. Adapun langkah-langkah pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

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

Hasil pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Uji kenormalan data (menggunakan uji *kolmogorov-smirnov*)

- Hipotesis uji kenormalan data :

H_0 : data berdistribusi normal

H_1 : data tidak berdistribusi normal

- Kriteria penolakan adalah:

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

- Kesimpulan

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

Tabel 4.18 Hasil Uji Kenormalan Data

| Respon | P-value | Kondisi H_0 | 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 $p\text{-Value}$ lebih besar dari $\alpha = 0,05$, sehingga H_0 gagal ditolak. Jadi dapat disimpulkan kedua respon tersebut berdistribusi normal.

1. Uji dua variansi (*two variances*)

- Hipotesis uji dua variansi adalah:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

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

- Kriteria penolakan adalah:

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

- Kesimpulan

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

Tabel 4.19 Hasil Uji Dua Variansi

| Respon | P-value | Kondisi H_0 | variansii |
|---------------------|---------|---------------|-----------|
| Kekasaran permukaan | 0,652 | Gagal ditolak | sama |

Hasil uji dua variansi data untuk respon kekasaran permukaan diperoleh nilai $p\text{-Value}$ lebih besar dari $\alpha = 0,05$, sehingga H_0 gagal ditolak. Jadi dapat disimpulkan kedua respon tersebut bernilai sama.

2. 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 $\alpha = 5\% = 0,05$

- Kesimpulan

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

Tabel 4.20 Hasil Uji Kesamaan Rata-Rata

| Respon | P-value | Kondisi H ₀ | rata-rata |
|---------------------|---------|------------------------|--|
| Kekasaran permukaan | 0,000 | ditolak | Kekasaran permukaan awal > kekasaran permukaan optimum |

Hasil uji kesamaan rata-rata data untuk respon kekasaran permukaan diperoleh nilai *p-Value* lebih kecil dari $\alpha = 0,05$, sehingga H₀ ditolak. Jadi dapat disimpulkan Kekasaran permukaan awal lebih besar dari kekasaran permukaan optimum.

4.9 Hasil Pengolahan Data Eksperimen Kombinasi awal

Hasil dari eksperimen kombinasi awal tersebut harus berada dalam interval kepercayaan konfirmasi.

1. Interval kepercayaan rata-rata untuk eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

Penentuan interval keyakinan rata-rata kekasaran untuk percobaan kombinasi awal dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung banyaknya pengamatan efektif. Banyaknya pengamatan efektif dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{eff}} &= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan variabel-variabel untuk menduga rata-rata}} \\
 &= \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} \\
 &= 3,857
 \end{aligned}$$

Nilai F (0,05;2;2) = 19,00 dan MS_E = 0,0357 r= 5

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

$$CI_{\text{konfirmasi}}: \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E \left[\frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{konfirmasi}: \sqrt{19,00 \times 0,0357 \left[\frac{1}{3,857} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{konfirmasi}: \pm 0,558$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata kekasaran konfirmasi adalah $0,528 \pm 0,558$ Atau $-0,03 \leq \text{kekasaran}_{konfirmasi} \leq 1,086$.

4.10 Perhitungan rasio S/N Eksperimen Kombinasi Awal

Hasil dari eksperimen konfirmasi tersebut kemudian dihitung rata-ratanya ditransformasikan dalam bentuk rasio S/N.

$$\begin{aligned} \text{Nilai rata-rata (mean)} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ &= \frac{0,590 + 0,520 + 0,490 + 0,535 + 0,503}{5} \\ &= 0,528 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai rasio S/N} &= -10 \log \left[\frac{1}{5} (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2) \right] \\ &= -10 \log \left[\frac{1}{5} (0,590^2 + 0,520^2 + 0,490^2 + 0,535^2 + 0,503^2) \right] \\ &= 5,535 \end{aligned}$$

1. Interval kepercayaan rasio S/N eksperimen kombinasi awal adalah sebagai berikut:

$$\text{Nilai } F_{(0,05;2;2)} = 19,00 \text{ dan } MS_E = 1,643507 \text{ } r=5$$

$$CI_{konfirmasi}: \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{konfirmasi}: \sqrt{19,00 \times 1,643507 \left[\frac{1}{3,857} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{konfirmasi}: \pm 3,787$$

Interval kepercayaan untuk variabilitas adalah:

$$5,535 - 3,787 \leq S/N_{kombinasi\ awal} \leq 5,535 + 3,787$$

$$1,748 \leq S/N_{\text{ kombinasi awal}} \leq 9,322$$

4.11 Hasil Pengolahan Data Eksperimen Konfirmasi

Hasil dari eksperimen konfirmasi tersebut harus berada dalam interval kepercayaan konfirmasi.

1. Interval kepercayaan rata-rata untuk eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

Penentuan interval keyakinan rata-rata kekasaran untuk percobaan kombinasi awal dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung banyaknya pengamatan efektif. Banyaknya pengamatan efektif dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_{\text{eff}} &= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan variabel-variabel untuk menduga rata-rata}} \\ &= \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} \\ &= 3,857 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } F_{(0,05;2;2)} = 19,00 \text{ dan } MS_E = 0,0357 \quad r = 5$$

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

$$CI_{\text{konfirmasi}}: \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E \left[\frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{\text{konfirmasi}}: \sqrt{19,00 \times 0,0357 \left[\frac{1}{3,857} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{\text{konfirmasi}}: \pm 0,558$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata kekasaran konfirmasi adalah $0,275 \pm 0,558$ Atau $-0,283 \leq \text{kekasaran}_{\text{konfirmasi}} \leq 0,833$.

4.12 Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi

Hasil dari eksperimen konfirmasi tersebut kemudian dihitung rata-ratanya ditransformasikan dalam bentuk rasio S/N.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata (mean)} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\
 &= \frac{0,238 + 0,320 + 0,256 + 0,276 + 0,283}{5} \\
 &= 0,275
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rasio S/N} &= -10 \log \left[\frac{1}{5} (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2) \right] \\
 &= -10 \log \left[\frac{1}{5} (0,238^2 + 0,320^2 + 0,256^2 + 0,276^2 + 0,283^2) \right] \\
 &= 11,182
 \end{aligned}$$

1. Interval kepercayaan rasio S/N eksperimen kombinasi awal adalah sebagai berikut:

$$\text{Nilai } F_{(0,05;2;2)} = 19,00 \text{ dan } MS_E = 1,643507, r = 5$$

$$CI_{\text{konfirmasi}}: \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_{\text{konfirmasi}}: \sqrt{19,00 \times 1,643507 \left[\frac{1}{3,857} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{\text{konfirmasi}}: \pm 3,787$$

Interval kepercayaan untuk variabilitas adalah:

$$11,182 - 3,787 \leq S/N_{\text{ kombinasi awal}} \leq 11,182 + 3,787$$

$$7,395 \leq S/N_{\text{ kombinasi awal}} \leq 14,969$$

4.13 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 kecepatan *spindle* 2360 rpm, laju pemakanan 0,25 mm/put, tebal pemakanan 0,425 mm.

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 4.21 Interpretasi Hasil Ukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja

| Respon (kekasaran permukaan) | | Prediksi | Optimasi |
|------------------------------|-------------------------------|----------|--------------------|
| Eksperimen | Rata – rata (μm) | 0,528 | $0,528 \pm 0,558$ |
| Kombinasi awal | Variabilitas (S/N) | 5,535 | $5,535 \pm 3,787$ |
| Eksperimen taguchi | Rata – rata (μm) | 0,278 | $0,231 \pm 0,419$ |
| | Variabilitas (S/N) | 11,016 | $31,137 \pm 2,845$ |
| Eksperimen | Rata – rata (μm) | 0,275 | $0,275 \pm 0,558$ |
| Kombinasi optimum | Variabilitas (S/N) | 11,182 | $11,182 \pm 3,787$ |

Berdasarkan interpretasi hasil perhitungan kekasaran permukaan yang tertera pada Tabel 4.21, yaitu eksperimen Taguchi ke eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan. Dengan demikian kombinasi optimal faktor-faktor tersebut diatas terbukti dapat meningkatkan kekasaran permukaan benda kerja.

Percobaan 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 0,275 berada di antara interval keyakinan rata-rata hasil prediksi ($- 0,283 \leq \text{kekasaran}_{\text{konfirmasi}} \leq 0,833$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *setting* kombinasi level variabel pada kondisi optimum yang telah didapat adalah valid.

Tabel 4.21 menunjukkan bahwa rata-rata kekasaran permukaan pada percobaan dengan menggunakan *setting* kombinasi awal adalah 0,528 dengan menggunakan *setting* kombinasi optimum menghasilkan rata-rata kekasaran permukaan sebesar 0,275. Rata-rata kekasaran permukaan pada *setting* kombinasi optimum dalam batas pengerjaan halus. Batas pengerjaan halus tersebut memiliki tingkat kekasaran sebesar N4 hingga N5.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil percobaan yang dilakukan seperti proses optimasi, percobaan konfirmasi, dan analisis. Maka pada penelitian ini yang berjudul “ OPTIMASI KEKASARAN PERMUKAAN PROSES CNC *TURNING* BAJA SKD-11 DENGAN 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* Mori Seiki SL-25 B/500 adalah sebagai berikut:
 - a. Kecepatan *spindle* diatur sebesar 2360 rpm
 - b. Laju pemakanan diatur sebesar 0,25 mm/put
 - c. Tebal pemakanan diatur sebesar 0,425 mm
2. Persen kontribusi dari variabel-variabel proses dalam mengurangi variansi respon kekasaran permukaan benda kerja adalah:
 - a. Kecepatan *spindle* memiliki persen kontribusi sebesar yaitu 3,35%
 - b. Laju pemakanan memiliki persen kontribusi terbesar, sebesar yaitu 85,93%
 - c. Tebal pemakanan memiliki persen kontribusi sebesar yaitu 0,129%

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. Dipenelitian ini hasil yang diinginkan adalah hasil akhir yang halus, maka untuk kedalaman pemakanan jangan terlalu banyak, dan laju pemakanannya pun jangan terlalu tinggi/cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Utama, F. Y., & Ningsih, T. H. (2016). Optimasi Parameter Pemesinan dengan Proses Bubut pada Respon Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Material S45-C Menggunakan Metode Taguchi-Grey-Fuzzy. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 1(1).
- [2] Apreza, S., Kurniawan, Z., & Subhan, M. (2017). Optimasi Kekasaran Permukaan Proses Pembubutan Baja ST. 42 Dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 9(01), 73-78.
- [3] Permana, D. I., & Yayat, Y. (2019). Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Aluminium Proses Pembubutan Dengan Metode Taguchi. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal*, 3(1), 10-16.
- [4] Rochim, T. (1993). Teori & teknologi proses pemesinan. *Jakarta: Higher Education Development Support Project*.
- [5] Widarto, Dkk. (2008). Teknik Pemesinan.
- [6] Suhardi. 1999. Teknologi Permesinan. Surakarta: Pendidikan Teknik Mesin UNS.
- [7] Ross, Sheldon M., et al. *Stochastic processes*. Vol. 2. New York: Wiley, 1996.
- [8] Herawati, O. D. P., Dkk. (2010). Pengaruh pembelajaran problem posing terhadap kemampuan pemahaman konsep matematika siswa kelas xi ipa sma negeri 6 Palembang. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 4(1), 70-80.
- [9] Soejanto, I. (2009). Desain eksperimen dengan metode taguchi. *Yogyakarta: Graha Ilmu*.
- [10] Pratama, A. 2016. Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Kekuatan Tarik Baja AISI 4140. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin* : 1-11

Lampiran 1 :

Daftar Riwayat Hidup



Informasi Pribadi

Nama : Jondi Supriyandi
NPM : 1041714
Tempat Tanggal Lahir : Kelapa, 06 September 1999
Jenis Kelamin : Laki-laki
Prodi/Jurusan/Kelas : D-IV/Teknik Mesin dan Manufaktur/4 TMMA
Alamat : Jl.Pangkalpinang-Mentok, Desa Kelapa,
RT 011/RW 005, Kecamatan Kelapa, Kabupaten
Bangka Barat, Provinsi Kepulauan Bangka
Belitung

Nama Orang Tua

Ayah : Aripin
Ibu : Siti
Nomor Hp : 085758238474
Email : firmapopo@gmail.com
Golongan Darah : O

Lampiran 2 :

Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Tabel 1.1 Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Percobaan

| <i>Setting</i> variabel, Kombinasi ke | Parameter Pemesinan | | | Nilai Kekasaran Permukaan | | | Rata- rata |
|--|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|----------|---------------|
| | Putaran <i>spindel</i> (Rpm) | Laju pemakanan (mm/put) | tebal pemakanan (mm) | Ra R 1 | Ra R 2 | Ra R3 | |
| 1 | 2360 | 0,15 | 0,25 | 0,459 | 0,155 | 0,239 | 0,284 |
| 2 | 2360 | 0,25 | 0,425 | 0,273 | 0,228 | 0,333 | 0,278 |
| 3 | 2360 | 0,5 | 0,6 | 1,319 | 0,510 | 1,133 | 0,987 |
| 4 | 2640 | 0,15 | 0,425 | 0,370 | 0,349 | 0,390 | 0,370 |
| 5 | 2640 | 0,25 | 0,6 | 0,394 | 0,526 | 0,412 | 0,444 |
| 6 | 2640 | 0,5 | 0,25 | 1,260 | 1,689 | 2,086 | 1,678 |
| 7 | 2920 | 0,15 | 0,6 | 0,247 | 0,407 | 0,206 | 0,287 |
| 8 | 2920 | 0,25 | 0,25 | 0,231 | 0,519 | 0,337 | 0,362 |
| 9 | 2920 | 0,5 | 0,425 | 1,455 | 1,729 | 1,681 | 1,621 |
| | | Rata-rata | | | | | 0,701 |

Lampiran 3 :

**Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja
Hasil Uji Kombinasi Awal**

Tabel 2.1 Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Uji Kombinasi Awal

| <i>Setting</i> variabel kombinasi Ke | Putaran <i>Spindel</i> (Rpm) | Tebal Pemakanan (mm) | Laju pemakanan (mm/put) | Rata-rata Ra(μ m) |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 2640 | 0,425 | 0,25 | 0,590 |
| 2 | 2640 | 0,425 | 0,25 | 0,520 |
| 3 | 2640 | 0,425 | 0,25 | 0,490 |
| 4 | 2640 | 0,425 | 0,25 | 0,535 |
| 5 | 2640 | 0,425 | 0,25 | 0,503 |
| | | | Rata-rata | 0,528 |

Lampiran 4 :

Hasil Uji Konfirmasi optimum

Tabel 3.1 Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Uji Konfirmasi Optimum

| <i>Setting</i> variabel kombinasi ke | Putaran <i>Spindel</i> (Rpm) | Tebal Pemakanan (mm) | Laju pemakanan (mm/put) | Rata-rata Ra(μ m) |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 2360 | 0,425 | 0,25 | 0,238 |
| 2 | 2360 | 0,425 | 0,25 | 0,320 |
| 3 | 2360 | 0,425 | 0,25 | 0,256 |
| 4 | 2360 | 0,425 | 0,25 | 0,276 |
| 5 | 2360 | 0,425 | 0,25 | 0,283 |
| | | | Rata-rata | 0,275 |

Lampiran 5 :

Analisa Variabel Respon Individu

Tabel 4.1 Analisis variansi Rata-Rata Dan Persen Kontribusi Respon Kekasaran Permukaan

| Sumber | V | SS | MS | SS' | P(%) |
|--------|---|--------|---------|--------|--------|
| A | 2 | 0,162 | 0,081 | 0,0906 | 3,35% |
| B | 2 | 2,392 | 1,196 | 2,3206 | 85,93% |
| C | 2 | 0,0749 | 0,03745 | 0,0035 | 0,129% |
| Error | 2 | 0,0714 | 0,0357 | 0,286 | 10,59% |
| Total | 8 | 2,7003 | - | - | 100% |

Tabel 4.2 Analisis Variansi Rasio S/N Dan Persen Kontribusi Respon Kekasaran Permukaan

| Sumber | V | SS | MS | SS' | P(%) |
|--------|---|----------|----------|----------|-----------|
| A | 2 | 16,3415 | 8,170751 | 13,05449 | 3,976291% |
| B | 2 | 306,9354 | 153,4677 | 303,6484 | 92,48883% |
| C | 2 | 1,744239 | 0,872119 | -1,54278 | -0,46992% |
| Error | 2 | 3,287015 | 1,643507 | 4,004792 | 4,004792% |
| Total | 8 | 328,3082 | - | - | 100% |

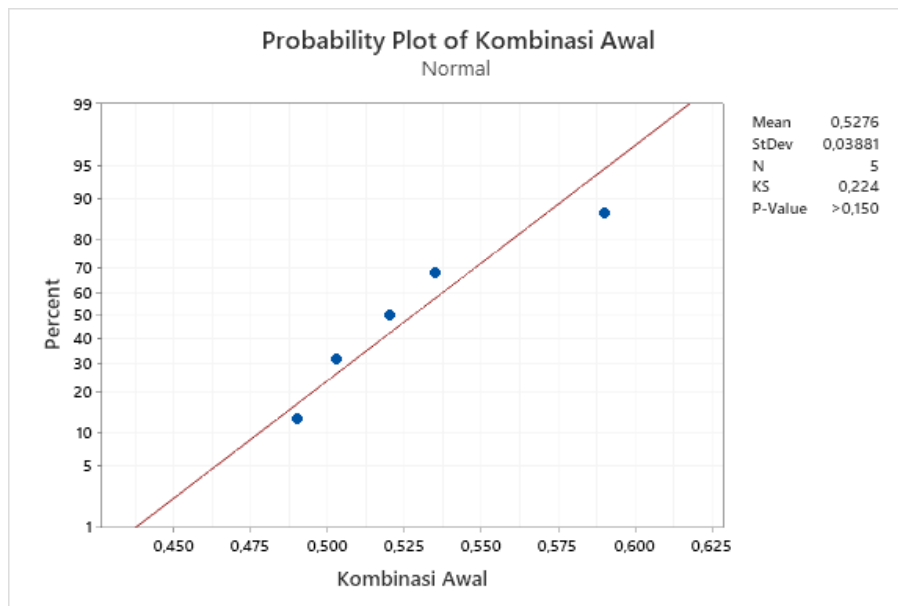
Lampiran 6 :

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

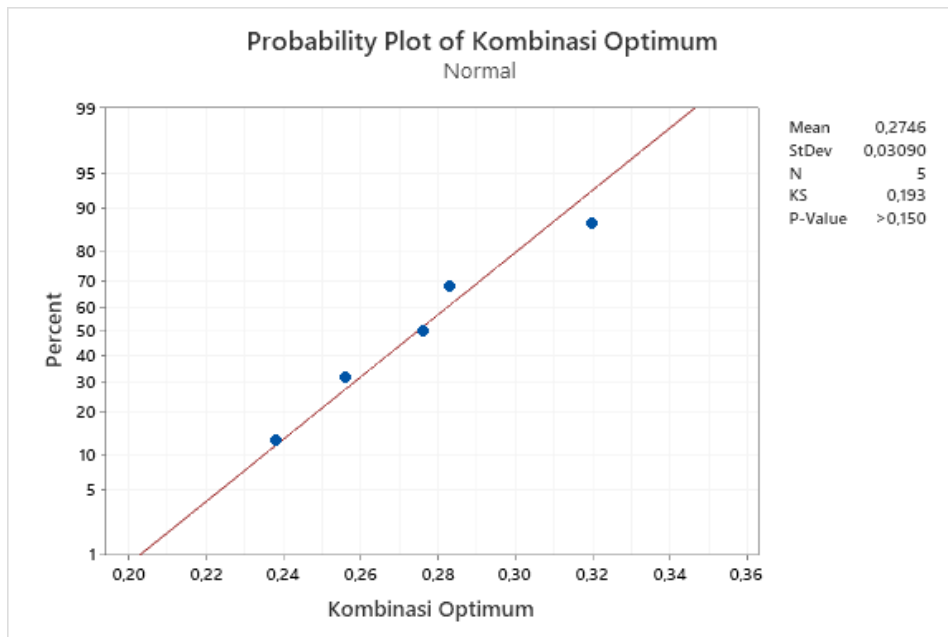
Langkah-langkah dari uji kesamaan rata-rata adalah sebagai berikut:

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.



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

b. Uji dua variansi

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

Test

Null hypothesis $H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$
 Alternative hypothesis $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$
 Significance level $\alpha = 0,05$

| Test | | | | |
|--------|-----------|-----|-----|---------|
| Method | Statistic | DF1 | DF2 | P-Value |
| Bonett | 0,20 | 1 | | 0,652 |
| Levene | 0,10 | 1 | 8 | 0,761 |

Hasil uji dua variansi menunjukkan bahwa nilai *p-value* lebih besardari $\alpha = 0,05$, 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.

c. Ujikesamaan 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 | |
| T-Value | DF | P-Value |
| 11,40 | 7 | 0,000 |

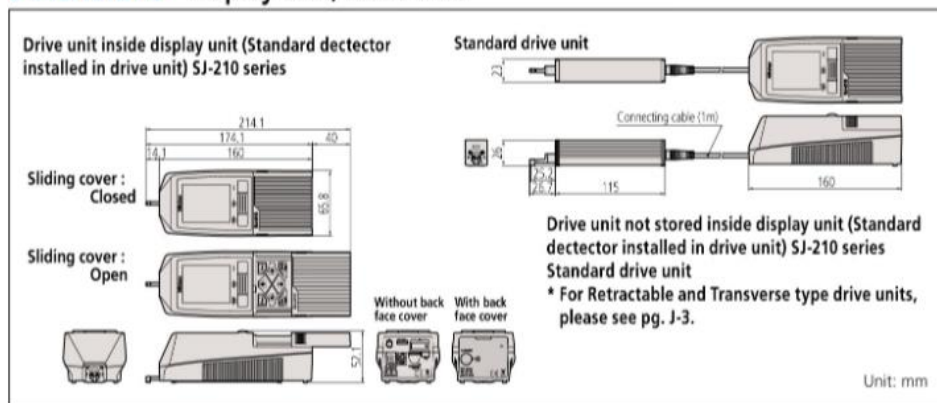
Dapat disimpulkan bahwa uji rata-rata kekasaran permukaan diperoleh *p-value* dengan nilai 0,000 maka nilai *p-value* lebih kecil dari $\alpha = 0,05$, sehingga keputusannya hipotesis awal ditolak. Dengan demikian, bahwa secara statistic rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* variabel kombinasi awal lebih besar dibandingkan dengan rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* kombinasi optimum.

Lampiran 7 :

Gambar 6.1 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 | 12BAA303 Connecting cable 178-602 Roughness specimen (Ra 3.00µm) 12BAK699 Carrying case 12BAK700 Calibration stage 12BAK820 Protective sheets for display AC Adapter Operation manual Quick reference manual Warranty | | | | 12BAA303 Connecting cable 178-606 Roughness specimen (Ra 1.00µm) 12AAE643 Point-contact adapter 12AAE644 V-type adapter 12BAK699 Carrying case 12BAK700 Calibration stage 12BAK820 Protective sheets for display AC Adapter, Operation manual Quick reference manual, Warranty | |

DIMENSIONS Display unit, Drive unit



Lampiran 8 :

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 |

| df untuk penyebut (N2) | df untuk pembilang (N1) | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 46 | 4.05 | 3.20 | 2.81 | 2.57 | 2.42 | 2.30 | 2.22 | 2.15 | 2.09 | 2.04 | 2.00 | 1.97 | 1.94 | 1.91 | 1.89 |
| 47 | 4.05 | 3.20 | 2.80 | 2.57 | 2.41 | 2.30 | 2.21 | 2.14 | 2.09 | 2.04 | 2.00 | 1.96 | 1.93 | 1.91 | 1.88 |
| 48 | 4.04 | 3.19 | 2.80 | 2.57 | 2.41 | 2.29 | 2.21 | 2.14 | 2.08 | 2.03 | 1.99 | 1.96 | 1.93 | 1.90 | 1.88 |
| 49 | 4.04 | 3.19 | 2.79 | 2.56 | 2.40 | 2.29 | 2.20 | 2.13 | 2.08 | 2.03 | 1.99 | 1.96 | 1.93 | 1.90 | 1.88 |
| 50 | 4.03 | 3.18 | 2.79 | 2.56 | 2.40 | 2.29 | 2.20 | 2.13 | 2.07 | 2.03 | 1.99 | 1.95 | 1.92 | 1.89 | 1.87 |
| 51 | 4.03 | 3.18 | 2.79 | 2.55 | 2.40 | 2.28 | 2.20 | 2.13 | 2.07 | 2.02 | 1.98 | 1.95 | 1.92 | 1.89 | 1.87 |
| 52 | 4.03 | 3.18 | 2.78 | 2.55 | 2.39 | 2.28 | 2.19 | 2.12 | 2.07 | 2.02 | 1.98 | 1.94 | 1.91 | 1.89 | 1.86 |
| 53 | 4.02 | 3.17 | 2.78 | 2.55 | 2.39 | 2.28 | 2.19 | 2.12 | 2.06 | 2.01 | 1.97 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.86 |
| 54 | 4.02 | 3.17 | 2.78 | 2.54 | 2.39 | 2.27 | 2.18 | 2.12 | 2.06 | 2.01 | 1.97 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.86 |
| 55 | 4.02 | 3.16 | 2.77 | 2.54 | 2.38 | 2.27 | 2.18 | 2.11 | 2.06 | 2.01 | 1.97 | 1.93 | 1.90 | 1.88 | 1.85 |
| 56 | 4.01 | 3.16 | 2.77 | 2.54 | 2.38 | 2.27 | 2.18 | 2.11 | 2.05 | 2.00 | 1.96 | 1.93 | 1.90 | 1.87 | 1.85 |
| 57 | 4.01 | 3.16 | 2.77 | 2.53 | 2.38 | 2.26 | 2.18 | 2.11 | 2.05 | 2.00 | 1.96 | 1.93 | 1.90 | 1.87 | 1.85 |
| 58 | 4.01 | 3.16 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.26 | 2.17 | 2.10 | 2.05 | 2.00 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.87 | 1.84 |
| 59 | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.26 | 2.17 | 2.10 | 2.04 | 2.00 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.86 | 1.84 |
| 60 | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.25 | 2.17 | 2.10 | 2.04 | 1.99 | 1.95 | 1.92 | 1.89 | 1.86 | 1.84 |
| 61 | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.52 | 2.37 | 2.25 | 2.16 | 2.09 | 2.04 | 1.99 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.86 | 1.83 |
| 62 | 4.00 | 3.15 | 2.75 | 2.52 | 2.36 | 2.25 | 2.16 | 2.09 | 2.03 | 1.99 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.83 |
| 63 | 3.99 | 3.14 | 2.75 | 2.52 | 2.36 | 2.25 | 2.16 | 2.09 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.83 |
| 64 | 3.99 | 3.14 | 2.75 | 2.52 | 2.36 | 2.24 | 2.16 | 2.09 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.83 |
| 65 | 3.99 | 3.14 | 2.75 | 2.51 | 2.36 | 2.24 | 2.15 | 2.08 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.85 | 1.82 |
| 66 | 3.99 | 3.14 | 2.74 | 2.51 | 2.35 | 2.24 | 2.15 | 2.08 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.82 |
| 67 | 3.98 | 3.13 | 2.74 | 2.51 | 2.35 | 2.24 | 2.15 | 2.08 | 2.02 | 1.98 | 1.93 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.82 |
| 68 | 3.98 | 3.13 | 2.74 | 2.51 | 2.35 | 2.24 | 2.15 | 2.08 | 2.02 | 1.97 | 1.93 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.82 |
| 69 | 3.98 | 3.13 | 2.74 | 2.50 | 2.35 | 2.23 | 2.15 | 2.08 | 2.02 | 1.97 | 1.93 | 1.90 | 1.86 | 1.84 | 1.81 |
| 70 | 3.98 | 3.13 | 2.74 | 2.50 | 2.35 | 2.23 | 2.14 | 2.07 | 2.02 | 1.97 | 1.93 | 1.89 | 1.86 | 1.84 | 1.81 |
| 71 | 3.98 | 3.13 | 2.73 | 2.50 | 2.34 | 2.23 | 2.14 | 2.07 | 2.01 | 1.97 | 1.93 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.81 |
| 72 | 3.97 | 3.12 | 2.73 | 2.50 | 2.34 | 2.23 | 2.14 | 2.07 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.81 |
| 73 | 3.97 | 3.12 | 2.73 | 2.50 | 2.34 | 2.23 | 2.14 | 2.07 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.81 |
| 74 | 3.97 | 3.12 | 2.73 | 2.50 | 2.34 | 2.22 | 2.14 | 2.07 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.89 | 1.85 | 1.83 | 1.80 |
| 75 | 3.97 | 3.12 | 2.73 | 2.49 | 2.34 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.83 | 1.80 |
| 76 | 3.97 | 3.12 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.80 |
| 77 | 3.97 | 3.12 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.00 | 1.96 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.80 |
| 78 | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.80 |
| 79 | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.79 |
| 80 | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.49 | 2.33 | 2.21 | 2.13 | 2.06 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.88 | 1.84 | 1.82 | 1.79 |
| 81 | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.48 | 2.33 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.82 | 1.79 |
| 82 | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.48 | 2.33 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.79 |
| 83 | 3.96 | 3.11 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.95 | 1.91 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.79 |
| 84 | 3.95 | 3.11 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.95 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.79 |
| 85 | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.79 |
| 86 | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.21 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.81 | 1.78 |
| 87 | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.20 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.83 | 1.81 | 1.78 |
| 88 | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 | 2.20 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.81 | 1.78 |
| 89 | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.47 | 2.32 | 2.20 | 2.11 | 2.04 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.86 | 1.83 | 1.80 | 1.78 |

Lampiran 9 :

Program pemesinan CNC





Lampiran 10 :

Proses penyetingan Pemesinan dan Benda Kerja Hasil Proses Pemesinan



