

**OPTIMASI KEKASAHAN PERMUKAAN BAJA SKD11
PADA PROSES CNC MILLING DENGAN
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

*Optimization of Surface Roughness (SKD11) on CNC Milling Process Using
Taguchi Method*

Tugas akhir ini disusun oleh :
Destina L. Purandari, S.Ked., S.Kom., M.Eng., dan M.Eng.
NPM : 1641710

Direktori

Fakultas

NPM : 1641710



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK MESIN

UNIVERSITAS BINA SARANA INFORMATIKA

JULIUS 2014

**OPTIMASI KEKASARAN PERMUKAAN BAJA SKD11
PADA PROSES CNC MILLING DENGAN
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

*Optimization of Steel Surface Roughness SKD 11 on CNC Milling Process 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 :

Fahrizal

NPM : 1041710



**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2021**

OPTIMASI KEKASARAN PERMUKAAN BAJA SKD11 PADA PROSES CNC MILLING DENGAN MENGUNAKAN METODE TAGUCHI

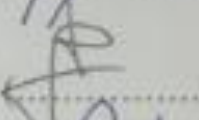
Penulis :
FAHRIZAL
NPM : 1041710

Penguji :

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

()

1. Anggota 1 : Husman, S.S.T., M.T.

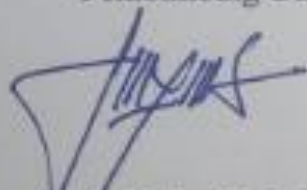
()

2. Anggota 2 : Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng.

()


Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 22 Februari 2021
dan disahkan sesuai dengan ketentuan.

Pembimbing Utama,

()

Eko Yudo, S.S.T., M.T.
NIDN: 0228067803

Pembimbing Pendamping,

()

Adhe Anggry, S.S.T., M.T.
NIDN: 0225107502

Ketua Jurusan,

()

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

ABSTRAK

Pada proses pemesinan, penentuan pengaturan variabel proses yang tepat untuk mencapai respon yang optimum sangat penting dilakukan secara efektif. Hal ini untuk mengurangi proses percobaan berulang sehingga waktu dan biaya proses pemesinan bisa diminimalisir. Material baja SKD 11 merupakan salah satu jenis baja perkakas, yaitu material baja yang biasa dijadikan pisau potong, Cetakan *deep drawing*, *Drawing cones*, *Compression moulding dies*. Kekasaran permukaan merupakan salah satu karakteristik kinerja pemesinan pada proses *milling*.

Penelitian ini akan mengoptimasi dari kekasaran permukaan dengan menggunakan kombinasi variabel proses putaran *spindle*, *feedrate* dan kedalaman pemakanan CNC MORI SEIKI MV-40M. Metode yang digunakan adalah metode *taguchi*.

Hasil penelitian menunjukkan optimasi yang telah divalidasi dalam percobaan konfirmasi, kombinasi variabel atau parameter proses pada proses *milling* SKD 11 yang dapat menghasilkan nilai respon paling optimal adalah kecepatan *spindle* sebesar 2000 rpm, *feedrate* sebesar 60 mm/menit, dan kedalaman pemakanan 0.55 mm.

Kata Kunci: *milling*, *taguchi*, kekasaran, SKD 11, optimasi

ABSTRACT

In the machining process, determining the right process variable settings to achieve optimum response is very important to be done effectively. This is to reduce the repeating trial process so that the time and cost of the machining process can be minimized. SKD 11 steel material is one type of tool steel, namely steel material that is commonly used as a cutting knife, deep drawing molds, Drawing cones, Compression moulding dies. Surface roughness is one of the characteristics of machining performance in milling processes.

This study will optimize the surface roughness using a variable combination of spindle speed, feedrate and CNC MORI SEIKI MV-40M feeding depth. The method used is the taguchi method.

The results showed optimizations that have been validated in confirmation experiments, a combination of variables or process parameters in the SKD 11 milling process that can produce the most optimal response value is a spindle speed of 2000 rpm, a feedrate of 60 mm/min, and a feeding depth of 0.55 mm.

Keywords: *milling, taguchi, surface roughness, SKD 11, optimization*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah menganugerahkan rahmat serta inayah-Nya, yang karena-Nya, penulis diberikan kekuatan dan kesabaran untuk menyelesaikan tugas akhir berjudul “Optimasi Kekasaran Permukaan Baja SKD11 pada Proses CNC *Milling* Dengan Menggunakan Metode *Taguchi*”.

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

Penulis menyadari dalam penulisan tugas akhir 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 dikemudian hari dapat memperbaiki segala kekurangannya.

Dalam penulisan tugas akhir 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 tugas akhir ini hingga selesai, terutama kepada yang penulis hormati :

1. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
2. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur.
4. Eko Yudo, S.S.T., M.T. selaku pembimbing I.
5. Adhe Anggry, S.S.T., M.T. selaku pembimbing II

6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Staf Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah membekali penulis ilmu yang bermanfaat sebelum menyusun tugas akhir ini.
7. Segenap keluarga besar Kelas A Teknik Mesin dan Manufaktur 2017. Kita adalah sebuah kisah klasik yang unik untuk dikenang selalu.
8. 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 tugas akhir ini yang ditulis oleh Penulis ini dapat bermanfaat khususnya bagi Penulis sendiri dan umumnya bagi pembaca. Bagi para pihak yang telah membantu dalam penulisan tugas akhir ini semoga segala amal dan kebbaikannya mendapatkan balasan yang berlimpah dari Tuhan Yang Maha Esa, Aamiin.

Sungailiat, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR RUMUS	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	I-2
1.2 Perumusan Masalah	I-2
1.3 Tujuan Penelitian	I-2
1.4 Ruang Lingkup	I-3
1.5 Sitematika Pelaporan	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Mesin <i>Milling</i>	II-1
2.1.1 Pengertian Fesin <i>Milling</i>	II-1
2.1.2 Jenis Mesin <i>Milling</i>	II-2
2.1.3 Klasifikasi Proses <i>Milling</i>	II-3
2.1.4 Parameter Yang Dapat Diatur Pada Mesin <i>Milling</i>	II-4
2.2 Kekasaran Permukaan.....	II-7
2.3 Metode <i>Taguchi</i>	II-7
2.3.1 <i>Orthogonal Array</i>	II-9
2.3.2 Rasio S/N (<i>Signal-to-Noise ratio</i>).....	II-9
2.3.3 <i>Analysis Of Variance</i> (ANOVA)	II-14
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	III-2
3.2 Identifikasi Masalah.....	III-2

3.3	Studi Pustaka	III-2
3.4	Rancangan Percobaan	III-3
3.4.1	Pengaturan Variabel Proses pada Mesin	III-4
3.4.2	Pemilihan Matrik Ortogonal	III-5
3.5	Persiapan Percobaan	III-5
3.5.1	Benda Kerja Uji	III-6
3.5.2	Peralatan Penelitian	III-7
3.6	Pelaksanaan percobaan	III-8
3.4	Pengambilan Data	III-9
3.5	Analisis Data.....	III-9
3.6	Kesimpulan.....	III-9
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengambilan Data Hasil Percobaan	IV-2
4.2	Penentuan Kombinasi Variabel Untuk Respon Optimal.....	IV-3
4.3	Analisis Variansi dan Persen Kontribusi.....	IV-6
4.4	Hasil Prediksi Nilai Kekasaran Permukaan Dan Interval Keyakinan.....	IV-9
4.5	Perhitungan Rasio S/N dari Respon.....	IV-10
4.6	Analisis Variansi Rasio S/N	IV-14
4.7	Analisis Data.....	IV-16
4.8	Percobaan Konfirmasi.....	IV-22
4.9	Hasil Perhitungan Data Eksperimen Kombinasi Awal	IV-23
4.10	Hasil Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Kombinasi Awal	IV-24
4.11	Hasil Perhitungan Data Eksperimen Konfirmasi.....	IV-25
4.12	Hasil Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi	IV-25
4.13	Pembahasan	IV-26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	IV-1
5.2	Saran.....	IV-1
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mesin <i>milling turret</i> vertical horizontal.....	II-1
Gambar 2.2	Mesin <i>milling</i> kendali CNC.....	II-2
Gambar 2.3	Tiga klasifikasi proses frais	II-3
Gambar 2.4	Bentuk profil kekasaran permukaan	II-5
Gambar 2.5	Penulisan matriks <i>orthogonal array</i>	II-8
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	III-2
Gambar 3.2	Ukuran dan bentuk benda kerja.....	III-6
Gambar 3.3	Mesin CNC Mori Seki MV-40M	III-6
Gambar 3.4	<i>Surface roughness tester Mitutoyo SJ201</i>	III-7
Gambar 3.5	<i>Cutter speed tiger ULVT0806</i>	III-7
Gambar 3.6	Titik-titik pengujian.....	III-9

DAFTAR TABEL

Table 2.1	Angka Kekasaran (ISO <i>roughness number</i>)	II-6
Tabel 2.2	Pekerjaan akhir proses pemesinan dan kekasaran permukaan <i>Ra</i> .	II-7
Tabel 3.1	Variabel Proses dan Level Proses	II-3
Tabel 3.2	Total derajat kebebasan Variabel dan level	II-4
Tabel 3.3	Rancangan percobaan	II-4
Tabel 3.4	Tampilan data hasil percobaan.....	II-5
Tabel 3.5	Spesifikasi alat potong.....	II-7
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-5
Tabel 4.5	Persen Kontribusi	IV-6
Tabel 4.6	Perhitungan S/N rasio.....	IV-9
Tabel 4.7	Respon Rasio S/N Kekasaran permukaan dari pengaruh faktor	IV-10
Tabel 4.8	Analisis variansi rasio S/N kekasaran permukaan	IV-12
Tabel 4.9	Persen Kontribusi rasio S/N.....	IV-13
Tabel 4.10	Hasil ANAVA.....	IV-14
Tabel 4.11	Kondisi hipotesis nol respon secara serentak.....	IV-16
Tabel 4.12	Kombinasi variabel proses untuk kondisi awal dan kondisi optimum	IV-17
Tabel 4.13	Hasil respon dengan menggunakan kombinasi awal	

dan kombinasi optimum.....	IV-17
Tabel 4.14 Rasio S/N pada kombinasi awal dan kombinasi optimum	IV-18
Tabel 4.15 kekasaran permukaan pada kombinasi awal	
dan kombinasi optimum.....	IV-18
Tabel 4.16 Hasil uji kenormalan data	IV-20
Tabel 4.17 Hasil uji dua variansi	IV-21
Tabel 4.18 Hasil uji kesamaan rata-rata.....	IV-22
Tabel 4.19 Interval Hasil Ukuran Kekasaran Permukaan benda kerja	IV-26

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	Kecepatan potong	II-4
Rumus 2.2	<i>Feedrate</i>	II-4
Rumus 2.3	Derajat kebebasan	II-8
Rumus 2.4	Rasio S/N <i>smaller the better</i>	II-9
Rumus 2.5	Rasio S/N <i>Large the better</i>	II-9
Rumus 2.6	Rasio S/N <i>Nominal the better</i>	II-9
Rumus 2.7	Jumlah kuadrat (<i>sum of square</i>)	II-10
Rumus 2.8	Derajat kebebasan faktor A.....	II-11
Rumus 2.9	Derajat kebebasan total	II-11
Rumus 2.10	Derajat kebebasan <i>error</i>	II-11
Rumus 2.11	Rata-rata kuadrat (<i>mean square</i>).....	II-11
Rumus 2.12	Jumlah kuadrat total	II-11
Rumus 2.13	Jumlah kuadrat karena rata-rata	II-11
Rumus 2.14	Jumlah kuadrat <i>error</i>	II-11
Rumus 2.15	<i>Sum of square</i> faktor	II-11
Rumus 2.16	Rata-rata kuadrat <i>error</i>	II-11
Rumus 2.17	Nilai F.....	II-12
Rumus 2.18	Nilai persen kontribusi	II-12
Rumus 2.19	<i>Sum of square</i> persen kontribusi	II-12
Rumus 2.20	Banyaknya pengamatan efektif	II-13
Rumus 2.21	<i>CI</i> optimasi	II-13
Rumus 2.22	Dugaan rata-rata pada kombinasi optimum	II-13
Rumus 2.23	Percobaan konfirmasi	II-13
Rumus 2.24	Dugaan rata-rata pada kombinasi konfirmasi	II-14

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan proses permesinan dalam industri manufaktur saat ini berlangsung sangat pesat, proses permesinan non-konvensional menjadi solusi solusi pengerjaan ketika proses pengerjaan tidak dapat dilakukan dengan mesin konvensional, suatu hasil produksi harus diimbangi dengan peningkatan kualitas hasil produksi, khususnya pada proses produksi menggunakan mesin perkakas seperti mesin CNC *milling*. Dengan adanya mesin tersebut akan mempermudah dalam pembuatan komponen-komponen mesin dengan ketelitian yang tinggi dan efisien.

Dalam proses permesinan CNC *milling* untuk mendapatkan kualitas pemotongan benda kerja yang baik diperlukan pemilihan pengaturan parameter yang tepat. Alat potong *milling* menjadi salah satu faktor dalam proses permesinan di mesin *milling*. Mempertimbangkan hal tersebut, maka bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah Baja SKD 11, Baja SKD 11 dengan kekerasan 16-20 HRC. Dikarenakan sering digunakan dalam keperluan industri sebagai baja perkakas pengerjaan dingin seperti dijadikan pisau potong, Cetakan *deep drawing*, *Drawing cones*, *Compression moulding dies*, atau komponen lain dengan geometri dan kekasaran tertentu (Okik Aris Setiawan 2018). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada pengerjaan logam dengan menggunakan mesin CNC *milling* antara lain kecepatan *spindle*, laju pemakanan dan kedalaman pemakanan (Ardiansyah 2011). Nur Fristiawan, (2012) mengatakan dalam penelitiannya faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan dalam proses permesinan CNC *milling* yaitu kecepatan *spindle*, laju pemakanan, kedalaman pemakanandan arah pemakanan. Pada proses penyelesaian pekerjaan, selain dimensi produk jadi, kekasaran permukaan (*surface roughness*) merupakan salah satu karakteristik kualitas yang penting untuk menunjukkan kualitas pengerjaan. Secara khusus kekasaran permukaan

memegang peran penting pada kualitas produk dan merupakan salah satu parameter yang penting untuk mengevaluasi dari hasil proses keakurasian permesian (Petropoulos dkk, 2009).

Bambang Margono, Haikal, (2018) meneliti tentang optimasi menggunakan material kuningan UNS C26800 dari hasil penelitian diperoleh parameter-parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah putaran *spindle*, kecepatan pemakanan dan dalam pemakanan. Parameter proses *miling* paling optimalnya adalah kecepatan *spindle* diatur sebesar 920 rpm. kecepatan pemakanan 132 mm/mnt. kedalaman pemakanan 1.5 mm dan pendingin udara. metode optimasi yang digunakan adalah Metode *Taguchi*.

Anjar Priyatmojo, Rusiyanro, (2019) meneliti tentang pengaruh kecepatan *Spindle* dan kedalaman pemakanan untuk mendapatkan hasil kekasaran permukaan alumunium paduan yang halus pada permesinan *milling* maka dalam hal ini memakai kecepatan *spindle* antara 1600 rpm sampai 2700 dengan kedalaman pemakanan 0.1 mm sampai 0.25 mm. kekasaran permukaan 2.347 μm .

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pembahasan pada latar belakang, maka perumuskan masalah pada penelitian ini adalah “Bagaimana pengaturan yang optimal parameter Kecepatan *spindle*, kecepatan pemakanan (*Feedrate*) dan kedalaman pemakanan agar sesuai karakteristik kualitas yang diinginkan?”.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian berdasarkan pada perumusan masalah pengaturan parameter Kecepatan *spindle*, kecepatan pemakanan (*Feedrate*) dan kedalaman pemakanan agar sesuai karakteristik yang diinginkan dapat tercapai.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian dituliskan pada: optimasi parameter menggunakan metode *taguchi*, dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Mesin CNC *milling* yang digunakan adalah Mori Seki MV-40M

2. Alat potong yang digunakan adalah *Cutter and mill speed tiger ULVT0806*
3. Alat pengujian kekasaran yang digunakan *Surface roughness tester Mitutoyo SJ201*

1.5 Sistematika Pelaporan

Adapun sistematika pelaporan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I. Pendahuluan meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup dan sistematika penulisan.
2. Bab II. Tinjauan Pustaka berisikan dasar-dasar teori tentang cara kerja mesin CNC *milling* dan penjelasan pengaturan parameter yang digunakan dalam penelitian.
3. Bab III. Metode Penelitian berisikan uraian rinci tentang langkah-langkah dan metodologi penyelesaian masalah, material yang digunakan, alat yang dipergunakan, metode pengambilan data.
4. Bab IV. Analisa Data dan Pembahasan berisikan proses, hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.
5. 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 ditunjukan pada para mahasiswa yang belum melaksanakan penelitian.

Daftar pustaka berisikan sumber yang menjadi referensi.

Lampiran berisikan perhitungan dan perlengkapan laporan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin *Milling*

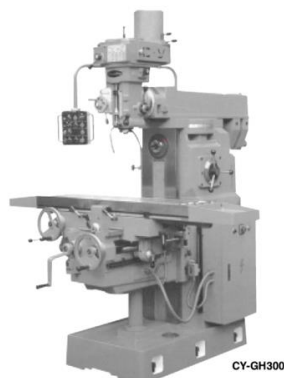
2.1.1 Pengertian mesin *milling*

Mesin *milling* adalah mesin perkakas untuk mengerjakan atau menyelesaikan suatu benda kerja dengan mempergunakan alat potong *cutter milling* sebagai pahat penyayat yang berputar pada sumbu mesin. prinsip kerja dari mesin *milling* adalah pahat yang berputar kemudian benda kerja bergerak pada meja *milling* untuk melakukan penyayatan (Daryanto 2006: 33).

2.1.2 Jenis mesin *milling*

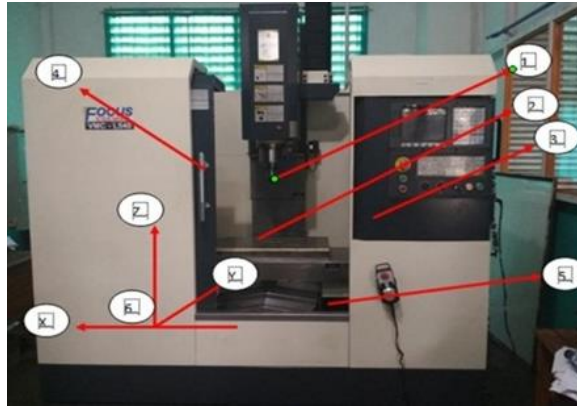
Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pahat ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Mesin yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pahat, dan penyayatannya disebut mesin *milling* (*milling machine*) (Dwi Rahdiyanta, 2010).

Mesin *milling* ada yang dikendalikan secara mekanis dan dengan bantuan CNC (*CNC Millig*). Mesin *milling* jenis spindelnya ada dua macam yaitu horizontal dan vertikal (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 mesin *milling turret* vertical horizontal (sumber: Dwi Rahdiyanta, 2010).

Mesin *milling* dengan kendali CNC hampir semuanya adalah mesin *milling* vertikal. Adapun mesin CNC *Milling* beserta bagian-bagiannya dapat dilihat pada Gambar 2.2.



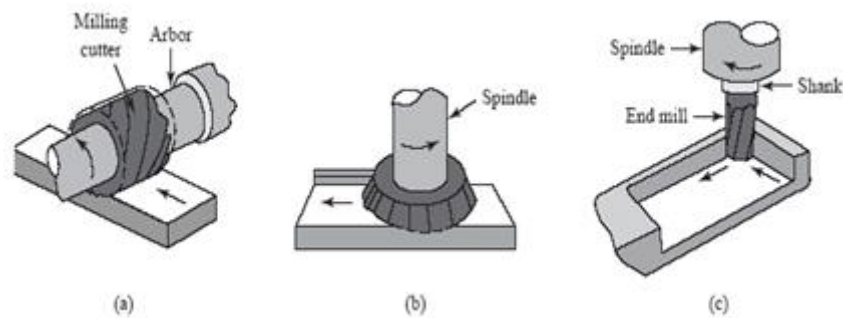
Gambar 2.2 Mesin *milling* kendali CNC (sumber: Muchlis Mutaqqin,2018).

Bagian-bagian pada mesin CNC *milling* sebagai berikut:

1. *Spindle*: bagian dimana *cutter* terpasang. *Spindle* ini berfungsi memutar *cutter* yang nantinya akan membentuk benda kerja sesuai dengan bentuk yang kita harapkan.
2. *Bed*: tempat untuk benda kerja yang akan diproses.
3. *Control Panel*: panel kontrol tempat dimana operator mengontrol gerakan mesin.
4. Pintu: pintu digunakan untuk melindungi oprator pada saat permesinan berlangsung.
5. Tempat penampungan sisa pemotongan mesin CNC: Dimana sisa pemotongan dari proses pemesinan akan ditampung dalam tempat penampungan.
6. Axis X Y Z: axis X Y Z merupakan sumbu-sumbu dari arah gerak mesin CNC 3 Axis.

2.1.3 Klasifikasi proses *milling*

Proses *milling* dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, dan posisi relatif pahat terhadap benda kerja Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tiga klasifikasi proses *milling*: (a) *Milling* peripheral (*slab milling*), (b) *face milling*, dan (c) *end milling* (sumber: Dwi Rahdiyanta, 2010).

Klasifikasi proses sebagai berikut:

a. *Peripheral Milling*

Proses *milling* ini disebut juga *slab milling*, permukaan yang dimilling dihasilkan oleh gigi pahat yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pahat biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat.

b. *Face Milling*

Pada *Face Milling*, pahat dipasang pada *spindel* yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses *milling* dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pahat.

c. *End Milling*

Pahat pada proses *milling* ujung biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja.. Pahat dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pahat terletak pada selubung pahat dan ujung badan pahat.

2.1.4 Parameter yang dapat diatur pada mesin *milling*

Parameter yang dapat diatur adalah parameter yang dapat langsung diatur oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan mesin *milling*. Parameter yang dimaksud adalah putaran *spindle* (n), gerak makan (f), dan kedalaman potong (a). Putaran spindel bisa langsung diatur dengan cara mengubah posisi handel pengatur putaran mesin.

Gerak makan bisa diatur dengan cara mengatur handel gerak makan sesuai dengan tabel f yang ada di mesin. Gerak makan ini pada proses *milling* ada dua macam yaitu gerak makan per gigi (mm/gigi), dan gerak makan per putaran (mm/putaran). Kedalaman potong diatur dengan cara menaikkan benda kerja, atau dengan cara menurunkan pahat.

Putaran *spindle* (n) ditentukan berdasarkan kecepatan potong. Kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pahat dan material benda kerja. Kecepatan potong adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik (dalam satuan meter) pada selubung pahat dalam waktu satu menit. Rumus kecepatan potong identik dengan rumus kecepatan potong pada mesin bubut. Pada proses *milling* besarnya diameter yang digunakan adalah diameter pahat.

Rumus-rumus yang digunakan untuk menentukan parameter proses kecepatan potong adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan potong (v)

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

dimana:

v = Kecepatan potong π = Ketetapan 3,14

d = Diameter pahat n = Putaran *spindle*

2. *Feedrate* (f_r)

Feedrate adalah kecepatan makan benda kerja oleh *cutting tool* dalam suatu proses *machining*. *Feedrate* dihitung dengan rumus.

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

dimana:

f_r = *Feed rate* (mm/menit) n = Putaran *spindle* (rev/menit)

f = *Feeding* (mm/put)

2.2 Kekasaran Permukaan

Dalam istilah keteknikan, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal

atau serong dari suatu penampang permukaan. Kekasaran terdiri dari ketidakraturan tekstur permukaan benda, yang pada umumnya mencakup ketidakraturan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi. Tekstur permukaan adalah pola dari permukaan yang menyimpang dari suatu permukaan nominal. Penyimpangan mungkin atau berulang yang diakibatkan oleh kekasaran, *waviness*, *lay*, dan *flaws* (Dhiah,dkk, 2014).

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Ideal Surface Roughness*

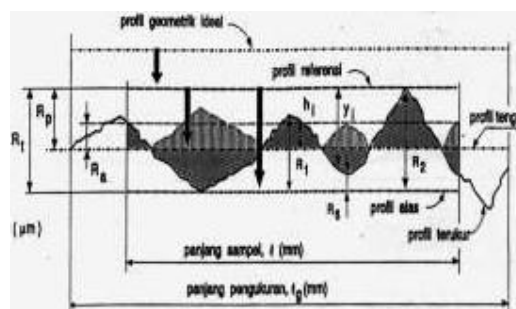
Ideal surface roughness adalah kekasaran ideal yang bisa dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran ideal di antaranya:

- Getaran yang terjadi pada mesin.
- Ketidaktepatan gerakan bagian-bagian mesin.
- Ketidakteraturan *feed mechanism*.
- Adanya cacat pada material.
- Gesekan antara chip dan material.

2. *Natural Surface Roughness*

Natural surface roughness adalah kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya berbagai faktor yang mempengaruhi proses permesinan tersebut.

Parameter kekasaran permukaan sebelum jauh melangkah ke parameter kekasaran perlu diketahui terlebih dahulu tentang profil yang penting seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk profil kekasaran permukaan (sumber: Dhiah,dkk., 2014)

Dari gambar di atas, dapat didefinisikan beberapa parameter kekasaran permukaan, yaitu :

1. Kekasaran total (R_t) merupakan jarak antara garis referensi dengan garis alas.
2. Kekasaran perataan (R_p) merupakan jarak rata-rata antara garis referensi dengan garis terukur.
3. Kekasaran rata-rata aritmatik (R_a) merupakan nilai rata-rata aritmatik antara garis dan garis terukur.
4. Kekasaran rata-rata kuadrat (*root mean square height*), R_q (μm) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.
5. Kekasaran total rata-rata, R_z (μm) merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas keprofil terukur pada lima lembah terendah.

Parameter kekasaran yang dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan benda adalah kekasaran rata-rata (R_a). Harga R_a lebih sensitif terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan. Toleransi harga R_a , sama seperti toleransi ukuran (lubang dan poros) harga kekasaran rata-rata aritmetis R_a juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Harga toleransi kekasaran R_a ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Table 2.1 Angka Kekasaran (ISO *roughness number*) (Dhiah,dkk., 2014)

Kelas Kekasaran	Harga R_a (μm)	Panjang sampel
N1	0.0025	0.08
N2	0.05	
N3	0.0	0.25
N4	0.2	
N5	0.4	
N6	0.8	0.8
N7	1.6	
N8	3.2	
N9	6.3	2.5
N10	12.5	
N11	25.0	8
N12	50.0	

Dalam proses pemesinan pada pengerjaan akhir untuk menentukan permukaan obyek dilakukan dengan proses *milling*, menurut Tabel 2.2 kualitas permukaan yang dihasilkan di mana kekasaran permukaan rata-rata Ra yang distandarkan harus mencapai nilai antara 0,4 – 1,6 μm (DIN 4768 Part 2).

Tabel 2.2. Pengerjaan akhir proses pemesinan dan kekasaran permukaan Ra menurut standar DIN 4768 Part 2

Proses	Kekasaran permukaan Ra (μm)							
	0.05 6.3	0.1 12.5	0.2 25.0	0.4	0.8	1.6	3.2	
<i>Superfinishing</i>								
<i>Lapping</i>								
<i>Polihing</i>								
<i>Honing</i>								
<i>Grinding</i>								
<i>Boring</i>								
<i>Turning</i>								
<i>Drilling</i>								
<i>Extruding</i>								
<i>Drawing</i>								
<i>Milling</i>								
<i>Shaping</i>								
<i>Planing</i>								

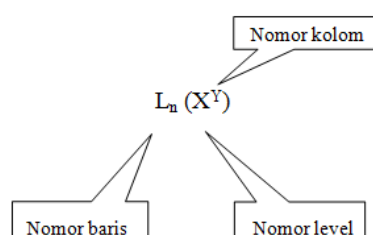
2.3 Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah metode yang dibuat oleh Dr. Genichi Taguchi saat memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang pada tahun 1949. Metode ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta untuk menekan sumber daya dan biaya seminimal mungkin. Metode ini menitikberatkan pada pencapaian target tertentu dan mengurangi variasi suatu proses atau produk dengan menggunakan desain parameter. Metode ini dilakukan menggunakan ilmu statistika yaitu apabila ada sejumlah parameter yang diperkirakan akan mempengaruhi proses, maka dengan prinsip statistika bisa dihitung seberapa besar peran dari masing-masing parameter tersebut dalam mempengaruhi hasil dari proses tersebut (Putra, 2010).

2.3.3 Orthogonal array

Orthogonal array merupakan sebuah matriks *fractional factorial* yang menjamin suatu perbandingan yang seimbang antara level-level dari faktor ataupun interaksinya pada kombinasi yang dihasilkan. *Orthogonal array* digunakan untuk menentukan berapa jumlah minimal eksperimen yang bisa memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter.

Orthogonal array merupakan matriks angka-angka yang disusun ke dalam sejumlah kolom dan baris. Setiap kolom menyatakan faktor pada suatu kondisi yang dapat berubah dari suatu percobaan ke percobaan lainnya dan setiap baris menyatakan level dari sebuah faktor pada setiap *run order*. Adapun bentuk umum dari penulisan matriks *orthogonal array* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Penulisan matriks *orthogonal array* (sumber: Roy, 1990)

L : Rancangan yang ingin digunakan

n : Banyaknya baris atau eksperimen yang digunakan

X : Banyaknya level yang ingin digunakan

Y : Banyaknya faktor yang ingin digunakan

Banyaknya level yang dipakai dalam sebuah faktor digunakan untuk memilih *orthogonal array*. Jika pada sebuah faktor jumlah level yang dipakai sebanyak tiga level maka harus memilih *orthogonal array* tiga level dan begitu juga seterusnya.

Pemilihan jenis *orthogonal array* yang akan dipakai pada percobaan didasarkan pada jumlah total dari derajat kebebasan. Adapun persamaan untuk menghitung total dari derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

$$\text{Total dof} = (\text{Banyaknya faktor}) \times (\text{Banyaknya level} - 1) \dots \dots \dots (2.3)$$

Setelah dilakukan perhitungan total derajat kebebasan, selanjutnya yaitu

memilih matriks *orthogonal array* yang sesuai. Pemilihan matriks *orthogonal array* yang cocok atau sesuai dengan eksperimen adalah total derajat kebebasan harus lebih besar atau sama dengan perhitungan total derajat kebebasan pada eksperimen (Soejanto, 2009).

2.3.4 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 (Zulhendri, 2008):

1. *Smaller the better*

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

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

n = Jumlah tes di dalam percobaan

2. *Large the Better*

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

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

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.

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

$$S/N = -10 \log \left[\frac{V_m - V_e}{V_e} \right] \dots \dots \dots (2.6)$$

2.3.5 *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 (Putra, 2010).

Persamaan untuk menghitung jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat, derajat kebebasan, nilai F dan nilai probabilitas. (Soejanto, 2009):

1. Jumlah kuadrat (*sum of square*)

Jumlah kuadrat setiap faktor, contoh untuk faktor A:

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A_1}} + \frac{A_2^2}{n_{A_2}} + \frac{A_3^2}{n_{A_3}} \dots \frac{A_n^2}{n_{A_n}} - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (2.7)$$

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*.

$$V_a = \text{Banyak level pada faktor A} - 1 \dots\dots\dots(2.8)$$

$$V_t = \text{Total semua level} - 1 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$V_e = V_t - (V_a + V_b + \dots V_n) \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana:

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

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

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

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

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

4. Jumlah kuadrat total

Jumlah kuadrat total dihitung dengan:

$$SS_T = \sum y^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana:

$$y = \text{Nilai data}$$

5. Jumlah kuadrat karena rata-rata

Jumlah kuadrat karena rata-rata dihitung dengan:

$$SS_m = n \bar{y}^2 \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana:

$$n = \text{Banyak data}$$

6. Jumlah kuadrat *error*

Jumlah kuadrat *error* dihitung dengan:

$$SSE = SS_T - SS_m - SS_{faktor} \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana:

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + \dots SS_n \dots\dots\dots(2.15)$$

7. Rata-rata kuadrat *error*

Rata-rata kuadrat *error* dihitung dengan:

$$MS_e = \frac{SSE}{V_e} \dots\dots\dots(2.16)$$

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:

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e} \dots\dots\dots(2.17)$$

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 (Soejanto, 2009). Interpretasi yang dilakukan pada hasil percobaan dengan menggunakan desain percobaan Taguchi adalah sebagai berikut:

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.18)$$

$$SS'_A = SS_A - v_A \times MS_E \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana:

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:

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

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \times MS_E \times \frac{1}{n_{eff}}} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI \dots\dots\dots(2.22)$$

dimana:

$\mu_{prediksi}$ = 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 di hitung dengan menggunakan rumus (Ross, 2008):

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \times MS_E \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \dots\dots\dots(2.23)$$

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

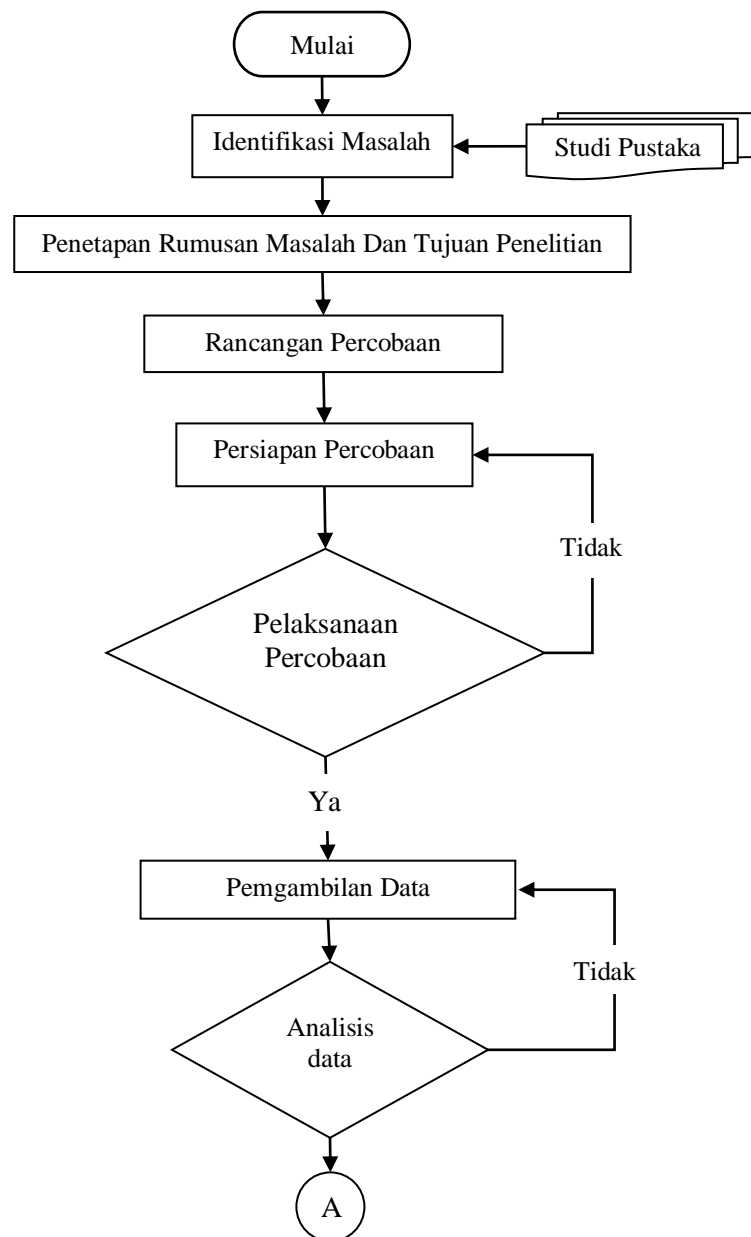
dimana:

r = jumlah pengulangan dalam percobaan konfirmasi

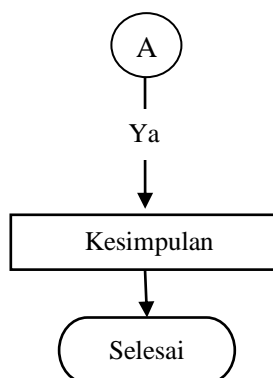
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan pada penelitian ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian (lanjutan)

3.2 Identifikasi Masalah

Langkah awal yang penting dalam proses penelitian dimana peneliti menangkap fenomena yang berpotensi untuk diteliti. Proses identifikasi masalah dapat dilakukan dengan mendeteksi permasalahan yang diamati. Berdasarkan hal tersebut peneliti mengambil langkah untuk mencari data-data pendukung, data-data tersebut bisa didapatkan melalui observasi, membaca literatur, atau melakukan survei awal.

3.3 Studi Pustaka

Setelah identifikasi masalah ditemukan, maka langkah selanjutnya yang dilakukan oleh peneliti adalah studi pustaka. Maksud dari studi pustaka adalah peneliti mencari referensi teori dengan kasus atau permasalahan yang telah ditemukan sebelumnya, juga sebagai data dukung dalam proses penelitian ini.

3.4 Rancangan Percobaan

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

1. Variabel proses

Variabel proses adalah variabel yang dapat dikendalikan dan nilainya dapat ditentukan. Ada tiga variabel proses yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

- a. Kecepatan *spindle* (n) c. Kedalaman pemakanan
b. *Feedrate* (fr)

2. Respon

Variabel respon merupakan variabel yang diamati didalam penelitian. Respon yang digunakan adalah kekasaran permukaan (Ra), μm .

3. Variabel konstan

Variabel konstan merupakan variabel yang tidak diteliti dalam penelitian. Nilai variabel tersebut dijaga selalu konstan agar tidak berubah selama percobaan. Dengan demikian hasil penelitian tidak berpengaruh secara signifikan. Variabel konstan pada penelitian ini adalah Dromus.

4. *Noise*

Noise merupakan variabel gangguan yang memiliki pengaruh terhadap respon, tetapi sangat sulit untuk dikendalikan. Variabel-variabel yang mungkin menjadi *noise* dalam penelitian ini adalah lokasi pengukuran kekasaran permukaan benda uji. Faktor ini dipilih karena sukar mengontrol lokasi Kekasaran permukaan yang diukur sebab berbeda dan terpisah. Variabel ini tidak dimasukkan ke dalam rancangan percobaan, sehingga pengambilan data dilakukan dengan replikasi untuk mengatasi pengaruh *noise* pada hasil penelitian.

3.4.1 Pengaturan Variabel Proses pada Mesin

Variabel yang digunakan untuk proses *milling*, adalah Kecepatan *Speedle* (n), kecepatan pemakanan (f_r), dan kedalaman pemakanan. Adapun variasi parameter penelitian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel Proses dan Level Proses

Variabel Proses	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A. Kecepatan <i>Spindle</i> (n)	Rpm	1400	1600	2000
B. <i>FeedRate</i> (f_r)	mm/mnt	60	80	100
C. Kedalaman pemakanan	mm	0.15	0.35	0,55

Variabel konstan yang diteliti dilakukan dengan mempertimbangkan:

1. Nilai masing-masing level variabel masih dalam batas interval yang telah ditetapkan.
2. Nilai pada level tersebut masih dapat digunakan pada proses pemotongan.

3.4.2 Pemilihan Matrik Ortogonal

Matrik ortogonal yang digunakan harus mempunyai derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan variabel dan level yang telah ditetapkan. Derajat kebebasan variabel proses dan level tersebut dihitung sebagai menggunakan rumus atau persamaan $V_{ft} = (\text{banyaknya level}-1)$.

Tabel 3.2. Total derajat kebebasan Variabel dan level

No.	Variabel Proses	jumlah	Level
A	Kecepatan <i>Spindle</i>	3	2
B	<i>Feedrate</i>	3	2
C	Kedalaman pemakanan	3	2
Total derajat kebebasan			6

Berdasarkan perhitungan derajat kebebasan yang berjumlah enam digunakan matrik ortogonal yang nilai derajat kebebasan sama atau lebih besar yaitu $L_9(3^3)$ rancangan matrik ortogonal L_9 ditunjukkan oleh Table 3.3.

Tabel 3.3. Rancangan percobaan

Eksperimen	Kecepatan <i>Spindle</i> (rpm)	<i>Feedrate</i> (mm/menit)	Kedalaman 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

Percobaan dilakukan secara acak dengan kombinasi variabel proses mengacu pada rancangan percobaan yang sesuai dengan matriks ortogonal pada Tabel 3.3. pengacakan ini dilakukan dengan menggunakan fasilitas randomisasi bilangan melalui bantuan perangkat komputasi statistik. Masing-masing kombinasi variabel proses dan replikasi sebanyak dua kali untuk mengatasi gangguan (*Noise*) yang terjadi selama proses pemotongan berlangsung. Tampilan pelaksanaan percobaan secara acak tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.4.

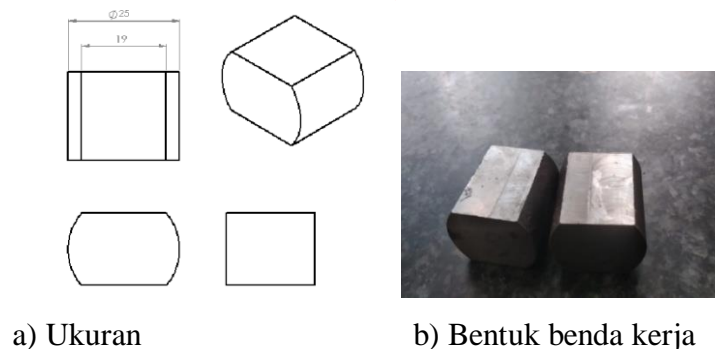
Tabel 3.4. Tampilan data hasil percobaan

Eksperimen	Variabel proses			Variabel respon
	Kecepatan <i>Spindle</i> (rpm)	<i>Feedrate</i> (mm/menit)	Kedalaman pemakanan (mm)	(<i>Ra</i>) μm
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	

3.5 Persiapan Percobaan

3.5.1 Benda Kerja Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah baja SKD 11 dengan Ukuran lebar 25 mm, panjang 25 mm dan lebar bidang kerja 19 mm. ukuran dan bentuk benda kerja uji tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.2.



a) Ukuran

b) Bentuk benda kerja

Gambar 3.2 (a) Ukuran (b) bentuk benda kerja uji

3.5.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin CNC Mori Seki MV-40M

mesin CNC Mori Seki MV-40M (Gambar 3.3) yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Menggunakan mesin CNC Merek Mori Seki
- b. Produsen pembuat mesia dari Japan
- c. Tipe dari mesin MV-40M
- d. Daya yang dihasilkan dari motor sebesar 7,5 kW



Gambar 3.3 Mesin CNC Mori Seki MV-40M

2. *Surface roughness tester Mitutoyo SJ201*

Surface roughness tester digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan dari suatu proses permesinan dengan kecermatan 0,001 μm Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Surface roughness tester Mitutoyo SJ201

3. Cutter speed tiger ULVT0806

Alat potong yang digunakan pada saat proses permesina CNC *Milling* yaitu *Square end mill carbide* berdiameter 8 mm Gambar 3.5. Adapun spesifikasi detail alat potong *Square end mill carbide* dapat dilihat pada table 3.2.



Gambar 3.5 Cutter speed tiger ULVT0806

Table 3.5 Spesifikasi alat potong

Tipe	Diameter	panjang Flute	Panjang Keseluruhan	Diameter Batang	Flute	Coating	material tool	Sudut Helix
ULVT0806	8	30	75	12	6	Nbs	Tungsten Carbide 400 Nano	45°

3.6 Pelaksanaan Perobaan

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

1. Penyiapan benda kerja, meliputi penyesuaian dimensi dan memastikan bahan tersebut bahan SKD 11.

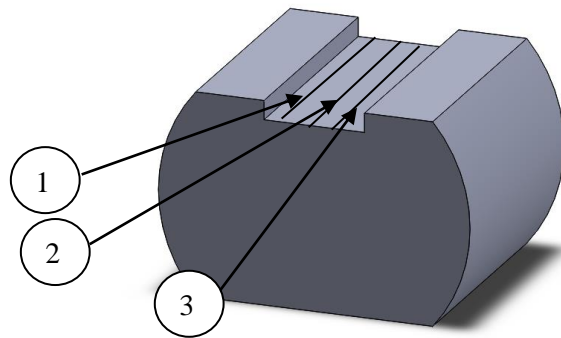
2. Pemasangan benda kerja dan pemrograman benda kerja sesuai seting kombinasi.
3. Pemasangan *Cutter end mill* pada mesin CNC Mori Seki MV-40M.
4. Penyalaan mesin CNC Mori Seki MV-40M dan penyetingan variabel-variabel proses kemudian memasukkan nilai variabel proses pada program untuk penyayatan benda kerja sedalam sesuai kombinasi.
5. Proses *milling* benda kerja sesuai nilai variabel proses pada program untuk penyayatan benda kerja sedalam sesuai kombinasi.

3.7 Pengambilan Data

Pengambilan data kekasaran permukaan (Ra) μm benda kerja didapat dari pengukuran pada permukaan benda kerja secara langsung menggunakan *Surface roughness tester*.

Langkah-langkah dari pengukuran kekasaran permukaan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan kalibrasi sensor pada *surface roughness tester*.
2. Meletakkan spesimen uji pada meja rata.
3. Menyentuhkan ujung sensor dari *surface roughness tester* pada spesimen uji. Sisi spesimen uji yang diukur kekasaran permukaannya adalah pada sisi akhir hasil pemotongan.
4. Mengaktifkan *surface roughness tester* untuk melakukan proses pengukuran kekasaran permukaan sepanjang 8 mm. Angka kekasaran permukaan yang diamati adalah kekasaran aritmatika (Ra) yang dinyatakan dalam μm .
5. Mengulang langkah untuk mendapatkan hasil kekasaran permukaan pada spesimen uji yang sama. Hal ini dilakukan berulang hingga mendapatkan 3 data nilai Ra untuk tiap spesimen uji. Pada satu spesimen dilakukan pengukuran pada 3 titik yang berbeda dengan posisi pengukuran memanjang dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Titik-titik pengujian

3.8 Analisi data

Analisis data digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *Sum of Square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

3.9 Kesimpulan

Tahap ini adalah tahap terakhir penelitian dimana peneliti melakukan analisis dari hasil percobaan sehingga diketahui hasil akhir dari proses percobaan tersebut.

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 *Milling* Mori Seiki MV-40 M. Adapun variabel-variabel proses yang diduga berpengaruh terhadap respon kekasaran permukaan adalah kecepatan *spindle* (A), *Feedrate* (B), Dalam Pemakanan (C). Pada tahap ini, setelah memiliki data pengujian, maka langkah berikutnya adalah melakukan pengolahan data dengan menggunakan desain eksperimen dan pengolahan data yang dilakukan menggunakan cara perhitungan eksperimen metode taguchi penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Pengukuran kekasaran permukaan benda kerja dilakukan dengan menggunakan alat ukur *surface roughness tester*. Data hasil percobaan secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.1 Data hasil percobaan

Matriks Ortogonal $L_9(3^3)$								
Eksp.	Faktor			Data awal	Replikasi		Jumlah	Rata-rata
	A	B	C		1	2		
1	1	1	1	0.407	0.424	0.415	1.246	0.415
2	1	2	2	0.496	0.507	0.505	1.508	0.502
3	1	3	3	0.584	0.602	0.596	1.782	0.594
4	2	1	2	0.387	0.393	0.385	1.165	0.388
5	2	2	3	0.484	0.474	0.480	1.438	0.479
6	2	3	1	0.554	0.566	0.561	1.681	0.560
7	3	1	3	0.309	0.315	0.310	0.934	0.311
8	3	2	1	0.415	0.420	0.423	1.258	0.419
9	3	3	2	0.550	0.560	0.553	1.663	0.554
Rata-rata								0.469

Sumber: Hasil pengukuran dan perhitungan

Penelitian ini dilakukan menggunakan kondisi pemotongan halus (*finshing*). Hasil percobaan awal tersebut menunjukkan bahwa rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan pengaturan kombinasi awal pada percobaan kombinasi ke-7 adalah sebesar 0.311 μm . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil percobaan ini memberikan nilai kekasaran permukaan yang berada pada *range* kondisi pemotongan halus (*finshing*).

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

1. Hasil perhitungan rata-rata untuk faktor A
 - A1 = $1/3 (0.415 + 0.502 + 0.594) = 0.504$
 - A2 = $1/3 (0.388 + 0.479 + 0.560) = 0.476$
 - A3 = $1/3 (0.311 + 0.419 + 0.554) = 0.428$
2. Hasil perhitungan rata-rata untuk faktor B
 - B1 = $1/3 (0.415 + 0.388 + 0.311) = 0.371$
 - B2 = $1/3 (0.502 + 0.479 + 0.419) = 0.467$
 - B3 = $1/3 (0.594 + 0.560 + 0.554) = 0.569$
3. Hasil perhitungan rata-rata untuk faktor C
 - C1 = $1/3 (0.415 + 0.560 + 0.419) = 0.465$
 - C2 = $1/3 (0.502 + 0.388 + 0.554) = 0.481$
 - C3 = $1/3 (0.594 + 0.479 + 0.311) = 0.461$

4.2 Penentuan Kombinasi Variabel Untuk Respon Optimum

Untuk ketiga faktor utama yang diamati yaitu kecepatan *Spindle*, *Feedrate*, dan tebal pemakanan, adapun faktornya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Respon rata-rata hasil pengukuran kekasaran permukaan dari faktor

Simbol variabel	Variabel respon	Level 1	Level 2	Level 3
A	Kecepatan <i>Spindle</i>	0.504	0.476	0.428
B	<i>Feedrate</i>	0.371	0.467	0.569
C	Dalam pemakanan	0.465	0.481	0.461
Total nilai rata-rata kekasaran permukaan = 0.469				

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.

Tabel 4.3 kombinasi variabel proses untuk respon optimal

	Variabel proses	Tingkat level	Nilai level
A	Kecepatan <i>Spindle</i>	3	2000 rpm
B	<i>Feedrate</i>	1	60 mm/menit
C	Dalam pemakanan	3	0.55 mm

Sumber: Hasil perhitungan

4.3 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

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

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, dan F-rasio.

Perhitungan Jumlah Kuadrat (*sum of square*) untuk faktor A berdasarkan persamaan 2.11 adalah sebagai berikut:

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{0.504^2}{3} + \frac{0.476^2}{3} + \frac{0.428^2}{3} - \frac{4.225^2}{9} = 0.008$$

Perhitungan derajat kebebasan untuk faktor A berdasarkan persamaan 2.8 adalah sebagai berikut:

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Perhitungan derajat kebebasan berdasarkan persamaan 2.9 adalah sebagai berikut:

$$V_A = 9 - 1 = 8$$

Perhitungan derajat kebebasan *error* berdasarkan persamaan 2.10 adalah sebagai berikut:

$$V_e = 8 - (2 + 2 + 2) = 2$$

Perhitungan rata-rata kuadrat (*Mean square*) untuk faktor A berdasarkan persamaan 2.11 adalah sebagai berikut:

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{0.008}{2} = 0.004$$

Perhitungan jumlah kuadrat total untuk faktor A berdasarkan persamaan 2.12 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum y^2 \\ &= (0.415)^2 + (0.502)^2 + (0.594)^2 + \dots + (0.554)^2 \\ &= 2.052 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat karena rata-rata (*Mean*) berdasarkan persamaan 2.13 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_m &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 9 \times (0.469)^2 \\ &= 1.983 \end{aligned}$$

Perhitungan *residual error* berdasarkan persamaan 2.14 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 2.0526 - 1.9834 - 0.06825 \\ &= 0.0009 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat *error* berdasarkan persamaan 2.15 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_{\text{faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 0.008 + 0.058 + 0.0007 \\ &= 0.068 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan MS *Residual error* berdasarkan persamaan 2.16 adalah sebagai berikut:

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e} = \frac{0.00095}{2} = 0.00048$$

Perhitungan F rasio untuk faktor A berdasarkan persamaan 2.17 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{\text{rasio}} &= \frac{SS_A}{SS_e} \\ &= \frac{0.008}{0.0009} = 9.230 \end{aligned}$$

Perhitungan *sum of square* faktor adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_e \\ &= 0.008 + 0.058 + 0.0007 + 0.0009 \\ &= 0.069 \end{aligned}$$

Tabel hasil perhitungan analisis variansi untuk rata-rata ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Analisis variansi rata-rata kekasaran permukaan

Sumber	V	SS	MS	F-rasio
A	2	0.008	0.004	9.230
B	2	0.058	0.029	61.765
C	2	0.0007	0.0003	0.738
<i>Error</i>	2	0.0009	0.0004	
Total	8	0.069		

Sumber: Hasil perhitungan

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dihitung SS' dengan persamaan 2.19 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS_A - MS_e(V_A) \\ &= 0.008 - 0.0004 \quad (2) \\ &= 0.007 \end{aligned}$$

Perhitungan persen kontribusi faktor A dihitung dengan persamaan 2.18 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{SS'_{faktor}}{SS_T} \times 100\% \\ \rho^A &= \frac{0.007}{0.069} \times 100\% = 11.315\% \end{aligned}$$

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	0.008	0.004	0.007	11.315
B	2	0.058	0.029	0.057	83.545
C	2	0.0007	0.0003	-0.0002	-0.36
Error	2	0.0009	0.0004	-	5.499
Total	8	0.069	-	-	100

Sumber: Hasil perhitungan

Dari tabel hasil data perhitungan faktor kontribusi di atas menunjukkan pengaruh faktor B (*Feedrate*) memberikan kontribusi yang paling besar terhadap kekasaran permukaan jika dibandingkan dengan faktor lain, yaitu 83.545%

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 $\hat{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\eta}_i - \eta_m)$ Perhitungan nilai prediksi kekasaran sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\hat{\eta} &= 0.469 + (0.428 - 0.469) + (0.371 - 0.469) + (0.461 - 0.469) \\ &= 0,295\end{aligned}$$

Jadi dengan nilai kekasaran permukaan hasil prediksi untuk kombinasi variabel yang menghasilkan respon optimal adalah 0,295. Penerima interval keyakinan rata-rata kekasaran permukaan prediksi digunakan terlebih dahulu menghitung banyaknya pengamatan efektif. Banyaknya pengamatan efektif dihitung dengan menggunakan persamaan

Perhitungan banyaknya pengamatan efektif dengan menggunakan persamaan 2.20 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}N_{\text{eff}} &= \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} \\ &= 3,857\end{aligned}$$

Nilai F tabel

$$\text{Nilai } F_{(0,05;2;2)} = 19,00 \text{ dan } MS_E = 0.0004$$

Perhitungan interval keyakinan rata-rata kekasaran permukaan hasil optimasi dengan menggunakan persamaan 2.21 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}CI_{\text{optimasi}} &= \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E}{n_{\text{eff}}}} \\ CI_{\text{optimasi}} &= \sqrt{\frac{19,00 \times 0.0004}{3,857}} \\ CI_{\text{optimasi}} &= \pm 0,485\end{aligned}$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata kekasaran permukaan hasil optimasi adalah $0,295 \pm 0,485$ atau $-1.893 \leq U_{\text{prediksi}} \leq 0.780$

4.5 Perhitungan Rasio S/N dari Respon

Data ditransformasikan kedalam bentuk S/N (*signal to noise*) untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variansi kualitas dimana S/N untuk karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik (*smaller the better*).

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

Dalam penelitian ini nilai yang diharapkan adalah kekasaran permukaan benda kerja yang terkecil. Dengan replikasi sebanyak 2 kali, maka perhitungan berdasarkan persamaan 2.4 dapat dilihat dibawah ini:

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

Ekperimen 1

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [0.407^2 + 0.424^2 + 0.415^2] \right] = 7.631$$

Tabel hasil perhitungan S/N rasio diperlihatkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perhitungan S/N rasio

Matriks Ortogonal $L_9(3^3)$							
Eksperimen	Faktor			Data awal	Replikasi		S/N
	A	B	C		1	2	
1	1	1	1	0.407	0.424	0.415	7.631
2	1	2	2	0.496	0.507	0.505	5.974
3	1	3	3	0.584	0.602	0.596	4.524
4	2	1	2	0.387	0.393	0.385	8.216
5	2	2	3	0.484	0.474	0.480	6.387

Tabel 4.6 Perhitungan S/N rasio (Lanjutan)

Matriks Ortogonal $L_9(3^3)$							
Eksperimen	Faktor			Data awal	Replikasi		S/N
	A	B	C		1	2	
6	2	3	1	0.554	0.566	0.561	5.031
7	3	1	3	0.309	0.315	0.310	10.135
8	3	2	1	0.415	0.420	0.423	7.549
9	3	3	2	0.550	0.560	0.553	5.124
Rata-rata							7

Sumber: Hasil perhitungan

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 :

$$\begin{aligned}
 A1 &= 1/3 (7.631 + 5.974 + 4.524) = 6.042 \\
 A2 &= 1/3 (8.216 + 6.387 + 5.031) = 6.544 \\
 A3 &= 1/3 (10.135 + 7.549 + 5.124) = 7.602 \\
 B1 &= 1/3 (7.631 + 8.216 + 10.135) = 8.660 \\
 B2 &= 1/3 (5.974 + 6.387 + 7.549) = 6.636 \\
 B3 &= 1/3 (4.524 + 5.031 + 5.124) = 4.892 \\
 C1 &= 1/3 (7.631 + 5.031 + 7.549) = 6.736 \\
 C2 &= 1/3 (5.974 + 8.216 + 5.124) = 6.437 \\
 C3 &= 1/3 (4.524 + 6.387 + 10.135) = 7.015
 \end{aligned}$$

Untuk ketiga faktor utama yang diamatai yaitu kecepatan *Spindle*, *Feedrate*, Dalam pemakanan. Pengaruh faktornya dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Respon Rasio S/N Kekasaran permukaan dari pengaruh faktor

	A	B	C
Level 1	6.042	8.660	6.736
Level 2	6.544	6.636	6.437
Level 3	7.602	4.892	7.015
selisih	1.559	3.767	0.577
rengking	2	1	3

Sumber: Hasil perhitungan

4.6 Analisis Variansi Rasio S/N

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 jumlah kuadrat dan F rasio.

Perhitungan Jumlah kuadrat *sum of square* untuk faktor A berdasarkan persamaan 2.7 adalah sebagai berikut:

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

$$SS_A = \frac{6.042^2}{3} + \frac{6.544^2}{3} + \frac{7.602^2}{3} - \frac{60.570^2}{9}$$

$$SS_A = 3.804$$

Perhitungan derajat kebebasan berdasarkan persamaan 2.8 adalah sebagai berikut:

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Perhitungan derajat kebebasan berdasarkan persamaan 2.9 adalah sebagai berikut:

$$V_A = 9 - 1 = 8$$

Perhitungan derajat kebebasan *error* berdasarkan persamaan 2.10 adalah sebagai berikut:

$$V_e = 8 - (2 + 2 + 2) = 2$$

Perhitungan rata-rata kuadrat *Mean Square* berdasarkan persamaan 2.11 adalah sebagai berikut:

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{3.804}{2} = 1.902$$

Perhitungan jumlah kuadrat total berdasarkan persamaan 2.12 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum Y^2 \\ &= (7.631^2) + (5.974^2) + (4.524^2) + \dots + (5.124^2) \\ &= 433.939 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat karena rata-rata berdasarkan persamaan 2.13 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_m &= n \times \bar{Y}^2 \\ &= 9 \times (7)^2 \\ &= 407,632 \end{aligned}$$

Perhitungan *Residual Error* berdasarkan persamaan 2.14 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 433.939 - 407,632 - 25.636 \\ &= 0.669 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat *error* berdasarkan persamaan 2.15 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 3.804 + 21.332 + 0.500 = 25.636 \end{aligned}$$

Perhitungan rata-rata kuadrat *error* berdasarkan persamaan 2.16 adalah sebagai berikut:

$$MS \text{ Residual Error } (MS_e) = \frac{SS_e}{V_e} = \frac{0.669}{2} = 0.334$$

Perhitungan F rasio untuk faktor A berdasarkan persamaan 2.17 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{F rasio} &= \frac{SS_A}{SS_e} \\ &= \frac{3.804}{0.669} \\ &= 5.678 \end{aligned}$$

Perhitungan *sum of square* faktor adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_e \\ &= 3.804 + 21.332 + 0.500 + 0.669 = 26.306 \end{aligned}$$

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

Tabel 4.8 Analisis variansi rasio S/N kekasaran permukaan

Sumber	V	SS	MS	F-rasio
A	2	3.804	1.902	5.678
B	2	21.332	10.666	31.839
C	2	0.500	0.250	0.746
<i>Error</i>	2	0.669	0.334	
Total	8	26.306		

Sumber: Hasil perhitungan

Sedangkan untuk persen kontribusi faktor A berdasarkan persamaan 2.18 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{SS_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\% \\ \rho^A &= \frac{3.134}{26.306} \times 100\% = 11.916\% \end{aligned}$$

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, hitung terlebih dahulu SS' berdasarkan persamaan 2.19 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS_A - MS_e(V_A) \\ &= 3.804 - 0.334 (2) \\ &= 3.134 \end{aligned}$$

Tabel hasil perhitungan persentase kontribusi terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Persen Kontribusi rasio S/N

Sumber	V	SS	MS	SS'	P(%)
A	2	3.804	1.902	3.134	11.916
B	2	21.332	10.666	20.662	78.542
C	2	0.500	0.250	-0.169	-0.645
Error	2	0.669	0.334	2.679	10.187
Total	8	26.306			100

Sumber: Hasil perhitungan

Dari tabel perhitungan kontribusi faktor diatas menunjukkan bahwa faktor B (*Feedrate*) memberikan kontribusi yang paling besar terhadap rasio S/N bila dibandingkan dengan faktor lainnya, yaitu 78.542%.

Prediksi rasio S/N kekasaran permukaan yang optimal, telah diketahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rasio S/N kekasaran permukaan yang optimal :

- Faktor A level 3 (Kecepatan *Spindel* 2000 rpm)
- Faktor B level 1 (*Feedrate* 60 mm/menit)
- Faktor C level 3 (Dalam Pemakanan 0.55 mm)

Sehingga model persamaan rata-rata kekasaran permukaan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Uprediksi} &= \bar{Y} + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y}) \\ &= \bar{B}_1 + \bar{A}_3 + \bar{C}_3 + 2 \times \bar{Y} \end{aligned}$$

$$= 8.660 + 7.602 + 7.015 + 2 \times 7$$

$$= 37.278$$

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

$$\text{Diketahui : } F(0,05;2;2) = 19.00 \text{ dan } Ve / MS_e = 0.334$$

Perhitungan interval keyakinan berdasarkan persamaan 2.20 adalah sebagai berikut:

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

$$n_{\text{eff}} = 3,857$$

perhitungan CI_{optimasi} berdasarkan persamaan 2.21 adalah sebagai berikut:

$$CI_{\text{optimasi}} = \pm \sqrt{F(0,05;2;2)Ve \times \frac{1}{n_{\text{eff}}}}$$

$$= \pm \sqrt{19,00 \times 0.334 \times \frac{1}{3,857}}$$

$$= \pm 1.284$$

Perhitungan Uprediksi berdasarkan persamaan 2.22 adalah sebagai berikut:

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

$$37.278 - 1.284 \leq 37.278 \leq 37.278 + 1.284$$

$$35.994 \leq 37.278 \leq 38.562$$

4.7 Aslisis Data

Berdasarkan perhitungan, ANAVA untuk kekasaran permukaan benda kerja ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil ANAVA

Sumber variabel	Dd	SS	MS	F _{hitung}	Kontribusi(%)
A	2	0.008	0.004	9.230	11.315
B	2	0.058	0.029	61.765	83.545
C	2	0.0007	0.0003	0.738	-0.360
Error	2	0.00095	0.0004	-	5.499
Total	8	0.069	-	-	100

Nilai F_{hitung} yang lebih besar dari pada 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 : $\tau_1 = \tau_2 = 0$ (variansi perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan)

H_1 : paling sedikit ada satu τ tidak sama dengan 0 (ada perlakuan yang memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaannya)

Kesimpulan: $F_{hitung} = 9.230 < F(0,05;2;2) = 19,00$ maka H_0 diterima, artinya tidak adanya pengaruh variabel putaran spindel terhadap kekasaran permukaan

2. Variabel B (*Feedrate*)

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$

H_1 : paling sedikit ada satu β tidak sama dengan 0

Kesimpulan: $F_{hitung} = 61.765 < F(0,05;2;2) = 19,00$ maka H_1 diterima, artinya adanya pengaruh variabel *Feedrate* terhadap kekasaran permukaan

3. Variabel C (Kedalaman Pemakanan)

H_0 : $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0$

H_1 : paling sedikit ada satu γ tidak sama dengan 0

Kesimpulan: $F_{hitung} = 0.738 < F(0,05;2;2) = 19,00$ maka H_0 diterima, artinya tidak adanya pengaruh variabel putaran spindel terhadap kekasaran permukaan

Kondisi hipotesis nol (H_0) untuk masing-masing variabel proses ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Kondisi hipotesis nol respon secara serentak

Sumber variabel	Kondisi H_0
A	Diterima/gagal ditolak
B	Ditolak
C	Diterima/gagal ditolak

Sumber: Hasil dari analisa

Pada tabel 4.13 yang menunjukkan kondisi hipotesis nol respon. Variabel-variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon adalah variabel B (*Feedrate*), *Error* yang besar kontribusinya 5.499% mengidentifikasi adanya variabel yang berpengaruh tetapi terabaikan.

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

$$\begin{aligned}
 SS'_B &= SS_B - MS_e(V_B) \\
 &= 0.058 - 0.0004 \text{ (2)} \\
 &= 0.057
 \end{aligned}$$

Dengan demikian

$$\rho^C = \frac{0.057}{0.069} \times 100\% = 83.545\%$$

Tabel menunjukkan bahwa variabel-variabel kecepatan *spindel* (A), *Feedrate* (B), Kedalaman pemakanan (C) mempengaruhi kekasaran permukaan. Variabel-variabel proses yang memiliki kontribusi terhadap kekasaran permukaan adalah kecepatan *Spindle*, yaitu sebesar 11.315% diikuti oleh *Feedrate* yang memiliki persen kontribusi sebesar 83.545% dan kedalaman pemakanan dengan persen kontribusi sebesar -0.360%.

4.8 Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi dilakukan untuk memvalidasi hasil yang telah diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan interval keyakinan rata-rata kekasaran permukaan prediksi dengan interval keyakinan rata-rata kekasaran permukaan percobaan verifikasi. Percobaan konfirmasi dilakukan dengan menggunakan kombinasi pengaturan variabel yang 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 ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Kombinasi variabel proses untuk kondisi awal dan kondisi optimum

Variabel proses	Kombinasi awal		Kombinasi Optimum	
	Nilai	level	Nilai	Level
Kecepatan <i>spindle</i> (A)	1600	2	2000	3
<i>Feedrate</i> (B)	80	2	60	1
Kedalaman Pemakanan (C)	0.35	2	0.55	3

Sumber: Hasil perhitungan

Hasil respon dengan menggunakan kombinasi awal dan kombimasi optimal ditunjukkan pada Tabel 4.13. Data reposn kekasaran permukaan percobaan verifikasi selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 2

Tabel 4.13 Hasil respon dengan menggunakan kombinasi awal dan kombinasi optimum

	Replikasi					rata-rata
	1	2	3	4	5	
Kombinasi awal (A ₂ B ₂ C ₂)	0.512	0.510	0.498	0.509	0.505	0.506
kombinasi Optimum (A ₃ B ₁ C ₃)	0.306	0.308	0.310	0.315	0.317	0.311

Sumber: Hasil perhitungan

Adapun hasil perhitungan rasio S/N untuk masing-masing respon kombinasi awal dan kombinasi optimum dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Rasio S/N pada kombinasi awal dan kombinasi optimum

Pengaturan Respon	Kombinasi Awal $A_2B_2C_2$		Kombinasi Optimum $A_3B_1C_3$	
	Nilai rata-rata	Rasio S/N	Nilai Rata-rata	Rasio S/N
Kekasaran permukaan (μm)	0.506	- 0.312	0.311	3.878

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara interval keyakinan rata-rata kekasaran benda kerja kombinasi awal dengan interval rata-rata kekasaran kombinasi optimum. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 kekasaran permukaan pada kombinasi awal dan kombinasi optimum

	Kombinasi awal $A_2B_2C_2$	Kombinasi optimum $A_3B_1C_3$
Kekasaran permukaan (μm)	0.506	0.311

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.15 menunjukkan bahwa nilai kekasaran pada kombinasi awal sebesar 0.506 dan kekasaran pada kombinasi optimum adalah sebesar 0.311. Dengan demikian terjadi peningkatan kekasaran sebesar 38,595% dibandingkan dengan kekasaran pada kombinasi awal.

Penentuan interval keyakinan rata-rata kekasaran untuk percobaan konfirmasi dilakukan terlebih dahulu menghitung banyaknya pengamatan efektif. Banyaknya pengamatan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.20 adalah sebagai berikut:

$$n_{\text{eff}} = \frac{9 \times 2}{1 + (2 + 2 + 2)} = \frac{18}{7}$$

$$n_{\text{eff}} = 2,571$$

Nilai $F_{(0,05;2;2)} = 19,00$ dan $MS_E = 0.0004$

Perhitungan interval keyakinan rata-rata kekasaran percobaan konfirmasi berdasarkan 2.23 adalah sebagai berikut:

$$CI_{konfirmasi} = \pm \sqrt{F(0,05; 2; 2)Ve \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{5}\right]}$$

$$CI_{konfirmasi} = \pm \sqrt{19,00 \times 0.0004 \times \left[\frac{1}{2,571} + \frac{1}{5}\right]}$$

$$CI_{konfirmasi} = \pm 0.073$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata kekasaran konfirmasi adalah 0.311 ± 0.073 atau $0.237 \leq \text{Kekasaran}_{konfirmasi} \leq 0.338$. Percobaan konfirmasi digunakan untuk mengkonfirmasi bahwa nilai rata-rata yang ditaksir untuk variabel dan level yang telah dipilih dari percobaan adalah valid.

Estimasi nilai rata-rata sebenarnya pada kondisi optimum yang didasarkan pada hasil nilai rata-rata yang diperoleh dari percobaan. Validasi ditetapkan jika rata-rata dari hasil percobaan konfirmasi berada didalam interval hasil prediksi. Rata-rata kekasaran permukaan pada pengaturan kombinasi optimum masih dalam batas pengerjaan *Milling*. Batas pengerjaan halus tersebut memiliki tingkat kekasaran adalah sebesar N5 hingga N7. 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 adalah sebagai berikut:

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

Hasil pengujian adalah sebagai berikut:

1. Uji kenormalan data (menggunakan uji *kolmogorof-smirnov*)
 - Hipotesis uji kenormalan data adalah
 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 ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil uji kenormalan data

Respon	P-value	Kondisi	Data
Kekasaran permukaan (μm) Kombinasi awal	0.150	gagal ditolak	berdistribusi normal
Kekasaran permukaan (μm) kombinasi optimum	0.150	gagal ditolak	berdistribusi normal

Sumber: Hasil perhitungan

Hasil uji kenormalan data untuk respon kekasaran diperoleh nilai $p\text{-value}$ lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$, sehingga H_0 gagal ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa respon kekasaran dengan menggunakan pengaturan kombinasi awal dan respon kekasaran dengan menggunakan pengaturan kombinasi optimum memiliki data berdistribusi normal. Hasil uji kenormalan data untuk respon kekasaran benda kerja selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3

2. 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 benda kerja ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil uji dua variansi

Respon	<i>p-value</i>	Kondisi H_0	Variansi
Kekasaran permukaan (μm)	0,703	gagal ditolak	sama

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.17 menunjukkan hasil uji dua variansi untuk respon kekasaran permukaan benda kerja menghasilkan *p-value* 0,703 Nilai *p-value* yang lebih besar dari $\alpha = 0,05$ menyebabkan hipotesis awal (H_0) gagal ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa respon kekasaran permukaan benda kerja dengan menggunakan pengaturan kombinasi awal memiliki variansi yang sama dengan respon kekasaran permukaan benda kerja dengan menggunakan pengaturan kombinasi optimum lampiran 3

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

Untuk membuktikan bahwa kekasaran permukaan benda kerja hasil kombinasi awal lebih besar dari pada kekasaran permukaan benda kerja hasil kombinasi optimum, maka dilakukan uji kesamaan rata-rata dengan menggunakan two sample t-test

- Hipotesis pengujiannya adalah
 H_0 : Kekasaran permukaan benda kerja awal = Kekasaran permukaan benda kerja Optimum
 H_1 : Kekasaran permukaan benda kerja awal > Kekasaran permukaan benda kerja Optimum
- Kriteria penolakan adalah
 H_0 ditolak jika nilai *p-value* < α dan $\alpha = 5\% = 0,05$
- Kesimpulan
Berdasarkan kriteria penolakan, hasil dari uji kesamaan rata-rata respon kekasaran permukaan benda kerja ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil uji kesamaan rata-rata

Respon	P-value	Kondisi H ₀	Rata-rata
Kekasaran permukaan (μm)	0,000	ditolak	Kekasaran permukaan kombinasi awal > Kekasaran permukaan kombinasi optimum

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.18 menunjukkan hasil uji kesamaan rata-rata untuk respon kekasaran permukaan benda kerja menghasilkan *p-value* 0,000. Nilai *p-value* yang lebih kecil dari $\alpha = 0,05$ menyebabkan hipotesis awal (H₀) ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan secara statistik rata-rata respon kekasaran permukaan benda kerja dengan menggunakan pengaturan kombinasi awal adalah sebesar 0.506 μm dan rata-rata respon kekasaran permukaan benda kerja dengan menggunakan pengaturan kombinasi optimum adalah sebesar 0.311 μm. Dengan demikian, rata-rata respon kekasaran permukaan benda kerja mengalami penurunan sebesar 38,595%. Hasil uji kesamaan rata-rata respon kekasaran permukaan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3

4.9 Hasil Pengolahan Data Eksperimen Kombinasi Awal

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

1. Interval kepercayaan rata-rata untuk eksperimen konfirmasi

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 2.20 adalah sebagai berikut:

$$n_{\text{eff}} = \frac{9 \times 2}{1 + (2 + 2 + 2)} = \frac{18}{7}$$

$$n_{\text{eff}} = 2,571$$

Nilai $F_{(0,05;2;2)} = 19,00$ dan $MS_E = 0.0004$

Perhitungan interval keyakinan rata-rata kekasaran percobaan konfirmasi dengan menggunakan persamaan 2.23 adalah sebagai berikut:

$$CI_{konfirmasi_awal} = \pm \sqrt{F_{(0,05;2;2)} Ve \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{konfirmasi_awal} = \pm \sqrt{19,00 \times 0.0004 \times \left[\frac{1}{2,571} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{konfirmasi_awal} = \pm 0.073$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% rata-rata kekasaran konfirmasi adalah 0.506 ± 0.0732 atau $0.433 \leq \text{Kekasaran}_{konfirmasi} \leq 0.580$

- Interval kepercayaan rasio S/N eksperimen kombinasi awal berdasarkan persamaan 2.23

Nilai $F_{(0,05;2;2)} = 19,00$ dan $MS_E = 0.334$ $r = 5$

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

$$CI_{konfirmasi} = \sqrt{19,00 \times 0.334 \times \left[\frac{1}{2,571} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{konfirmasi} = \pm 1.978$$

Interval kepercayaan untuk variabilitas adalah sebagai berikut:

$$-0.312 - 1.978 \leq S/N_{Kombinasi\ awal} \leq -0.312 + 1.978$$

$$-2.291 \leq S/N_{Kombinasi\ awal} \leq -1.666$$

4.10 Hasil Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Kombinasi Awal

Adapun cara perhitungan rata-rata dan nilai rasio untuk eksperimen kombinasi awal dapat di lihat pada perhitungan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Nilai rata-rata} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ &= \frac{0.512+0.510+0.498+0.509+0.505}{5} = 0.506 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Nilai S/N rasio} &= -10 \log\left[\frac{1}{n}(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2)\right] \\
&= -10 \log\left[\frac{1}{5}(0.512)^2 + (0.510)^2 + (0.498)^2 + (0.509)^2 + (0.505)^2\right] \\
&= -0.312
\end{aligned}$$

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 berdasarkan persamaan 2.20 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
n_{\text{eff}} &= \frac{9 \times 2}{1 + (2 + 2 + 2)} = \frac{18}{7} \\
n_{\text{eff}} &= 2,571
\end{aligned}$$

$$\text{Nilai } F_{(0,05;2;2)} = 19,00 \text{ dan } MS_E = 0.0004$$

Perhitungan interval keyakinan rata-rata kekasaran percobaan konfirmasi dengan menggunakan persamaan 2.23 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
CI_{\text{konfirmasi}} &= \pm \sqrt{F_{(0,05;2;2)} \cdot Ve \times \left[\frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r}\right]} \\
CI_{\text{konfirmasi}} &= \pm \sqrt{19,00 \times 0.0004 \times \left[\frac{1}{2,571} + \frac{1}{5}\right]} \\
CI_{\text{konfirmasi}} &= \pm 0.073
\end{aligned}$$

Dengan demikian interval keyakinan rata-rata 95% kekasaran konfirmasi adalah 0.311 ± 0.073 atau $0.237 \leq \text{kekasaran}_{\text{Kombinasi awal}} \leq 0.384$

2. Interval kepercayaan rasio S/N eksperimen kombinasi awal berdasarkan persamaan 2.23 adalah sebagai berikut :

$$\text{Nilai } F_{(0,05;2;2)} = 19,00 \text{ dan } MS_E = 0.334 \quad r = 5$$

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

$$CI_{konfirmasi} = \sqrt{19,00 \times 0.334 \times \left[\frac{1}{2,571} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{konfirmasi} = \pm 1.978$$

Interval kepercayaan untuk variabilitas adalah :

$$3.878 - 1.978 \leq S/N_{konfirmasi} \leq 3.878 + 1.978$$

$$1.899 \leq S/N_{konfirmasi} \leq 5.857$$

4.12 Hasil Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi

Adapun cara perhitungan rata-rata dan nilai rasio untuk eksperimen kombinasi awal dapat di lihat pada perhitungan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Nilai rata-rata} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ &= \frac{0.306 + 0.308 + 0.310 + 0.315 + 0.317}{5} \\ &= 0.3112 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai s/n rasio} &= -10 \log \left[\frac{1}{n} (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2) \right] \\ &= -10 \log \left[\frac{1}{5} (0.306)^2 + (0.308)^2 + (0.310)^2 + (0.315)^2 + (0.317)^2 \right] \\ &= 3.878 \end{aligned}$$

4.13 Pembahasan

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada analisa sebelumnya, maka diketahui kombinasi faktor yang berpengaruh terhadap rata-rata dan variansi kekasaran adalah sama yaitu kecepatan spindel 2000 rpm, *Feedrate* 60 mm/menit, dan kedalaman pemakanan 0.55 mm.

Dan dari hasil perhitungan interval kepercayaan pada tingkat kepercayaan 95% untuk eksperimen awal kemudian dibandingkan dengan interval eksperimen konfirmasi berada pada interval kepercayaan eksperimen Taguchi. Interval kepercayaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Interval Hasil Ukuran Kekasaran Permukaan benda kerja

Respon	Kekasaran	Prediksi	Optimasi
Eksperimen	Rata-rata(μm)	0.506	0.506 ± 0.073
Kombinasi awal	Variabilitas(S/N)	- 0.312	$- 0.3126 \pm 1.978$
Eksperimen	Rata-rata(μm)	0.3113	$0,295 \pm 0,485$
Taguchi	Variabilitas(S/N)	10.135	37.278 ± 1.284
Eksperimen	Rata-rata(μm)	0.311	0.311 ± 0.073
Konfirmasi	Variabilitas(S/N)	3.878	3.878 ± 1.978
Optimum			

Sumber : Hasil perhitungan

Berdasarkan interpretasi hasil perhitungan kekasaran permukaan Benda kerja yang tertera pada tabel diatas yaitu eksperimen *taguchi* ke eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan pada variabilitasnya. Dengan demikian kombinasi optimal faktor-faktor diatas terbukti dapat meningkatkan kekasaran permukaan benda kerja. Percobaan konfirmasi digunakan untuk memverifikasi bahwa nilai rata-rata yang ditafsir untuk variabel dan level yang telah dilakukan adalah valid.

Rata-rata kekasaran permukaan konfirmasi yaitu 0.311 berada diantara interval keyakinan rata-rata hasil prediksi (0.237 – 0.384). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengaturan kombinasi level variabel pada kondisi optimum yang telah didapat adalah valid.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan, proses optimasi, percobaan konfirmasi dan analisis yang telah dilakukan, maka dari penelitian yang berjudul “Optimasi Kekasaran Permukaan Baja SKD11 pada Proses CNC *Milling* Dengan Menggunakan Metode Taguchi “ dapat diambil kesimpulan.

pengaturan kombinasi level variabel-variabel proses yang tepat pada Mesin *Milling* CNC Mori Seki MV-40M, sehingga dapat mengoptimalkan respon kekasaran permukaan benda kerja yang optimal adalah sebagai berikut:

- a. Kecepatan Spindel diatur sebesar 2000 rpm
- b. *Feedrate* 60 mm/menit
- c. Kedalaman Pemakanan 0.55 mm.

dengan hasil kekasaran permukaan (*Ra*) dari kombinasi variabel tersebut sebesar 0.311 μm

5.2 Saran

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

1. Metode optimasi dalam penelitian ini menggunakan metode *taguchi*, pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan metode lainnya.

Untuk mengetahui pengaruh dari analisis ANAVA, kecepatan *Spindle*, *Feedrate* dan Kedalaan pemakanan dapat dikembangkan dri variabel diatas.

DAFTAR PUSTAKA

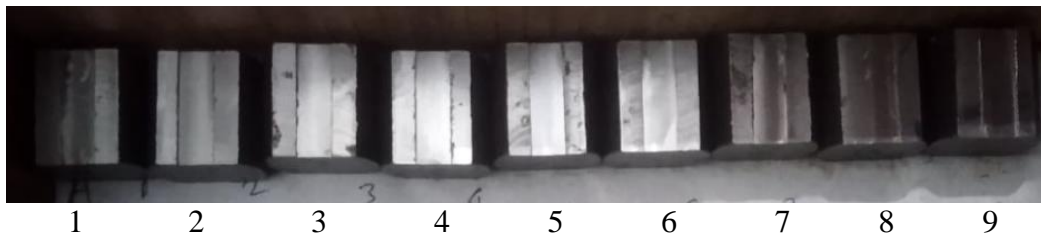
1. Standar ISO 1302 : 1996 dan Standar DIN 4768 : 1981.
2. Roy, R. (1990), *A primer on Taguchi Method*. American Suplier Institute. Michigan.
3. Ross, Phillip J. (1996), *Taguchi Techniques for Quality Engineering, Second Edition*. McGraw-Hill Professional, New York.
4. Daryanto. (2006). *Mesin Perkakas Bengkel*. Jakarta: Rineka Cipta.
5. George Petropoulos, J. K. (2009). *Surface Roughness Investigation Of A Reinforced Polymer Composite*.
6. Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
7. Rahdiyanta, D. (2010). *Proses Frais (Milling)*. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
8. Putra, M. P. (2010). Universitas Indonesia identifikasi Solusi Alternatif Terhadap Keputusan Investasi Mesin Produksi Menggunakan Metode *Design Of Experiments*. Depok.
9. Ardiansyah. (2011). *Pengaruh Parameter Permesinan Pada Kayu Terhadap Kekasaran Permukaan*. Semarang : Universitas Diponegoro.
10. Firstiawan, N. (2012, september). *Optimasi Parameter Proses Pemesinan CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Kayu Jati dengan Metode Taguchi*.
11. Dhiah Purbosari, H. S. (2014). *Karakterisasi Tingkat Kekasaran Permukaan Baja St 40 Hasil Pemesinan CNC Milling ZK 7040 Efek Dari Kecepatan Pemakanan (Feedrate) Dan Awal Waktu Pemberian Pendingin*.
12. Okik Aris Setiawan, D. D. (2018). *Optimasi Parameter Pemesinan Wire Electric Discharge Machining Baja Perkakas SKD 11 Menggunakan Metode Taguchi*. Jurnal Rotor .
13. Mutaqqin, M. (2018). *Pengaruhgerak Makan Dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan pada pengefraisan Magnesium Menggunakan teknik minimum quantity lubrication (MQL)*. Bandar Lampung.

14. Anjar Priyatmojo, R. (2019). Pengaruh Kecepatan *Spindle* Dan Kedalaman Pemakanan Proses CNC Frais Terhadap Kekasaran Permukaan Remelting Blok Silinder. *Jurnal Kompetensi Teknik*.

Lampiran 1 Hasil pengukuran kekasaran permukaan benda kerja

L1.1 Pengukuran kekasaran permukaan data awal benda kerja hasil percobaan

Eksp	Faktor			Data awal			Rata-rata
	A	B	C	1	2	3	
1	1	1	1	0.407	0.405	0.409	0.407
2	1	2	2	0.493	0.499	0.496	0.496
3	1	3	3	0.581	0.579	0.592	0.584
4	2	1	2	0.383	0.356	0.362	0.367
5	2	2	3	0.486	0.475	0.491	0.484
6	2	3	1	0.561	0.542	0.559	0.554
7	3	1	3	0.308	0.310	0.309	0.309
8	3	2	1	0.430	0.406	0.409	0.415
9	3	3	2	0.541	0.562	0.547	0.550



Data untuk eksperimen 1

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.407		0.405		0.409	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 2

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.493		0.499		0.496	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 3

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.581		0.579		0.592	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 4

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.383		0.356		0.362	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 5

ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5
Ra		Ra		Ra	
0.486		0.475		0.491	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 6

ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5
Ra		Ra		Ra	
0.561		0.542		0.559	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 7

ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5
Ra		Ra		Ra	
0.308		0.310		0.309	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 8

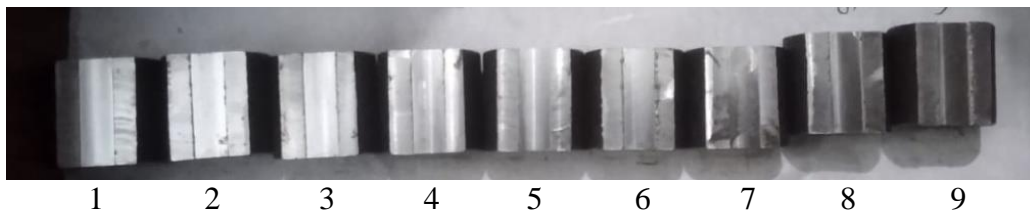
ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5
Ra		Ra		Ra	
0.430		0.406		0.409	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 9

ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5
Ra		Ra		Ra	
0.541		0.547		0.562	
μm		μm		μm	

L1.2 Pengukuran kekasaran replikasi 1 benda kerja hasil percobaan

Eksp	Faktro			Replikasi 1			Rata-rata
	A	B	C	1	2	3	
1	1	1	1	0.413	0.427	0.432	0.424
2	1	2	2	0.498	0.509	0.514	0.507
3	1	3	3	0.601	0.590	0.615	0.602
4	2	1	2	0.392	0.386	0.401	0.393
5	2	2	3	0.480	0.458	0.484	0.474
6	2	3	1	0.561	0.554	0.583	0.566
7	3	1	3	0.320	0.313	0.312	0.315
8	3	2	1	0.430	0.427	0.409	0.422
9	3	3	2	0.541	0.562	0.559	0.554



Data untuk eksperimen 1

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.413		0.427		0.432	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 2

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.498		0.509		0.514	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 3

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.601		0.590		0.615	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 4

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.392		0.386		0.401	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 5

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.480		0.458		0.484	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 6

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.561		0.554		0.583	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 7

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.320		0.313		0.312	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 8

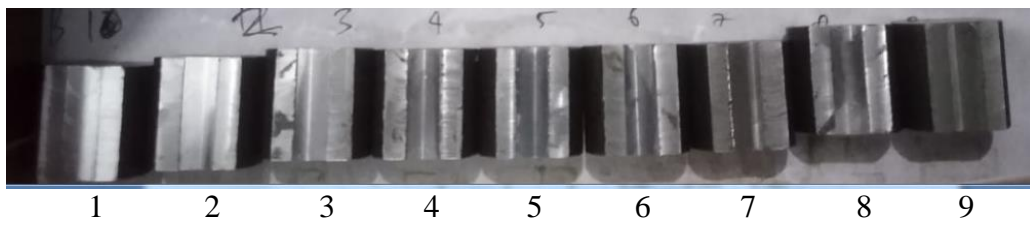
ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.430		0.427		0.409	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 9

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5	λ_c 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.541		0.562		0.559	
μm		μm		μm	

L1.3 Pengukuran kekasaran replikasi 2 benda kerja hasil percobaan

Eksp	Faktro			Replikasi 2			Rata-rata
	A	B	C	1	2	3	
1	1	1	1	0.431	0.412	0.402	0.415
2	1	2	2	0.497	0.508	0.510	0.505
3	1	3	3	0.589	0.59	0.609	0.596
4	2	1	2	0.391	0.386	0.378	0.385
5	2	2	3	0.480	0.468	0.492	0.480
6	2	3	1	0.575	0.547	0.561	0.561
7	3	1	3	0.310	0.313	0.307	0.310
8	3	2	1	0.423	0.414	0.432	0.423
9	3	3	2	0.560	0.541	0.558	0.553



Data untuk eksperimen 1

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.431		0.412		0.402	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 2

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.497		0.508		0.510	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 3

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.589		0.590		0.609	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 4

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.391		0.386		0.378	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 5

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.480		0.468		0.492	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 6

ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s	ISO1997	0.5 mm/s
λc 0.8	x5	λc 0.8	x5	λc 0.8	x5
Ra		Ra		Ra	
0.575		0.547		0.561	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 7

ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5
Ra		Ra		Ra	
0.310		0.313		0.307	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 8

ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5
Ra		Ra		Ra	
0.423		0.414		0.432	
μm		μm		μm	

Data untuk eksperimen 9

ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5	ISO1997 λc 0.8	0.5 mm/s x5
Ra		Ra		Ra	
0.560		0.541		0.558	
μm		μm		μm	

L1.3 Gabungan nilai rata-rata data awal, replikasi 1 dan replikasi 2

Eksp	Faktro			Data awal	replikasi	
	A	B	C		1	2
1	1	1	1	0.407	0.424	0.415
2	1	2	2	0.496	0.507	0.505
3	1	3	3	0.584	0.602	0.596
4	2	1	2	0.367	0.393	0.385
5	2	2	3	0.484	0.474	0.48
6	2	3	1	0.554	0.566	0.561
7	3	1	3	0.309	0.315	0.31
8	3	2	1	0.415	0.422	0.423
9	3	3	2	0.550	0.554	0.553

Lampiran 2 Hasil uji kombinasi awal hasil dan hasil uji kombinasi optimum

L2.1. Kekasaran permukaan benda kerja hasil uji kombinasi awal

	Replikasi					rata-rata
	1	2	3	4	5	
Kombinasi awal (A ₂ B ₂ C ₂)	0.512	0.510	0.498	0.509	0.505	0.506

L2.2. Kekasaran permukaan benda kerja hasil uji konfirmasi optimum

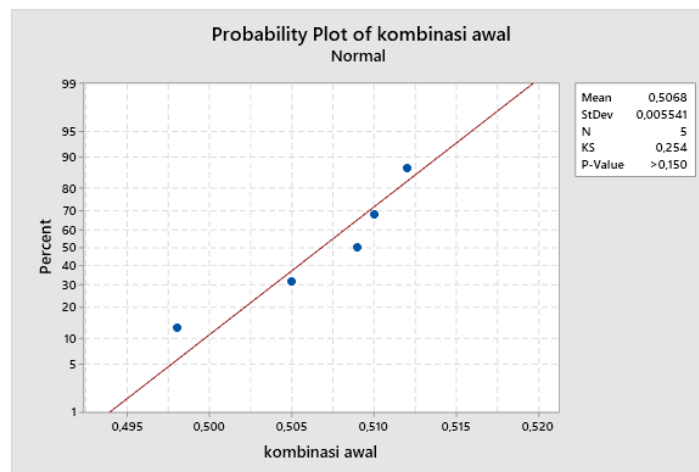
	Replikasi					rata-rata
	1	2	3	4	5	
kombinasi Optimum (A ₃ B ₁ C ₃)	0.306	0.308	0.310	0.315	0.317	0.311

Lampiran 3 Hasil uji perbandingan rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan pengaturan kombinasi awal dan rata-rata kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* variabel kombinasi optimum.

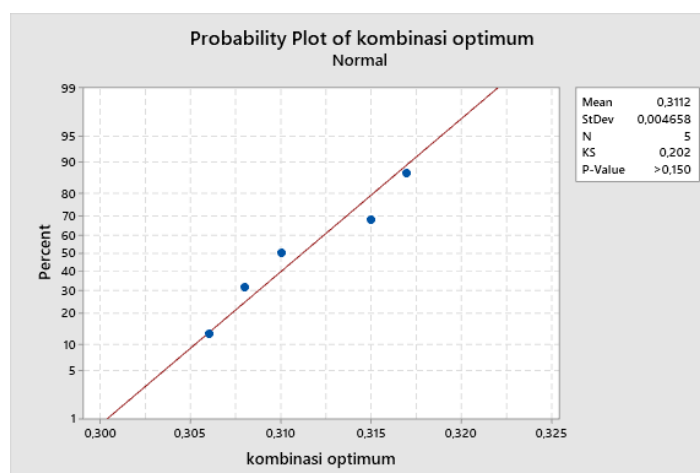
Langkah-langkah dari uji kesamaan rata-rata adalah sebagai berikut:

a. Uji kenormalan data

Plot grafik untuk pengujian kenormalan data dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* ditunjukkan oleh gambar berikut:



L3.1 Plot uji kenormalan data kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* kombinasi awal



L3.2 Plot uji kenormalan data kekasaran permukaan dengan menggunakan *setting* kombinasi optimum

Nilai *p-value* yang lebih besar dari 0,05 menyebabkan hipotesis awal gagal ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rata-rata kekasaran permukaan dengan *setting* variabel kombinasi awal kekasaran permukaan dengan rata-rata kekasaran permukaan dengan *setting* variabel kombinasi optimum berdistribusi normal.

b. Uji dua variansi

<i>Test</i>				
<i>Null hypothesis</i>	H0: $\sigma_1 / \sigma_2 = 1$			
<i>Alternative hypothesis</i>	H1: $\sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$			
<i>Significance level</i>	$\alpha = 0.05$			
<i>Test</i>				
<i>Method</i>	<i>Statistic</i>	DF1	DF2	P-Value
<i>Bonett</i>	0.15	1		0.703
<i>Levene</i>	0.01	1	8	0.932

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

c. Uji kesamaan rata-rata

<i>Test</i>			
<i>Null hypothesis</i>	H0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$		
<i>Alternative hypothesis</i>	H1: $\mu_1 - \mu_2 > 0$		
T-Value	DF	P-Value	
60.42	8	0.000	

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

Lampiran 4 Perbandingan hitungan manual dan *software minitab*

L4.1 Analisis variansi rata-rata dan persen kontribusi respon kekasaran permukaan

Source	DF	Sum of square	Mean of square	F	Kontribusi (%)
A	2	0.008	0.004	9.230	11.315
B	2	0.058	0.029	61.765	83.545
C	2	0.0007	0.0003	0.738	-0.360
Error	2	0.0009	0.0004		5.499
Total	8	0.069			100

Sumber: Hasil pengukuran dan perhitungan

L4.2 Hasil perhitungan rata-rata menggunakan *minitab*

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kecepatan Spindle	2	0.008785	12.69%	0.008785	0.004392	9.23	0.098
Feedrate	2	0.058771	84.92%	0.058771	0.029386	61.74	0.0016
Kedalaman pemakanan	2	0.000703	1.02%	0.000703	0.000351	0.74	0.575
Error	2	0.000952	1.38%	0.000952	0.000476		
Total	8	0.069211	100%	0.069211			



L 4.3 Plot rata-rata untuk respon kekasaran permukaan

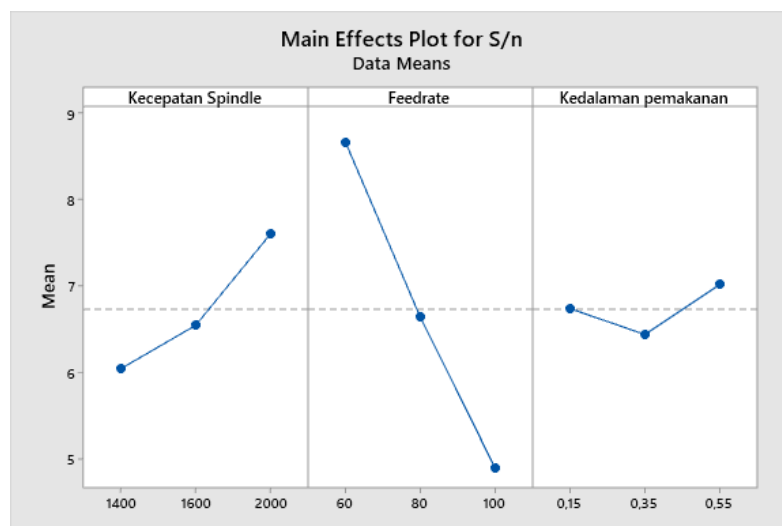
L4.4 Analisis variansi rasio S/N dan persen kontribusi respon kekasaran permukaan

Source	DF	Sum of square	Mean of square	F	Kontribusi (%)
A	2	3.804	1.902	5.678	11.916
B	2	21.332	10.666	31.839	78.542
C	2	0.500	0.250	0.746	-0.645
Error	2	0.669	0.334		10.187
Total	8	26.306			100

L4.5 Hasil perhitungan S/N menggunakan *minitab*

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kecepatan Spindle	2	3.8036	14.46%	3.8036	1.9018	5.68	0.150
Feedrate	2	21.3323	81.09%	21.3323	10.6661	31.83	0.030
Kedalaman pemakanan	2	0.5002	1.90%	0.5002	0.2501	0.75	0.573
Error	2	0.6702	2.55%	0.6702	0.3351		
Total	8	26.3062	100%				



L4.6 Plot rasio S/N untuk respon kekasaran permukaan

Lampiran 6 Proses pengerjaan benda kerja dari awal



Benda kerja sebelum dilakukan pemotongan



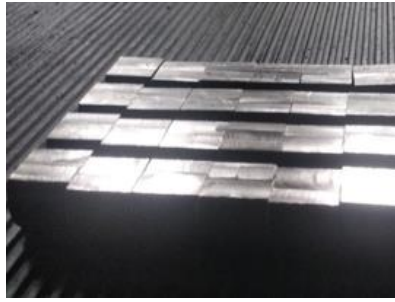
Proses pemotongan benda kerja



Benda kerja yang telah dipotong



Proses permesinan untuk benda kerja awal sebelum masuk CNC *milling*



Benda kerja setelah dilakukan proses permesinan *milling* sebelum masu CNC
milling



Proses pemasangan benda kerja pada mesin CNC *milling*



Proses pengatuaran titik nol pada mesin CNC *milling*



Mengatur titik sentuh awal *cutter* dan menjalan kan program



Proses pengambilan data menggunakan alat uji kekasaran

