



**ANALISIS PARAMETER PEMOTONGAN DAN DEBIT PENDINGIN CNC
MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN *BOX*
*BEHNKEN DESIGN***

SKRIPSI

Oleh

M Yuda Pratama

NIM 121910101102

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017



**ANALISIS PARAMETER PEMOTONGAN DAN DEBIT PENDINGIN CNC
MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN
*BOX BEHNKEN DESIGN***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

M Yuda Pratama

NIM 121910101102

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Ariyanti dan Ayahanda Dedy Ahmad Riyadi yang tercinta serta selalu memberikan do'a, dukungan, kepercayaan, dan memberikan kasih sayang dan pengorbanan selama ini
2. Sarah Safira adikku tesayang yang selalu memberikan semangat
3. Teman teman kos dewa dan salon bunda yang selalu membantu, memberikan dukungan dan semangat tanpa lelah
4. Purwa Cahya Nugraha Rubiarta yang selalu menemani, memberikan semangat perhatian, kasih sayang serta do'a hingga selesainya pengerjaan tugas skripsi ini
5. Saudaraku Teknik Mesin 2012 Universitas Jember yang telah membantu memotivasi dan memberikan dukungan sejak awal perkuliahan hingga saat ini.

Salam **Solidarity Forever**

MOTTO

Sesungguhnya setelah kesusahan akan ada kemudahan.

(Terjemahan Surat Al-Insirah Ayat 6)

Hidup ini seperti sepeda. Agar tetap seimbang, kau harus terus bergerak.

(Albert Einstein)

Orang lain bisa, aku juga bisa.

(M Yuda Pratama)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : M Yuda Pratama

NIM : 121910101102

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Parameter Pemotongan dan Debit Pendingin CNC Milling terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan *Box Behnken Design*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 26 Oktober 2017

Yang menyatakan,

(M Yuda Pratama)

NIM 121910101102

SKRIPSI

**ANALISIS PARAMETER PEMOTONGAN DAN DEBIT PENDINGIN CNC
MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN
*BOX BEHNKEN DESIGN***

Oleh

M Yuda Pratama

NIM 121910101102

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Boy Arief Fachri, S.T., M.T.Ph.D

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisis Parameter Pemotongan dan Debit Pendingin CNC Milling terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan *Box Behnken Design*" telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Selasa, 26 September 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Ketua (DPL),


Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP 19670123 199702 1 001

Tim Penguji

Sekretaris (DPA),


Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D
NIP 19740901 199903 1 002

Penguji I,


Hary Sutjahnjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Penguji II,


Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.
NIP 19691201 199602 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

ANALISIS PARAMETER PEMOTONGAN DAN DEBIT PENDINGIN CNC MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN BOX BEHNKEN DESIGN; M Yuda Pratama, 121910101102; 2017; 68 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kekasaran permukaan salah satu hal yang sangat diperhatikan dalam proses pemesinan, terutama dalam proses milling. Dari kekasaran permukaan ini dapat diketahui apakah layak untuk digunakan atau tidak. Semakin rendah kekasaran permukaan pada benda kerja maka kualitas benda kerja tersebut semakin baik. Semakin tinggi kekasaran permukaan dapat memberikan dampak buruk terhadap pasangan komponen benda kerja tersebut saat mengalami gesekan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan debit pendingin terhadap kekasaran permukaan pada proses pemesinan CNC milling dan mengetahui manakah nilai kekasaran permukaan yang terendah dari parameter kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan debit pendinginan pada proses pemesinan CNC milling menggunakan *Box Behnken Design*.

Pada penelitian ini menggunakan 3 parameter dan 3 level pada setiap parameternya, oleh karena itu dipilih *box behnken design* sebagai pengolah data yang terdapat pada software *design of experiment 10*.

Penelitian ini dilakukan sebanyak 2 kali pengulangan dengan kombinasi parameter yang sama. Kemudian pengambilan data nilai kekasaran permukaan dilakukan pada 3 titik yang membentuk garis diagonal pada permukaan benda kerja yang telah di proses CNC milling.

Hasil yang diperoleh dari analisa anova membuktikan bahwa parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah kedalaman pemakanan dan kecepatan pemakanan, sedangkan debit pendingin tidak berpengaruh. Kedalaman

pemakanan terbukti signifikan berdasarkan $P > F$ lebih kecil dari $\alpha = 5\%$ (0.05) yaitu 0.011% dan kecepatan pemakanan $P > F = 1.79\%$, sedangkan debit pendingin menunjukkan nilai $P > F$ lebih besar dari $\alpha = 5\%$ (0,05) yaitu 5.82% sehingga terbukti tidak berpengaruh. Sedangkan kombinasi yang optimum untuk tingkat kekasaran permukaan yang terendah dapat diperoleh dengan kombinasi parameter kedalaman pemakanan 0.18 mm, kecepatan pemakan 180 mm/menit dan debit pendingin 10 ml/detik dengan nilai kekasaran permukaan terendah 1.027 μm .

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Parameter Pemotongan dan Debit Pendingin CNC Milling terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan *Box Behnken Design*”. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada nabi Muhammad SAW sebagai sumber inspirasi dan panutan umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia ini. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu karena tidak lain tidak lepas dari bantuan berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, masukan, dan ide dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang memberikan banyak sekali saran dan arahan yang sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Seluruh dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah mengajar dan membimbing selama penulis menjadi mahasiswa.
5. SMKN 2 Jember dan Laboratorium Desain dan Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memperbolehkan untuk melakukan penelitian dan pengambilan data.

Penulis menyadari bahwa manusia tidak luput dari salah dan lupa sehingga penulis sangat menerima adanya kritik dan saran dari semua pihak demi

kesempurnaan skripsi ini. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak.

Jember, 26 Oktober 2017

Penulis

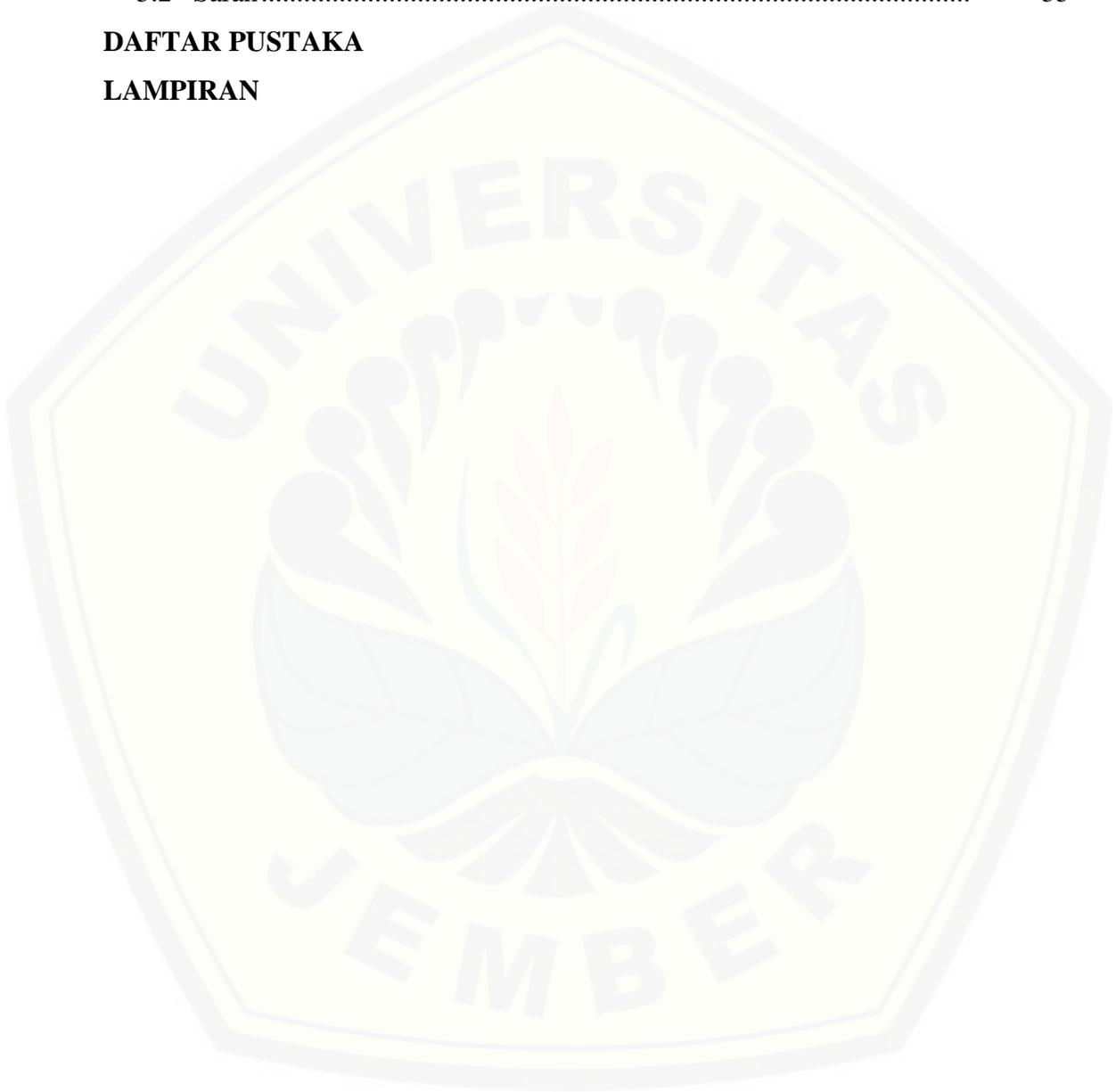


DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 CNC (Computer Numerically Controlled)	5
2.2 Mesin <i>Milling</i>	5
2.2.1 Klasifikasi Proses <i>Milling</i>	6
2.2.2 Prinsip Kerja Mesin <i>Milling</i>	7
2.2.3 Bagian-Bagian Mesin <i>Milling</i>	8
2.2.4 Bagian-Bagian Utama Mesin <i>Milling</i>	11
2.3 Parameter Pengoprasian Mesin <i>Milling</i>	15
2.3.1 Putaran Sepindel (<i>Spindle Speed</i>)	16

2.3.2 Kecepatan Pemakanan (<i>feed rate</i>)	16
2.3.3 Kedalaman Pemakanan (<i>Depth of Cut</i>)	17
2.4 Baja Karbon	17
2.5 Cairan Pendingin	18
2.5.1 Jenis Cairan Pendingin	18
2.6 Kekasaran Permukaan	20
2.7 Metode Respon Permukaan	23
2.7.1 Box-Bhenken Design	24
2.7.2 ANOVA (<i>Analysis of Variant</i>).....	26
2.7.3 Pengujian Model	28
2.8 Penentuan Variabel	31
2.9 Hipotesa.....	31
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Tempat Penelitian	32
3.2 Alat dan Bahan	32
3.2.1 Alat Penelitian	32
3.2.2 Bahan Penelitian	38
3.3 Tahap Identifikasi Masalah	39
3.4 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	41
3.5 Tahap Penarikan Kesimpulan	45
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	46
BAB 4. PEMBAHASAN	47
4.1 Data Hasil Percobaan	47
4.2 Analisa Data Kekasaran Permukaan	48
4.2.1 Pembentukan dan Pengujian Model	48
4.2.2 Analisis Surface dan Contour Plot.....	50
4.3 Optimasi Respon Kekasaran Permukaan	52
4.4 Perbandingan Hasil Penelitian	54

BAB 5. PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Kandungan unsur bahan-bahan baja karbon	18
2.2 Standarisasi simbol nilai kekasaran menurut ISO pengerjaannya	21
2.3 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya	22
2.4 Tabel anova untuk uji signifikansi regresi disain eksperimen	28
3.1 Spesifikasi <i>Surface Roughness Tester 220</i>	35
3.2 Kecepatan potong bahan	37
3.3 Level yang digunakan	40
3.4 Rancangan percobaan dengan <i>box-bhenken design</i>	43
4.1 Variabel faktor dan data hasil percobaan (kekasaran permukaan).....	46
4.2 Analisa tabel anova untuk kekasaran permukaan	47
4.3 Tabel solusi hasil optimasi kekasaran permukaan dengan <i>design-expert 10</i>	52
4.4 Nilai variabel faktor yang menghasilkan respon terbaik.....	52

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Gambar Skematik Dari Mesin Frais.....	6
2.2 Klasifikasi Proses Frais.....	7
2.3 Bagian-bagian mesin frais.....	8
2.4 Sistem koordinat <i>cartesius</i>	9
2.5 Pergerakan koordinat mesin <i>milling</i> CNC.....	10
2.6 Metode pemrograman CNC.....	11
2.7 Motor utama.....	11
2.8 Skema gerakan persumbuan mesin CNC.....	12
2.9 Step motor.....	12
2.10 <i>Toolholder</i>	13
2.11 <i>Collet</i>	13
2.12 Ragum.....	14
2.13 Bagian pengendali.....	14
2.14 Profil permukaan.....	20
2.15 <i>Box-behnken</i> design untuk tiga faktor.....	24
3.1 Mesin <i>Milling</i> CNC FOCUS ESEMKA VMC – L540.....	32
3.2 Gelas ukur.....	34
3.3 Pompa akuarium.....	34
3.4 Kran dan selang.....	34
3.5 <i>Surface Roughness Tester</i>	36
3.6 Pahat End Mill HSS.....	36
3.7 Benda kerja sebelum proses <i>milling</i> CNC.....	37
3.8 Cairan pendingin dromus.....	38
3.9 Benda kerja setelah proses <i>milling</i> CNC.....	42
3.10 Proses pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja.....	42
3.11 Diagram alir penelitian.....	45
4.1 Parity plot nilai prediksi dan nilai pengukuran.....	49

4.2 Kekasaran permukaan terhadap kedalaman pemakanan dan kecepatan pemakanan pada debit pendingin 10 ml/detik	50
---	----



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dewasa ini semakin pesat terutama perkembangan industri yang menggunakan dan menerapkan teknologi dalam setiap proses produksinya. Perkembangan teknologi ini diikuti dengan meningkatnya kualitas produksi dan mempercepat siklus produksi. Kemajuan dalam bidang teknologi yang semakin berkembang merupakan aspek sebuah pengetahuan dan teknologi yang mengharuskan kalangan pendidikan tinggi untuk dapat meningkatkan kemampuan dalam penguasaan teknologi. Terutama pada teknologi tepat guna. Teknologi tepat guna merupakan teknologi yang tepat sasaran yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat umum. Pengembangan teknologi tepat guna harus lebih ditingkatkan sebagai penunjang pemanfaatan teknologi masyarakat Indonesia.

Perkembangan IPTEK menuntut industri manufaktur harus mampu bersaing dalam beberapa faktor penting, seperti peningkatan kualitas produk, kecepatan proses manufaktur, penurunan biaya produksi, produksi yang aman dan ramah lingkungan, (Nugroho *et al.*, 2012).

Perkembangan teknologi komputer saat ini telah mengalami kemajuan yang amat pesat. Dalam hal ini komputer telah diaplikasikan ke dalam alat – alat mesin perkakas diantaranya mesin bubut, mesin milling, mesin skrap, mesin bor. Hasil perpaduan teknologi komputer dan teknologi mekanik inilah yang selanjutnya dinamakan CNC (*Computer Numerically Controlled*). Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setaraf dan sejenis, mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi. Sehingga di era modern seperti saat ini banyak industri-industri mulai meninggalkan mesin-mesin perkakas konvensional dan beralih menggunakan mesin-mesin perkakas.

Dalam industri manufaktur, proses produksi dilakukan dengan sangat cepat. Penggunaan mesin CNC sangat dianjurkan karena hasil proses yang dilakukan sangat baik dibandingkan dengan cara yang konvensional. Kualitas barang produksi yang dianggap baik biasanya ditandai dengan kualitas permukaan komponen yang baik (Sunaryo *et al.*, 2010).

Cara konvensional untuk mendapatkan tingkat kekasaran permukaan yang baik adalah dengan memperbesar kecepatan spindle, memperkecil kedalaman pemakanan dan laju pemakanan, tetapi untuk hasilnya tergantung dari pengalaman atau jam terbang seorang operator. Oleh sebab itu, suatu analisis dari parameter pemesinan perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi optimal untuk tingkat kekasaran permukaan benda yang dilakukan proses pemesinan. Hal ini perlu dilakukan karena pentingnya mengetahui kekasaran permukaan suatu komponen sangat berkaitan terhadap ketahanan lelah (*fatigue strength*), distribusi pelumasan, keausan dan lain-lain (Sunaryo *et al.*, 2010).

Parameter lain yang harus diperhitungkan adalah fluida pendingin (*coolant*). Aplikasi fluida pendingin adalah memperbaiki kualitas produk dan memperbaiki umur pahat selama proses pemotongan. Pendingin berfungsi untuk menurunkan temperatur pemotongan dan juga sebagai pelumas. Temperatur benda kerja yang terjaga dapat memperbaiki kualitas dan penampilan benda kerja, sedangkan penurunan temperatur pada pahat dapat memperlambat keausan pahat. Namun penggunaan pendingin juga bisa menyebabkan masalah di lingkungan, karena mengandung bahan kimia yang sulit diurai oleh lingkungan (Nugroho *et al.*, 2012)

Cairan pendingin mempunyai kegunaan yang khusus dalam proses pemesinan. Selain untuk memperpanjang umur pahat, cairan pendingin dalam beberapa kasus, mampu menurunkan gaya dan memperhalus permukaan produk hasil pemesinan. Selain itu, cairan pendingin juga berfungsi sebagai pembersih/pembawa beram dan melumasi elemen pembimbing (*ways*) mesin perkakas serta melindungi benda kerja dan komponen mesin dari korosi. Bagaimana cairan pendingin itu bekerja pada daerah kontak antara beram dengan pahat, sebenarnya belumlah diketahui secara pasti mekanismenya. Secara umum

dapat dikatakan bahwa peran utama cairan pendingin adalah untuk mendinginkan dan melumasi (Widarto, 2008).

Oleh karena itu dalam penelitian ini dibutuhkan beberapa debit pendinginan untuk memperbaiki kualitas produk dan menjaga umur pahat selama proses pemotongan baja karbon sedang AISI 1040, variasi debit pendinginan yang digunakan yaitu 5 ml/detik, 10 ml/detik, 15 ml/detik dengan menggunakan cairan pendingin Dromus.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan debit pendinginan terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1040.
2. Bagaimanakah *setting* parameter-parameter tersebut agar menghasilkan nilai kekasaran permukaan paling rendah dengan menggunakan *Box Behnken Design*.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah :

- a) Mengetahui pengaruh kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan debit pendinginan terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1040.
- b) Mengetahui manakah nilai kekasaran permukaan yang terendah dari parameter kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan debit pendinginan pada proses pemesinan CNC *milling* menggunakan *Box Behnken Design*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, diantaranya adalah :

1. Menambah ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang penggunaan parameter pemesinan dan pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan.

2. Diharapkan dapat memberi kontribusi ilmiah pada industri manufaktur berupa parameter yang tepat pada pengoperasian CNC *milling*.
3. Dapat digunakan sebagai literatur atau referensi dalam menentukan parameter pemesinan CNC *milling* pada penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak mengamati proses terjadinya geram.
2. Tidak mengamati getaran yang terjadi pada saat proses permesinan.
3. Tidak membahas masalah biaya penelitian.
4. Hanya meneliti parameter dan pengaruh debit pendingin terhadap kekasaran permukaan AISI 1040 dengan menggunakan mesin CNC *milling* tipe Focus Esemka VMC-L-540.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 CNC (*Computer Numerically Controlled*)

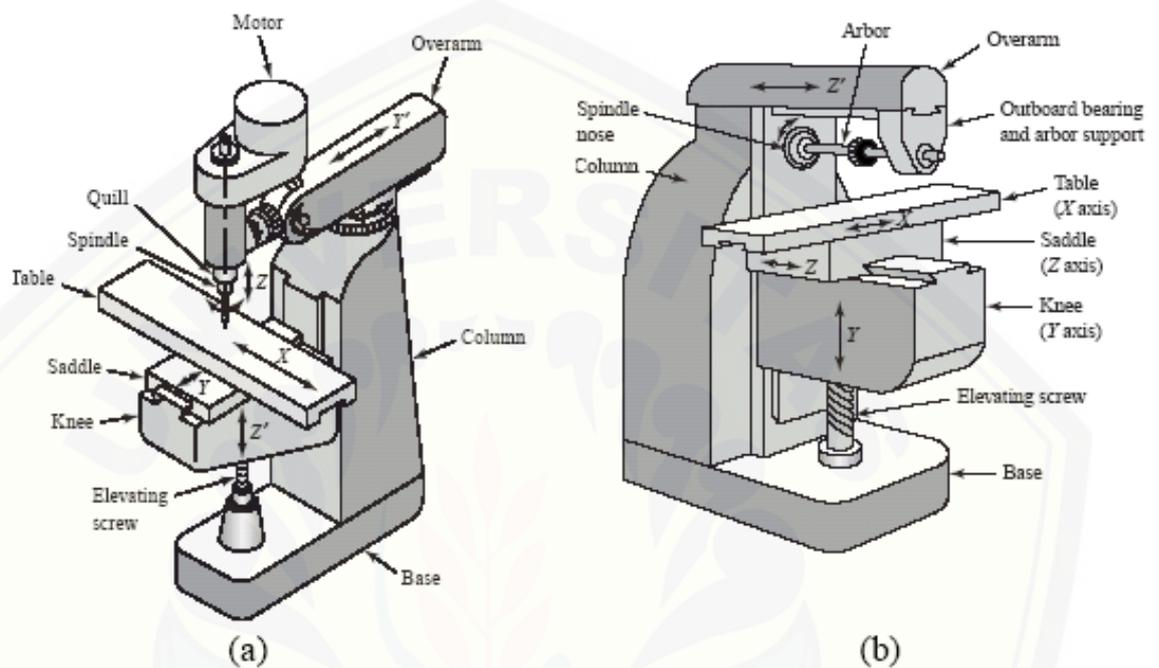
Awal lahirnya mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) bermula dari 1952 yang dikembangkan oleh John Parson dari Institut Teknologi Massachusetts, atas nama Angkatan Udara Amerika Serikat. Semula proyek tersebut diperuntukkan untuk membuat benda kerja khusus yang rumit. Semula perangkat mesin CNC memerlukan biaya yang tinggi dan volume unit pengendali yang besar. Pada tahun 1973, mesin CNC masih sangat mahal sehingga masih sedikit perusahaan yang mempunyai keberanian dalam memelopori investasi dalam teknologi ini. Dari tahun 1975, produksi mesin CNC mulai berkembang pesat. Perkembangan ini dipacu oleh perkembangan mikroprosesor, sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas.

Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setaraf dan sejenis, mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi. Sehingga di era modern seperti saat ini banyak industri-industri mulai meninggalkan mesin-mesin perkakas konvensional dan beralih menggunakan mesin-mesin perkakas CNC. Secara garis besar pengertian mesin CNC adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (perintah gerakan yang menggunakan angka dan huruf). Sebagai contoh apabila pada layar monitor mesin kita tulis M03 maka *spindle* utama mesin akan berputar, dan apabila kita tulis M05 maka *spindle* utama mesin akan berhenti berputar.

2.2 Proses *Milling*

Proses *Milling* adalah proses penyayatan benda kerja dengan alat potong dengan gigi potong jamak yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pahat ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih

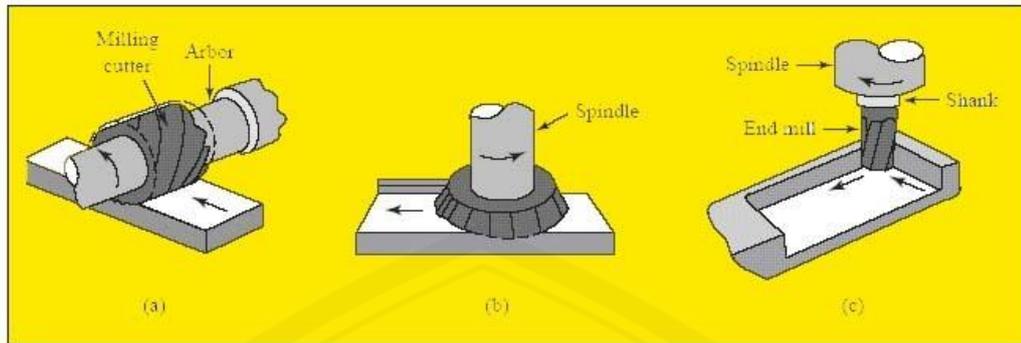
cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Gambar 2.1 berikut merupakan gambar dari mesin *milling*:



Gambar 2.1 Skematik dari mesin frais (a) mesin *milling* vertical tipe *column and knee*, dan (b) mesin *milling* horizontal tipe *column and knee* (Sumber: Widarto, 2008)

2.2.1 Klasifikasi Proses *Milling*

Proses *Milling* dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, dan posisi relatif terhadap benda kerja yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Klasifikasi proses *milling* (a) *slab milling*; (b) *face milling*; (c) *end milling* (Sumber: Widarto, 2008)

a. *Slab Milling*

Permukaan yang terbentuk dari proses *slab milling* ini 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 proses *face milling*, pahat dipasang pada *spindle* yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses ini dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pahat.

c. *End Milling*

Pahat pada proses ini 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.

2.2.2 Prinsip Kerja Mesin *Milling*

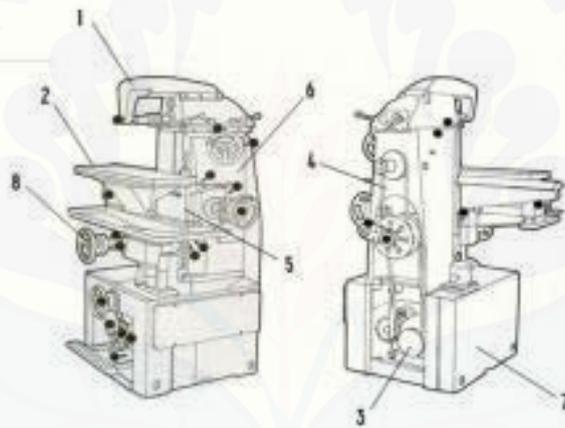
Tenaga untuk pemotongan berasal dari energi listrik yang diubah menjadi gerak utama oleh sebuah motor listrik, selanjutnya gerakan utama tersebut akan diteruskan melalui suatu transmisi untuk menghasilkan gerakan putar pada *spindle* mesin *milling*.

Spindle mesin *milling* adalah bagian dari sistem utama mesin *milling* yang bertugas untuk memegang dan memutar *cutter* hingga menghasilkan putaran atau gerakan pemotongan.

Gerakan pemotongan pada *cutter* jika dikenakan pada benda kerja yang telah dicekam maka akan terjadi gesekan/tabrakan sehingga akan menghasilkan pemotongan pada bagian benda kerja, hal ini dapat terjadi karena material penyusun *cutter* mempunyai kekerasan diatas kekerasan benda kerja.

2.2.3 Bagian-Bagian Mesin *Milling*

Bagian-bagian dari mesin *milling* dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut:



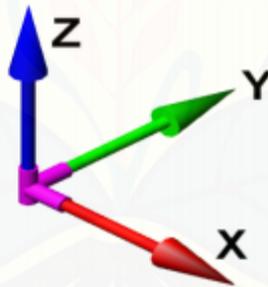
Gambar 2.3 Bagian-bagian mesin *milling* (Sumber: Widarto, 2008)

1. *Spindle* utama, merupakan bagian yang terpenting dari mesin *milling*, yaitu tempat untuk mencekam alat potong.
2. Meja/*table*, merupakan bagian mesin *milling*, yaitu tempat yang di gunakan untuk dudukan *clamping device* atau benda kerja.
3. Motor *drive*, merupakan bagian mesin yang berfungsi menggerakkan bagian-bagian mesin yang lain seperti *spindle* utama, gerakan pemakanan (*feeding*) dan pendingin (*cooling*).
4. Transmisi, merupakan bagian mesin yang menghubungkan motor penggerak dengan yang digerakkan.

5. *Knee*, merupakan bagian mesin untuk menopang/menahan meja mesin. Pada bagian ini terdapat transmisi gerakan pemakanan (*feeding*).
6. *Column*/tiang, merupakan badan dari mesin. Tempat menyatunya bagian-bagian mesin yang lain.
7. *Base*/dasar, merupakan bagian bawah dari mesin *milling*. Bagian ini yang berfungsi untuk menopang badan/tiang.
8. *Control*, merupakan pengatur dari bagian-bagian mesin yang bergerak.

Gerakan Mesin *CNC Milling* dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini adalah mesin memungkinkan untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama pula.

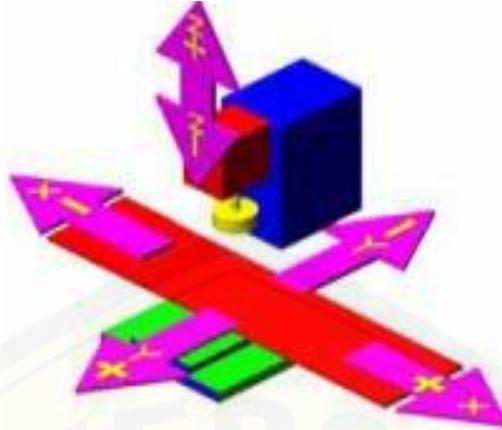
CNC Milling menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat *cartesius*, berikut Gambar 2.4 merupakan gambar dari sistem koordinat Cartesius:



Gambar 2.4 Sistem koordinat *cartesius* (Sumber: Widarto, 2008)

Prinsip kerja mesin *CNC milling* adalah meja bergerak melintang dan horizontal sedangkan pisau/pahat berputar, lihat pada Gambar 2.5. Untuk arah gerak persumbuan mesin *CNC milling* tersebut diberi lambang pesumbuan sebagai berikut:

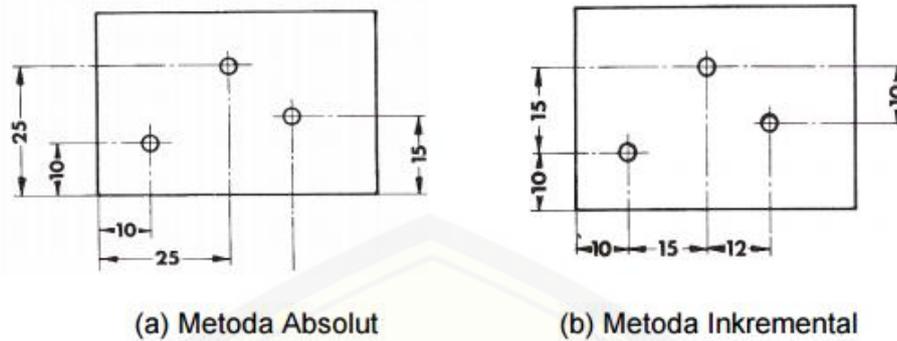
- a. Sumbu X untuk arah gerakan horizontal
- b. Sumbu Y untuk arah gerakan melintang
- c. Sumbu Z untuk arah gerakan vertikal.



Gambar 2.5 Skema pergerakan koordinat mesin CNC *milling* (Sumber: Widarto, 2008)

Pada dasarnya ada dua metode pemrograman untuk menyatakan jalannya alat potong dalam pembentukan/pemesinan benda kerja, yakni absolut dan inkremental.

Absolut merupakan metode penyampaian informasi dalam penyusunan program *CNC* tentang jalannya alat potong yang berpedoman pada satu titik nol. Sedangkan inkremental merupakan metode penyampaian informasi dalam penyusunan program *CNC* tentang jalannya alat potong yang didasarkan pada beberapa titik awal, di mana titik akhir terdahulu menjadi titik awal untuk langkah berikutnya. Kedua metode ini tidak hanya ditemukan dalam pemrograman *CNC*, tetapi juga dalam penempatan ukuran dalam gambar kerja. Pada gambar 2.6 dapat dilihat gambar metode pemrograman absolut dan inkremental.

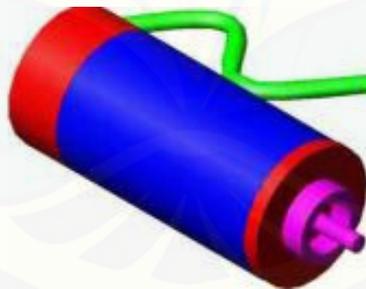


Gambar 2.6 Metode pemrograman CNC (Sumber: Direktorat Pembinaan SMK, 2013)

2.2.4 Bagian-Bagian Utama Mesin *Milling*

1. Motor Utama

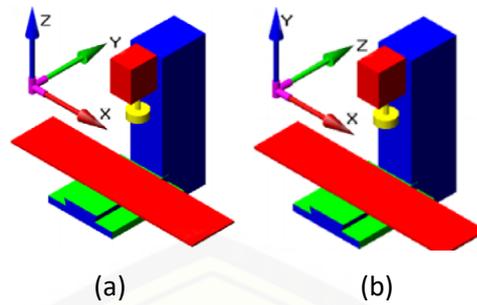
Motor utama adalah motor penggerak cekam untuk memutar benda kerja. Motor ini adalah jenis motor arus searah/ DC (*Direct Current*) dengan kecepatan putaran yang variabel. Berikut Gambar 2.7 merupakan gambar dari motor utama mesin *milling*.



Gambar 2.7 Motor utama (Sumber: Widarto, 2008)

2. Eretan

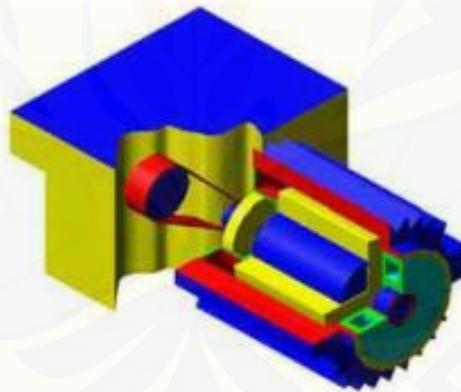
Eretan merupakan gerak persumbuan jalannya mesin. Pada mesin 3 axis, mesin ini mempunyai dua fungsi gerakan kerja, yaitu gerakan kerja posisi vertikal dan gerakan kerja pada posisi horizontal. Pada Gambar 2.8 dapat dilihat gambar dari gerak persumbuan jalannya mesin.



Gambar 2.8 Skema gerakan persumbuan mesin CNC *milling* (a) Posisi vertikal dan (b) Posisi horizontal (Sumber: Widarto, 2008)

3. Step Motor

Step motor berfungsi untuk menggerakkan eretan, yaitu gerakan sumbu X dan gerakan sumbu Z. Tiap-tiap eretan memiliki step motor sendiri-sendiri, seperti pada Gambar 2.9 merupakan gambar dari step motor.



Gambar 2.9 Step motor (Sumber: Widarto, 2008)

4. Rumah Alat Potong

Rumah alat potong digunakan untuk menjepit *toolholder* (alat potong) pada saat proses pengerjaan benda kerja. Sumber putaran rumah alat potong dihasilkan dari motor utama, dengan kecepatan putaran 300-200 RPM. Pada mesin jenis *trainingunit* rumah alat potong hanya memungkinkan memegang satu alat,

berbeda dengan jenis *productionunit* yang dilengkapi alat semacam *revolver*, sehingga memungkinkan untuk membawa lebih dari satu *toolholder*.

5. Penjepit Alat Potong

Penjepit alat potong atau *toolholder* pada mesin frais adalah penjepit manual, alat ini digunakan untuk menjepit pisau pada saat penyayatan benda kerja. Bentuk penjepit ini biasanya disesuaikan dengan bentuk rumah alat potong. Di bagian dalam *toolholder* dilengkapi sebuah alat bantu pencekaman. Berikut Gambar 2.10 merupakan gambar dari penjepit potong atau *tool holder*.



Gambar 2.10 *Toolholder* Sumber: (Widarto, 2008)

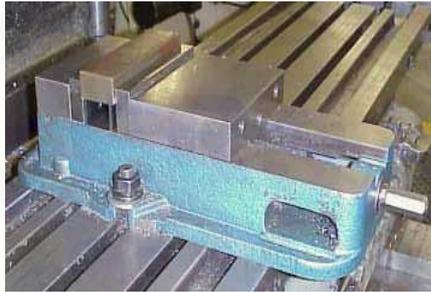
Alat bantu tersebut berfungsi untuk memperkuat pencekaman dari *toolholder*. Alat bantu tersebut dinamakan *collet*. *Collet* terbuat dari bahan logam, dimana diameter lubang pada *collet* sesuai dengan besarnya diameter pisau, seperti pada Gambar 2.11 merupakan gambar dari *collet*.



Gambar 2.11 *Collet* (Sumber: Widarto, 2008)

6. Ragum

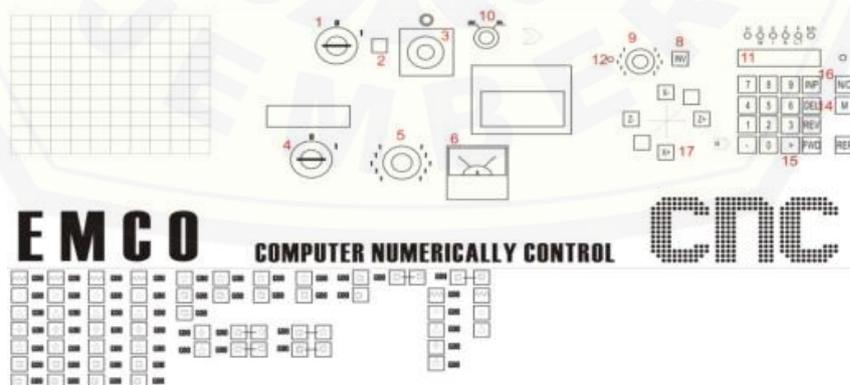
Ragum pada mesin CNC *milling* berfungsi untuk menjepit benda kerja pada saat proses penyayatan. Ragum pada mesin ini dilengkapi dengan sebuah *stopper*. Ragum bisa diganti sesuai kebutuhan. Ragum pada mesin ini dioperasikan secara manual. Pada Gambar 2.12 dapat dilihat gambar dari ragum.



Gambar 2.12 Ragum (Sumber: Widarto, 2008)

7. Pengendali/Kontrol

Bagian pengendali/kontrol merupakan bak kontrol mesin CNC *Milling* yang berisikan tombol-tombol dan saklar serta dilengkapi dengan monitor. Pada kotak kontrol merupakan unsur layanan langsung yang berhubungan dengan operator. Pada Gambar 2.13 menunjukkan secara visual dengan nama-nama bagian pengendali/kontrol.



Gambar 2.13 Bagian pengendali (Sumber: Widarto, 2008)

Keterangan:

1. Saklar utama
2. Lampu kontrol saklar utama
3. Tombol darurat
4. Saklar operasi mesin
5. Saklar pengatur kecepatan sumbu utama
6. Amperemeter
7. Tombol untuk eretan melintang, memanjang
8. Tombol *shift*
9. Saklar pengatur *feeding* meja
10. Tombol pengatur posisi *metric-inch*
11. *Display* pembaca gerakan
12. Lampu kontrol untuk pelayanan manual
13. Saklar *option* CNC atau manual
14. Tombol DEL
15. Tombol untuk memindah fungsi sumbu X, Y, Z
16. Tombol INP
17. Tombol M

2.3 Parameter Pengoperasian Mesin *Milling*

Parameter yang dapat langsung diatur oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan mesin *milling*. Seperti pada mesin bubut, maka parameter yang dimaksud adalah putaran *spindle* (n), gerak makan (f), dan kedalaman pemotongan (a). Putaran *spindle* bisa langsung diatur dengan cara mengubah posisi *handle* pengatur putaran mesin. Gerak makan bisa diatur dengan cara mengatur *handle* 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 pemakanan diatur dengan cara menaikkan benda kerja, atau dengan cara menurunkan pahat. Berikut merupakan parameter yang dapat langsung diatur pada pengoperasian mesin *milling*.

2.3.1 Putaran Sepindel (*Spindle Speed*)

Putaran *spindel* (n) ditentukan berdasarkan kecepatan potong. Kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pahat dan material benda kerja. Jumlah putaran *spindle* dapat dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

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

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. Adapun rumus dasar untuk menentukan kecepatan potong adalah:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ (m/menit)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

n = Putaran *spindle* (put/menit)

V_c = Kecepatan potong (m/menit)

d = Diameter pisau (mm)

2.3.2 Kecepatan Pemakanan (*feed rate*)

Pada umumnya mesin *milling*, dipasang tabel kecepatan pemakanan atau *feeding* dalam satuan mm/menit. Jadi misalnya pada mesin disetel setel kecepatan pemakanan pisau *milling* sebesar 28 mm/menit, artinya kecepatan pemakanan pisau *milling* sebesar 28 mm/menit. Makin kecil kecepatan pemakanan pisau *milling*, kekasaran semakin rendah. Tabel besar pemakanan pada mesin baru berlaku jika mesin tersebut dijalankan dengan cara otomatis. Menghitung kecepatan pemakanan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F = f \times n \text{ (mm/menit)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

F = Kecepatan Pemakanan (mm/menit)

f = Bergesernya pisau frais (mm) dalam satuan putaran

n = Putaran *spindle* (put/menit)

2.3.3 Kedalaman Pemakanan (*Depth of Cut*)

Kedalaman potong (a) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir. Untuk kedalaman potong yang relatif besar diperlukan perhitungan daya potong yang diperlukan untuk proses penyayatan. Apabila daya potong yang diperlukan masih lebih rendah dari daya yang disediakan oleh mesin (terutama motor listrik), maka kedalaman potong yang telah ditentukan bisa digunakan.

2.4 Baja Karbon

Baja karbon adalah material logam yang terbentuk dari unsur utama Fe dan unsur kedua yang berpengaruh pada sifatnya adalah karbon, sedangkan unsur yang lain berpengaruh menurut prosentasenya. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (low carbon steel) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Triatma *et al.*, 2014).

2. Baja karbon menengah

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%C – 0,6%C (medium carbon steel) dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (heat treatment) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah (Triatma *et al.*, 2014).

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mengandung 0,6%C – 1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas (Triatma *et al.*, 2014).

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon menengah atau baja karbon sedang yaitu AISI 1040 mengandung karbon antara 0,3-0,6%,. Adapun komposisi bahan kimia pada AISI 1040 sbb:

Tabel 2.1 Untuk kandungan unsur bahan-bahan baja karbon

Jenis baja	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	Ni	S
AISI								
1040	0.35	0.20	0.80	-	-	0.04	-	0.05

2.5 Cairan Pendingin

Pada proses permesinan cairan pendingin mampu membantu pembersihan beram yang menempel di rongga antara serbuk abrasif, sehingga mempermudah kelangsungan proses pembentukan beram. Dengan cairan pendingin temperatur tinggi yang terjadi di lapisan luar benda kerja bisa dikurangi, sehingga tidak merusak struktur *metalografi* benda kerja.

2.5.1 Jenis Cairan Pendingin

Cairan pendingin yang biasa dipakai dalam proses pemesinan dapat dikategorikan dalam empat jenis utama yaitu :

- a) Minyak murni
- b) *Soluble oils*
- c) Cairan semi sintetis
- d) Cairan sintetis

Minyak murni adalah minyak yang tidak dapat diemulsikan dan digunakan pada proses pemesinan dalam bentuk sudah diencerkan. Minyak ini terdiri dari bahan minyak mineral dasar atau minyak bumi, dan kadang mengandung pelumas yang lain seperti lemak, minyak tumbuhan, dan ester. Selain itu bisa juga ditambahkan aditif tekanan tinggi seperti *Chlorine*, *Sulphur* dan *Phosporus*. Minyak murni ini berasal salah satu atau kombinasi dari minyak bumi (*naphthenic*, *paraffinic*), minyak binatang, minyak ikan atau minyak nabati. Penambahan unsur lain seperti sulfur, klor atau fosfor (*EP additives*) menaikkan daya lumas pada temperatur dan tekanan tinggi. Minyak murni menghasilkan pelumasan terbaik, akan tetapi sifat pendinginannya paling jelek di antara cairan pendingin yang lain.

Soluble oil akan membentuk emulsi ketika dicampur dengan air. Konsentrat mengandung minyak mineral dasar dan pengemulsi untuk menstabilkan emulsi. *Soluble oil* digunakan dalam bentuk sudah diencerkan (biasanya konsentrasinya 3 sampai 10%) dan unjuk kerja pelumasan dan penghantaran panasnya bagus. *Soluble oil* digunakan luas oleh industri pemesinan dan harganya lebih murah di antara cairan pendingin yang lain.

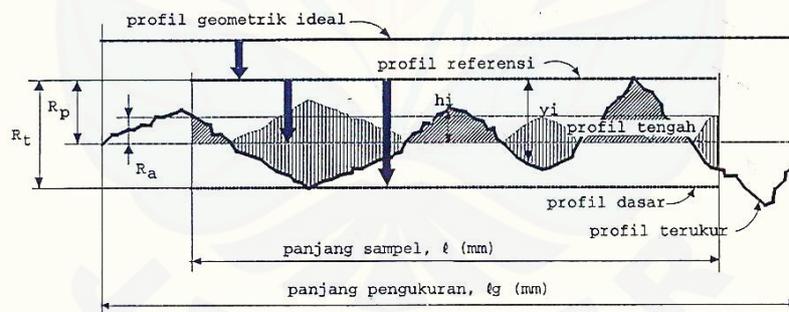
Cairan semi sintetik adalah kombinasi antara minyak sintetik (a) dan *soluble oil* (b) dan memiliki karakteristik ke dua minyak pembentuknya. Harga dan unjuk kerja penghantaran panasnya terletak antara dua buah cairan pembentuknya tersebut.

Minyak sintetik tidak mengandung minyak bumi atau minyak mineral dan sebagai gantinya dibuat dari campuran organik dan anorganik alkaline bersama-sama dengan bahan penambah (*additive*) untuk penangkal korosi. Minyak ini biasanya digunakan dalam bentuk sudah diencerkan (biasanya dengan rasio 3 sampai 10%). Pada larutan murni, unsur yang dilarutkan terbesar di antara molekul air dan tegangan permukaan (*surface tension*) hampir tidak berubah. Larutan murni ini tidak bersifat melumasi dan biasanya dipakai untuk sifat penyerapan panas yang tinggi dan melindungi terhadap korosi.

2.6 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidakraturan konfigurasi dan penyimpangan karakteristik permukaan berupa guratan yang nantinya akan terlihat pada profil permukaan. Adapun penyebabnya beberapa macam faktor, diantaranya yaitu; mekanisme parameter pemotongan, geometri dan dimensi pahat, cacat pada material benda kerja, dan kerusakan pada aliran geram. Kualitas suatu produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan benda kerja. Kekasaran permukaan dapat dinyatakan dengan menganggap jarak antara puncak tertinggi dan lembah terdalam sebagai ukuran dari kekasaran permukaan. Dapat juga dinyatakan dengan jarak rata-rata dari profil ke garis tengah.

Untuk mereproduksi profil suatu permukaan, maka sensor alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan. Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelumnya, alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Berikut Gambar 2.14 merupakan gambar dari profil permukaan.



Gambar 2.14 Profil permukaan (Sumber: Purwanti dan Pilarian, 2013)

Berdasarkan Gambar 2.14 dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah melintang. Untuk arah tegak dikenal beberapa parameter:

- Kekasaran total R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas
- Kekasaran perataan R_p (μm) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil terukur

- c. Kekasaran rata-rata aritmatik R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah
- d. Kekasaran rata-rata kuadrat R_g (μm) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah
- e. Kekasaran total rata-rata R_z (μm), merupakan jarak antara profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

Harga kekasaran rata-rata (R_a) maksimal yang diijinkan ditulis diatas simbol segitiga. Satuan yang digunakan harus sesuai dengan satuan panjang yang digunakan dalam gambar teknik (metrik atau inchi). Jika angka kekasaran R_a minimum diperlukan, dapat dituliskan dibawah angka kekasaran maksimum. Angka kekasaran dapat di klasifikasikan menjadi 12 angka kelas kekasaran seperti yang terlihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2. 2 Standarisasi simbol nilai kekasaran menurut ISO

Harga Kekasaran, R_a (μm)	Angka Kekasaran	Panjang Sampel
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2,5
6,3	N9	
3,2	N8	0,8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0,25
0,1	N3	
0,05	N2	
0,025	N1	0,08

(Sumber: Purwanti dan Pilarian, 2013)

Angka kekasaran (*ISO number*) dimaksudkan untuk menghindari terjadinya kesalahan atas satuan harga kekasaran. Jadi spesifikasi kekasaran dapat langsung dituliskan nilainya atau dengan menuliskan angka kekasaran ISO. Panjang sampel pengukuran disesuaikan dengan angka kekasaran yang dimiliki oleh suatu permukaan. Apabila panjang sampel tidak dicantumkan didalam penulisan simbol berarti panjang sampel 0,8 mm (bila diperkirakan proses permesinannya halus sampai sedang) dan 2,5 mm (bila diperkirakan proses pemesinannya kasar)

Toleransi harga kekasaran rata-rata, Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda sudah tentu lebih halus dari pada dengan menggunakan mesin *milling*. Tabel 2.3 berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2. 3 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya

Proses Pengerjaan	Selang (N)	Harga Ra
<i>Flat and cylindrical lapping,</i>	N1 – N4	0,025 – 0,2
<i>Superfinishing Diamond turning</i>	N1 – N6	0,025 – 0,8
<i>Flat cylindrical grinding</i>	N1 – N8	0,025 – 3,2
<i>Finishing</i>	N4 – N8	0,1 – 3,2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	N5 – N12	0,4 – 50,0
<i>Drilling</i>	N7 – N10	1,6 – 12,5
<i>Shaping, planing, horizontal milling</i>	N6 – N12	0,8 – 50,0
<i>Sandcasting and forging</i>	N10 – N11	12,5 – 25,0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6 – N8	0,8 – 3,2
<i>Die casting</i>	N6 – N7	0,8 – 1,6

Sumber: Bimbing Atedi dan Djoko Agustono (2005).

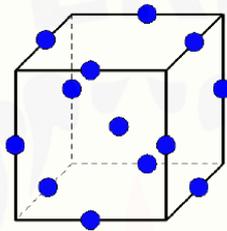
2.7 Response Surface Methodology

Response surface methodology (RSM) adalah kumpulan metode matematika dan teknik statistik yang bertujuan untuk membuat model dan melakukan analisis mengenai respon yang dipengaruhi oleh beberapa variabel. Peneliti sering menggunakan RSM sebagai cara mencari fungsi yang tepat untuk memprediksi respon. Kemudian, peneliti menggunakan RSM karena ingin menentukan nilai-nilai variabel independen yang dapat mengoptimalkan respon. Jadi, tujuan RSM adalah mengoptimalkan respon (Iriawan *et al.*, 2006). Optimasi dengan metode permukaan respon bisa diterapkan pada penelitian ilmu pangan (Teknologi Hasil Pertanian), Pertanian, Bioteknologi, Kehutanan, Biologi, Farmasi, Ilmu Ekonomi, Kesehatan, Teknik Kimia, Kimia, Teknik, Sosial, Ilmu Kesehatan, dll. Penggunaan metode permukaan respon tidak hanya terbatas untuk ilmu-ilmu tersebut, namun semua bidang ilmu khususnya penelitian yang bertujuan untuk mencari variabel optimum bisa menggunakan metode ini. Metode ini menggunakan analisis regresi pada data eksperimen dan plot 3D model permukaan respon (Fitria, 2015).

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan jika melakukan teknik analisa *respon surface*. Hal pertama yang perlu adalah bentuk persamaannya apakah merupakan fungsi berorde satu atau fungsi berorde dua. Untuk fungsi yang berorde, rancangan percobaannya cukup dengan menggunakan 2^k faktorial dimana setiap perlakuan memiliki dua level perlakuan. Jika dibandingkan dengan rancangan *respon surface* yang berorde dua, maka rancangan *respon surface* berorde satu lebih sedikit membutuhkan unit percobaan, yaitu sebanyak 2 unit percobaan dimana k menyatakan banyaknya faktor perlakuan. Untuk *respon surface* yang berorde dua, rancangan percobaannya bisa menggunakan *central composite design* (CCD) dan *Box-behken design* (BBD) Yang memerlukan jumlah unit percobaan lebih banyak daripada rancangan 2^k faktorial (*respon surface* berorde satu). Dalam eksperimen ini digunakan *Box-behken design*

2.7.1 *Box-Behnken Design*

Salah satu perbedaan box-behken design dengan central composite design adalah pada box-behken design tidak ada axial/star runs pada rancangannya. Tidak adanya axial/star runs ini menyebabkan box-behken lebih efisien dalam rancangan, karena melibatkan lebih sedikit unit percobaan. pada dasarnya box-behken dibentuk berdasarkan kombinasi rancangan 2 dengan incomplete black design dengan menambahkan center run pada rancangannya menurut (Purwanti dan Pilarian, 2013).



Gambar 2.15 Box-Behnken untuk Tiga Faktor (Sumber: Purwanti dan Pilarian, 2013)

Box-behken design merupakan perencanaan desain yang digunakan untuk desain eksperimen hanya dapat diterapkan pada percobaan yang memiliki minimal 3 faktor. Untuk melakukan pengolahan data dan analisa pada *Box-behken* menggunakan program toolbox *Design Of Experiment*. Langkah-langkah untuk analisa adalah :

1. membuat desain (rancangan) percobaan.
2. membuat model regresi dari data yang ada.
3. mengestimasi parameter menggunakan metode *least square*.
4. menguji hipotesis.
5. menginterpretasi hasil model.
6. memprediksi respon optimum berdasarkan permukaan respon dan contour yang didapat dari persamaan respon.
7. mencari level yang menyebabkan respon optimum.

Model orde dua adalah model yang paling sering digunakan pada metode permukaan respon. Beberapa alasan model orde dua lebih banyak digunakan dalam metode permukaan respon adalah (Fitria, 2015) :

- Model orde dua sangat fleksibel. Model tersebut dapat berubah ke dalam bentuk fungsi sesuai dengan kebutuhan.
- Parameter pada model orde dua mudah diestimasi.
- Model orde dua lebih praktis dalam memecahkan permasalahan pada permukaan respon.

Tahap pertama dalam metode permukaan respon adalah mencari fungsi antara variabel respon (y) dan variabel bebas (independen atau x) yang tepat. Untuk mengetahui hubungan tersebut biasanya di buat model regresi. Untuk memilih model yang paling sesuai biasanya diperiksa apakah model antar variabel adalah model linier (model orde satu) atau model polinomial. Secara umum bentuk persamaan regresi orde pertama dinyatakan sebagai berikut (Kristiyanto, dalam Ihsan, 2015) :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \dots \dots \dots (1)$$

dengan : Y = Variabel respon

β_0 = intersep

β_i = Koefisien parameter model

X_i = Nilai koding variabel bebas

ε = Residual dengan asumsi IIDN ($0, \sigma^2$)

Pendugaan untuk orde pertama adalah :

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i \dots \dots \dots (2)$$

dengan : Y = Nilai Pendugaan

b_0 = konstanta

b_i = taksiran parameter

X_i = variabel bebas

Sedangkan untuk persamaan model orde kedua ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \dots\dots\dots (3)$$

Pendugaan untuk model orde kedua dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{ij} X_i X_j \dots\dots\dots (4)$$

Jika k = 3 penduga untuk model orde kedua menjadi :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 \dots\dots\dots (5)$$

dengan : X_i = variabel bebas, $i = 1,2,3,\dots,k$

b_0 = konstanta, b_i = koefisien parameter model, $i = 1,2,3,\dots,k$

2.7.2 ANOVA (*Analysis of Variant*)

ANOVA atau analisis varian, digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai Jumlah Kuadrat dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

1. Jumlah Kuadrat

Rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah kuadrat pada Anova dapat dilihat pada keterangan dibawah :

- *Total of sum squares (SS_t)* – jumlah kuadrat simpangan total.

Merupakan jumlah kuadrat selisih antara skor individual dengan rata-rata totalnya. Untuk menghitung *SS_t* bisa digunakan rumus berikut ini:

$$SS_t = \sum x^2 - \frac{G^2}{N} \dots\dots\dots (6)$$

dengan : x = data pada masing-masing kelompok.

G = total x dari seluruh kelompok.

N = jumlah sampel keseluruhan.

- *Between treatments variability* (SSb) – variabilitas antar kelompok.
Variansi rata-rata kelompok sampel terhadap rata-rata keseluruhannya.
Adapun rumus SSb sebagai berikut :

$$SSb = \sum \frac{T^2}{n} - \frac{G^2}{N} \dots\dots\dots (7)$$

dengan : x = data pada masing-masing kelompok.

G = total x dari seluruh kelompok.

n = jumlah sampel masing-masing kelompok.

N = jumlah sampel keseluruhan.

T = total x dari masing-masing kelompok.

- *Within treatments variability* (SSw) – variabilitas dalam kelompok.
Variansi yang ada dalam masing-masing kelompok. Banyaknya variansi akan tergantung pada banyaknya kelompok. Cara menghitung SSw sebagai berikut:

$$SSw = SS_t - SS \dots\dots\dots (8)$$

2. Derajat kebebasan atau *degree of freedom*

Derajat kebebasan atau *degree of freedom* (dilambangkan dengan V) dalam ANOVA akan sebanyak variabilitas.

- Derajat kebebasan untuk SS_t dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{SS_t} = n - 1 \dots\dots\dots (9)$$

dengan : n = jumlah sampel keseluruhan.

- Derajat kebebasan untuk SSb , dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{SSb} = k - 1 \dots\dots\dots (10)$$

dengan : k = banyaknya kelompok.

- Derajat kebebasan untuk SS_w , dapat dihitung dengan rumus :

$$V_s = \sum (n-1), \text{ atau } \dots\dots\dots (11)$$

$$= N - k$$

dengan : k = banyaknya kelompok.

n = jumlah sampel masing-masing kelompok.

N = jumlah sampel keseluruhan.

3. Rata-rata kuadrat atau *Mean Square*

Variance dalam ANOVA, baik untuk antar kelompok maupun dalam kelompok sering disebut dengan *deviasi rata-rata kuadrat (mean squared deviation)* dan dilambangkan dengan *MS*. Dengan demikian, maka *mean squared deviation* masing-masing dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$MS_b = \frac{SS_b}{V_{SS_b}} \dots\dots\dots (12)$$

$$MS_w = \frac{SS_w}{V_{SS_w}} \dots\dots\dots (13)$$

4. Distribusi

F_{tabel} dihitung dengan melihat nilai α , F_{hitung} didapatkan dengan rumus di bawah ini :

$$F_{\text{hitung}} = \frac{MS_b}{MS_w} \dots\dots\dots (14)$$

Tabel ANOVA terdiri dari perhitungan derajat bebas (db), jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, F-rasio yang ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 2.4 Tabel anova untuk uji signifikansi regresi disain eksperimen

Sumber Variasi	db	Jumlah Kuadrat	Rata-rata Kuadrat	F _{ratio}
Regresi	k	$SS_R = b'X'Y - n\bar{Y}^2$	$MS_R = \frac{SS_R}{k}$	$\frac{MS_R}{MS_E}$
Residual	$n - k - 1$	$SS_E = Y'Y - b'X'Y$	$MS_E = \frac{SS_E}{(n - k - 1)}$	
Lack of fit	$n - k - 1 - n_e$	$SS_{LOF} = SS_E - SS_{PE}$	$MS_{LOF} = \frac{SS_{LOF}}{(n - k - 1 - n_e)}$	$\frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}}$
Pure error	n_e	$SS_{PE} = \sum_{j=1}^m \sum_{u=1}^{n_j} (Y_{ju} - \bar{Y}_j)^2$	$MS_{PE} = \frac{SS_{PE}}{n_e}$	
Total	$n - 1$	$SS_T = Y'Y - n\bar{Y}^2$		

2.7.3 Pengujian Model

a. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien R-Sq (*R-square*, R^2), suatu nilai statistik yang menunjukkan koefisien determinasi, yaitu nilai yang menerangkan besarnya keragaman dalam peubah tak bebas (Y) yang dapat dijelaskan oleh peubah bebasnya (X). Dengan kata lain koefisien ini menunjukkan seberapa besar hubungan (*good of fit*) antara variabel faktor secara serentak terhadap variabel respon (Supranto, 1996). Nilai ini umumnya dinyatakan dalam persen (%). Secara manual, R^2 tersebut dapat pula dihitung dengan rumus:

$$R^2 = \frac{SS_R}{S_{yy}} = 1 - \frac{SS_E}{S_{yy}} \dots\dots\dots(15)$$

Semakin besar nilai R^2 maka semakin besar pula pengaruh semua variabel X terhadap variabel Y . Model yang baik adalah model yang memiliki nilai R^2 yang tinggi mendekati 100% atau 1 (koefisien determinasi nilainya terletak antara $0 < R^2 < 1$) (Ihsan, 2015).

R-Sq (adj) (*R-square adjusted*), yaitu merupakan nilai R^2 yang telah dikoreksi dengan derajat bebasnya. Nilai ini dapat pula dihitung dengan rumus:

$$R^2_{(adj)} = \left(1 - \frac{(JKS)/(n - p)}{(JKT)/(n - 1)} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(16)$$

dengan: p = banyaknya koefisien regresi (dalam RLS, $p = 2$)

b. Pengujian Adanya Penyimpangan (*Uji Lack of Fit*)

Dalam menentukan ketepatan model diperlukan uji *lack of fit*. Tujuan pengujian *lack of fit* adalah untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan. Uji ini menggunakan *mean square lack of fit* dan *mean square pure error* dengan nilai distribusi F atau distribusi P.

Uji statistik yang digunakan adalah (Kristiyanto, dalam Ihsan, 2015):

$$F_{rasio} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \dots\dots\dots (17)$$

Apabila $F_{rasio} > F_{(\alpha; n-k-1; n_e)}$ atau $P_{value} > \alpha$ yang berarti tidak ada ketidaksesuaian (*lack of fit*) antara model yang diduga dengan model sebenarnya.

c. Pengujian Parameter Serentak (simultan)

Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah koefisien dari model secara serentak (simultan) nyata atau tidak. Uji simultan berfungsi untuk mengetahui apakah antara variabel-variabel bebas X dan terikat Y signifikan, atau setidaknya ada salah satu dari variabel prediktor yang berpengaruh signifikan. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian parameter regresi secara serentak adalah sebagai berikut (Kristiyanto, dalam Ihsan, 2015):

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, k$$

Uji statistik yang digunakan (Kristiyanto, dalam Ihsan, 2015):

$$F_{hitung} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{SS_R / k}{SS_E / (N - 1 - k)} \dots\dots\dots (18)$$

Daerah penolakan yaitu tolak H_0 pada tingkat signifikansi α apabila $F_{hitung} > F_{(\alpha; k; n-1-k)}$ yang berarti secara statistik variabel-variabel bebas terhadap terjadinya perubahan pada variabel respon Y dalam model.

d. Uji parsial

Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah dalam suatu variabel prediktor X memiliki kontribusi terhadap variabel respon Y. Dalam pengujian ini dilakukan secara terpisah kepada masing-masing variabel prediktor apakah secara signifikan memberikan kontribusinya ke variabel respon. Uji parsial ini menggunakan uji-t, yaitu:

Jika $|t_{hitung}| > t_{tabel}(n-p)$, maka variabel prediktor X tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon Y.

dengan : n = banyaknya pengamatan

 p = banyaknya parameter model regresi linier

2.8 Penentuan Variabel

a. Variabel Faktor (Variabel Bebas)

Variabel Faktor merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menyebabkan terjadinya perubahan. Terdapat banyak variabel proses yang dapat ditentukan dalam proses pemesinan CNC *milling*. Akan tetapi dalam penelitian ini dipilih tiga faktor kendali yang diduga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan. Faktor-faktor tersebut adalah (kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan debit pendingin).

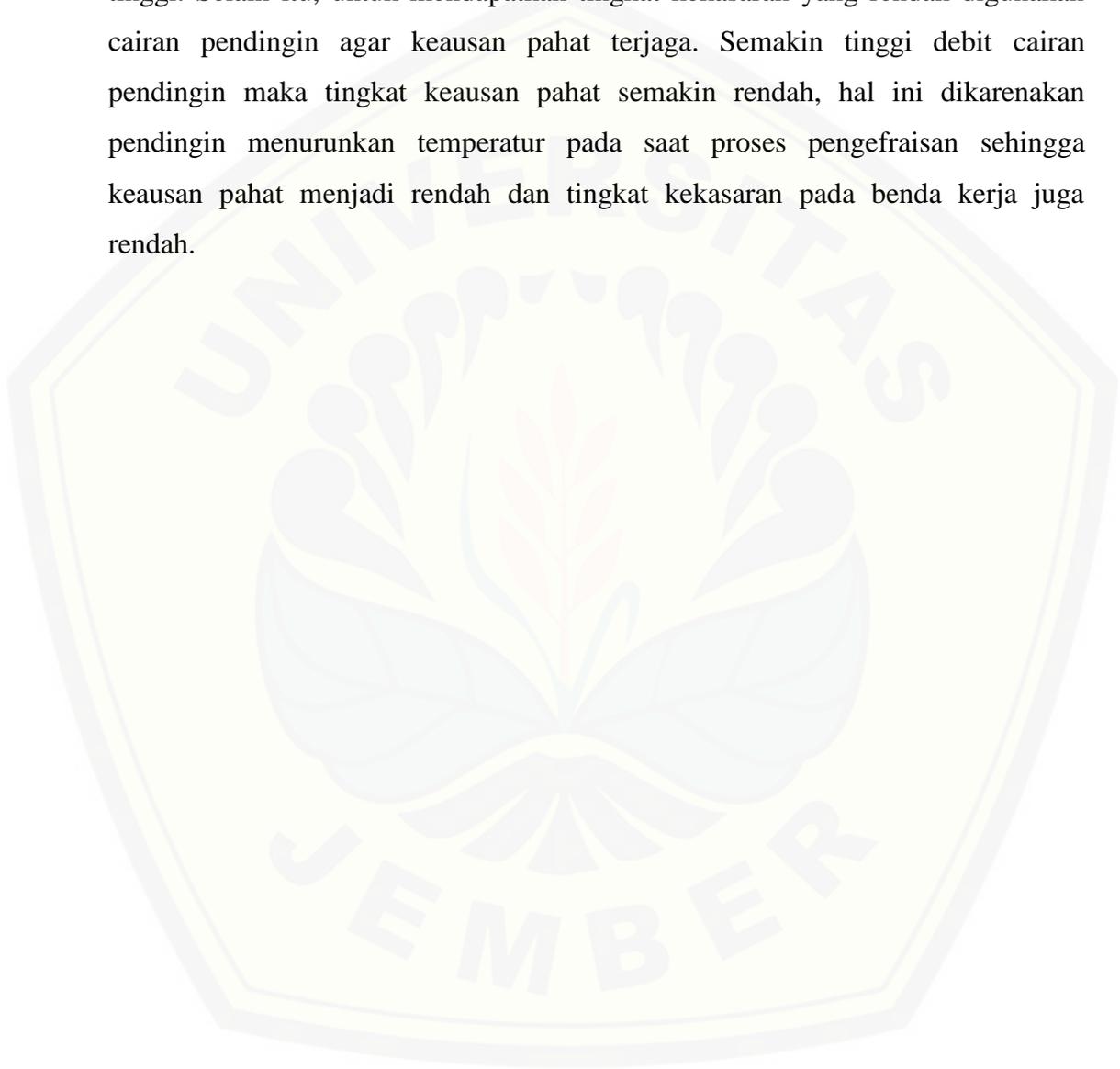
b. Variabel Respon (Variabel tak Bebas)

Variabel respon merupakan merupakan hasil yang diamati dan diukur oleh peneliti dalam sebuah penelitian, untuk menentukan ada tidaknya pengaruh dari variabel bebas.. Dalam hal ini variabel respon yang dipilih adalah nilai kekasaran permukaan pada baja karbon AISI 1040.

2.9 Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini yaitu semakin rendah kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan, maka semakin rendah pula kekasaran permukaan benda kerja. Semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka akan membuat beban pada saat melakukan penyatan, sehingga pahat akan bergetar lebih tinggi dan menyebabkan

kekasaran permukaan menjadi tinggi. Dalam proses permesinan, kedalaman pemakanan yang rendah membuat beban pada saat melakukan penyayatan semakin kecil. Semakin besar kedalaman potong maka semakin besar usaha pahat untuk memotong benda kerja sehingga kekasaran permukaan yang terjadi semakin tinggi. Selain itu, untuk mendapatkan tingkat kekasaran yang rendah digunakan cairan pendingin agar keausan pahat terjaga. Semakin tinggi debit cairan pendingin maka tingkat keausan pahat semakin rendah, hal ini dikarenakan pendingin menurunkan temperatur pada saat proses pengefraisan sehingga keausan pahat menjadi rendah dan tingkat kekasaran pada benda kerja juga rendah.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Permesinan Kompetensi Keahlian Teknik Permesinan SMKN 2 Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Mesin CNC *Milling*

Mesin CNC *milling* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin CNC *Milling* FOCUS ESEMKA VMC – L540. Dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 3.1 Mesin CNC *Milling* FOCUS ESEMKA VMC – L540

- 1) Merk : FOCUS ESEMKA VMC – L540
- 2) Spesifikasi Perjalanan (Travel) Pisau :
- X-Axis Travel : 500 mm (19,7 in)
 - Y-Axis Travel : 400 mm (15,7 in)
 - Z-Axis Travel : 400 mm (15,7 in)
 - Spindle Nose to Table : 120 – 540 mm (4,7 – 21,3 in)
 - Spindle Center to Z – Rail : 410 mm (16,1 in)
- 3) Spesifikasi Meja/Table:
- Table size : 600 × 380 mm (23,6 × 15 in)
 - T-slot : 3×18 mm × 100 mm (3×0,7 in × 4 in)
 - Maximum Table Load : 6300Kg (660 lb)
- 4) Spesifikasi Spindle:
- Spindle Taper : BT-40/BT-30
 - Spindle RPM : 8000rpm/12000rpm/24000rpm
 - Type of Driving : Belt Type/Direct Type/Built Type
- 5) Kecepatan Pemakanan (Feed Rate):
- X.Y Axis Rapaid Feed Rate : 36 m/min (1417,3 in/min)
 - Z Axis Rapaid Feed Rate : 30 m/min (1417,3 in/min)
 - X.Y.Z Max.Cutting Feed Rate : 10 m/min (393,7 in/min)
- 6) Motor (Misubishi/Fanuc):
- Spindle Motor : SJ-PF5.5 (5,5 KW)/Beta 6 (5,5 KW)
 - X.Y Axis Servo Motor : HF-154 (1,5 KW)/Beta 6 (1,2 KW)
 - Z Axis Servo Motor : HF-204BS(2,0KW)/Beta22 (2,5KW)
 - Power : 15 KVA
 - Frekuensi : 50 Hz
 - Motor of Tool Change System : Geneva Type 60W/Arm Type 200W
- 7) Akurasi/Machine Accuracy:
- Positioning Accuracy (JIS) : ± 0,005 mm / 300 mm
 - Repeat Poitioning Accuracy (JIS) : ± 0,003 mm

b. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur debit yang akan dihasilkan saat proses *milling*.



Gambar 3.2 Gelas ukur

c. Pompa akuarium

Pompa akuarium digunakan untuk mengalirkan cairan pendingin, pompa dapat menghasilkan debit max 800L/jam



Gambar 3.3 Pompa akuarium

d. Kran air dan Selang

Kran air dan selang digunakan sebagai alat untuk metode pendinginan, kran berfungsi untuk mengatur debit cairan pendingin yang akan di keluarkan melalui selang.



Gambar 3.4 Kran air dan selang

e. *Surface Roughness Tester*Gambar 3.5 *Surface Roughness Tester*

Surface roughness tester merupakan alat pengukuran kekasaran permukaan. Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. Pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan *stylus* berbentuk *diamond* untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat *indicator* pengukur kekasaran permukaan benda uji. Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan menggunakan *transducer* dan diolah dengan *mikroprocessor*. *Roughness tester* dapat digunakan di lantai di setiap posisi, horizontal, vertikal atau di mana pun. *Instrumen roughness meter* ini kompatibel dengan empat standar dunia yaitu ISO (*International Organization for Standardization*), DIN (*Deutsches Institut Fur Normung*), ANSI (*American National Standards Institute*), dan JIS (*Japanese Industrial Standard*) sehingga tidak diragukan lagi dalam ketepatan dan keakuratan dalam pengukuran kekasaran.

Tabel 3.1 Spesifikasi *Surface Roughness Tester 220*

Specifications TR220	
•Roughness parameters	Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, Rmax, Rv, R3z, RS, RSm, RSk, Rmr, Rpc, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2
• Assessed profiles	Roughness profile (R) Primary profile (P)
• Unit	mm, inch
• Display resolution	0.01 μ m
• Data output	RS232

• Measuring Range	Ra: 0.025~12.5 μ m
• Cutoff length (L)	0.25 mm / 0.8 mm / 2.5 mm/Auto
• Evaluation length	1~5L (selectable)
• Tracing length	(1~5)L + 2L (selectable)
• Digital filter	RC, PC-RC, Gauss, D-P
• Max. driving length	17.5 mm/0.71 inch
• Min. driving length	1.3 mm/0.051 inch
• Pick-up	Standard pickup TS100, inductive, Diamond stylus radius 5 μ m, angle of stylus 90°
• Accuracy	$\leq \pm 10\%$
• Repeability	<6%
• Power	Li-ion battery rechargeable
• Dimensions	141 mm \times 56 mm \times 48 mm
• Weight	480 g

f. Pahat

Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pahat *End Mill* dengan bahan *High Speed Steel* (HSS) dengan ukuran pahat 16x40x95x16 dengan merek pahat yaitu NACHI Super Hard End Mills Four Flutes 6210 HSS-Co 4SE.



Gambar 3.6 Pahat End Mill HSS

Dalam proses penyayatan benda kerja kecepatan potong (CS) terhadap benda kerja perlu diperhatikan karena setiap jenis bahan memiliki *standard* kecepatan potong tertentu untuk penyayatan. Jika kecepatan potongnya tidak sesuai dengan

standard kecepatan potong bahan maka akan menyebabkan berbagai permasalahan seperti : mesin macet, hasil penyayatan kasar, keausan pada pahat dan cacat. Menghindari terjadinya berbagai permasalahan yang timbul maka kecepatan potong harus sesuai dengan *standard* yang sudah ditentukan.

Tabel 3.2 Tabel kecepatan potong untuk beberapa jenis bahan

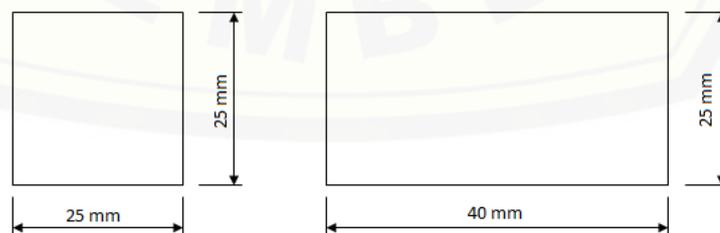
Bahan	Cutter HSS		Cutter Carbide	
	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Baja perkakas	75 – 100	25 – 45	185 – 230	110 – 140
Baja karbon rendah	70 – 90	25 – 40	170 – 215	90 – 120
Baja karbon menengah	60 – 85	20 – 40	140 – 185	75 – 110
Besi cor kelabu	40 – 45	25 – 30	110 – 140	60 – 75
Kuningan	85 – 100	45 – 70	185 – 215	120 – 150
Alumunium	70 – 110	30 – 45	140 – 215	60 – 90

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Baja AISI 1040

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 1040. Baja AISI 1040 merupakan baja karbon sedang. Baja AISI 1040 digunakan sebagai bahan benda kerja dalam proses *milling* dengan dimensi balok $S = 25$ mm. Jenis material Baja AISI 1040 yang umum digunakan sebagai material berbagai produk permesinan.



Gambar 3.7 Benda kerja sebelum proses CNC milling

b. Cairan pendingin

Cairan pendingin yang digunakan dalam proses *milling* pada penelitian ini adalah Dromus dengan perbandingan air 1:10.



Gambar 3.8 Cairan pendingin dromus

3.3 Tahap Identifikasi Masalah

Tahap ini merupakan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian :

a. Survei Lapangan dan Identifikasi Variabel Faktor yang Berpengaruh

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi sebanyak-banyaknya yang berkaitan dengan seluruh aktivitas produksi perusahaan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi nyata obyek yang akan diteliti. Studi lapangan ini meliputi studi proses produksi, spesifikasi produk, dan karakter kualitas. Selain survei lapangan juga di ikuti dengan identifikasi faktor yang berpengaruh. Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui penyebab permasalahan yang ada dalam perusahaan tersebut yang kemudian dijadikan bahan penelitian. Pada penelitian ini survei lapangan dilaksanakan di Laboratorium Permesinan Kompetensi Keahlian Teknik Permesinan SMKN 2 Jember.

b. Studi Pustaka

Studi pustaka bertujuan untuk mencari informasi yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti berupa penelitian terdahulu, buku, jurnal, dan dari internet yang relevan dengan permasalahan yang diteliti. Tujuan dari studi pustaka ini adalah untuk memperoleh materi teori dan konsep yang dapat dijadikan landasan atau kerangka berpikir dalam menjelaskan permasalahan.

c. Perumusan masalah dan Penentuan Tujuan Penelitian

Setelah mengetahui kondisi proses produksi yang didapat maka tahap selanjutnya adalah melakukan perumusan masalah dan penentuan tujuan penelitian. Perumusan masalah dan tujuan dari penelitian ini yaitu memperoleh tingkat kekasaran yang rendah pada baja karbon AISI 1040 menggunakan metode respon permukaan. Penelitian ini dilakukan menggunakan mesin *CNC milling*.

d. Variabel Faktor

Terdapat beberapa variabel proses atau faktor yang berpengaruh pada proses *CNC milling*. Dalam hal ini terdapat tiga variabel faktor yaitu kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan debit pendingin.

e. Level Kendali

Penentuan level bertujuan untuk memperoleh batasan dari variabel yang akan diamati. Level-level tersebut terdiri atas level bawah dengan kode -1, level menengah dengan kode 0, dan level atas dengan kode +1. Penentuan level yang digunakan berdasarkan standard yang sudah ditentukan. Penentuan level masing-masing faktor yaitu:

1. Level Kecepatan Pemakanan

Pada penelitian ini untuk mendapatkan level yang diinginkan maka perlu dilakukan analisa secara bertahap. Penentuan level kecepatan pemakanan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya dengan level parameter terbaiknya 240mm/menit. Maka di tentukan range tertinggi +60 mm/menit dan range terendah -60 mm/menit (Sunyapa B *et al.*, 2016), didapat level kecepatan pemakanan yaitu Level bawah (kode -1): 180 mm/menit, Level tengah (kode 0): 240 mm/menit, dan Level atas (kode +1): 300 mm/menit.

2. Level Kedalaman Pemakanan

Penentuan level kedalaman pemakanan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya dengan nilai tengah level parameter adalah 0.19 mm, maka

ditentukan yaitu kedalaman pemakanan harus lebih besar sama dengan dari 0.18 mm tapi harus lebih kecil sama dengan 0.22 mm. Didapat hasil kedalaman pemakanan terbaik adalah 0.22 mm (Candra S *et al.*, 2008). Dalam penelitian ini nilai tengah nya adalah 0.22 mm makan nilai level yang digunakan yaitu Level bawah (kode -1): 0.18 mm, Level tengah (kode 0): 0.22 mm, dan Level atas (kode +1): 0.26 mm.

3. Level Debit Pendinginan

Level debit pendinginan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Arifin Z *et al.*, 2017) bahwa debit pendingin paling berpengaruh pada nilai kekasaran. Level debit pendinginan yaitu 5 ml/detik, 10 ml/detik dan 15 ml/detik menggunakan minyak *dromus*. makan nilai level yang digunakan level bawah (kode -1) : 5 ml/detik, Level tengah (kode 0): 10 ml/detik, dan Level atas (kode +1): 15 ml/detik.

Untuk lebih jelas penjabaran level dari variabel proses di atas dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.3 Level yang digunakan

Kode	Control Faktor	Level		
		-1	0	+1
A	Kecepatan Pemakanan (mm/menit)	180	240	300
B	Kedalaman Pemakanan (mm)	0,18	0,22	0,28
C	Debit Pendinginan	5 ml/detik	10 ml/detik	15 ml/detik

3.4 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Berdasarkan tahap identifikasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa metode pemecahan masalah yang digunakan adalah desain eksperimen. Metode desain

eksperimen selanjutnya dapat disusun langkah-langkah pemecahan masalah secara sistematis, tahap ini terdiri dari:

a. Penentuan Desain Eksperimen

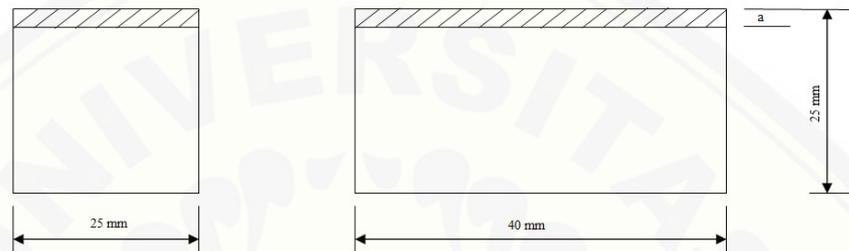
Tahap ini merupakan tahap perencanaan sebelum dilakukan percobaan dengan tujuan agar percobaan yang dilakukan akan mencapai sasaran yang tepat sesuai tujuan yang diinginkan. Tahap ini meliputi:

1. Identifikasi faktor-faktor yang berpengaruh pada proses
2. Penentuan variabel faktor pada proses
3. Penetapan level-level faktor
4. Perencanaan eksperimen

b. Pelaksanaan Percobaan

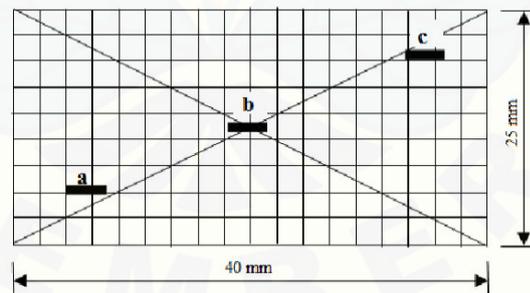
1. Mempersiapkan peralatan, benda kerja, dan mesin CNC *milling* Focus Esemka VMC–L540.
2. Mempersiapkan benda kerja sesuai ukuran
3. Persiapkan *tool* yang akan di pakai
4. Membuat program CNC sesuai benda kerja yang akan di kerjakan dengan ketentuan yang sudah di variasikan
5. Pasang pisau frais pada rumah pahat pada mesin CNC *milling* Focus Esemka VMC–L540
6. Pasang benda kerja pada ragum mesin CNC *milling* Focus Esemka VMC–L540 dan kemudian kencangkan ragum
7. Pencampuran dromus dengan air dengan perbandingan 1:10
8. Memasang pompa pendingin pada mesin CNC *milling* Focus Esemka VMC–L540 yang sudah di *setting* debitnya.
9. Masukkan program yang sudah dibuat sebelumnya pada mesin CNC *milling* Focus Esemka VMC–L540
10. Hidupkan mesin CNC *milling* Focus Esemka VMC–L540 dan lakukan *setting point*

11. Nyalakan pompa pendingin, lakukan pengukuran debit dengan gelas ukur sesuai dengan debit yang telah di tentukan dan melakukan pendinginan sesuai debit yang telah di tentukan
12. Melakukan proses permesinan CNC *milling* dengan kedalaman 1 mm untuk proses facing pada benda kerja. Kemudian melakukan proses permesinan CNC *milling* sesuai variasi parameter yang telah di tentukan, seperti di tunjukkan pada Gambar 3.9 berikut:



Gambar 3.9 Benda kerja setelah proses CNC *milling* sesuai parameter

13. Matikan mesin CNC *milling* Focus Esemka VMC-L540
14. Lepaskan benda kerja pada ragum mesin CNC *milling*
15. Pengambilan data menggunakan Surface Roughness Tester pada benda kerja



Gambar 3.10 Proses pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja

c. Analisa Data

Metode yang digunakan pada tahap ini adalah metode permukaan respon (*Response Surface Methodology*). Tahapan yang harus dilakukan pada analisa data adalah sebagai berikut:

1. Rancangan *Box-Behnken*

Metode rancangan percobaan dan kombinasi level berdasarkan rancangan *Box-Behnken Design*. Alasan memakai rancangan tersebut karena jumlah eksperimen yang dilakukan lebih sedikit sehingga mempersingkat waktu eksperimen. Rancangan *Box-Behnken Design* dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Rancangan percobaan dengan *box-behnken design*

no	Factor 1	Factor 2	Factor 3
	A:kedalaman pemakan	B:kecepatan pemakanan	C:debit pendingin
	mm	mm/menit	ml/detik
1	0.18	180	15
2	0.26	180	15
3	0.18	300	15
4	0.26	300	15
5	0.18	240	5
6	0.26	240	5
7	0.18	240	10
8	0.26	240	10
9	0.22	180	5
10	0.22	300	5
11	0.22	180	10
12	0.22	300	10
13	0.22	240	15
14	0.22	240	15
15	0.22	240	15

2. Pembentukan model.

Pembentukan model ini adalah pembentukan model yang menyatakan hubungan variabel proses dengan variabel respon yang dibentuk dari nilai koefisien penduga model regresi (model percobaan orde dua). Persamaan penduga untuk model regresi adalah sebagai berikut:

Jika $k = 3$ penduga untuk model orde kedua menjadi (Setyawan, dalam Ihsan, 2015):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 \\ + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien, langkah pertama yang dilakukan adalah mengolah data eksperimen menggunakan *software* komputer sehingga didapatkan nilai koefisien. Kemudian nilai koefisien tersebut dimasukkan kedalam persamaan tersebut di atas.

3. Pengujian model.

Pengujian dilakukan dengan pengujian kesesuaian model. Pengujian kesesuaian model tersebut antara lain uji *Uji Lack of Fit*, uji parameter serentak, dan uji koefisien determinasi (R^2). Setelah dilakukan pengujian kesesuaian model dilakukan pengujian residual untuk mengetahui apakah residual memenuhi asumsi *Normally and Independently Distributed* atau IIDN ($0, \alpha^2$). Pengujian yang dilakukan terhadap residual antara lain uji identik, uji independen, dan uji distribusi normal.

4. Menentukan kondisi optimum dari model orde kedua yang sesuai.

Penentuan kondisi optimum dilakukan pendekatan fungsi *desirability* yang merupakan salah satu metode yang digunakan untuk optimasi multi respon. Metode ini mempunyai empat cara untuk menyelesaikan optimasi respon dan masing-masing cara hanya cocok untuk kasus tertentu yaitu *The Large is Better*, *The Smaller is Better*, *Nominal The Best*, dan *Constrain*. Metode optimasi yang cocok untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah metode *The Smaller is Better* untuk kekasaran permukaan karena pada metode *The Smaller is Better* nilai minimum dari respon adalah hasil yang paling diinginkan.

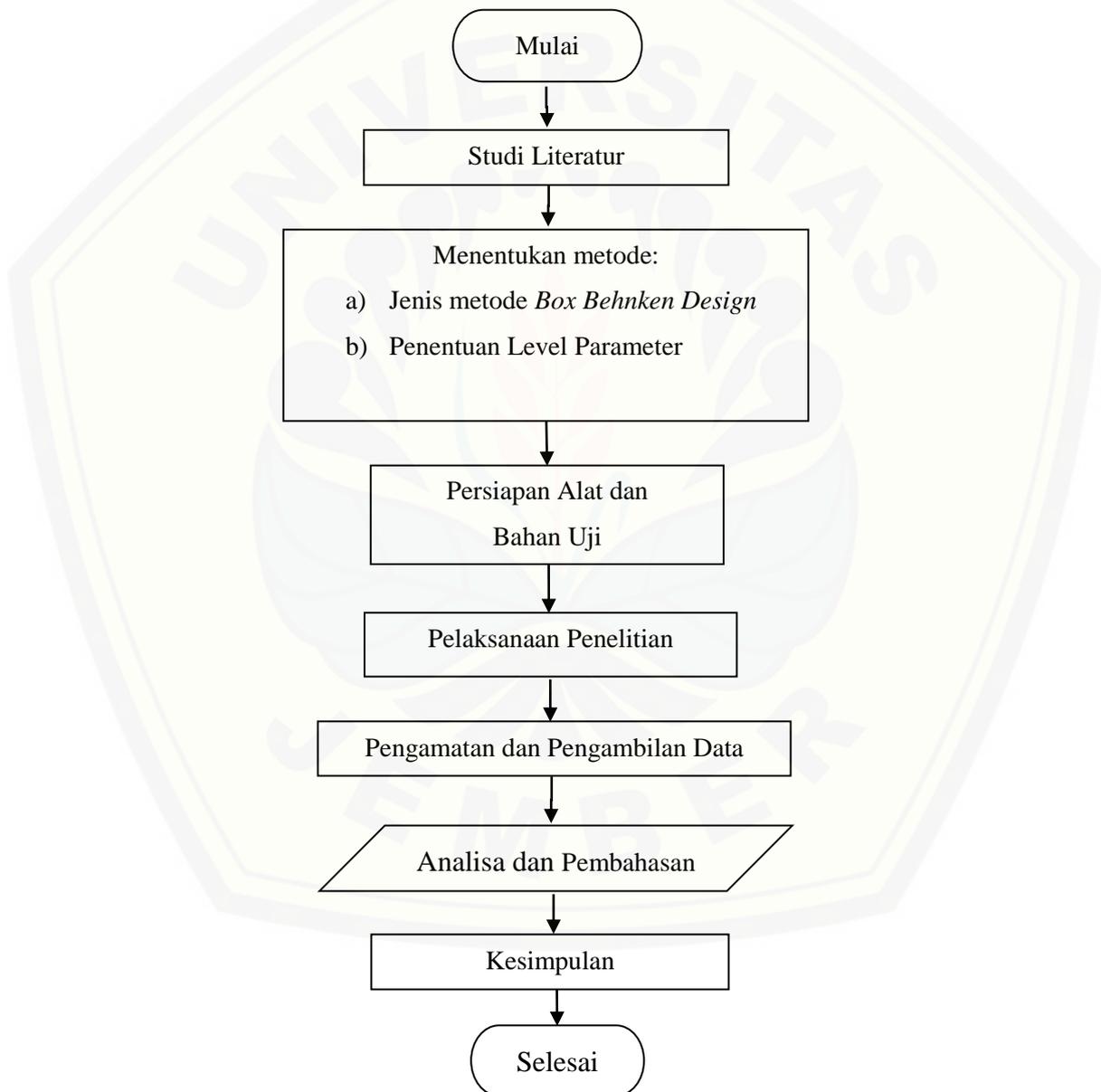
3.5 Tahap Penarikan Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian yaitu melakukan analisis dan interpretasi (tafsiran) terhadap hasil pengolahan data eksperimen. Dengan analisis dan interpretasi tersebut dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai

jawaban atas permasalahan yang telah dirumuskan. Selain itu juga diberikan saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penyelesaian dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir, berikut Gambar 3.11 merupakan gambar dari diagram alir penelitian:



Gambar 3.11 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data penelitian menggunakan metode respon permukaan dengan *design-expert*, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan tabel anova, terdapat dua variabel faktor dari tiga variabel faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Variabel faktor tersebut adalah kedalaman pemakanan dan kecepatan pemakanan, sedangkan debit pendingin tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
2. Berdasarkan hasil optimasi yang dilakukan, diperoleh kondisi optimum *setting* parameter untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan terbaik, yaitu untuk nilai parameter kedalaman pemakanan sebesar 0.18 mm, nilai kecepatan pemakanan sebesar 180 mm/menit, dan nilai debit pendingin sebesar 10 ml/detik. Dengan *setting* parameter ini didapatkan nilai optimum kekasaran permukaan sebesar 1.027 μm .

5.2 Saran

Penelitian yang telah penulis lakukan hanya membahas tentang pengaruh kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan debit pendinginan terhadap kekasaran permukaan pada baja AISI 1040 menggunakan mesin CNC Milling FOCUS ESEMKA VMC – L540. Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebaiknya dikaji kembali tentang parameter-parameter dalam pemesinan yang mempengaruhi kekasaran permukaan sehingga dalam analisis statistik nantinya parameter yang digunakan akan berpengaruh secara signifikan. Selain itu dapat dilakukan percobaan kembali dengan penambahan parameter-parameter lain yang belum ada dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z., N, Ilminnafik., H. Arbiantara. 2017. Analisis Debit Pendingin, Kecepatan Potong Dan Kecepatan Makan Terhadap Kekasaran Permukaan S45C Proses CNC Milling. *Skripsi*. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Atedi, B. dan Agustono, D. 2005. Standar Kekasaran Permukaan Bidang pada Yoke Flange Menurut ISO R.1302 dan DIN 4768 dengan Memperhatikan Nilai Ketidakpastiannya. Serpong. *Media Mesin. Puslit KIM dan SMTP-LIPI*: 6(2)
- Direktorat Pembinaan SMK. 2013. *Teknik Permesinan CNC Dasar*. Bandung: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Fitria, N. 2015. Optimalisasi Parameter Regresi Response Surface Methodology Dalam Laba Usaha Pedagang Buah dan Aplikasinya Menggunakan Matlab. *Skripsi*. Semarang: FKIP Universitas Negeri Semarang.
- Iriawan, N. dan Astuti, S. P. 2006. *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: C.V. Andi Offset.
- Isnaini, N., Hadi, A. F., dan Juliyanto, B. 2012. Model Permukaan Respon pada Percobaan Faktorial. *Majalah Ilmiah Matematika dan Statistika*. ISSN 1411-6669. Vol. 12: 24-32.
- Kristiyantoro, Tatag. 2009. Optimasi Waktu Siklus Pembuatan Kemasan Produk Chamomile 120 ml dengan Proses Blow Molding. Jember : Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

- Nugroho, T.U., Saputro, Herman. Dan Estriyanto, Yuyun. 2012. Pengaruh Kecepatan Pemakanan Dan Waktu Pemberian Pendingin Terhadap Tingkat Keausan Cutter End Mill Hss Hasil Pemesinan Cnc Milling Pada Baja St 40. *NOSEL* 1(1):79-89
- Purwanti, E.P., Pilarian, F, 2013 Optimasi Parameter Proses Pemotongan Stainless Steel SUS 304 Untuk Kekasaran Permukaan Dengan Metode Response Surface.. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika FMIPA UNY Yogyakarta ISBN : 978 – 979 – 16353 – 9 – 4, 9 November 2013: 73-88*
- Sugiantoro, B., Jati. U.S. 2015. Desain Alat Penukar Kalor (Air To Air Cooler) Produksi Udara Dingin Untuk Fluida Pendingin Proses Permesinan. *Jurnal : Teknik Mesin STT Wiyorotomo Purwokerto Edisi 7 No 1 April 2015*
- Sularso, Suga, K., 2002. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sunyapa, B., A. Syuhri., A. Adib Rosyadi. 2016. Analisis Variasi Proses Milling CNC Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST41 Dengan Metode Taguchi. *Unej Jurnal Teknik Mesin*. 1(1): 1-5
- Sunaryo., Rusnaldy., Daniel. 2010. Optimasi Parameter Pemesinan Proses CNC Freis Terhadap Hasil Kekasaran Permukaan Dan Keausan Pahat Menggunakan Metode Taguchi. *Politeknosains* Vol. 9(1):11-32
- Suseno, A. 2016. Analisis variasi metode pendinginan *milling cnc* tipe vmc-1-540 pada kekasaran permukaan baja s45c dengan metode taguchi. *Unej jurnal Teknik Mesin* 2016, 1 (1): 1-3

- Suteja, T, J., S. Candra., Y. Aquarista. 2008. Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology. *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 10(1):1-7
- Triatma, Y., Sonief, A. A., dan Siswanto, E. 2014. Pengaruh Parameter Pemotongan Menggunakan Pahat End Mill pada Proses Climb Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah. Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan*. Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan*. Jilid 2. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

LAMPIRAN

Lampiran A. Perhitungan

- Kuadrat tengah

$$\text{Kuadrat Tengah} = \frac{\text{kuadrat tengah Regresi}}{dk}$$

$$\text{Kuadrat Tengah Model} = \frac{0.34}{9} = 0.038$$

- Kuadrat Tengah kedalaman pemakanan

$$\text{Kuadrat Tengah A} = \frac{0.017}{1} = 0.017$$

- Kuadrat Tengah kecepatan pemakanan

$$\text{Kuadrat Tengah B} = \frac{0.11}{1} = 0.11$$

- Kuadrat Tengah debit pendingin

$$\text{Kuadrat Tengah C} = \frac{0.008683}{1} = 0.008683$$

- Mean square residual

$$\text{Kuadrat Tengah Residual} = \frac{0.007255}{5} = 0.001451$$

- Perhitungan F hitung

$$F \text{ hitung} = \frac{\text{Mean square}}{\text{Mean square residual}}$$

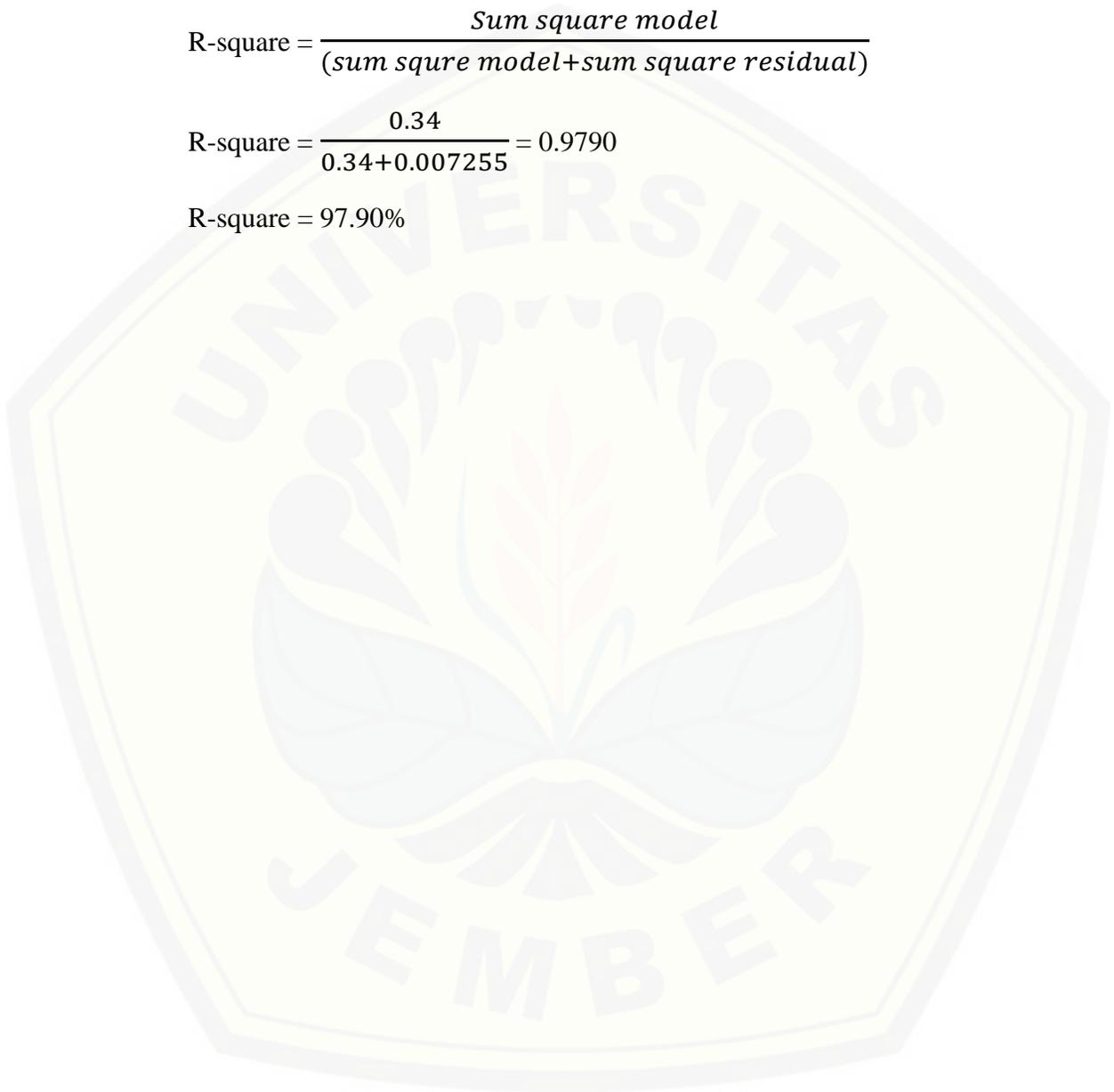
$$F \text{ hitung model} = \frac{0.038}{0.001451} = 25.85$$

- Perhitungan R-square

$$R\text{-square} = \frac{\textit{Sum square model}}{(\textit{sum squre model} + \textit{sum square residual})}$$

$$R\text{-square} = \frac{0.34}{0.34 + 0.007255} = 0.9790$$

$$R\text{-square} = 97.90\%$$



LAMPIRAN

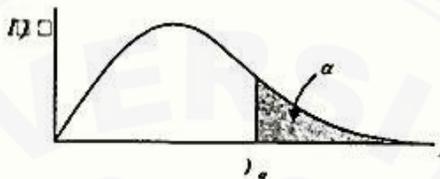
Lampiran B. Data Pengambilan Kekasaran Permukaan

no	Parameter			replikasi 1			replikasi 2			rata rata			rata rata
	Kedalaman pemakan (mm)	kecepatan pemakanan (mm/menit)	variasi pendingin (ml/detik)	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
1	0.18	180	15	0.907	1.017	1.118	1.107	1.102	0.972	1.007	1.060	1.045	1.027
2	0.26	180	15	1.131	0.941	1.104	1.226	1.252	1.049	1.179	1.097	1.077	1.160
3	0.18	300	15	1.111	1.258	1.339	1.202	1.232	1.379	1.157	1.245	1.359	1.256
4	0.26	300	15	1.414	1.358	1.354	1.329	1.324	1.461	1.372	1.341	1.408	1.386
5	0.18	240	5	1.212	1.216	1.223	1.215	1.307	1.119	1.214	1.262	1.171	1.213
6	0.26	240	5	1.236	1.314	1.542	1.443	1.322	1.423	1.340	1.318	1.483	1.362
7	0.18	240	10	1.212	1.283	1.173	1.291	1.227	1.171	1.252	1.255	1.172	1.217
8	0.26	240	10	1.473	1.388	1.356	1.471	1.362	1.301	1.472	1.375	1.329	1.378
9	0.22	180	5	1.172	1.121	1.215	1.168	1.221	1.188	1.170	1.171	1.202	1.193
10	0.22	300	5	1.416	1.643	1.461	1.503	1.473	1.452	1.460	1.558	1.457	1.462
11	0.22	180	10	1.215	1.234	1.311	1.225	1.232	1.231	1.220	1.233	1.271	1.228
12	0.22	300	10	1.484	1.521	1.667	1.492	1.447	1.487	1.488	1.484	1.577	1.474
13	0.22	240	15	1.487	1.496	1.486	1.565	1.425	1.464	1.526	1.461	1.475	1.472
14	0.22	240	15	1.493	1.473	1.696	1.472	1.561	1.638	1.483	1.517	1.667	1.561
15	0.22	240	15	1.503	1.483	1.519	1.545	1.605	1.497	1.524	1.544	1.508	1.542

LAMPIRAN

Lampiran C. Tabel Distribusi F ($\alpha = 5\%$)

Tabel Distribusi F ($\alpha = 0,05$)



ν_2	ν_1	Derajat bebas (df) pembilang (ν_1)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5
2	1	18,51	19,0	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38
3	1	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
4	1	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00
5	1	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
6	1	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
7	1	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68
8	1	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
9	1	2,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18
10	1	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
11	1	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
12	1	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80
13	1	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,93	2,77	2,71
14	1	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65
15	1	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59
16	1	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54
17	1	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49
18	1	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46
19	1	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42
20	1	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39
21	1	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37
22	1	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34
23	1	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32
24	1	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30
25	1	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28
26	1	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27
27	1	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25
28	1	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24
29	1	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22
30	1	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21
40	1	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12
60	1	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04
120	1	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96
∞	1	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88

Lanjutan Tabel A5...

ν_2	ν_1	Derajat bebas (df) pembilang (ν_1)								
		10	12	15	20	30	40	60	120	∞
1	241,9	243,9	245,9	248,0	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3	
2	19,40	19,41	19,43	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50	
3	8,79	8,74	8,70	8,66	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53	
4	5,96	5,91	5,86	5,80	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63	
5	4,74	4,68	4,62	4,56	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36	
6	4,06	4,00	3,94	3,87	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67	
7	3,64	3,57	3,51	3,44	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23	
8	3,35	3,28	3,22	3,15	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93	
9	3,14	3,07	3,01	2,94	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71	
10	2,98	2,91	2,85	2,77	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54	
11	2,85	2,79	2,72	2,65	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40	
12	2,75	2,69	2,62	2,54	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30	
13	2,67	2,60	2,53	2,46	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21	
14	2,60	2,53	2,46	2,39	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13	
15	2,54	2,48	2,40	2,33	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07	
16	2,49	2,42	2,35	2,28	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01	
17	2,45	2,38	2,31	2,23	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96	
18	2,41	2,34	2,27	2,19	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92	
19	2,38	2,31	2,23	2,16	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88	
20	2,35	2,28	2,20	2,12	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84	
21	2,32	2,25	2,18	2,10	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81	
22	2,30	2,23	2,15	2,07	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78	
23	2,27	2,20	2,13	2,05	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76	
24	2,25	2,18	2,11	2,03	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73	
25	2,24	2,16	2,09	2,01	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71	
26	2,22	2,15	2,07	1,99	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69	
27	2,20	2,13	2,06	1,97	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67	
28	2,19	2,12	2,04	1,96	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65	
29	2,18	2,10	2,03	1,94	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64	
30	2,16	2,09	2,01	1,93	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62	
40	2,08	2,00	1,92	1,84	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51	
60	1,99	1,92	1,84	1,75	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39	
120	1,91	1,83	1,75	1,66	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25	
∞	1,83	1,75	1,67	1,57	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00	

Lampiran D. Optimasi Kekasaran Permukaan

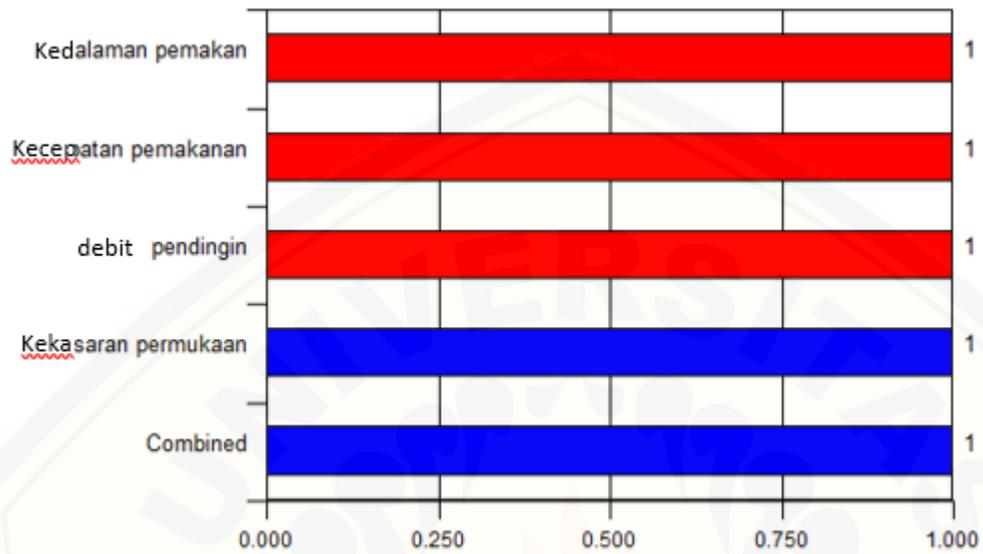
1 *Constraints*

		Lower	Upper	Lower	Upper	
Name	Goal	Limit	Limit	Weight	Weight	Importance
A:kedalaman pemakanan	is in range	0.18	0.26	1	1	3
B:kecepatan pemakanan	is in range	180	300	1	1	3
C:debit pendingin	is equal to 10	5	15	1	1	3
kekasaran permukaan	minimize	1.027	1.561	1	1	3

2 *Solutions*

No	kedalaman pemakanan	kecepatan pemakanan	debit pendingin	kekasaran permukaan	Desirability	
1	0.180	180.000	10.000	1.027	1.000	dipilih
2	0.180	180.000	10.000	1.035	0.986	
3	0.258	180.000	10.000	1.038	0.979	
4	0.259	180.000	10.000	1.046	0.965	
5	0.259	180.000	10.000	1.059	0.941	
6	0.181	180.000	10.000	1.064	0.930	
7	0.181	180.000	10.000	1.068	0.924	
8	0.180	181.809	10.000	1.068	0.923	
9	0.180	185.416	10.000	1.087	0.887	
10	0.260	300.000	10.000	1.175	0.723	
11	0.180	265.812	10.000	1.252	0.579	
12	0.260	300.000	10.000	1.404	0.295	

4 Bar Graph (Desirability)



Lampiran E. Foto Benda Kerja

- Foto benda kerja replikasi 1



No 1



No 2



No 3



No 4



No 5



No 6



No 7



No 8



No 9



No 10



No 11



No 12



No 13



No 14



No 15

- Foto Benda Kerja replikasi 2



No 1



No 2



No 3



No 4



No 5



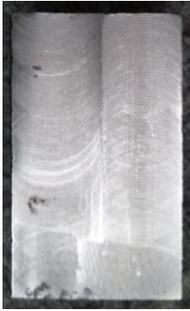
No 6



No 7



No 8



No 9



No 10



No 11



No 12



No 13



No 14



No 15