



**ANALISIS VARIASI METODE PENDINGINAN MILLING CNC TIPE VMC-  
L-540 PADA KEKASARAN PERMUKAAN S45C  
DENGAN METODE TAGUCHI**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Agung Suseno  
NIM 121910101103**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**



**ANALISIS VARIASI METODE PENDINGINAN *MILLING CNC* TIPE *VMC-L-540* PADA KEKASARAN PERMUKAAN S45C  
DENGAN METODE *TAGUCHI***

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Agung Suseno  
NIM 121910101103**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Elok Sayektiasih dan Ayahanda Mathari yang tercinta serta selalu memberikan do'a, dukungan, kepercayaan, dan memberikan kasih sayang dan pengorbanan selama ini;
2. Adikku Jeffri Sugeng Prakoso yang selalu memberikan semangat;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
5. Rekan-rekan di Jurusan Teknik Mesin terutama angkatan 2012 yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan do'anya **Solidarity Forever**.

**MOTO**

“Tiap-tiap umat mempunyai batas waktu, maka apabila telah datang waktunya mereka tidak dapat mengundurkannya barang sesaatpun dan tidak dapat (pula) memajukannya”

(Terjemahan Surah Ar-‘A’raf ayat 34)

“Jika anda ingin meraih sukses, hindarilah untuk berfikir tentang kegagalan, namun berfikir dan berusaha untuk berhasil”

(Anonim)

*“If you born poor, it’s not your mistake but if you die poor it’s your mistake”*

(Bill Gates)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Agung Suseno

NIM : 121910101103

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Variasi Metode Pendinginan *Milling CNC* Tipe *VMC-L-540* Pada Kekasaran Permukaan S45C Dengan Metode *Taguchi*” 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, 01 November 2016

Yang menyatakan,

Agung Suseno

NIM 121910101103

**SKRIPSI**

**ANALISIS VARIASI METODE PENDINGINAN *MILLING CNC* TIPE *VMC-L-540* PADA KEKASARAN PERMUKAAN *S45C*  
DENGAN METODE *TAGUCHI***

Oleh

Agung Suseno

NIM 121910101103

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. R. Koekoeh K. W., S.T, M.Eng.

Dosen Pembimbing Anggota : Hari Arbiantara S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “*Analisis Variasi Metode Pendinginan Milling CNC Tipe VMC-L-540 Pada Kekasaran Permukaan S45C dengan Metode Taguchi*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Jum’at, 21 Oktober 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA),

Dr. R. Koekoeh K W., S.T, M.Eng.  
NIP 19670708 199412 1 001

Hari Arbiantara S.T., M.T.  
NIP 19670924 199412 1 001

Penguji I,

Penguji II,

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

Dr. Gaguk Djatisukamto S.T., M.T.  
NIP 1969029 199802 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

## RINGKASAN

**Analisis Variasi Metode Pendinginan *Milling* CNC Terhadap Kekasaran Permukaan S45C dengan Metode Taguchi**; Agung Suseno, 121910101103; 2016; 69 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam proses *milling*, kekasaran permukaan adalah hal yang sangat penting. Dari kekasaran permukaan ini dapat dilakukan evaluasi apakah benda kerja dapat diterima atau tidak. Semakin rendah kekasaran permukaan suatu benda kerja maka kualitas benda kerja tersebut akan semakin baik. Kekasaran permukaan yang semakin tinggi akan mengakibatkan kinerja komponen pasangan benda kerja ini sangat penting untuk komponen-komponen elemen mesin yang saling bergesekan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi metode pendinginan, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil proses permesinan *milling* CNC. Serta mengetahui parameter manakah yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimal pada proses permesinan *milling* CNC dengan menggunakan metode taguchi.

Pemilihan jenis *Orthogonal Array* berdasarkan jumlah parameter kendali yang akan digunakan dan jumlah level dari setiap parameter kendali. Terdapat 3 buah parameter kendali yang akan digunakan. Sedangkan jumlah level yang akan digunakan adalah 3 buah setiap parameter kendali. Oleh karena itu, program *Orthogonal Array* L9 yang dipilih.

Penelitian ini dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dalam satu kombinasi parameter. Kemudian pengambilan data nilai kekasaran permukaan dilakukan secara horisontal pada permukaan benda kerja dengan pengambilan data sebanyak 3 (tiga) kali pada benda kerja.

Hasil dari analisis statistik membuktikan bahwa pada variabel putaran *spindle* terbukti memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan dengan nilai persen kontribusi sebesar 60,708 %. Pada variabel kecepatan pemakanan terbukti tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan



dengan nilai persen kontribusi sebesar 15,768 %. Sedangkan untuk variabel kedalaman pemakanan terbukti tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan karena variabel telah dilakukan *pooling* dengan nilai persen kontribusi sebelum dilakukannya *pooling* sebesar -6,728%.

Sedangkan kombinasi yang optimum untuk tingkat kekasaran permukaan yang terendah dapat diperoleh dengan kombinasi faktor metode pendinginan “kabut” (faktor A level 3), kecepatan pemakanan 180 mm/menit (faktor B level 1), dan kedalaman pemakanan 0,200 mm (faktor C level 1).

## SUMMARY

***Analysis Of Cooling Method Variation Of Vmc-L-540 Milling On The S45C Surface Roughness By Taguchi Method***; Agung Suseno, 121910101103; 2016; 69 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

*In the process of milling, surface roughness is a very important thing. From this surface roughness can be evaluated whether the workpiece is acceptable or not. The lower the roughness of the surface of a workpiece, the quality of the workpiece, the better. The higher the surface roughness will result in the performance of the component couples the workpiece is very important for the components rub against each other machine elements.*

*This study aims to determine the effect of variations in cooling method, feed rate, and depth of cut on the level of surface roughness of machining CNC milling process. Which knowing well as parameters that produce optimal surface roughness values on CNC milling machining process using the Taguchi method.*

*Orthogonal Array type selection based on the number of control parameters to be used and the number of levels of each parameter control. There are three pieces of the control parameters to be used. While the number of levels that will be used is three pieces each parameter control. Therefore, the program selected Orthogonal Array L9.*

*This research was done three times repetition in a combination of parameters. Then the surface roughness value data retrieval is done horizontally on the surface of the workpiece by collecting data for three times in the workpiece.*

*Results of statistical analysis proves that the variable cooling method proven to provide significant influence on the surface roughness value per cent contribution of 60,708 %. At the feed rate variable proven did not leave a significant influence on the surface roughness value per cent contribution of 15,768 %. As for variable depth of cut proved did not leave a significant influence on the surface roughness because the*

*variables have been done by a percent value contribution pooling prior to pooling at -6,728 %.*

*The optimum combination of low levels of surface roughness can be obtained by a combination of factors cooling method “mist” (factor A level 3), feeds rate of 180 mm/min (factor B level 1), and depth of cut 0,200 mm (factor C level 1).*



## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Variasi Metode Pendinginan *Milling CNC* Tipe VMC-L-540 Terhadap Kekasaran Permukaan S45C dengan Metode Taguchi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Dr. R. Koekoeh K. W., S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Hari Arbiantara S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini;
3. Ir. Ahmad Syuhri, M.T. dan Dr. Gaguk Djatisukamto S.T., M.T. selaku Dosen Penguji;
4. Semua dosen Teknik Mesin yang tidak bisa disebutkan satu demi satu, terimakasih atas semua pengajaran dan bimbingan, semangat dan waktu yang telah diberikan;
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 juga menerima kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 01 November 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Mesin Frais (Milling) Konvensional</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 Klasifikasi Proses Milling .....	<b>5</b>
2.1.2 Prinsip Kerja Mesin Frais (Milling) .....	<b>6</b>
2.1.3 Mesin Frais (Milling) CNC .....	<b>7</b>
2.1.4 Prinsip Kerja Mesin Frais (Milling) CNC .....	<b>8</b>
2.1.5 Bagian – Bagian Utama Mesin Frais (Milling) CNC .....	<b>9</b>
<b>2.2 Parameter Pengoperasian Mesin Frais (Milling)</b> .....	<b>13</b>

2.3.1 Putaran Spindel (Spindle Speed) .....	13
2.3.2 Kecepatan Pemakanan (Feed Rate) .....	14
2.3.3 Kedalaman Pemakanan (Depth Of Cut) .....	14
<b>2.3 Kekasaran Permukaan .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Laju Pendinginan .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Pendingin Yang Digunakan .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Metode Pendinginan .....</b>	<b>22</b>
<b>2.7 Metode Taguchi .....</b>	<b>25</b>
2.7.1 Tahapan Dalam Metode Taguchi .....	26
2.7.2 Analisis Dalam Metode Taguchi .....	27
2.7.3 Istilah Dalam Metode Taguchi .....	29
<b>2.8 Hipotesa .....</b>	<b>33</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Alat Dan Bahan .....</b>	<b>35</b>
3.2.1 Alat Penelitian .....	35
3.2.2 Bahan .....	40
<b>3.3 Pelaksanaan Percobaan .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4 Pengambilan Data .....</b>	<b>44</b>
<b>3.5 Jenis Orthogonal Array .....</b>	<b>45</b>
<b>3.6 Variabel Pengukur .....</b>	<b>46</b>
3.6.1 Variabel Bebas .....	46
3.6.2 Variabel Terikat .....	46
<b>3.7 Data Percobaan .....</b>	<b>46</b>
<b>3.8 Metode Analisis .....</b>	<b>47</b>
<b>3.9 Diagram Alir Penelitian .....</b>	<b>50</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1 Data Hasil Pengujian .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2 Analisis Data Kekasaran Permukaan .....</b>	<b>52</b>

4.2.1 Perhitungan Signal to Noise Ratio .....	52
4.2.2 Perhitungan ANOVA untuk Signal to Noise Ratio .....	55
4.2.3 Prediksi Signal to Noise Ratio yang Optimal .....	61
<b>4.3 Analisis Pengaruh Variabel Proses Terhadap Kekasaran .....</b>	<b>62</b>
4.3.1 Variasi Metode Pendinginan dengan Kekasaran Permukaan .....	62
4.3.2 Variasi Kecepatan Pemakanan dengan Kekasaran Permukaan .....	64
4.3.3 Variasi Kedalaman Pemakanan dengan Kekasaran Permukaan .....	65
4.3.4 Analisis Kekasaran Permukaan untuk Signal to Noise .....	66
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>68</b>
5.1 Kesimpulan .....	68
5.2 Saran .....	68

**DAFTAR PUSATAKA**

**LAMPIRAN**

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Standarisasi simbol nilai kekasaran menurut ISO .....	17
2.2 Pekerjaan akhir dan kekasaran permukaan Ra menurut ISO .....	18
2.3 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya.....	19
2.4 Komposisi dan Sifat Kimia <i>Dromus Oil</i> .....	22
2.5 Contoh <i>Orthogonal Array</i> untuk $L_8(2^7)$ .....	30
3.1 Spesifikasi <b>Surface Roughness Tester 220</b> .....	39
3.2 Kecepatan makan Bahan.....	40
3.3 Unsur Kimia JIS G 4051. Baja karbon untuk konstruksi mesin.....	41
3.4 Mekanis Standar JIS G 4051. Baja karbon untuk konstruksi mesin .....	41
3.5 Parameter kendali dan level untuk <i>Orthogonal Array L9</i> .....	45
3.6 <i>Orthogonal Array</i> untuk taguchi L9 .....	45
3.7 Daftar variabel bebas dan level .....	46
3.8 Data percobaan hasil pengujian .....	46
4.1 Data pengujian kekasaran permukaan.....	51
4.2 Hasil Perhitungan Rasio S/N.....	53
4.3 Respon rata – rata kekasaran permukaan untuk rasio S/N.....	54
4.4 Hasil analisis varian untuk Rasio S/N .....	58
4.5 Hasil pooling untuk analisis varian .....	59
4.6 Data hasil penelitian .....	62
4.7 Hubungan metode pendinginan dengan kekasaran permukaan .....	62
4.8 Hubungan kecepatan pemakanan dengan kekasaran permukaan .....	64
4.9 Hubungan kedalaman pemakanan dengan kekasaran permukaan .....	65
4.10 Respon rata – rata untuk tiap faktor .....	67



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Gambar Skematik Dari Mesin Frais .....	5
2.2 Klasifikasi Proses Frais.....	6
2.3 Sistem Koordinat Cartesius.....	8
2.4 Skema pergerakan koordinat mesin milling CNC .....	8
2.5 Metode pemrogramanCNC .....	9
2.6 Motor utama.....	9
2.7 Skema gerakan persumbuan mesin CNC.....	10
2.8 Step Motor .....	10
2.9 Toolholder.....	11
2.10 Collet .....	11
2.11 Ragum .....	12
2.12 Bagian pengendali.....	12
2.13 Profil permukaan.....	15
3.1 Mesin Milling CNC FOCUS ESEMKA VMC – L540 .....	35
3.2 Spray Gun .....	37
3.3 Kompresor .....	38
3.4 Botol air mineral bekas, Gelas ukur dan Selang .....	38
3.5 Surface Roughness Tester .....	38
3.6 Pahat End Mill HSS.....	40
3.7 Benda kerja sebelum proses milling CNC .....	42
3.8 Benda kerja setelah proses milling CNC .....	43
3.9 Proses pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja .....	44
3.10 Flowchart Penelitian .....	50
4.1 Hubungan metode pendinginan dengan kekasaran permukaan .....	63
4.2 Hubungan kecepatan pemakanan dengan kekasaran permukaan .....	65
4.3 Hubungan kedalaman pemakanan dengan kekasaran permukaan .....	66

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur saat ini perkembangan dan kemajuan proses pemesinan berlangsung sangat pesat. Kebutuhan manusia yang semakin meningkat dan beraneka ragam memicu berkembangnya teknologi pada bidang industri pemesinan. Industri pemesinan dikenal beberapa macam pengerjaan seperti pembubutan, pengefraisan, pengeboran, penggerindaan, dan lain-lain. Letak perbedaan dari proses-proses tersebut adalah cara kerja dan hasilnya. Industri pemesinan banyak mengalami permasalahan, yaitu bagaimana menghasilkan produk yang berkualitas dan bagaimana memprediksi biaya pemesinan. 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. Komputer telah diaplikasikan ke dalam alat – alat mesin perkakas diantaranya mesin bubut, mesin frais, 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. 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. Era modern saat ini banyak industri mulai meninggalkan mesin-mesin perkakas konvensional dan beralih menggunakan mesin-mesin perkakas.

Abbas *et al.*, (2013) meneliti yang berbunyi “Pada proses pemesinan ukuran kualitas banyak dilihat dari kekasaran permukaan yang dihasilkan. Tingkat kekasaran permukaan menjadi parameter kualitas utama dari setiap proses pemesinan”. Kekasaran permukaan (*surface roughness*) suatu produk pemesinan dapat mempengaruhi beberapa fungsi produk tersebut seperti gesekan permukaan,

perpindahan panas, kemampuan penyebaran pelumasan, pelapisan, dan lain-lain (Lesmono dan Yunus, 2001). Secara garis besar tingkat kekasaran permukaan bergantung kepada parameter pemesinan, diantaranya kecepatan spindle, kecepatan pemakanan (*Feeding*), kecepatan potong, kedalaman pemakanan, gerak pemakanan, pendinginan, karakteristik pahat, dan lain- lain.

Wang dan Chang (2004) menganalisis pengaruh kecepatan potong, kecepatan makan, kedalaman potong dan geometri pahat terhadap kekasaran permukaan ketika melakukan *slot end milling* pada Al2014-T6. M.Y. dan Chang H.Y. (2004) menganalisis pengaruh pemberian media pendingin pada kekasaran permukaan. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa untuk kondisi tanpa media pendingin, kekasaran permukaan sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong, kecepatan makan, dan geometri pahat. Sedangkan untuk kondisi dengan media pendingin, faktor yang sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah kecepatan makan dan geometri pahat. Proses dengan menggunakan media pendingin menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih halus dibandingkan tanpa media pendingin. Bernardos dan Vosniakos (2002) menganalisis hubungan antara kedalaman pemotongan, kecepatan makan per gigi, kecepatan potong, pahat, media pendingin dan gaya potong dengan kekasaran permukaan pada pemesinan *milling* paduan aluminium. Faktor yang sangat berpengaruh adalah kecepatan makan, gaya potong, kedalaman potong dan penggunaan media pendingin. Semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka akan membuat beban pada saat melakukan penyayatan semakin tinggi, sehingga pahat akan bergetar lebih tinggi dan menyebabkan kekasaran permukaan semakin rendah. Kedalaman pemakanan pada proses pemesinan yang rendah membuat beban pada saat melakukan penyayatan semakin kecil menyebabkan pahat tidak akan terlalu bergetar ketika melakukan penyayatan dan membuat kekasaran permukaan menjadi rendah (Triatma *et al.*, 2014).

Proses produksi harus memperhatikan kualitas produk yang mempengaruhi kekasaran permukaan. Faktor penentu yang mempengaruhi kekasaran permukaan salah satunya yaitu variasi penggunaan media pendingin (*coolant*). Media pendingin mempunyai kegunaan khusus dalam proses pemesinan, yaitu untuk memperpanjang

umur pahat, media pendingin juga terbukti dapat memperhalus permukaan benda kerja hasil produksi. Nuret *et al.* (2008) menyatakan bahwa media pendingin pada proses pemesinan sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja sehingga dapat meningkatkan kualitas produk. Rochim (2007) menyatakan bahwa dalam beberapa kasus, media pendingin juga dapat berfungsi sebagai pelumas untuk mengurangi gaya potong dan memperhalus permukaan. Oleh karena itu dibutuhkan beberapa variasi metode pendinginan seperti dikururkan, disemprotkan dan dikabutkan terhadap kekasaran permukaan S45C.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka perumusan masalah dari penelitian ini yang difokuskan pada kekasaran permukaan hasil pemesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540* adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh metode pendinginan (*cooling method*), kecepatan pemakanan (*feed rate*), dan kedalaman pemakanan (*depth of cut*) terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil proses pemesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*?
2. Bagaimanakah *setting* parameter-parameter tersebut agar menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimal pada proses pemesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540* dengan menggunakan metode taguchi?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka perumusan masalah dari penelitian ini yang difokuskan pada kekasaran permukaan hasil pemesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540* adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh metode pendinginan, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil proses pemesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*

2. Mengetahui *setting* parameter-parameter tersebut yang dapat menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimal pada proses permesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540* dengan menggunakan metode taguchi.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Dapat mengetahui hubungan pengaruh dari metode pendinginan kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan S45C pada proses pemesinan *milling*.
2. Dapat memberikan informasi kepada dunia industri manufaktur bahwa kombinasi parameter manakah yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimal pada proses permesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*.

#### 1.5 Batasan Masalah

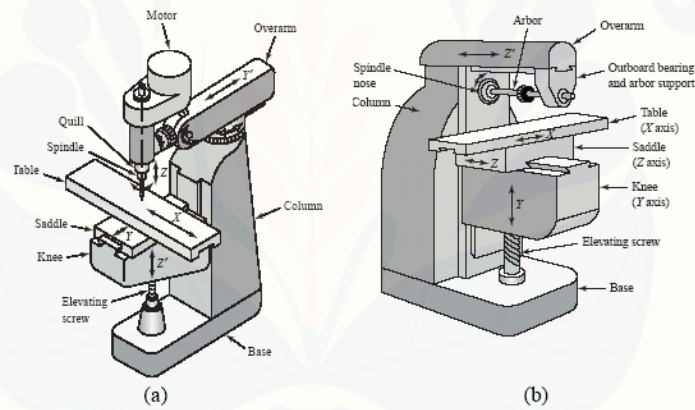
Batasan masalah dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak mengamati proses terjadinya geram.
2. Tidak mengamati getaran yang terjadi pada saat proses pemesinan.
3. Debit media pendingin yang keluar pada proses pendinginan ditentukan, yakni 5 ml/detik.
4. Kecepatan putar *spindle* terhadap kepresisian mesin 1200 rpm.
5. Media pendingin yang di gunakan yaitu media pendingin *Dromus* dicampur dengan air dengan perbandingan komposisi 1: 10.
6. Hanya meneliti pengaruh variasi penggunaan media pendingin terhadap kekasaran permukaan S45C dengan menggunakan mesin CNC *milling tipe Fokus Esemka VMC-L-540*.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Mesin Frais (*Milling*) Konvensional

Proses pemesinan frais adalah proses penyayatan benda kerja dengan alat potong dengan mata 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. Mesin yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pahat, dan penyayatannya disebut mesin frais (*Milling Machine*), Gambar 2.1 berikut merupakan gambar dari mesin frais:

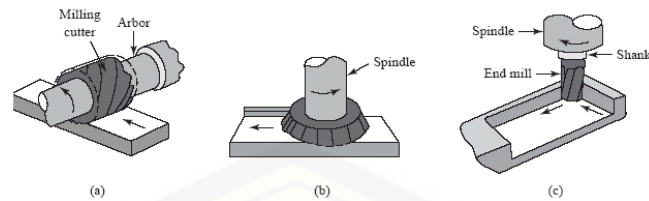


(a) Mesin frais vertikal dan (b) Mesin frais horisontal

Gambar 2.1 Gambar skematik dari mesin frais (Sumber: Widarto, 2008)

#### 2.1.1 Klasifikasi Proses *Milling*

Proses frais 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.



(a) Frais periperal/*slab milling*; (b) Frais muka/*face milling*; (c) Frais jari/*end milling*

Gambar 2.2 Klasifikasi proses frais (Sumber: Widarto, 2008)

#### a. Frais Periperal (*Peripheral Milling*)

Proses frais ini disebut juga *slabmilling*, permukaan yang difrais 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. Frais muka (*Face Milling*)

Pada frais muka, pahat dipasang pada *spindle* yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses frais dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pahat.

#### c. Frais jari (*End Milling*)

Pahat pada proses frais 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.

### 2.1.2 Prinsip Kerja Mesin Frais (*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 putarpada *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.

### 2.1.3 Mesin Frais (*Milling*) CNC

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.

Perkembangan teknologi komputer saat ini telah mengalami kemajuan yang amat pesat. Dalam hal ini komputer telah diaplikasikan ke dalam alat-alat mesin perkakas di antaranya Mesin Bubut, Mesin Frais, Mesin Skrap, Mesin Bor, dll. 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 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. Mesin CNC tingkat dasar yang ada pada saat ini dibagi menjadi dua kelompok, yaitu Mesin CNC *TwoAxis* atau yang lebih dikenal dengan Mesin Bubut (*Lathe Machine*) dan Mesin CNC *Three Axis* atau yang lebih dikenal dengan Mesin Frais (*Milling Machine*).

#### 2.1.4 Prinsip Kerja Mesin Frais (*Milling*) CNC

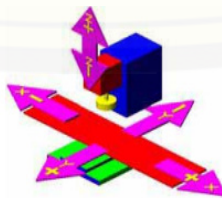
Gerakan Mesin Frais CNC dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini adalah mesin memungkinkan untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama pula. Mesin Frais (*Milling*) CNC menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat *cartesius*, berikut Gambar 2.3 merupakan gambar dari sistem koordinat Cartesius:



Gambar 2.3 Sistem koordinat *cartesius* (Sumber: Widarto, 2008)

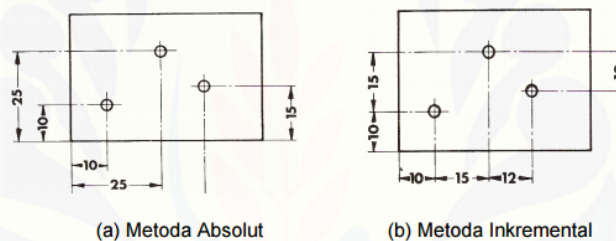
Prinsip kerja mesin *milling* CNC adalah meja bergerak melintang dan horizontal sedangkan pisau/pahat berputar, lihat pada Gambar 2.4. Untuk arah gerak persumbuan mesin frais tersebut diberi lambang persumbuan sebagai berikut:

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



Gambar 2.4 Skema pergerakan koordinat mesin *milling* CNC (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 2.5 dapat dilihat gambar metode pemrograman absolut dan inkremental.

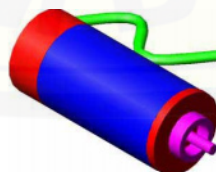


Gambar 2.5 Metode pemrograman CNC (Sumber: Direktorat Pembinaan SMK, 2013)

### 2.1.5 Bagian-bagian Utama Mesin Frais (*Milling*) CNC

#### a. Motor Utama

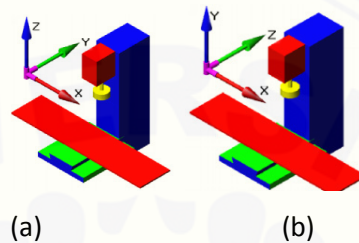
Motor utama adalah motor penggerak cekam untuk memutar benda kerja. Motor ini adalah jenis motor arus searah / DC (*Direct Current*) dengan kecepatan putaran yang variabel. Berikut Gambar 2.6 merupakan gambar dari motor utama mesin frais.



Gambar 2.6 Motor utama (Sumber: Widarto, 2008)

b. 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 2.7 dapat dilihat gambar dari gerak persumbuan jalannya mesin.

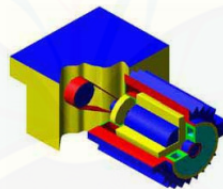


(a) Posisi vertikal dan (b) Posisi horizontal

Gambar 2.7 Skema gerakan persumbuan mesin CNC (Sumber: Widarto, 2008)

c. 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 2.8 merupakan gambar dari step motor.



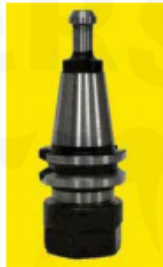
Gambar 2.8 Step Motor (Sumber: Widarto, 2008)

d. Rumah Alat Potong

Rumah alat potong digunakan untuk menjepit *tool holder* (alat potong) pada saat proses pengerjaan benda kerja. Sumber putaran rumah alat potong dihasilkan dari motor utama, dengan kecepatan putaran 300-200 RPM (*revolution per minute*). Pada mesin jenis *training unit* rumah alat potong hanya memungkinkan memegang satu alat, berbeda dengan jenis *production unit* yang dilengkapi alat semacam *revolver*, sehingga memungkinkan untuk membawa lebih dari satu *toolholder*.

e. Penjepit Alat Potong

Penjepit alat potong atau *tool holder* 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 *tool holder* dilengkapi sebuah alat bantu pencekaman. Berikut Gambar 2.9 merupakan gambar dari penjepit potong atau *tool holder*.



Gambar 2.9 *Toolholder* (Sumber: Widarto, 2008)

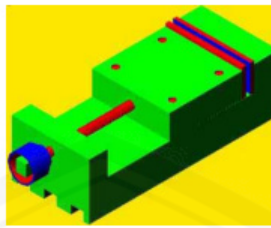
Alat bantu tersebut berfungsi untuk memperkuat pencekaman dari *tool holder*. Alat bantu tersebut dinamakan *collet*. *Collet* terbuat dari bahan logam, dimana diameter lubang pada *collet* sesuai dengan besarnya diameter pisau, seperti pada Gambar 2.10 merupakan gambar dari *collet*.



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

f. Ragum

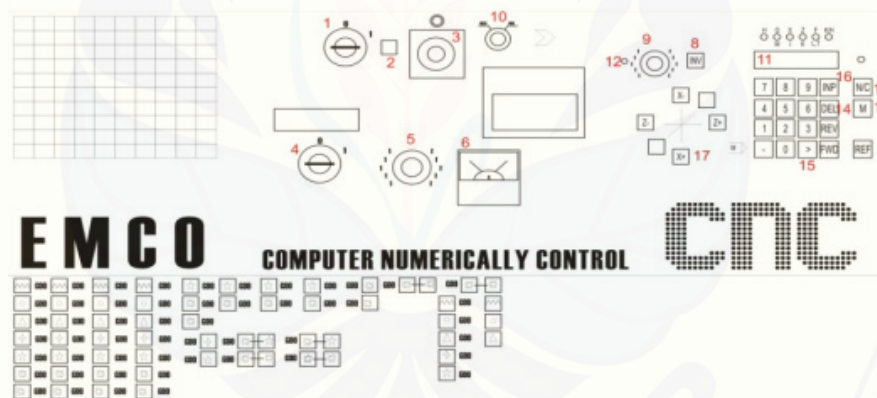
Ragum pada mesin CNC berfungsi untuk menjepit benda kerja pada saat proses penyayatan. Ragum pada mesin ini dilengkapi dengan sebuah *stopper*. Ragum bisa diganti sesuai kebutuhan. Ragum pada mesin ini dioperasikan secara manual. Pada Gambar 2.11 dapat dilihat gambar dari ragum.



Gambar 2.11 Ragum (Sumber: Widarto, 2008)

g. Pengendali/Kontrol

Bagian pengendali/kontrol merupakan bak kontrol mesin CNC yang berisikan tombol-tombol dan saklar serta dilengkapi dengan monitor. Pada kotak kontrol merupakan unsur layanan langsung yang berhubungan dengan operator. Pada Gambar 2.12 menunjukkan secara visual dengan nama-nama bagian pengendali/kontrol.



Gambar 2.12 Bagian pengendali (Sumber: Widarto, 2008)

Keterangan:

1. Saklar utama
2. Lampu kontrol saklar utama
3. Tombol emergensi
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

## 2.2 Parameter Pengoperasian Mesin Frais (*Milling*)

Parameter yang dapat langsung diatur oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan mesin frais. 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 yang ada di mesin. Gerak makan ini pada proses frais 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 frais (*milling*).

### 2.2.1 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 frais 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<sub>c</sub> = Kecepatan potong (m/menit)
- d = Diameter pisau (mm)

### 2.2.2 Kecepatan Pemakanan (*feed rate*)

Pada umumnya mesin frais, dipasang tabel kecepatan pemakanan atau *feeding* dalam satuan mm/menit. Jadi misalnya pada mesin disetel setel kecepatan pemakanan pisau frais sebesar 28 mm/menit, artinya kecepatan pemakanan pisau frais sebesar 28 mm/menit. Makin kecil kecepatan pemakanan pisau frais, 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)

### 2.2.3 Kedalaman Pemakanan (*Depth of Cut*)

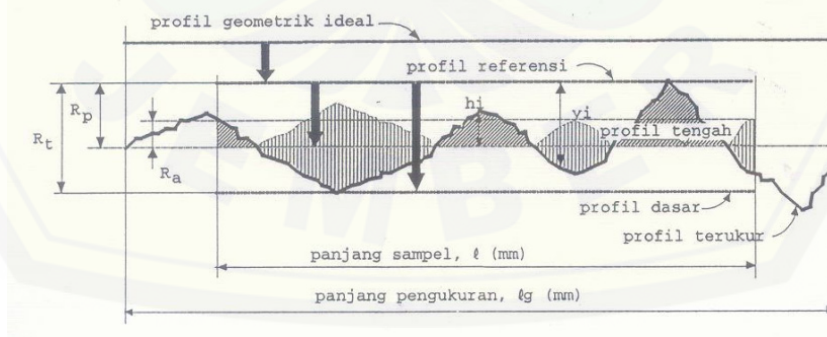
Kedalaman potong (a) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir. Untuk kedalaman potong yang relatif besar diperlukan perhitungan daya potong yang diperlukan untuk proses penyayatan.

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.

### 2.3 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidak teraturan 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 2.13 merupakan gambar dari profil permukaan.



Gambar 2.13 Profil permukaan (Sumber: Rochim, 2007)



Berdasarkan Gambar 2.13 dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah melintang. Untuk arah tegak dikenal beberapa parameter:

- Kekasaran total  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas
- Kekasaran perataan  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil terukur
- Kekasaran rata-rata aritmatik  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah

$$R_a = \frac{y_a + y_b + y_c + \dots + y_n}{n} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$y$  = Jarak absolute antara profil ukur dengan profil tengah

$n$  = Banyak simpangan

- Kekasaran rata-rata kuadratik  $R_q$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah

$$R_q = \sqrt{\frac{y_a^2 + y_b^2 + y_c^2 + \dots + y_n^2}{n}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$Y$  = Jarak absolute antara profil ukur dengan profil tengah

$n$  = Banyak simpangan

- Kekasaran total rata-rata  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ), 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.

$$R_z = \sum \frac{[R_1 + R_2 + \dots + R_5 - R_6 \dots - R_{10}]}{5} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$R_{n1}$  = Jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi

$R_{n2}$  = 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 klarifikasikan menjadi 12 angka kelas kekasaran seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Standarisasi simbol nilai kekasaran menurut ISO

Harga Kekasaran, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Angka Kekasaran	Panjang Sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2,5
6,3	N9	
3,2	N8	0,8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0,25
0,1	N3	
0,05	N2	
0,025	N1	0,08

Sumber: Atedi dan Agustono (2005).

Dalam proses pemesinan pada pengerjaan akhir untuk menentukan kekasaran permukaan obyek yang dikerjakan oleh pemesinan *milling* dimana kekasaran permukaan rata-rata  $R_a$  yang distandarkan harus mencapai nilai antara 0,8 - 6,4  $\mu\text{m}$  (DIN 4768 Part 2), seperti yang terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pekerjaan akhir proses pemesinan dan kekasaran permukaan Ra menurut ISO (*International Organization for Standardization*) 4768

Proses	Kekasaran Permukaan, Ra ( $\mu\text{m}$ )									
	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25,0
Superfinishing										
Lapping										
Polihing										
Honing										
Grinding										
Boring										
Turning										
Drilling										
Extruding										
Drawing										
Milling										
Shaping										
Planing										

Sumber: Atedi dan Agustono (2005).

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 468. Panjang sampel pengukuran disesuaikan dengan angka kekasaran yang dimiliki oleh suatu permukaan. Apabila panjang sampel tidak dicantumkan di dalam penulisan simbol

berarti panjang sampel 0,8 mm (bila diperkirakan proses pemesinannya halus sampai sedang) dan 2,5 mm (bila diperkirakan proses pemesinannya kasar) (Rochim, 2007).

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 frais. 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 ( $\mu\text{m}$ )
<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: Atedi dan Agustono (2005)

Kekasaran permukaan juga dapat dipengaruhi oleh beberapa hal seperti getaran yang terjadi saat proses pemesinan, penumpukan geram akibat rendahnya kecepatan potong, dll. Kecepatan potong merupakan kemampuan menyayat yang bisa dilakukan dalam tiap satuan waktu (m/min), yang mana menurut Rochim (2007) kecepatan potong yang rendah dapat menghambat aliran geram dan bila daya adhesi atau afinitas antar material benda kerja dan material pahat cukup kuat, akan terjadi penumpukan lapisan material benda pada bidang geram atau biasa disebut BUE (*built up edge*). Saat BUE terkelupas sebagian akan terbawa geram namun sebagian akan menempel pada benda kerja sehingga permukaan akan menjadi lebih kasar. Rochim (2007) juga mengemukakan bahwa menaikkan kecepatan potong akan membuat BUE

tidak terbentuk sehingga kekasaran yang disebabkan akan menurun, dan kekasarannya hanya akan disebabkan oleh jejak bekas gerak makan pahat. Menurut Suhardjono (2004), Getaran timbul akibat transfer gaya siklik melalui elemen-elemen mesin yang ada, dimana elemen-elemen tersebut saling beraksi satu sama lain dan energi didesipasi melalui struktur dalam bentuk getaran. Kerusakan atau keausan serta deformasi akan mengubah karakteristik dinamik sistem dan cenderung meningkatkan energi getaran.

#### **2.4 Laju Pendinginan**

Laju pendinginan yang terjadi pada suatu benda kerja tergantung pada beberapa faktor terutama:

- Jenis media pendinginnya
- Temperatur media pendingin
- Kuatnya sirkulasi pada media pendingin

Karena hanya permukaan benda kerja saja yang berhubungan langsung dengan media pendingin, maka rasio antara luas permukaan dengan berat benda kerja menjadi faktor penting yang ikut menentukan laju pendinginan benda kerja. Luas permukaan ini merupakan fungsi dari bentuk geometris dan ukuran benda kerja. Rasio yang besar akan menjadikan laju pendinginan benda kerja tinggi. Benda kerja berbentuk pelat akan lebih cepat menjadi dingin daripada yang berbentuk bola, karena pelat mempunyai angka perbandingan luas permukaan per berat yang lebih besar. Bentuk yang sama, dengan ukuran yang lebih besar akan memperkecil angka perbandingan luas permukaan per berat. Dengan demikian jika didinginkan dalam media pendingin yang sama laju pendinginannya yang terjadi akan lebih rendah. Media pendingin yang baik adalah yang mempunyai kemampuan menurunkan panas (waktu pendinginan) yang tinggi. Sehingga waktu pendinginan pada baja dapat digambarkan sebagai fungsi antara waktu dan media pendingin.

Pendinginan dengan minyak berlangsung lebih lambat jika dibandingkan ketika pendinginan menggunakan media air. Sehingga kecenderungan terjadinya kerusakan minimum. Transfer panas yang terjadi ketika baja yang telah dipanaskan bersentuhan dengan media pendingin, tidak merata dari setiap permukaan atau batang baja sehingga kekerasannya juga tidak merata. Pada bagian yang secara langsung bersentuhan dengan media pendingin mempunyai kekerasan yang paling tinggi dan semakin jauh dari bidang sentuhan kekerasannya semakin berkurang. Waktu pendinginan juga mempengaruhi ukuran butir penyusunnya. Semakin cepat waktu pendinginan, maka butiran yang terbentuk semakin kecil. Pada penelitian ini subyek baja S45C diberi dengan media pendingin air ditambah *dromus oil* dengan perbandingan komposisi 1:10.

Hal-hal yang mempengaruhi kecepatan pendinginan pada media pendingin adalah sebagai berikut:

a. *Viskositas*

*Viskositas* merupakan kekentalan atau tingkat kekentalan yang dimiliki suatu *fluida* atau zat cair. Semakin tinggi angka *viskositasnya*, maka semakin lambat laju pendinginannya. Misalnya pada oli atau air garam, dimana air garam memiliki tingkat *viskositas* yang rendah, namun massa jenisnya tinggi sehingga laju pendinginan cepat dibandingkan oli yang memiliki tingkat *viskositas* tinggi sehingga panas sulit menguap dengan cepat sehingga laju pendinginan lambat.

b. *Densitas* atau Massa jenis

*Densitas* merupakan massa jenis yang dimiliki media pendingin (*fluida*). Semakin tinggi densitas yang dimiliki suatu media pendingin maka semakin cepat laju pendinginannya.

c. Temperatur

Semakin tinggi temperatur suatu bahan maka laju pendinginan juga semakin lambat, tetapi ini tergantung dari media pendingin yang digunakan, semakin rendah temperature yang dibutuhkan suatu bahan maka semakin cepat laju pendinginannya.

#### d. Waktu

Semakin cepat laju pendinginan maka waktu yang diperlukan semakin sedikit/singkat, begitu juga sebaliknya semakin lama laju pendinginan maka waktu yang dibutuhkan semakin banyak.

### 2.5 Pendingin Yang Digunakan

Media pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah *dromus oil*. *Dromus oil* merupakan minyak mineral hasil penyulingan dan adiptif yang komposisi dan sifat kimianya pada tabel 2.4 *Dromus Oil* memberikan pendinginan yang sangat baik, pelumasan dan perlindungan karat digunakan dalam berbagai pengerolan dan pengerjaan mesin. *Dromus oil* mempunyai kelarutan tingkat tinggi terhadap air sehingga dapat diemulsikan dengan rasio air:dromus oil biasanya 20:1 sampai 40:1 dengan demikian memungkinkan dimanfaatkan sebagai pendinginan pada pengerasan baja.

Tabel 2.4 Komposisi dan Sifat Kimia *Dromus Oil*

No.	Komposisi		Chemical Properties
	Name	Proportion	
1	Sodium sulphonate	1 - 4.9%	Initial boiling : > 100 °C
2	Polyolefin ether	1 – 3%	Flash point : > 100 °C
3	Alkyl amide	1 -3 %	Density : 930 Kg/m <sup>3</sup> at 15 °C
4	Long chain alkenyl amide borate	1 – 2.4%	Kinematic viscositty 400 mm <sup>2</sup> /sec

(Sumber: Karmin dan Ginting, 2012:3)

### 2.6 Metode Pendinginan

Adapun cara pemberian cairan pendingin (*coolant*), yakni sebagai berikut :

#### 1. Secara manual

Apabila mesin perkakas tidak dilengkapi dengan sistem cairan pendingin, misalnya Mesin Gurdi atau Frais jenis “bangku” (*bench drilling/milling*

*machine*) maka cairan pendingin hanya dipakai secara terbatas. Pada umumnya operator memakai kuas untuk memerciki pahat gurdi, tap atau frais dengan minyak pendingin. Selama hal ini dilakukan secara teratur dan kecepatan potong tak begitu tinggi maka umur pahat bisa sedikit diperlama. Penggunaan alat sederhana penetes oli yang berupa botol dengan selang berdiameter kecil akan lebih baik karena akan menjamin keteraturan penetesan minyak. Penggunaan pelumas padat (gemuk/vaselin, atau *molybdenum-disulfide*) yang dioleskan pada lubang-lubang yang akan ditap sehingga dapat menaikkan umur pahat pengulir (Widarto, 2008).

## 2. Disiramkan ke benda kerja (*flood application of fluid*)

Cara ini memerlukan sistem pendingin, yang terdiri atas pompa, saluran, nozel, dan tangki, dan itu semua telah dimiliki oleh hampir semua mesin perkakas yang standar. Satu atau beberapa nozel dengan selang fleksibel diatur sehingga cairan pendingin disemprotkan pada bidang aktif pemotongan. Keseragaman pendinginan harus diusahakan dan bila perlu dapat dibuat nozel khusus. Pada pemberian cairan pendingin ini seluruh benda kerja di sekitar proses pemotongan disirami dengan cairan pendingin melalui saluran cairan pendingin yang jumlahnya lebih dari satu (Widarto, 2008).

## 3. Disemprotkan (*jet application of fluid*)

Dilakukan dengan cara mengalirkan cairan pendingin dengan tekanan tinggi melewati saluran pada pahat. Untuk pengguridian lubang yang dalam (*deep hole drilling; gun-drilling*) atau pengefraisan dengan posisi yang sulit dicapai dengan semprotan biasa. Spindel mesin perkakas dirancang khusus karena harus menyalurkan cairan pendingin ke lubang pada pahat. Pada proses pendinginan dengan cara ini cairan pendingin disemprotkan langsung ke daerah pemotongan (pertemuan antara pahat dan benda kerja yang terpotong). Sistem pendinginan benda kerja dibuat dengan cara menampung cairan pendingin dalam suatu tangki yang dilengkapi dengan pompa yang dilengkapi filter pada pipa penyedotnya. Pipa



keluar pompa disalurkan melalui pipa/selang yang berakhir di beberapa selang keluaran yang fleksibel. Cairan pendingin yang sudah digunakan disaring dengan filter pada meja mesin kemudian dialirkan ke tangki penampung (Widarto, 2008).

#### 4. Dikabutkan (*mist application of fluid*)

Pemberian cairan pendingin dengan cara ini cairan pendingin dikabutkan dengan menggunakan semprotan udara dan kabutnya langsung diarahkan ke daerah pemotongan. Partikel cairan sintetik, semi sintetik, atau emulsi disemprotkan melalui saluran yang bekerja dengan prinsip seperti semprotan nyamuk. Cairan dalam tabung akan naik melalui pipa berdiameter kecil, karena daya vakum akibat aliran udara di ujung atas pipa, dan menjadi kabut yang menyemprot keluar. Pemakaian cairan pendingin dengan cara dikabutkan dimaksudkan untuk memanfaatkan daya pendinginan karena penguapan (Widarto, 2008).

Perpindahan kalor dari suatu zat ke zat lain seringkali terjadi dalam industri proses. Pada kebanyakan proses diperlukan pemasukan atau pengeluaran kalor untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses berlangsung. Kondisi pertama yaitu mencapai keadaan yang dibutuhkan untuk pemrosesan, terjadi umpamanya bila pengerjaan harus berlangsung pada suhu tertentu dan suhu ini harus dicapai dengan jalan pemasukan atau pengeluaran kalor. Kondisi kedua yaitu mempertahankan keadaan yang dibutuhkan untuk operasi proses, terdapat pada pengerjaan eksoterm dan endoterm.

Kalor mengalir dengan sendirinya dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah. Akan tetapi, gaya dorong untuk aliran ini adalah perbedaan suhu. Bila sesuatu benda ingin dipanaskan, maka harus dimiliki sesuatu benda lain yang lebih panas, demikian pula halnya jika ingin mendinginkan sesuatu, diperlukan benda lain yang lebih dingin (Kern 1983). Bila perpindahannya dikarenakan perbedaan kerapatan disebut konveksi alami (*natural convection*) dan bila didorong, misal dengan fan atau pompa disebut konveksi paksa (*forced convection*). Besarnya konveksi

tergantung pada : a. Luas permukaan benda yang bersinggungan dengan *fluida* (A). b. Perbedaan suhu antara permukaan benda dengan *fluida* (DT). c. koefisien konveksi (h), yang tergantung pada : *viscositas fluida*, kecepatan *fluida*, perbedaan temperatur antara permukaan dan *fluida*, kapasitas panas *fluida*, rapat massa *fluida*, dan bentuk permukaan kontak. Perpindahan kalor secara konveksi, energi kalor ini akan dipindahkan ke sekelilingnya dengan perantara aliran *fluida*. Oleh karena pengaliran *fluida* melibatkan pengangkutan masa, maka selama pengaliran *fluida* bersentuhan dengan permukaan bahan yang panas, suhu *fluida* akan naik. Gerakan *fluida* melibatkan kecepatan yang seterusnya akan menghasilkan aliran momentum. Jadi masa *fluida* yang mempunyai energi termal yang lebih tinggi akan mempunyai momentum yang juga tinggi. Peningkatan momentum ini bukan disebabkan masanya akan bertambah. Masa *fluida* menjadi berkurang karena *fluida* menerima energi kalor (Winarno 2007).

## 2.7 Metode Taguchi

Metode taguchi merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter.

Metode taguchi menitik beratkan pada pencapaian suatu target tertentu dan mengurangi variasi suatu produk atau proses. Pencapaian tersebut dilakukan dengan menggunakan ilmu statistik. Apabila ada sejumlah parameter yang diperkirakan mempengaruhi suatu proses, maka dengan prinsip statistika pada metode taguchi ini dapat dihitung seberapa besar peran masing-masing parameter tersebut dalam mempengaruhi proses ataupun hasil dari proses tersebut. Dengan metode taguchi ini dapat ditarik kesimpulan parameter yang dominan, maka dapat dilakukan suatu optimasi dari parameter yang dominan tersebut, sehingga diperoleh proses yang optimum. Analisis taguchi juga dapat memperkirakan hasil dari proses tersebut

apabila digunakan kombinasi parameter yang berbeda dengan yang dilakukan pada pengujian, manfaat hasil perkiraan ini adalah untuk merencanakan suatu produksi.

#### 2.7.1 Tahapan dalam Metode Taguchi

Metode analisis taguchi yang merupakan implementasi atas konsep disain kokoh (*robust design*), secara pokok terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

##### a. Perumusan masalah

Pada tahap ini, perancangan harus menentukan tujuan dari optimasi proses yang dilakukan, dan menetapkan karakteristik respon yang akan dianalisis. Beberapa kegiatan yang termasuk dalam tahap ini adalah:

- Menentukan karakteristik respon yang diukur.
- Mendaftarkan pasangan parameter kendali (*control factor*). Parameter kendali adalah parameter yang berpotensi untuk mempengaruhi karakteristik dari proses pemrosesan.
- Menentukan jumlah *setting* tiap parameter kendali. Istilah yang bisa dipakai adalah level. Level adalah nilai dari parameter kendali.

##### b. Perencanaan percobaan

Awal pada tahapan ini adalah menentukan jenis metode taguchi. Jenis metode taguchi dapat diketahui berdasarkan jumlah dari parameter kendali dan level untuk setiap parameter kendali. Jenis metode taguchi ini menentukan jenis matriks *Orthogonal Array* yang akan dipakai.

##### c. Melaksanakan percobaan dan pengumpulan data

Pada tahap ini dilakukan proses percobaan untuk mengumpulkan data response banyak jumlah baris pada matriks *Orthogonal Array* yang telah dipilih. Data respon yang telah diperoleh itu kemudian diubah menjadi Rasio S/N (*Signal to Noise Ratio*).

##### d. Analisis hasil percobaan

Setelah pengolahan data percobaan, selanjutnya dilakukan analisis untuk menentukan pengaruh relatif dari bermacam-macam parameter kendali tersebut. Analisis pada metode taguchi dibagi menjadi dua, yaitu:

- Analisis rata-rata (*Analysis of Mean* / ANOM)
- Analisis varian (*Analysis of Variant* / ANOVA).

### 2.7.2 Analisis dalam Metode Taguchi

Dalam metode taguchi terdapat 2 macam analisis yang dilakukan dengan tujuan berbeda-beda. Kedua macam analisis tersebut adalah:

#### a. ANOM (*Analysis of Mean*)

ANOM atau analisis rata-rata, digunakan untuk mencari kombinasi dari parameter kendali sehingga diperoleh hasil yang optimum sesuai dengan keinginan. Caranya adalah membandingkan nilai rata-rata rasio S/N setiap level dan masing-masing parameter kendali dengan menggunakan grafik. Dari perbandingan tersebut dapat diketahui apakah parameter kendali yang dimaksud berpengaruh terhadap proses atau tidak.

#### b. 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 *Sum of Square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

### 2.7.3 Istilah dalam Metode Taguchi

Ada beberapa istilah yang akan sering dijumpai dan memegang peran penting dalam metode taguchi, yaitu:

#### a. Derajat bebas (*degree of freedom*)

Derajat bebas merupakan banyak perbandingan yang harus dilakukan antara level-level (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang dilakukan. Perhitungan derajat bebas dilakukan agar diperoleh suatu pemahaman mengenai hubungan antara suatu faktor dengan level yang berbeda-beda terhadap karakteristik kualitas yang dihasilkan. Perbandingan ini

sendiri akan memberikan informasi tentang faktor dan level yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas.

Dalam melakukan percobaan, efisiensi dan biaya yang harus dikeluarkan merupakan salah satu pertimbangan utama. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka sebisa mungkin digunakan *Orthogonal Array* terkecil yang masih dapat memberikan informasi yang cukup untuk dilakukannya percobaan secara komprehensif dan penarikan kesimpulan yang valid. Untuk menentukan *Orthogonal Array* yang diperlukan maka dibutuhkan perhitungan derajat kebebasan. Perhitungan untuk memperoleh derajat bebas adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B:

$$\begin{aligned} V_A &= (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \\ &= k_A \cdot 1 \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= (\text{jumlah level faktor B}) \cdot 1 \\ &= k_B \cdot 1 \dots\dots\dots (2.8) \end{aligned}$$

- 2) Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A \cdot 1) (k_B \cdot 1) \dots\dots\dots (2.9)$$

- 3) Nilai derajat bebas total

$$V_t = (k_A \cdot 1) + (k_B \cdot 1) + (k_A \cdot 1) (k_B \cdot 1) \dots\dots\dots (2.10)$$

Tabel *Orthogonal Array* yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya.

#### b. Matriks *Orthogonal Array*

*Orthogonal Array* adalah matriks dari sejumlah baris dan kolom. Setiap kolom merepresentasikan faktor atau kondisi tertentu yang dapat berubah dari suatu percobaan ke percobaan lainnya. Masing-masing kolom mewakili faktor-faktor yang dari percobaan yang dilakukan. *Array* disebut *Orthogonal* karena setiap level dari masing-masing faktor adalah seimbang (*balance*) dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain percobaan. *Orthogonal Array* merupakan suatu matriks faktor dan level yang tidak membawa pengaruh dari faktor atau level yang lain. Cara penomoran *Orthogonal Array* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$\textit{Orthogonal Array} = L_a (b^c) \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

L = Rancangan bujursangkar latin

a = Banyak baris/eksperimen

b = Banyak level

c = Banyak kolom/faktor

1) Notasi L

Notasi L menyatakan informasi mengenai *Orthogonal Array*.

2) Notasi a

Menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *Orthogonal Array*.

3) Notasi b

Menyatakan jumlah level faktor.

4) Notasi c

Menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam *Orthogonal Array*.

Untuk dua level, tabel OA terdiri dari L4, L8, L12, L16, dan L32. Sedangkan untuk tiga level tabel OA terdiri dari L9, L18, L27. Pemilihan jenis *Orthogonal Array* akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat kebebasan total. Penentuan derajat kebebasan berdasarkan pada:

1) Jumlah faktor utama yang diamati dan interaksi

2) Jumlah level dari faktor yang diamati

3) Resolusi percobaan yang diinginkan atau batasan biaya.

Angka di dalam pemilihan *array* menandakan banyaknya eksperimen (berbagi kemungkinan kombinasi pegujian) di dalam *array*, suatu matriks L8 memiliki delapan eksperimen dan matriks L27 memiliki 27 eksperimen dan seterusnya. Banyaknya level yang digunakan di dalam faktor digunakan untuk memilih *Orthogonal Array* dua level. Jika levelnya tiga maka digunakan *Orthogonal Array* tiga level, sedangkan jika sebagian faktor memiliki dua level dan faktor lainnya

memiliki tiga level maka jumlah yang lebih besar akan menentukan jenis *Orthogonal Array* yang harus dipilih. *Orthogonal Array* mempunyai beberapa manfaat, yaitu:

- 1) Kesimpulan yang diambil dapat menjangkau ruang lingkup parameter kendali dan masing-masing levelnya secara keseluruhan.
- 2) Sangat menghemat pelaksanaan percobaan karena tidak menggunakan prinsip *fully operational* seperti percobaan yang biasa, tetapi menggunakan prinsip *fractional factorial*. Artinya, tidak semua kombinasi level harus dilakukan percobaan, melainkan hanya beberapa saja. Untuk menentukan level mana yang harus dilakukan dalam pengambilan data, maka harus mengacu pada model *Orthogonal Array* yang standard. Pemilihan matriks *Orthogonal Array* disesuaikan dengan permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya.
- 3) Kemudahan dalam analisis data.

Tabel 2.5 Contoh *Orthogonal Array* untuk  $L_8(2^7)$

Eksperimen	Kolom/Faktor						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Sumber: Soejanto (2009).

### c. Interaksi Antara Faktor

Interaksi antara dua faktor berarti efek satu faktor pada respon tergantung level faktor lain. Antara interaksi menyebabkan sistem tidak *robust* karena sistem menjadi sangat sensitif terhadap perubahan satu faktor.

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

Optimasi proses yang dilakukan oleh metode taguchi adalah dengan memperhatikan nilai Rasio S/N. Prinsip dasarnya adalah pengaturan proses produksi mencapai kondisi yang optimum jika dapat memaksimalkan nilai rasio S/N. Rasio S/N adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter kendali. Nilai rasio S/N didapat dari pengolahan data hasil percobaan untuk beberapa kombinasi level pada parameter kendali. Setiap kombinasi akan memiliki nilai tersendiri. Dari nilai tersebut dapat diketahui apakah parameter kendali tersebut cukup memberikan pengaruh yang signifikan pada sebuah proses pemesinan sehingga dapat disebut sebagai sebuah *signal* atau parameter tersebut hanya memberikan pengaruh yang kecil sehingga dianggap sebagai *noise* atau gangguan saja.

Jika target yang dituju adalah untuk meningkatkan respon, maka yang dilakukan adalah mencari kombinasi dari parameter kendali yang nilai rasio S/N dari setiap levelnya memiliki nilai terbesar. Ada tiga jenis rasio S/N yang biasa dipakai dalam optimasi permasalahan statik yaitu:

1) *Smaller the Better*

Optimasi jenis ini biasanya dipakai untuk mengoptimasi suatu cacat pada produk, yang mana harga idealnya kalau bisa harus sama dengan nol. Dapat juga digunakan untuk menentukan waktu produksi tercepat (paling produktif). Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log(\sigma^2 + \bar{y}^2) \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

$\sigma$  = Standar deviasi

$\bar{y}$  = Rata –ratadari setiap percobaan

2) *Larger the Better*

Optimasi jenis ini merupakan kebalikan dari optimasi *Smaller the Better*.

Rumus yang digunakan adalah:



$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{y_i^2} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

3) *Nominal the Better*

Optimasi ini sering digunakan apabila nilai yang telah ditetapkan merupakan sesuatu yang mutlak atau sangat diharapkan. Jadi tidak boleh lebih besar atau lebih kecil dari nilai yang telah ditetapkan sebelumnya. Contohnya adalah dimensi pada komponen-komponen mekanik (pada industri manufaktur), perbandingan unsur kimiawi pada suatu campuran (pada industri kimia), dan lain-lain. Rumus yang dapat digunakan adalah:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \frac{y^{-2}}{s^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

$S^2$  = varian

$X_i$  = nilai kombinasi ke-n

$X$  = nilai rata-rata dari setiap kombinasi

e. *Sum of Square*

*Sum of Square* adalah jumlah variasi nilai rasio S/N dari setiap level pada masing-masing parameter kendali. Besarnya *Sum of Square* dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$SS = \sum_{i=1}^n (R_i - R)^2 \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

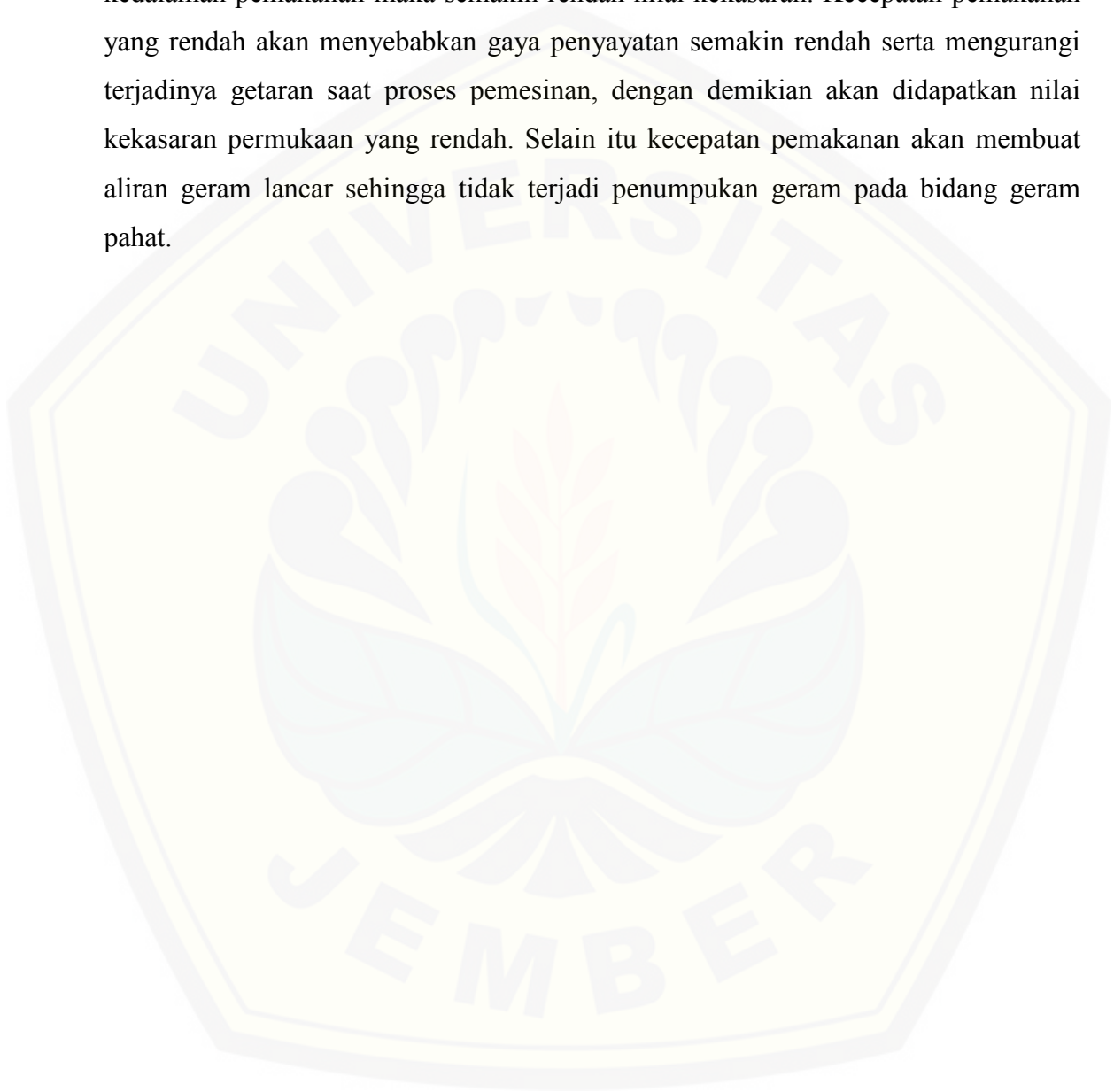
$n$  = jumlah level dari setiap control factor

$R_i$  = nilai S/N Ratio pada level ke-n

$R$  = nilai rata-rata rasio S/N dari ke-3 level pada sebuah *control factor*

## 2.8 Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini yaitu semakin rendah kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan maka semakin rendah nilai kekasaran. Kecepatan pemakanan yang rendah akan menyebabkan gaya penyayat semakin rendah serta mengurangi terjadinya getaran saat proses pemesinan, dengan demikian akan didapatkan nilai kekasaran permukaan yang rendah. Selain itu kecepatan pemakanan akan membuat aliran geram lancar sehingga tidak terjadi penumpukan geram pada bidang geram pahat.



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Permesinan Kompetensi Keahlian Teknik Permesinan SMKN 2 Jember. Sedangkan penelitian uji kekasaran permukaan benda kerja dilaksanakan di Laboratorium Desain dan Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember pada tanggal 29 Agustus – 08 September 2016.

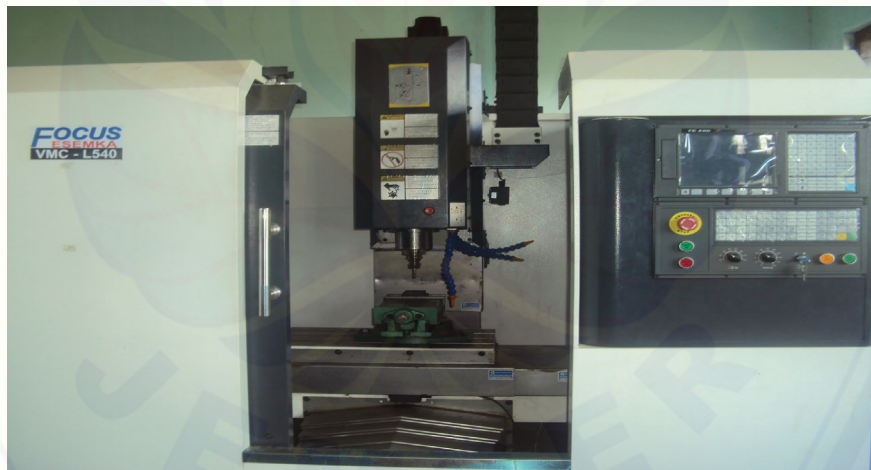
#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

##### a. Mesin Milling CNC

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



Gambar 3.1 Mesin Milling CNC 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) :  $\pm 0,005$  mm / 300 mm
- Repeat Positioning Accuracy (JIS) :  $\pm 0,003$  mm

b. *Spray Gun*

*Spray gun* merupakan alat yang digunakan untuk mengatomisasi cat pada suatu permukaan yang menggunakan udara bertekanan. Prinsip dari *spray gun* adalah sama seperti halnya pada atomisasi. Apabila udara bertekanan dikeluarkan dari lubang udara terhadap air cap, maka suatu tekanan negatif akan timbul pada ujung fluida, yang setelah itu menghisap cat pada cup. Lalu cat yang dihisap ini disemprotkan sebagai cat yang diatomisasi (dikabutkan), oleh karena tekanan udara pada lubang didalam air cap.



Gambar 3.2 *Spray Gun*

c. Kompresor

Digunakan sebagai penyuplai angin/udara pada saat pada proses pengefraisan pada metode pendinginan dikabutkan



Gambar 3.3 Kompresor

d. Botol air mineral bekas, Gelas ukur dan Selang



Gambar 3.4 Botol air mineral bekas, Gelas ukur dan Selang

e. *Roughness Tester*



Gambar 3.5 *Surface Roughness Tester* (Sumber : [Surface Roughness Tester Specifications](#) : Alat Uji)

*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 $\mu$ m
• Data output	RS232
• Measuring Range	Ra: 0.025~12.5 $\mu$ 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 $\mu$ 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

Sumber : *Surface Roughness Tester Specifications* : Alat Uji

## f. Pahat

Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pahat *Endmill* 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 makan terhadap benda kerja perlu diperhatikan karena setiap jenis bahan memiliki *standard* kecepatan makan tertentu untuk penyayatan. Jika kecepatan makannya tidak sesuai dengan *standard* kecepatan makan 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 makan harus sesuai dengan *standard* yang sudah ditentukan.

Tabel 3.2 Kecepatan makan 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
Aluminium	70 – 110	30 – 45	140 – 215	60 – 90

Sumber: Sularso (2002).

## 3.2.2 Bahan

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja S45C. Baja S45C merupakan baja karbon sedang. Baja karbon sedang mengandung karbon antara 0,3-



0,6% dan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebgaiian dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. (Amanto dan Daryanto, (2003).

Untuk kandungan unsur bahan-bahan dari JIS dapat dilihat melalui Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Unsur Kimia JIS G 4051. Baja karbon untuk konstruksi mesin

Lambang	Unsur Kimia (%)				
	C	Si	Mn	P	S
S 30 C	0,27-0,33				
S 35 C	0,32-0,38				
S 40 C	0,37-0,43				
S 45 C	0,42-0,48	0,15-0,35	0,60-0,90	0,030	0,035
S 50 C	0,47-0,53				
S 55 C	0,52-0,58				
S 15 CK	0,13-0,18	0,15-0,35	0,30-0,60	0,025	0,025

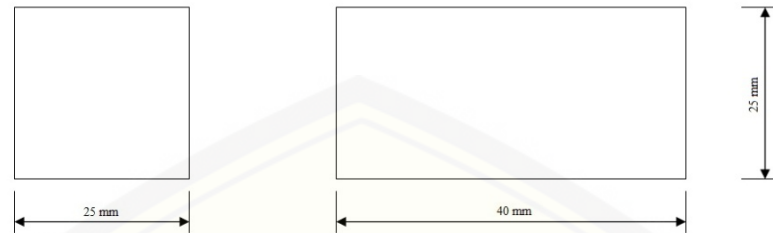
Sumber: Sularso (2002).

Tabel 3.4 Sifat Mekanis Standar JIS G 4051. Baja karbon untuk konstruksi mesin

Lambang	Sifat mekanis			
	Perlakuan panas	Batas mulur (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekerasan (H <sub>B</sub> )
S30C	N	29	48	137-197
	H	34	55	152-212
S35C	N	31	52	149-207
	H	40	58	167-235
S40C	N	33	55	156-217
	H	45	62	179-255
S45C	N	35	58	167-229
	H	50	70	201-269
S50C	N	37	62	179-235
	H	55	75	212-277
S55C	N	40	66	185-255
	H	60	80	229-285
S15CK	H	35	50	143-235

Sumber: Sularso (2002).

Baja S45C digunakan sebagai bahan benda kerja dalam proses permesinan dengan berdimensi 25x25x40 mm. Jenis material Baja S45C yang umum digunakan sebagai material berbagai produk permesinan.



Gambar 3.7 Benda kerja sebelum proses milling CNC

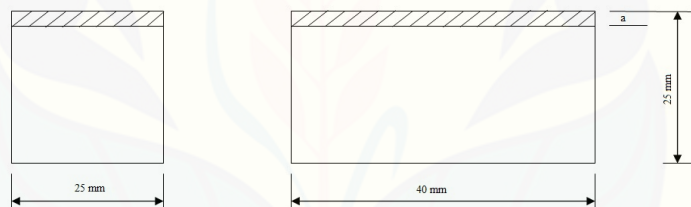
### 3.3 Pelaksanaan Percobaan

Mempersiapkan peralatan, benda kerja, dan mesin CNC milling Focus Esemka VMC–L540.

- a. Pesiapan benda kerja sesuai ukuran, seperti pada Gambar 3.7
- b. Persiapkan tool yang akan di pakai
- c. Membuat program CNC sesuai benda kerja yang akan di kerjakan dengan ketentuan yang sudah di variasikan
- d. Pasang pisau frais pada rumah pahat pada mesin CNC milling Focus Esemka VMC–L540
- e. Pasang benda kerja pada ragum mesin CNC milling Focus Esemka VMC– L540 dan kemudian kencangkan ragum
- f. Memasang peralatan metode pendinginan
  - Untuk metode dikururkan, tabung air mineral yang telah dimodifikasi dan pipa/selang aliran pendingin fluida diletakkan pada tempat yang telah ditentukan.
  - Untuk metode semprot dan kabut, alat yang digunakan adalah kompresor dan 2 buah *spray gun*. *Spray gun* dengan ukuran 150 ml digunakan untuk metode semprot dan *spray gun* dengan ukuran 150 ml digunakan untuk metode

kabut. Kompresor diletakkan diluar, kemudian *spray gun* diletakkan pada tempat yang telah ditentukan.

- g. Melakukan setting mesin CNC milling Focus Esemka VMC-L540
- h. Masukkan program yang sudah dibuat sebelumnya pada mesin CNC milling Focus Esemka VMC-L540
- i. Hidupkan mesin CNC milling Focus Esemka VMC-L540 dan lakukan setting point
- j. Melakukan proses permesinan milling CNC proses permesinan milling CNC sesuai variasi parameter yang telah di tentukan, seperti di tunjukkan pada Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3.8 Benda kerja setelah proses milling CNC

(a) Proses *milling* sesuai variasi parameter

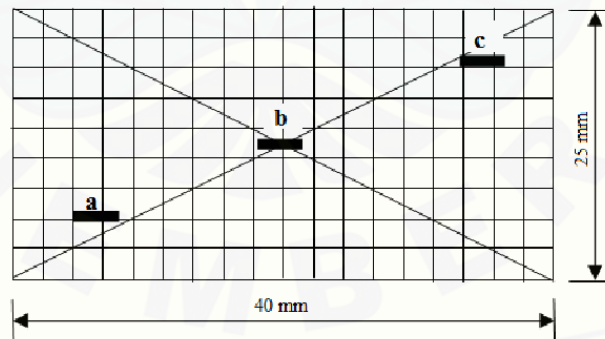
- k. Metode pendinginan :
  - Metode pendinginan dikururkan  
Botol air mineral yang telah berisi media pendingin diletakkan pada tempat yang telah ditentukan. Kemudian pipa/selang diarahkan ke mata pahat dan benda kerja untuk dilakukan pendinginan dengan metode dikururkan. Jarak antara tempat keluarnya media pendingin yaitu 5 cm.
  - Metode semprot dan kabut

Menggunakan *Spray gun* dengan ukuran 150 ml dengan tekanan udara sebesar 1 bar. Sedangkan untuk metode kabut menggunakan *spray gun* dengan ukuran 150 ml dengan tekanan udara 3 bar.

- l. Nyalakan kompresor dan pasang *spray gun*, dan melakukan pendinginan pada setiap variasi parameter yang telah ditentukan sebanyak tiga kali dan catat hasil pengukuran di tiap-tiap titi pengukuran.
- m. Matikan mesin CNC milling Focus Esemka VMC-L540
- n. Lepaskan benda kerja pada ragum mesin miliing CNC

### 3.4 Pengambilan Data

Nilai kekasaran permukaan benda kerja diukur dengan menggunakan TR220 *Portable Roughness Tester* yang telah dilakukan proses permesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540* pada tiap variasi parameter yang ditetapkan. Pengambilan data nilai kekasaran pada sisi benda kerja di 3 (tiga) area dengan pengambilan data sebanyak 3 (tiga) kali pada benda kerja.



Gambar 3.9 Proses Pengambilan Data Kekasaran Permukaan Benda Kerja

### 3.5 Jenis Orthogonal Array

Pemilihan jenis *Orthogonal Array* berdasarkan jumlah parameter kendali yang akan digunakan dan jumlah level dari setiap parameter kendali. Untuk mesin CNC milling Focus Esemka VMC-L540, terdapat 3 buah parameter kendali yang akan digunakan. Sedangkan jumlah level yang akan digunakan adalah 3 buah setiap parameter kendali. Oleh karena itu, program *Orthogonal Array L9* yang dipilih. Sebab, pada *Orthogonal Array L9* dapat digunakan hingga 3 parameter kendali, dan jumlah level dari setiap parameter kendali adalah 3. Pada Tabel 3.5 dapat dilihat parameter kendali dan level untuk *Orthogonal Array L9*.

Tabel 3.5 Parameter kendali dan level untuk *Orthogonal Array L9*

Control Faktor	Level		
	1	2	3
A	A1	A2	A3
B	B1	B2	B3
C	C1	C2	C3

Tabel 3.6 *Orthogonal Array* untuk taguchi *L9*

No. Percobaan	Parameter Kendali		
	A	B	C
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

### 3.6 Variabel Pengukur

Variabel yang digunakan dalam pengukuran ini adalah variabel bebas dan variabel terikat.

#### 3.6.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan metode pendinginan. Pada Tabel 3.7 dapat dilihat daftar variabel bebas dan level.

Tabel 3.7 Daftar variabel bebas dan level

Kode	Control Factors	Level		
		1	2	3
A	Metode Pendinginan	Di kucurkan	Semprot	Kabut
B	Kecepatan Pemakanan (mm/menit)	180	200	220
C	Kedalaman Pemakanan (mm)	0,200	0,400	0,600

#### 3.6.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yaitu variabel yang faktornya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kekasaran benda kerja hasil proses pengefraisan.

### 3.7 Data Percobaan

Data dalam penelitian yang akan diambil data seperti yang terlihat pada Tabel 3.8 sebagai berikut:

Tabel 3.8 Data Percobaan hasil pengujian

No.	Parameter Kendali			Pengulangan	Nilai Kekasaran Benda Kerja		
	A	B	C				
1	1	1	1	1	a	b	c
				2	a	b	c
				3	a	b	c

Lanjutan

No.	Parameter Kendali			Pengulangan	Nilai Kekasaran Benda Kerja		
	A	B	C				
				1	a	b	c
2	1	2	2	2	a	b	c
				3	a	b	c
				1	a	b	c
3	1	3	3	2	a	b	c
				3	a	b	c
				1	a	b	c
4	2	1	2	2	a	b	c
				3	a	b	c
				1	a	b	c
5	2	2	3	2	a	b	c
				3	a	b	c
				1	a	b	c
6	2	3	1	2	a	b	c
				3	a	b	c
				1	a	b	c
7	3	1	3	2	a	b	c
				3	a	b	c
				1	a	b	c
8	3	2	1	2	a	b	c
				3	a	b	c
				1	a	b	c
9	3	3	2	2	a	b	c
				3	a	b	c
				1	a	b	c

Optimasi akan tercapai jika ketelitian memiliki nilai tinggi, oleh karena itu jenis optimasi yang digunakan adalah jenis *Smaller the Better*.

### 3.8 Metode Analisis

Dalam penelitian dan penyusunan laporan ini menggunakan beberapa metode antara lain:

#### 1. Studi Literatur

Mencari sumber terkait seperti jurnal atau paper, buku-buku pustaka, karya ilmiah yang dimaksudkan untuk menjadikan referensi dan informasi serta landasan yang akan dipakai untuk mencapai suatu tujuan penelitian.

## 2. Monitoring Metode Pendinginan

Untuk memonitoring metode pendinginan yang dilakukan dengan *spray gun* yang diukur dengan pemberian tekanan terhadap *spray gun*.

## 3. ANOVA

ANOVA (*Analysis of Variant*) 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.

## 4. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing

Berkonsultasi dengan dosen pembimbing baik pada saat pengujian, analisis maupun pembuatan laporan.

## 5. Uji Hipotesis

Hipotesis adalah suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu dibuktikan atau dugaan yang sifatnya masih sementara. Pengujian hipotesis akan menghasilkan keputusan menerima atau menolak hipotesis. Penolakan suatu hipotesis bukan berarti disimpulkan bahwa hipotesis salah, dimana bukti yang tidak konsisten dengan hipotesis. Penerimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar. Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi  $\alpha$  sebesar 5% atau 0,05 dengan artian ada kemungkinan satu diantara dua puluh tujuh keputusan penolakan hipotesis nol adalah keputusan yang keliru.

Uji hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi *error*. Variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor yang tidak dapat dikendalikan. Hipotesis pengujian dalam suatu percobaan adalah:

$H_0$  : tidak ada pengaruh perbedaan level

$H_1$  : ada pengaruh perbedaan level



Apabila uji F lebih kecil dari nilai F tabel, maka H<sub>0</sub> diterima atau berarti tidak ada pengaruh perlakuan. Namun jika uji F lebih besar dari nilai F tabel, maka H<sub>0</sub> ditolak berarti ada pengaruh perlakuan. Kriteria dalam pengambilan keputusan:

- a. Jika F hitung < F tabel 5%, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan variasi level tidak berpengaruh terhadap getaran atau dengan kata lain terima H<sub>0</sub> dan tolak H<sub>1</sub>
  - b. Jika F hitung > F tabel 5%, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan variasi level berpengaruh terhadap getaran atau dengan kata lain tolak H<sub>0</sub> dan terima H<sub>1</sub>.
6. Persen Kontribusi

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor dan interaksi, terlebih dahulu dihitung SS':

$$SS'_{Faktor} = SS_{Faktor} - MS_{Error} (Vv)$$

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$$\mu = \frac{SS'_{Faktor}}{SST} \times 100\%$$

Dimana :

SS<sub>Faktor</sub> = Jumlah Kuadrat Faktor

MS<sub>Error</sub> = rata-rata variasi galat (*error*)

μ = rerata dari seluruh data (rerata besar, grand mean)

SST = Jumlah Kuadrat Total

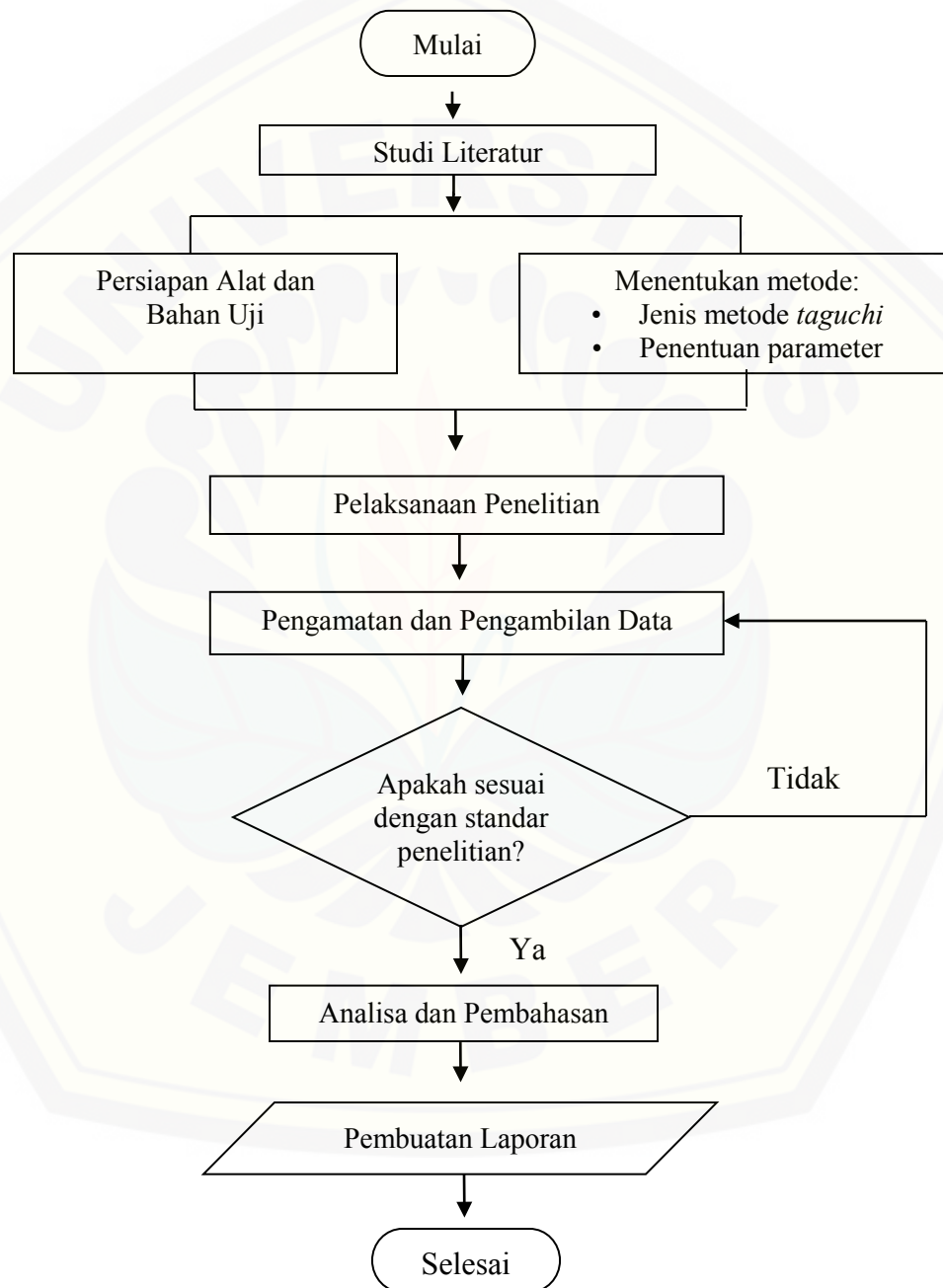
Prediksi Rasio S/N dan Mean yang Optimal

Setelah di ketahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap S/N Ratio dan Mean selanjutnya adalah pembuatan model persamaan rata-rata. Sebagai aturan empiris, hanya satu faktor yang paling berpengaruh yang di pilih karena dalam matriks orthogonal hanya diambil kira-kira setengah derajat kebebasan. Dengan rumus sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi} = \eta + (\text{nilai faktor} - \eta)$$

### 3.9 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penyelesaian dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir, berikut Gambar 3.10 merupakan gambar dari diagram alir penelitian:



Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

**BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Data Hasil Pengujian**

Pada pengujian kekasaran permukaan ini dilakukan dengan pengambilan data sebanyak 3 kali pengukuran di permukaan benda kerja. Data yang diperoleh kemudian di rata-rata sehingga menghasilkan data nilai kekasaran permukaan dari setiap benda kerja. Berikut Tabel 4.1 adalah tabel hasil pengukuran nilai kekasaran permukaan hasil pengujian.

Tabel 4.1 Data pengujian kekasaran permukaan

No.	Parameter Kendali			Pengulangan	Nilai Kekasaran Permukaan, Ra ( $\mu\text{m}$ )		
	A	B	C		Titik a	Titik b	Titik c
1	1	1	1	1	1,824	1,665	2,390
				2	2,308	1,574	2,134
				3	2,290	1,562	2,400
2	1	2	2	1	1,894	2,110	2,479
				2	1,320	2,152	3,475
				3	2,597	2,593	2,459
3	1	3	3	1	2,166	2,420	2,013
				2	1,677	2,861	2,609
				3	3,344	3,008	2,965
4	2	1	2	1	2,421	1,772	1,550
				2	1,974	1,919	2,046
				3	2,068	1,724	2,425
5	2	2	3	1	1,308	2,374	2,237
				2	1,970	1,843	2,232
				3	2,396	2,040	1,915
6	2	3	1	1	2,409	1,625	2,323
				2	2,912	2,028	1,665
				3	2,854	1,722	2,714
7	3	1	3	1	0,935	2,400	1,734
				2	2,008	2,167	1,351
				3	2,129	1,901	1,564

Lanjutan

No.	Parameter Kendali			Pengulangan	Nilai Kekasaran Permukaan, Ra ( $\mu\text{m}$ )		
	A	B	C		Titik a	Titik b	Titik c
8	3	2	1	1	1,797	1,781	1,617
				2	2,150	1,504	1,884
				3	2,642	1,458	1,593
9	3	3	2	1	2,059	1,269	1,956
				2	1,036	2,167	2,375
				3	1,132	2,120	2,484

## 4.2 Analisis Data Kekasaran Permukaan

### 4.2.1 Perhitungan *Signal to Noise Ratio*

Optimasi akan tercapai jika kekasaran permukaan memiliki nilai terendah, oleh karena itu jenis optimasi yang digunakan adalah jenis *smaller the better*. Untuk jenis ini, Rasio S/N dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log(\sigma^2 + \bar{y}^2) \dots\dots\dots (4.1)$$

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data pada tabel 4.1. Pada Matriks ortogonal dari data percobaan ke-1, Rasio S/N adalah  $\eta_1$ . Untuk standart deviasi untuk data ini adalah  $\sigma = 0,063$  dan  $\bar{y}$  rata-rata = 2,016; maka:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log (0,063^2 + 2,016^2) \\ &= -10 \log (4,069) \\ &= -6,095 \dots\dots\dots \text{demikian seterusnya} \end{aligned}$$

Sehingga hasil dari perhitungan *Signal to Noise Ratio* dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan Rasio S/N

No	Parameter Kendali			Pengulangan			Rata-Rata	Standar Deviasi ( $\sigma$ )	Rasio S/N ( $\eta$ )
	A	B	C	1	2	3			
1	1	1	1	1,960	2,005	2,084	2,016	0,063	-6,095
2	1	2	2	2,161	2,316	2,550	2,342	0,196	-7,422
3	1	3	3	2,200	2,382	3,106	2,562	0,479	-8,322
4	2	1	2	1,914	1,980	2,072	1,989	0,079	-5,979
5	2	2	3	1,973	2,015	2,117	2,035	0,074	-6,177
6	2	3	1	2,119	2,202	2,430	2,250	0,161	-7,067
7	3	1	3	1,690	1,842	1,865	1,799	0,095	-5,112
8	3	2	1	1,732	1,846	1,898	1,825	0,085	-5,235
9	3	3	2	1,761	1,859	1,912	1,844	0,077	-5,324

*Signal to Noise Ratio* merupakan suatu nilai transformasi dari nilai mean. Semakin besar nilai *Signal to Noise Ratio*, berarti semakin besar pengaruh level suatu faktor. Untuk menentukan level mana yang paling berpengaruh untuk suatu faktor, diperlukan nilai efek tiap faktor yang berupa rata-rata nilai *Signal to Noise Ratio* dari eksperimen yang memuat level faktor tersebut.

Dari tabel 4.2 dapat diketahui bahwa nilai *Signal to Noise Ratio* yang terbesar terdapat pada percobaan ke-7, yaitu -5,112 dengan kombinasi parameter kendali adalah Metode Pendinginan (Faktor A level 3), Kecepatan Pemakanan 180 mm/menit (Faktor B level 1), dan Kedalaman Pemakanan 0,600 mm (Faktor C level 3). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter kendali tersebut memiliki pengaruh yang besar terhadap kekasaran permukaan.

Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekasaran permukaan benda kerja, dilakukan pengolahan data respon (data asli) kekasaran permukaan benda kerja yang diperoleh langsung dari pengujian nilai kekasaran permukaan pada benda kerja.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data pada tabel 4.2. Perhitungan nilai rata-rata kekasaran permukaan benda kerja melalui kombinasi level dari masing-masing faktor dapat dilihat di bawah ini.

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Metode Pendinginan (A) level 1 yaitu pada percobaan 1,2, dan 3.

$$\bar{A}_1 = \frac{(-6,095) + (-7,422) + (-8,322)}{3} = -7,280$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Metode Pendinginan (A) level 2 yaitu pada percobaan 4,5, dan 6.

$$\bar{A}_2 = \frac{(-5,979) + (-6,177) + (-7,067)}{3} = -6,407$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Metode Pendinginan (A) level 3 yaitu pada percobaan 7,8, dan 9.

$$\bar{A}_3 = \frac{(-5,112) + (-5,232) + (-5,324)}{3} = -5,224$$

Perhitungan dengan cara yang sama dilakukan pula pada masing-masing faktor dan interaksi. Untuk faktor yang diamati yaitu metode pendinginan, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan yang secara bersama-sama pengaruh efek tiap faktor untuk *Signal to Noise Ratio* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Repon rata-rata kekasaran permukaan untuk Rasio S/N

Level	Metode Pendinginan	Kecepatan Pemakanan	Kedalaman Pemakanan
1	-7,280	-5,728	-6,132
2	-6,407	-6,278	-6,242
3	-5,224	-6,904	-6,537
Selisih	2,056	1,176	0,405
Rangking	1	2	3

Dari hasil perhitungan respon rata-rata untuk *Signal to Noise Ratio* tiap faktor pada Tabel 4.3 dapat dibuat efek faktor yang kemudian dapat dibaca level mana yang berpengaruh untuk setiap faktor. Walaupun karakteristik kualitas adalah semakin

kecil, semakin baik. Akan tetapi *Signal to Noise Ratio* didefinisikan sedemikian hingga selalu dapat di transformasikan karakteristik kualitas menjadi karakteristik semakin besar, semakin baik. Jadi dari tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa proses yang optimal adalah pada Metode Pendinginan dikabutkan (Faktor A level 3), Kecepatan Pemakanan 180 mm/menit (Faktor B level 1), dan Kedalaman Pemakanan 0,200 mm (Faktor C level 1). Pada *output* tiap faktor untuk *Signal to Noise Ratio* di atas terlihat bahwa faktor Metode Pendinginan level 3 yaitu “kabut” adalah yang paling berpengaruh karena mempunyai nilai respon rata-rata untuk *Signal to Noise Ratio* yang paling besar jika dibandingkan dengan yang lain.

#### 4.2.2 Perhitungan ANOVA untuk *Signal to Noise Ratio*

Analisis varian dua arah pada metode taguchi adalah data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Tabel analisis varian dua arah terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah dan F-rasio. Dengan melakukan model analisis varian dua arah yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah dan F-rasio. Sehingga perhitungan untuk memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon dengan mengidentifikasi pengujian kebenaran hipotesa terhadap pengaruh faktor terkendali beserta interaksinya dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

##### a. Membuat Analisis Varian

Dengan menggunakan data pada tabel 4.2, maka:

##### 1) $\bar{y}$ – Rata-rata eksperimen keseluruhan

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \frac{(-6,095)+(-7,422)+(-8,322)+\dots+(-5,112)+(-5,235)+(-5,324)}{9} \\ &= -6,034\end{aligned}$$

- 2) ST – Jumlah kuadrat total

Jumlah kuadrat total adalah sebagai berikut:

$$ST = \sum y^2$$

$$\begin{aligned} ST &= -6,095^2 + (-7,422^2) + (-8,322^2) + \dots + (-5,112^2) + (-5,235^2) + (-5,324^2) \\ &= 367,226 \end{aligned}$$

- 3) Sm – Jumlah kuadrat karena rata-rata (mean)

$$Sm = n \bar{y}^2$$

$$\begin{aligned} Sm &= 9 \times (-6,034^2) \\ &= 357,631 \end{aligned}$$

- 4) SA – Jumlah kuadrat karena faktor metode pendinginan

Jumlah kuadrat faktor metode pendinginan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SA &= \frac{[\text{Total } A_1]^2}{n_1} + \frac{[\text{Total } A_2]^2}{n_2} + \frac{[\text{Total } A_3]^2}{n_3} - \frac{[\text{Total } A]^2}{n_1+n_2+n_3} \\ SA &= \frac{[-21,84]^2}{3} + \frac{[-19,22]^2}{3} + \frac{[-15,67]^2}{3} - \frac{[(-21,84) + (-19,22) + (-15,67)]^2}{3+3+3} \\ &= 6,390 \end{aligned}$$

Untuk jumlah kuadrat karena faktor kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan dapat dihitung dengan cara yang sama seperti yang dilakukan pada jumlah kuadrat karena faktor metode pendinginan.

- 5) Se – Jumlah kuadrat *error*

$$ST = Sm + SA + SB + SC + Se$$

$$\begin{aligned} Se &= ST - Sm - SA - SB - SC \\ &= 367,226 - 357,631 - 6,390 - 2,077 - 0,263 \\ &= 0,866 \end{aligned}$$

- 6) Mq – Rata-rata jumlah kuadrat

Rata-rata jumlah kuadrat adalah dihitung dari pembagian jumlah kuadrat dengan derajat kebebasan. Untuk faktor metode pendinginan adalah sebagai berikut:

$$Mq_A = \frac{Sq_A}{v_A}$$



$$= \frac{6,390}{2} = 3,195$$

Dimana:

$$\begin{aligned} v_A &= (\text{Banyak level} - 1) \\ &= 3 - 1 \\ &= 2 \end{aligned}$$

Rata-rata jumlah kuadrat dari faktor kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan dapat dihitung dengan cara yang sama. (lihat lampiran)

7) *F-ratio*

*F-ratio* adalah dihitung dari pembagian rata-rata jumlah kuadrat dengan jumlah kuadrat *error*. Untuk faktor metode pendinginan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_A &= \frac{Mq_A}{Mq_e} \\ &= \frac{3,195}{0,433} = 2,762 \end{aligned}$$

*F-ratio* dari faktor kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan *error* dapat dihitung dengan cara yang sama.

b. Menghitung Persen Kontribusi

Untuk menghitung persen kontribusi dari data kekasaran permukaan dalam analisis varian kita perlu menghitung jumlah kuadrat sesungguhnya dan dibagi dengan jumlah kuadrat total.

1)  $Sq'$  – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Jumlah kuadrat yang sesungguhnya untuk faktor metode pendinginan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SA' &= SA - v_A \cdot V_e \\ &= 6,390 - (2 \times 0,433) \\ &= 5,524 \end{aligned}$$

Untuk jumlah kuadrat yang sesungguhnya dari faktor kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan dapat dihitung dengan cara yang sama.

Sedangkan jumlah kuadrat yang sesungguhnya untuk *error* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Se' &= St - SA' - SB' - SC' \\ &= 9,596 - 5,524 - 1,212 - (-0,602) \\ &= 3,462 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} St &= ST - Sm \\ &= 367,226 - 357,631 \\ &= 9,596 \end{aligned}$$

2)  $\rho$  – Persen kontribusi

Persen kontribusi untuk faktor metode pendinginan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho A &= \frac{SA'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{5,524}{9,596} \times 100\% \\ &= 57,696\% \end{aligned}$$

Untuk persen kontribusi dari faktor kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan *error* dapat dihitung dengan cara yang sama.

Sehingga hasil dari perhitungan Analisis varian untuk *Signal to Noise Ratio* dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil analisis varian untuk Rasio S/N

Sumber	Sq	v	Mq	F-ratio	Sq'	$\rho\%$
Metode Pendinginan	6,390	2	3,195	2,762	5,524	57,569
Kecepatan Pemakanan	2,077	2	1,039	0,606	1,212	12,629
Kedalamaman Pemakanan	0,263	2	0,132	-0,301	-0,602	-6,278
E	0,866	2	0,433	1,00	3,462	36,081
St	9,596	8	1,199	-	9,596	100,00
Mean	357,631	1	-	-	-	-
ST	367,226	9	-	-	-	-

Dari tabel F,  $F_{0,05;2;2} = 19,00$ . Ini menunjukkan bahwa faktor metode pendinginan, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan tidak menunjukkan nilai yang signifikan terhadap kekasaran permukaan. Untuk mengetahui faktor yang signifikan terhadap kekasaran permukaan benda kerja, maka dilakukan penggabungan (*pooling up*) faktor ke dalam *error*. Untuk menghindari kesalahan, maka menggunakan setengah dari derajat kebebasan dari matriks ortogonal.

Faktor-faktor yang tidak signifikan dikumpulkan sebagai *error*. Penentuan *error* ini dilakukan dengan metode *pooling up* Taguchi, yaitu mengumpulkan faktor sebagai *error*. Penggabungan faktor sebagai *error* dimulai dari faktor dengan jumlah kuadrat/*Sum of Square* (Sq) terkecil dari faktor yang tidak signifikan digabung dengan jumlah kuadrat *error* sampai derajat kebebasan kesalahan sama dengan atau lebih dari setengah derajat total. Jumlah kuadrat terkecil dari faktor yang tidak signifikan yaitu faktor kedalaman pemakanan.

Penggabungan tersebut menyebabkan struktur dari Tabel 4.4 berubah seperti yang terlihat pada Tabel 4.5 berikut yang merupakan hasil dari *pooling* yang telah dilakukan.

Tabel 4.5 Hasil *pooling* untuk analisis varian

Sumber	Sq	v	Mq	F-ratio	Sq'	$\rho\%$
Metode Pendinginan	6,390	2	3,195	11,322	5,825	60,708
Kecepatan Pemakanan	2,077	2	1,039	3,681	1,513	15,768
Kedalaman Pemakanan			<i>Pooling</i>			
E	1,129	4	0,282	1	2,257	23,524
St	9,596	8	1,199	-	9,596	100
Mean	357,631	1	-	-	-	-
ST	367,226	9	-	-	-	-

Analisis data dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian variasi metode pendinginan CNC *milling* terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Dari hasil hasil analisis varian untuk rasio S/N tersebut, maka dilakukan pengujian faktor yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan pada tingkat level kepercayaan sebesar

95% ( $\alpha = 0,05$ ). Untuk membuktikan hal tersebut dapat diuji dengan membandingkan besar  $F_{hitung}$  yang dihasilkan dengan  $F_{tabel}$  yang diperoleh dari F-tabel yang terdapat pada lampiran. Apabila  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , maka menunjukkan bahwa faktor tersebut memiliki pengaruh atau menjadi faktor penting terhadap kekasaran permukaan dan juga sebaliknya.

Pengujian hipotesis dan kesimpulan yang diperoleh dari Tabel 4.5 setelah dilakukan *pooling* terhadap faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

a. Faktor Metode pendinginan

$H_0$  : tidak ada pengaruh perbedaan level pada faktor metode pendinginan

$H_1$  : ada pengaruh perbedaan level pada faktor metode pendinginan

Kesimpulan yang dapat diambil, yaitu  $F_{hitung} = 11,322$  dan  $F_{0,05;2;4} = 6,94$ . Karena  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , maka  $H_0$  ditolak yang berarti ada pengaruh perbedaan level pada faktor metode pendinginan terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

b. Faktor Kecepatan Pemakanan

$H_0$  : tidak ada pengaruh perbedaan level pada faktor kedalaman pemakanan

$H_1$  : ada pengaruh perbedaan level pada faktor kedalaman pemakanan

Kesimpulan yang dapat diambil, yaitu  $F_{hitung} = 3,681$  dan  $F_{0,05;2;4} = 6,94$ . Karena  $F_{hitung} < F_{tabel}$  maka  $H_0$  diterima yang berarti tidak ada pengaruh perbedaan level pada faktor kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

c. Faktor Kedalaman Pemakanan

Untuk faktor kedalaman pemakanan telah dilakukan *pooling* yang berarti pada faktor kedalaman pemakanan tidak ada pengaruh perbedaan level terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

Dari hasil analisis varian untuk *Signal to Noise Ratio* tersebut dapat diketahui bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja dengan tingkat level kepercayaan sebesar 95% adalah faktor metode pendinginan karena F-rasionya lebih besar dari F-tabel, yaitu  $F_{hitung} = 9,26 > F_{tabel} = F_{0,05;2;4} = 6,94$ .

#### 4.2.3 Prediksi *Signal to Noise Ratio* yang Optimal

Dari hasil tabel 4.3 untuk respon rata-rata kekasaran permukaan telah diketahui bahwa faktor yang mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap rasio S/N kekasaran permukaan adalah metode pendinginan level 3 yaitu dikabutkan. Sebagai aturan empiris, hanya ada 1 faktor yang dapat dipilih karena dalam matriks ortogonal hanya diambil kira-kira setengah derajat kebebasan. Sehingga model persamaan rata-rata kekasaran permukaan yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{prediksi}} &= \bar{y} + (\bar{C}_1 - \bar{y}) \\ &= -6,304 + (-5,224 - (-6,304)) \\ &= -5,224\end{aligned}$$

Sedangkan untuk interval kepercayaan rata-rata kekasaran permukaan benda kerja pada nilai taraf signifikan  $\alpha = 0,05$  adalah sebagai berikut.

Diketahui:  $F_{0,05;1;2} = 18,51$  dan  $Mq_e = 0,282$

$$\begin{aligned}n_{\text{eff}} &= \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{Jumlah derajat kebebasan dalam perkiraan rata-rata}} \\ &= \frac{9 \times 3}{1 + 2} = \frac{27}{3} \\ &= 9 \\ CI &= \pm \sqrt{F_{(0,05;1;2)} \times V_e \frac{1}{n_{\text{eff}}}} \\ &= \pm \sqrt{18,51 \times 0,282 \times \frac{1}{9}} \\ &= \pm 0,580\end{aligned}$$

Jadi prediksi interval kepercayaan rata-rata kekasaran permukaan untuk proses optimum adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{prediksi}} - CI &\leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + CI \\ -5,224 - 0,580 &\leq -5,224 \leq -5,224 + 0,580 \\ -5,804 &\leq -5,224 \leq -4,644\end{aligned}$$

### 4.3 Analisis Pengaruh Variabel Proses Terhadap Kekasaran Permukaan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh data nilai kekasaran permukaan yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.6 Data hasil penelitian

No	Parameter Kendali			Pengulangan			Rata-Rata
	A	B	C	1	2	3	
1	1	1	1	1,960	2,005	2,084	2,016
2	1	2	2	2,161	2,316	2,550	2,342
3	1	3	3	2,200	2,382	3,106	2,562
4	2	1	2	1,914	1,980	2,072	1,989
5	2	2	3	1,973	2,015	2,117	2,035
6	2	3	1	2,119	2,202	2,430	2,250
7	3	1	3	1,690	1,842	1,865	1,799
8	3	2	1	1,732	1,846	1,898	1,825
9	3	3	2	1,761	1,859	1,912	1,844

Sehingga dari data penelitian di atas dapat diketahui hubungan antara tiap faktor kendali terhadap kekasaran permukaan benda kerja adalah sebagai berikut:

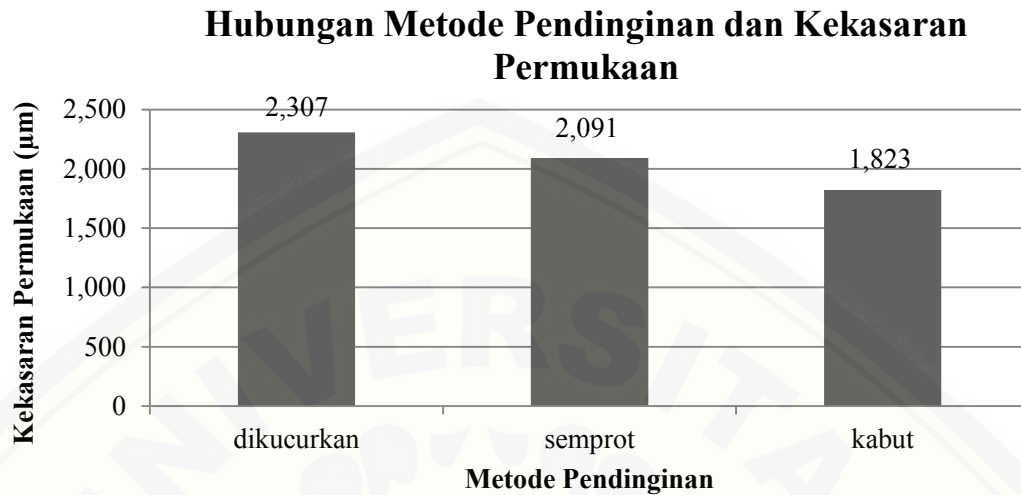
#### 4.3.1 Variasi Metode pendinginan dengan Kekasaran Permukaan

Dari Tabel 4.6, maka dapat diketahui hubungan antara metode pendinginan dengan nilai kekasaran permukaan dari setiap benda kerja. Berikut Tabel 4.7 merupakan hubungan metode pendinginan dengan kekasaran permukaan.

Tabel 4.7 Hubungan metode pendinginan dengan kekasaran permukaan

Metode pendinginan	Kekasaran Permukaan ( $\mu\text{m}$ )			Rata-rata
Dikururkan	2,016	2,342	2,562	2,307
Semprot	1,898	2,035	2,250	2,091
Kabut	1,799	1,825	1,844	1,823

Dari Tabel 4.7 dapat dibaca pengaruh faktor metode pendinginan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Hubungan metode pendinginan dan kekasaran permukaan

Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa nilai kekasaran permukaan yang terendah yaitu  $1,823\mu\text{m}$ , diperoleh dengan metode pendinginan “kabut”. Alasan mengapa metode pendinginan “kabut” lebih baik daripada metode pendinginan “semprot” dan dikururkan. Hal ini mengacu pada laju perpindahan panas suatu benda atau laju pendinginan suatu benda. Pada dasarnya rumus perpindahan panas/kalor adalah  $Q = h \times A \times \Delta T$ . Dimana luas penampang ( $A$ ) dan temperature ( $\Delta T$ ) sama, yang membedakan hanyalah koefisien perpindahan panas/kalor ( $h$ ). Metode pendinginan “kabut” dan “semprot” yang membedakan adalah viskositasnya ( $\nu$ ), kita ketahui bersama bahwa nilai viskositas dari metode pendinginan “semprot” lebih besar dari viskositas metode pendinginan “kabut”. Jika nilai viskositasnya ( $\nu$ ) lebih besar, maka nilai dari koefisien perpindahan panas/kalornya ( $h$ ) juga akan semakin besar. Dari persamaan perpindahan panas/kalor adalah  $Q = h \times A \times \Delta T$ , jika koefisien perpindahan panas/kalornya ( $h$ ) besar, maka otomatis nilai dari perpindahan kalor/panasnya ( $Q$ ) juga semakin besar. Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa metode pendinginan “kabut” memang lebih baik dari pada metode pendinginan “semprot” jika merujuk persamaan perpindahan panas/kalor ( $Q$ ). Dalam penelitian yang berkaitan dengan metode pendinginan dikatakan bahwa “Pemberian cairan

pendingin yang tepat dapat membuat benda kerja dapat mencapai temperatur optimal dimana *machinability* material terbaik diperoleh. Dalam metode pendinginan seperti dikururkan, semprot dan kabut ini tidak semua mampu melakukan penetrasi daerah kontak antara pahat dan geram sehingga pendinginan daerah pemotongan tidak efektif. Pendinginan yang tidak mampu bekerja secara efektif dalam mendinginkan dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada pahat akibat temperatur tinggi seperti keausan dan keretakan” (Sugiantoro dan Jati 2015).

#### 4.3.2 Variasi Kecepatan Pemakanan dengan Kekasaran Permukaan

Dari Tabel 4.6, maka dapat diketahui hubungan kecepatan pemakanan dengan nilai kekasaran permukaan dari setiap benda kerja. Berikut Tabel 4.8 merupakan hubungan kecepatan pemakanan dengan kekasaran permukaan.

Tabel 4.8 Hubungan kecepatan pemakanan dengan kekasaran permukaan

Kecepatan Pemakanan (mm/menit)	Kekasaran Permukaan ( $\mu\text{m}$ )			Rata-rata
180	2,016	1,898	1,799	1,935
200	2,342	2,035	1,825	2,067
220	2,526	2,250	1,844	2,219

Dari Tabel 4.8 dapat dibaca pengaruh faktor kecepatan pemakanan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.





Gambar 4.2 Hubungan kecepatan pemakanan dan kekasaran permukaan

Dari Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa nilai kekasaran permukaan yang terendah yaitu 1,935  $\mu\text{m}$ , diperoleh dengan kecepatan pemakanan 180 mm/menit yang merupakan kecepatan pemakanan yang terendah. Pada penelitian kali ini, variasi kecepatan pemakanan 180 mm/menit, 200 mm/menit dan 220 mm/menit terbukti tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan.

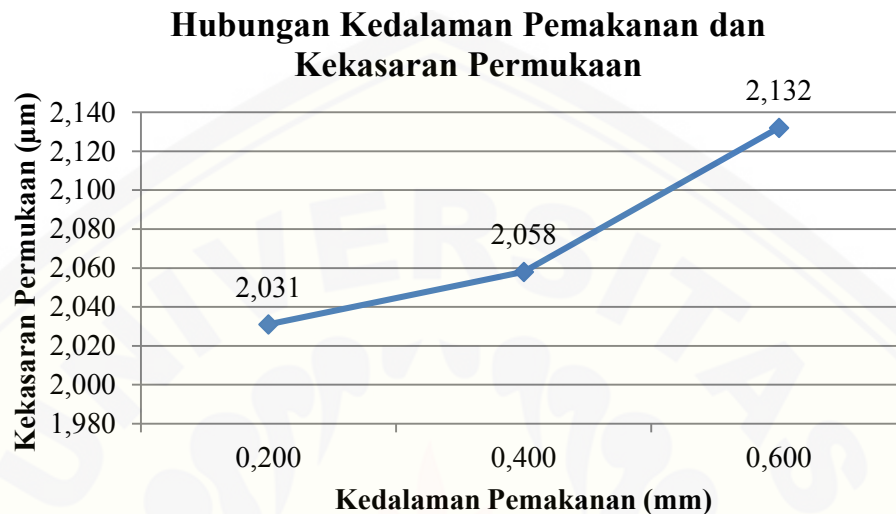
#### 4.3.3 Variasi Kedalaman Pemakanan dengan Kekasaran Permukaan

Dari Tabel 4.6, maka dapat diketahui hubungan kedalaman pemakanan dengan nilai kekasaran permukaan dari setiap benda kerja. Berikut Tabel 4.9 merupakan hubungan kedalaman pemakanan dengan kekasaran permukaan.

Tabel 4.9 Hubungan kedalaman pemakanan dengan kekasaran permukaan

Kedalaman Pemakanan (mm)	Kekasaran Permukaan ( $\mu\text{m}$ )			Rata-rata
0,200	2,016	2,250	1,825	2,031
0,400	2,342	1,989	1,844	2,058
0,600	2,526	2,035	1,799	2,132

Dari Tabel 4.9 dapat dibaca pengaruh faktor kedalaman pemakanan yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 Hubungan kedalaman pemakanan dan kekasaran permukaan

Dari Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa nilai kekasaran permukaan yang terendah yaitu 2,031  $\mu\text{m}$ , diperoleh dengan kedalaman pemakanan 0,200 mm yang merupakan kedalaman pemakanan yang terendah. Pada penelitian kali ini, variasi kedalaman pemakanan 0,200 mm, 0,400 mm dan 0,600 mm terbukti tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan.

#### 4.3.4 Analisis Kekasaran Permukaan untuk *Signal to Noise Ratio*

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada analisis yang telah dilakukan, maka diketahui kombinasi faktor kondisi proses pemesinan yang optimum akan dicapai bila kombinasi level dari setiap faktor menghasilkan proses pemesinan yang memiliki nilai kekasaran permukaan yang minimal. Berikut Tabel 4.10 merupakan hasil respon rata-rata kekasaran permukaan untuk tiap faktor.

Tabel 4.10 Respon rata-rata untuk tiap faktor

Level	Metode Pendinginan	Kecepatan Pemakanan	Kedalaman Pemakanan
1	-7,280	-5,728	-6,132
2	-6,407	-6,278	-6,242
3	-5,224	-6,904	-6,537
Selisih	2,056	1,176	0,405
Rangking	1	2	3

Untuk menghasilkan proses pemesinan yang memiliki tingkat nilai kekasaran permukaan yang rendah. Faktor yang dipilih adalah faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan pada benda kerja, faktor tersebut adalah Metode pendinginan. Oleh karena itu, berdasarkan tabel respon rata-rata pada Tabel 4.10 untuk menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang rendah digunakan Metode pendinginan level 3, dikabutkan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi debit pendinginan, maka akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang rendah. Hal ini dapat dijelaskan bahwa metode pendinginan memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja. Sedangkan kombinasi optimum untuk tingkat kekasaran permukaan yang rendah adalah faktor metode pendinginan dikabutkan, kecepatan pemakanan 180 mm/menit, dan faktor kedalaman pemakanan 0,200 mm.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan untuk prediksi kondisi proses optimum dengan level tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha = 0,05$ ) untuk ekspiremen Taguchi tersebut, yaitu dengan hasil *Signal to Noise* sebesar -5,244;  $\mu_{\text{prediksi}} = -5,244$ ; dan optimasi (CI) =  $-5,244 \pm 0,580$ .

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini setelah dilakukannya penelitian dan didapatkan data nilai kekasaran permukaan hasil dari proses pemesinan *milling* CNC dengan menggunakan variabel metode pendinginan, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan yang kemudian diolah secara statistik dengan menggunakan metode Taguchi, yaitu:

1. Hasil dari analisis statistik membuktikan bahwa pada variabel metode pendinginan terbukti memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan dengan nilai persen kontribusi sebesar 60,708 %. Pada variabel kecepatan pemakanan terbukti tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan dengan nilai persen kontribusi sebesar 15,768 %. Sedangkan untuk variabel kedalaman pemakanan terbukti tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan karena variabel telah dilakukan *pooling* dengan nilai persen kontribusi sebelum dilakukannya *pooling* sebesar -6,278 %;
2. Kombinasi yang optimum untuk tingkat kekasaran permukaan yang terendah dapat diperoleh dengan kombinasi faktor metode pendinginan dikabutkan (faktor A level 3), kecepatan pemakanan 180 mm/menit (faktor B level 1), dan kedalaman pemakanan 0,2 mm (faktor C level 1).

### 5.2 Saran

Penelitian yang telah penulis lakukan hanya membahas tentang pengaruh metode pendinginan, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan pada baja S45C. 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 seperti pengaruh variasi debit pendingin (*coolant*) dan dapat dilakukan penambahan variabel terikat yang nantinya akan diteliti seperti laju pembuangan material (MRR).

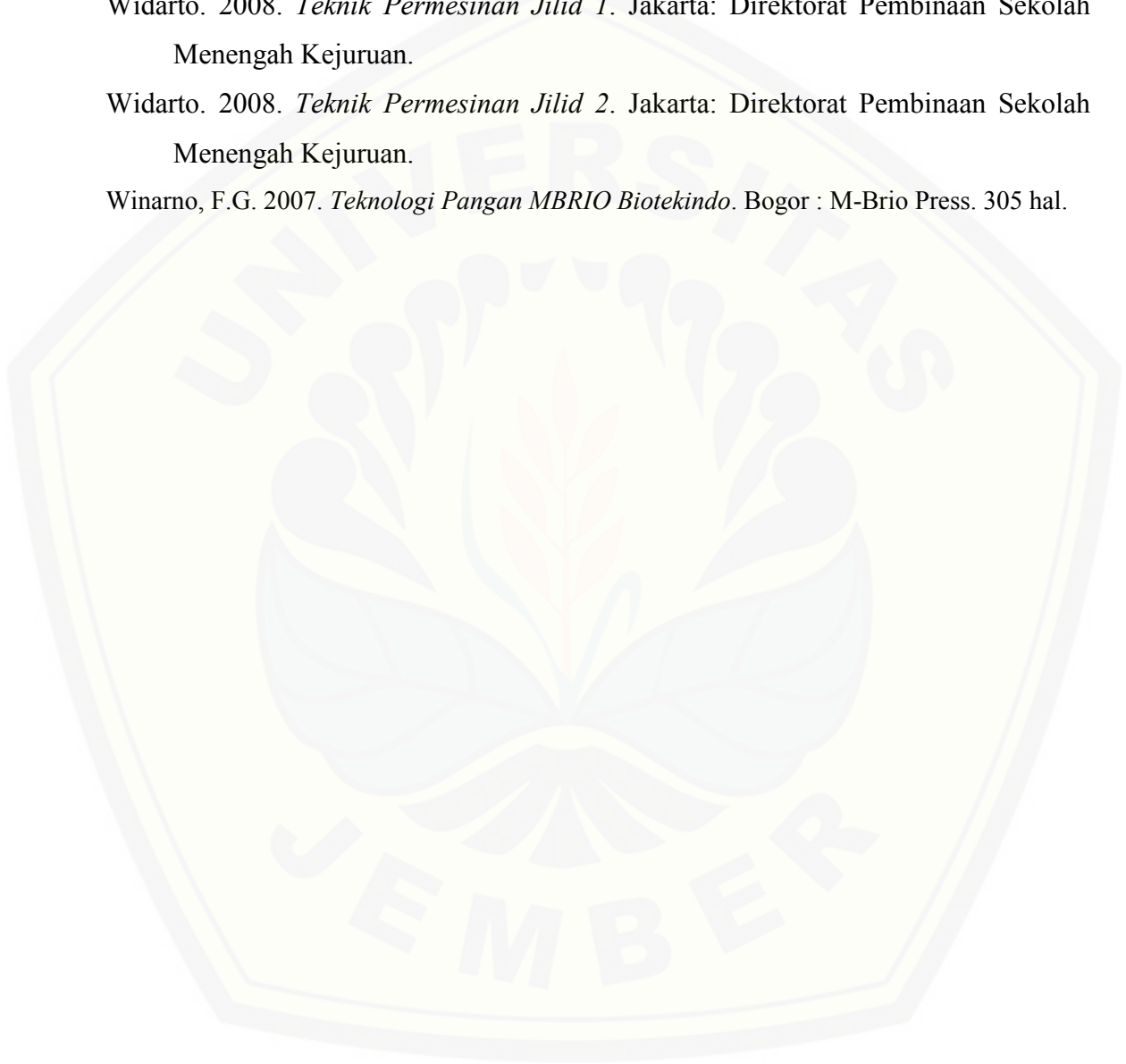


**DAFTAR PUSTAKA**

- Abbas, Hammad., Bontong, Yafet., Aminy, Yusran., Azis, Nasaruddin., dan Arif, Syahrir. 2013. *Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Operasi Pemotongan Milling Terhadap Getaran dan Tingkat Kekasaran Permukaan (Surface Roughness)*. Jurnal : Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10 Tamalanrea Makassar, Indonesia.
- Atedi, B. dan Agustono, D. 2005. *Standar Kekasaran Permukaan Bidang pada Yoke Flange Menurut ISO R.1302 dan DIN 4768 dengan Memperhatikan Nilai Ketidakpastiannya*. Jurnal: Media Mesin. Puslit KIM dan SMTP-LIPI Serpong. Vol: 6. Nomor: 2.
- Bernardos P.G. dan Vosniakos G.C., 2002. “*Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi’s design of experiments*”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 18, No.5-6, pp. 343-354*.
- Direktorat Pembinaan SMK. 2013. *Teknik Permesinan CNC Dasar*. Bandung: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Ginting, M. dan Karmin., 2012. *Analisis Peningkatan Kekerasan Baja Amutit Menggunakan Media Pendingin Dromus*. Skripsi : Univeritas Nusantara PGRI Kediri, Indonesia.
- Kern, D. Q. 1983. *Process Heat Transfer 2nd*. Tokyo . McGrow Hill Book Company Inc.
- Lesmono, Indra dan Yunus. 2013. *Pengaruh Jenis Pahat, Kecepatan Spindle, dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Baja ST. 42 pada Proses Bubut Konvensional*. Jurnal: JTM. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya. Vol: 1. Nomor: 3.
- 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*. Skripsi : Fakultas Keguruan dan Ilmu Keguruan Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia.

- Nuret, M., Lafore, J.P., Guichard, J.L., Redelsperger, O., Bock, A., Panareda, Agusti. And N'Gamini, J.B. 2008. *Correction Of Humidity Bis For Vaisala RS80-A Sondes During the AMMA Observing Period*. Mathieu Nuret, Météo-France & CNRS, CNRM/GMME/MOANA, 42 avenue G. Coriolis, F-31057 Toulouse.
- Rochim, Taufik. 2007. *Proses Permesinan: Klasifikasi Proses, Gaya & Daya Permesinan*. Bandung: ITB.
- Rochim, Taufik. 2007. *Proses Permesinan: Perkakas & Sistem Pemerkakasan*. Bandung: ITB.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Standar ISO 1302 : 1996 dan Standar DIN 4768 : 1981
- Sugiantoro, Bambang. Dan Jati, U.S. 2015. *Desain Alat Penukar Kalor (Air To Air Cooler) Produksi Udara Dingin Untuk Fluida Pendingin Proses Permesinan*. Jurnal : Teknik Mesin STT Wiworotomo Purwokerto Jl. Semingkir No. 1 Purwokerto dan Politeknik Ma'arif Purwokerto, Jl Sultan Agung Purwokerto Intuisi Teknologi Dan Seni EDISI 7 NO 1 APRIL 2015
- Suhardjono. 2004. *Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing)*. Jurnal Teknik Mesin, 6 (2): 39-48.
- Sularso, Suga, K., 2002. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Supranto, J. MA dan Mulyadi, Julius. 1988. *Statistik Teori dan Aplikasi*. Jakarta : Penerbit Erlangga PR-10-M, Edisi Kelima.
- 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.

- Wang M.Y., dan Chang H.Y. 2004. “*Experimental study of surface roughness in slot end milling AL2014-T6*”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 44, No. 1, pp. 51-57.
- Widarto. 2008. *Teknik Permesinan Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Widarto. 2008. *Teknik Permesinan Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Winarno, F.G. 2007. *Teknologi Pangan MBRIO Biotekindo*. Bogor : M-Brio Press. 305 hal.





LAMPIRAN

Lampiran A. F-tabel untuk level tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha = 0,05$ )

x/y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.39	19.40
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
10	4.97	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.10	3.01	2.95	2.90	2.85
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	4.45	3.59	3.20	2.97	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.56	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.33	3.47	3.07	2.84	2.69	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.38	2.32	2.28
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.26
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.41	2.34	2.28	2.24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.17
31	4.16	3.31	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.26	2.20	2.15
32	4.15	3.30	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14
33	4.14	3.29	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.24	2.18	2.13
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11

Sumber : Supranto dan Mulyadi (1988)

**Lampiran B. Perhitungan *Signal to Noise Ratio***

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-1

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log (0,063^2 + 2,016^2) \\ &= -10 \log (4,069) \\ &= -6,095\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(11,960-2,074)^2 + (2,005-2,074)^2 + (2,084-2,074)^2}{3-1}} \\ &= 0,063\end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-2

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log (0,196^2 + 2,342^2) \\ &= -10 \log (5,542) \\ &= -7,422\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(2,161-2,074)^2 + (2,316-2,074)^2 + (2,550-2,074)^2}{3-1}} \\ &= 0,196\end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-3

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log (0,479^2 + 2,562^2) \\ &= -10 \log (6,796) \\ &= -8,322\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(2,200-2,074)^2 + (2,382-2,074)^2 + (3,106-2,074)^2}{3-1}} \\ &= 0,479\end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-4

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log(\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log(0,079^2 + 1,989^2) \\ &= -10 \log(3,962) \\ &= -5,979\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(1,914-2,074)^2 + (1,980-2,074)^2 + (2,072-2,074)^2}{3-1}} \\ &= 0,079\end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-5

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log(\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log(0,074^2 + 2,035^2) \\ &= -10 \log(4,147) \\ &= -6,177\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(1,973-2,074)^2 + (2,015-2,074)^2 + (2,117-2,074)^2}{3-1}} \\ &= 0,074\end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-6

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log (0,161^2 + 2,250^2) \\ &= -10 \log (5,090) \\ &= -7,067\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(2,119-2,074)^2 + (2,202-2,074)^2 + (2,430-2,074)^2}{3-1}} \\ &= 0,161\end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-7

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log (0,095^2 + 1,799^2) \\ &= -10 \log (3,245) \\ &= -5,112\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(1,690-2,074)^2 + (1,842-2,074)^2 + (1,865-2,074)^2}{3-1}} \\ &= 0,095\end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-8

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log (0,085^2 + 1,825^2) \\ &= -10 \log (3,338) \\ &= -5,235\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(1,732-2,074)^2 + (1,846-2,074)^2 + (1,898-2,074)^2}{3-1}} \\ &= 0,085\end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-9

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log(\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log(0,077^2 + 1,844^2) \\ &= -10 \log(4,300) \\ &= -5,324\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(1,761-2,074)^2 + (1,859-2,074)^2 + (1,912-2,074)^2}{3-1}} \\ &= 0,077\end{aligned}$$

### Lampiran C. Perhitungan Rata-rata Respon

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Putaran *Spindle* (A) level 1 yaitu pada percobaan 1,2, dan 3.

$$\bar{A}_1 = \frac{(-6,095) + (-7,422) + (-8,322)}{3} = -7,280$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Putaran *Spindle* (A) level 2 yaitu pada percobaan 4,5, dan 6.

$$\bar{A}_2 = \frac{(-5,979) + (-6,177) + (-7,067)}{3} = -6,407$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Putaran *Spindle* (A) level 3 yaitu pada percobaan 7,8, dan 9.

$$\bar{A}_3 = \frac{(-5,112) + (-5,232) + (-5,324)}{3} = -5,224$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kecepatan Pemakanan (B) level 1 yaitu pada percobaan 1,4, dan 7.

$$\bar{B}_1 = \frac{(-6,095) + (-5,979) + (-5,112)}{3} = -5,728$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kecepatan Pemakanan (B) level 2 yaitu pada percobaan 2,5, dan 8.

$$\bar{B}_2 = \frac{(-7,422) + (-6,177) + (-5,235)}{3} = -6,278$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kecepatan Pemakanan (B) level 3 yaitu pada percobaan 3,6, dan 9.

$$\bar{B}_3 = \frac{(-8,322) + (-7,067) + (-5,324)}{3} = -6,904$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kedalaman Pemakanan (C) level 1 yaitu pada percobaan 1,6, dan 8.

$$\bar{C}_1 = \frac{(-6,095) + (-7,067) + (-5,235)}{3} = -6,132$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kedalaman Pemakanan (C) level 2 yaitu pada percobaan 2,4, dan 9.

$$\bar{C}_2 = \frac{(-7,422) + (-5,979) + (-5,324)}{3} = -6,242$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kedalaman Pemakanan (C) level 3 yaitu pada percobaan 3,5, dan 7.

$$\bar{C}_3 = \frac{(-8,322) + (-6,177) + (-5,112)}{3} = -6,537$$

#### Lampiran D. Perhitungan ANOVA untuk *Signal to Noise Ratio*

- 1)  $\bar{y}$  – Rata-rata eksperimen keseluruhan

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{-6,095 + (-7,422) + (-8,322) + \dots + (-5,112) + (-5,325) + (-5,324)}{9}$$

$$= -6,304$$

- 2) ST – Jumlah kuadrat total

Jumlah kuadrat total adalah sebagai berikut:

$$ST = \sum y^2$$

$$ST = -6,095^2 + (-7,422)^2 + (-8,322)^2 + \dots + (-5,112)^2 + (-5,235)^2 + (-5,324)^2$$

$$= 367,226$$

- 3) Sm – Jumlah kuadrat karena rata-rata (mean)

$$Sm = n \bar{y}^2$$

$$Sm = 9 \times (-6,304^2)$$

$$= 357,631$$

- 4) SA – Jumlah kuadrat karena faktor putaran *spindle*

Jumlah kuadrat faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

$$SA = \frac{[\text{Total } A_1]^2}{n_1} + \frac{[\text{Total } A_2]^2}{n_2} + \frac{[\text{Total } A_3]^2}{n_3} - \frac{[\text{Total } A]^2}{n_1 + n_2 + n_3}$$

$$SA = \frac{[-21,84]^2}{3} + \frac{[-19,22]^2}{3} + \frac{[-15,67]^2}{3} - \frac{[-21,84 + (-19,22) + (-15,67)]^2}{3 + 3 + 3}$$

$$= 6,390$$

- 5) SB – Jumlah kuadrat karena faktor kecepatan pemakanan

Jumlah kuadrat faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$SB = \frac{[\text{Total } B_1]^2}{n_1} + \frac{[\text{Total } B_2]^2}{n_2} + \frac{[\text{Total } B_3]^2}{n_3} - \frac{[\text{Total } B]^2}{n_1 + n_2 + n_3}$$

$$SB = \frac{[-17,19]^2}{3} + \frac{[-18,83]^2}{3} + \frac{[-20,71]^2}{3} - \frac{[-17,19 + (-18,83) + (-20,71)]^2}{3 + 3 + 3}$$

$$= 2,077$$

- 6) SC – Jumlah kuadrat karena faktor kedalaman pemakanan

Jumlah kuadrat faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$SC = \frac{[\text{Total } C_1]^2}{n_1} + \frac{[\text{Total } C_2]^2}{n_2} + \frac{[\text{Total } C_3]^2}{n_3} - \frac{[\text{Total } C]^2}{n_1 + n_2 + n_3}$$

$$SC = \frac{[-18,40]^2}{3} + \frac{[-18,73]^2}{3} + \frac{[-19,61]^2}{3} - \frac{[-18,40 + (-18,73) + (-19,61)]^2}{3 + 3 + 3}$$
$$= 0,263$$

7) Se – Jumlah kuadrat *error*

$$ST = S_m + SA + SB + SC + Se$$

$$Se = ST - S_m - SA - SB - SC$$

$$= 367,226 - 357,631 - 6,630 - 2,077 - 0,263$$

$$= 0,866$$

8) Mq – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

$$Mq_A = \frac{Sq_A}{v_A}$$
$$= \frac{6,390}{2} = 3,195$$

Dimana:

$$v_A = (\text{Banyak level} - 1)$$

$$= 3 - 1$$

$$= 2$$

9) Mq – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$Mq_B = \frac{Sq_B}{v_B}$$
$$= \frac{2,077}{2} = 1,039$$

Dimana:

$$v_B = (\text{Banyak level} - 1)$$

$$= 3 - 1$$

$$= 2$$



10)  $Mq$  – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Mq_c &= \frac{Sq_c}{v_c} \\ &= \frac{0,263}{2} = 0,132\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}v_c &= (\text{Banyak level} - 1) \\ &= 3 - 1 \\ &= 2\end{aligned}$$

11)  $Mq$  – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk *error* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Mq_e &= \frac{Sq_e}{v_e} \\ &= \frac{0,866}{2} = 0,433\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}v_e &= (\text{Total jumlah kuadrat} - \text{Total derajat kebebasan faktor} - 1) \\ &= 9 - 6 - 1 \\ &= 2\end{aligned}$$

12) *F-ratio*

Untuk faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_A &= \frac{Mq_A}{Mq_e} \\ &= \frac{3,195}{0,433} = 2,762\end{aligned}$$

13) *F-ratio*

Untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_B &= \frac{Mq_B}{Mq_e} \\ &= \frac{1,039}{0,433} = 0,606\end{aligned}$$

14) F-ratio

Untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_B &= \frac{Mq_C}{Mq_e} \\ &= \frac{0,132}{0,433} = -0,301\end{aligned}$$

15) F-ratio

Untuk faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_E &= \frac{Mq_e}{Mq_e} \\ &= \frac{0,433}{0,433} = 1,00\end{aligned}$$

16) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Untuk faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SA' &= SA - vA.Ve \\ &= 6,390 - (2 \times 0,433) \\ &= 5,524\end{aligned}$$

17) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SB' &= SB - vB.Ve \\ &= 2,077 - (2 \times 0,433) \\ &= 1,212\end{aligned}$$

18) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SC' &= SC - vC.Ve \\ &= 0,263 - (2 \times 0,433) \\ &= -0,602\end{aligned}$$

19) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

untuk *error* adalah sebagai berikut:

$$Se' = St - SA' - SB' - SC'$$

$$\begin{aligned} Se' &= 9,596 - 5,524 - 1,121 - (-0,602) \\ &= 15,77 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} St &= ST - Sm \\ &= 367,226 - 357,631 \\ &= 9,596 \end{aligned}$$

20)  $\rho$  – Persen kontribusi untuk faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho A &= \frac{SA'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{5,524}{9,596} \times 100\% \\ &= 57,569\% \end{aligned}$$

21)  $\rho$  – Persen kontribusi untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho B &= \frac{SB'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{1,212}{9,596} \times 100\% \\ &= 12,629\% \end{aligned}$$

22)  $\rho$  – Persen kontribusi untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho C &= \frac{SC'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{-0,602}{9,596} \times 100\% \\ &= - 6,278\% \end{aligned}$$

23)  $\rho$  – Persen kontribusi untuk *error* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho e &= \frac{Se'}{St} \times 100\% \\ \rho e &= \frac{3,462}{9,596} \times 100\% \\ &= 36,081\% \end{aligned}$$

Lampiran E. Gambar Benda Kerja



Benda Kerja 1.1



Benda Kerja 1.2



Benda Kerja 1.3



Benda Kerja 2.1



Benda Kerja 2.2



Benda Kerja 2.3



Benda Kerja 3.1



Benda Kerja 3.2



Benda Kerja 3.3



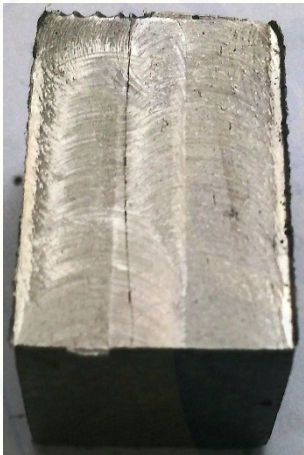
Benda Kerja 4.1



Benda Kerja 4.2



Benda Kerja 4.3



Benda Kerja 5.1



Benda Kerja 5.2



Benda Kerja 5.3



Benda Kerja 6.1



Benda Kerja 6.2



Benda Kerja 6.3



Benda Kerja 7.1



Benda Kerja 7.2



Benda Kerja 7.3



Benda Kerja 8.1



Benda Kerja 8.2



Benda Kerja 8.3



Benda Kerja 9.1



Benda Kerja 9.2



Benda Kerja 9.3