



**ANALISIS VARIASI PROSES *MILLING CNC* TERHADAP  
KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 41  
DENGAN METODE TAGUCHI**

**SKRIPSI**

Oleh

**Bijak Sunyapa  
NIM 121910101044**

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



**ANALISIS VARIASI PROSES *MILLING CNC* TERHADAP  
KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 41  
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

**Bijak Sunyapa**  
**NIM 121910101044**

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

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Suryati Kasih dan Ayahanda Sukijo yang tercinta serta selalu memberikan do'a, dukungan, kepercayaan, dan memberikan kasih sayang dan pengorbanan selama ini;
2. Kakakku Arif Okvan Jati, Adikku Tri Sri Lestari, dan yang tersayang Dwi Rizky Fitria;
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 : Bijak Sunyapa

NIM : 121910101044

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Variasi Proses *Milling CNC* Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST41 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, 14 Juni 2016

Yang menyatakan,

Bijak Sunyapa

NIM 121910101044

**SKRIPSI**

**ANALISIS VARIASI PROSES *MILLING CNC* TERHADAP  
KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST41  
DENGAN METODE TAGUCHI**

Oleh  
Bijak Sunyapa  
NIM 121910101044

Pembimbing :

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “*Analisis Variasi Proses Milling CNC Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST41 dengan Metode Taguchi*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Selasa, 14 Juni 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Tim Penguji**

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA),

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

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.  
NIP 19850117 201212 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Imam Sholahuddin, S.T., M.T.  
NIP 19811029 200812 1 003

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

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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



## RINGKASAN

**Analisis Variasi Proses *Milling CNC* Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST41 dengan Metode Taguchi;** Bijak Sunyapa, 121910101044; 2016; 66 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 putaran *spindle*, 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 53,10%. Pada variabel kecepatan pemakanan terbukti tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan



dengan nilai persen kontribusi sebesar 21,21%. 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 0,97%.

Sedangkan kombinasi yang optimum untuk tingkat kekasaran permukaan yang terendah dapat diperoleh dengan kombinasi faktor putaran *spindle* 1500rpm (faktor A level 3), kecepatan pemakanan 240 mm/menit (faktor B level 1), dan kedalaman pemakanan 0,25mm (faktor C level 1).

## SUMMARY

***The Analysis Variation Process Of CNC Milling On Steel ST41 Surface Roughness Using Taguchi Method***; Bijak Sunyapa, 121910101044; 2016; 66 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 spindle speed, 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 spindle speed proven to provide significant influence on the surface roughness value per cent contribution of 53.10%. At the feed rate variable proven did not leave a significant influence on the surface roughness value per cent contribution of 21.21%. 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 0.97%.*

*The optimum combination of low levels of surface roughness can be obtained by a combination of factors spindle speed 1500rpm (factor A level 3), feeds rate of 240 mm/min (factor B level 1), and depth of cut 0,25mm (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 Proses *Milling CNC* Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST41 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. Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ahmad Adib Rosyadi, 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. Imam Sholahuddin, S.T., M.T. dan Dedi Dwi Laksana, 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, 14 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN .....	v
HALAMAN PEMBIMBING .....	vi
HALAMAN PENGESAHAN .....	vii
RINGKASAN .....	viii
SUMMARY .....	x
PRAKATA .....	xii
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusah Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Batasan Masalah .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Mesin Frais (<i>Milling</i>) Konvensional .....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Klasifikasi Proses <i>Milling</i> .....	7
2.1.2 Prinsip Kerja Mesin Frais ( <i>Milling</i> ) .....	8
2.1.3 Bagian-bagian Mesin Frais ( <i>Milling</i> ) .....	8
<b>2.2 Mesin Frais (<i>Milling</i>) CNC .....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Jenis-jenis Mesin Frais ( <i>Milling</i> ) CNC .....	10
2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Frais ( <i>Milling</i> ) CNC .....	11

2.2.3	Bagian-bagian Utama Mesin Frais ( <i>Milling</i> ) CNC .....	13
<b>2.3</b>	<b>Parameter Pengoprasian Mesin Frais (<i>Milling</i>) .....</b>	<b>17</b>
2.3.1	Putaran Sepindel ( <i>Spindle Speed</i> ) .....	18
2.3.2	Kecepatan Pemakanan ( <i>Feed Rate</i> ) .....	18
2.3.3	Kedalaman Pemakanan ( <i>Depth of Cut</i> ) .....	19
<b>2.4</b>	<b>Kekasaran Permukaan .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5</b>	<b>Metode Taguchi .....</b>	<b>23</b>
2.5.1	Tahapan dalam Metode Taguchi .....	24
2.5.2	Analisis dalam Metode Taguchi .....	25
2.5.3	Istilah dalam Metode Taguchi .....	25
<b>2.6</b>	<b>Hipotesa .....</b>	<b>31</b>
<b>BAB 3.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Waktu dan Tempat Penelitian .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Alat dan Bahan .....</b>	<b>32</b>
3.2.1	Alat Penelitian .....	32
3.2.2	Bahan .....	36
<b>3.3</b>	<b>Pelaksanaan Percobaan .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4</b>	<b>Pengambilan Data .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5</b>	<b>Jenis <i>Orthogonal Array</i> .....</b>	<b>39</b>
<b>3.6</b>	<b>Variabel Pengukur .....</b>	<b>40</b>
3.6.1	Variabel Bebas .....	40
3.6.2	Variabel Terikat .....	41
<b>3.7</b>	<b>Data Percobaan .....</b>	<b>41</b>
<b>3.8</b>	<b>Metode Analisis .....</b>	<b>44</b>
<b>3.9</b>	<b><i>Flowchart</i> .....</b>	<b>46</b>
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>Data Hasil Pengujian .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>Analisis Data Kekasaran Permukaan .....</b>	<b>48</b>
4.2.1	Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio</i> .....	48



4.2.2	Perhitungan ANOVA untuk <i>Signal to Noise Ratio</i> .....	52
4.2.3	Prediksi <i>Signal to Noise Ratio</i> yang Optimal .....	58
<b>4.3</b>	<b>Analisis Pengaruh Variabel Proses Terhadap Kekasaran</b>	
	<b>Permukaan .....</b>	<b>59</b>
4.3.1	Variasi Putaran <i>Spindle</i> dengan Kekasaran Permukaan ...	60
4.3.2	Variasi Kecepatan Pemakanan dengan Kekasaran Permukaan .....	61
4.3.3	Variasi Kedalaman Pemakanan dengan Kekasaran Permukaan .....	64
4.3.4	Analisis Kekasaran Permukaan untuk <i>S/N Ratio</i> .....	65
<b>BAB 5. PENUTUP</b>	<b>.....</b>	<b>67</b>
5.1	<b>Kesimpulan .....</b>	<b>67</b>
5.2	<b>Saran .....</b>	<b>67</b>
<b>DAFTAR PUSATAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Standarisasi simbol nilai kekasaran menurut ISO .....	21
2.2 Pekerjaan akhir proses permesinan dan kekasaran permukaan Ra menurut ISO .....	22
2.3 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya ....	23
2.4 Contoh <i>Orthogonal Array</i> untuk $L_8(2^7)$ .....	28
3.1 Kecepatan potong pada proses milling untuk pahat HSS .....	34
3.2 Parameter kendali dan level untuk <i>Orthogonal Array</i> L9 .....	39
3.3 <i>Orthogonal Array</i> untuk taguchi L9 .....	40
3.4 Daftar variabel bebas dan level .....	41
3.5 Data percobaan hasil pengujian .....	41
4.1 Data pengujian kekasaran permukaan .....	47
4.2 Hasil perhitungan Rasio S/N .....	49
4.3 Respon rata-rata keksaran permukaan untuk Rasio S/N .....	50
4.4 Hasil analisis varian untuk Rasio S/N .....	56
4.5 Hasil <i>pooling</i> untuk analisis varian .....	57
4.6 Data hasil penelitian .....	59
4.7 Hubungan putaran <i>spindle</i> dengan kekasaran permukaan .....	60
4.8 Hubungan kecepatan pemakanan dengan kekasaran permukaan .....	62
4.9 Hubungan kedalaman pemakanan dengan kekasaran permukaan .....	64
4.10 Respon rata-rata untuk tiap faktor .....	65

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Gambar skematik dari mesin frais .....	6
2.2 Klasifikasi proses frais .....	7
2.3 Bagian-bagian mesin frais .....	8
2.4 Sistem koodinat <i>cartesius</i> .....	11
2.5 Skema pergerakan koordinat mesin <i>milling</i> .....	12
2.6 Metode pemrograman CNC .....	12
2.7 Motor utama .....	13
2.8 Skema pergerakan persumbuan mesin CNC .....	13
2.9 Step motor .....	14
2.10 <i>Tool holder</i> .....	15
2.11 <i>Collet</i> .....	15
2.12 Ragum .....	16
2.13 Bagian pengendali .....	16
2.14 Profil permukaan .....	20
3.1 Mesin <i>Milling</i> CNC FOCUS ESEMKA VMC – L540 .....	32
3.2 <i>End Mill Cutter 4 Fluet</i> .....	34
3.3 TR220 <i>Portable Roughness Tester</i> .....	35
3.4 Benda kerja sebelum proses <i>milling</i> CNC .....	37
3.5 Benda kerja setelah proses <i>milling</i> CNC .....	38
3.6 Proses pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja .....	39
3.7 <i>Flowchart</i> penelitian .....	46
4.1 Grafik putaran <i>spindle</i> terhadap <i>signal to noise</i> .....	51
4.2 Grafik kecepatan pemakanan terhadap <i>signal to noise</i> .....	51
4.3 Grafik kedalaman pemakanan terhadap <i>signal to noise</i> .....	52
4.4 Hubungan putaran <i>spindle</i> dan kekasaran permukaan .....	61
4.5 Hubungan kecepatan pemakanan dan kekasaran permukaan .....	62

4.6	Gerakan langkah dari kecepatan pemakanan .....	63
4.7	Ilustrasi jarak puncak tekstur kekasaran permukaan .....	63
4.8	Hubungan kedalaman pemakanan dan kekasaran permukaan .....	64



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan proses permesinan dalam industri manufaktur saat ini berlangsung sangat pesat. Kebutuhan manusia yang semakin meningkat dan beraneka ragam memicu berkembangnya teknologi, salah satunya di bidang industri permesinan. Dalam industri permesinan dikenal beberapa macam pengerjaan seperti pembubutan, pengefraisan, pengeboran, penggerindaan, dan lain-lain. Letak perbedaan dari proses-proses tersebut adalah cara kerja dan hasilnya. Industri permesinan banyak mengalami permasalahan, yaitu bagaimana menghasilkan produk yang berkualitas dan bagaimana memprediksi biaya permesinan.

Proses permesinan non-konvensional menjadi solusi pengerjaan ketika proses pengerjaan tidak dapat dilakukan dengan mesin yang menggunakan mesin-mesin konvensional. Tuntutan akan proses permesinan untuk bahan sangat keras, benda kerja yang tipis, rumit dan lentur, akurat serta presisi mengharuskan penerapan mesin non-konvensional. Dalam industri manufaktur, proses permesinan non-konvensional *Computer Numerik Control* (CNC) adalah mesin yang di program secara numerik dengan komputer. Dalam industri mesin CNC digunakan untuk mengerjakan produk-produk dengan bentuk permukaan yang kompleks dan kepresisian yang akurat.

Dalam melakukan proses permesinan, waktu yang dibutuhkan untuk membuat komponen harus sesingkat mungkin agar dapat mencapai kapasitas produksi yang tinggi. Untuk mencapai waktu yang minimal, parameter proses permesinan yang ada pada mesin CNC harus diatur pada kondisi maksimum. Untuk memperoleh hasil yang memuaskan terhadap produk yang dikerjakan di mesin CNC terutama dalam mencapai ukuran yang diinginkan, biasanya operator mesin hanya mengubah dan mengatur *setting* mesin menurut pengalamannya atau berdasarkan *manual book* yang terkadang kurang memuaskan hasilnya dan harus mengulangi proses untuk mencapai ketelitian ukuran yang diharapkan.

Menurut Pramana (dalam Sukma, 2016:2), industri besar menggunakan mesin *Computer Numerik control* (CNC) untuk menggantikan mesin bubut konvensional. Apabila dibandingkan dengan mesin konvensional, mesin CNC memiliki banyak kelebihan dalam hal akurasi dan tidak memerlukan keahlian operator. Namun, tidak semua industri mampu memenuhi kebutuhannya dengan menggunakan mesin CNC. Pada industri skala menengah dan kecil, mesin CNC terlalu mahal sehingga tidak cocok digunakan.

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 yang dilakukan oleh Hegar Dwi J. S., (2016) tentang optimasi laju pembuangan material AISI 1045 pada bubut CNC dengan metode taguchi. Penelitian ini menggunakan metode taguchi yang di pakai untuk mencari pengaruh variabel dari nilai kekasaran permukaan pada benda kerja. Pada penelitian ini menyimpulkan bahwa tingkat kekasaran permukaan yang tertinggi terjadi pada parameter permesinan yang tinggi dari putaran *spindle*, laju pemakanan, dan kedalaman pemotongan. Sedangkan untuk nilai kekasaran permukaan yang terdah terjadi pada paramater permesinan yang rendah.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah putaran *spindle*, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan. Semakin cepat kecepatan pemakanan maka semakin besar pula tingkat kekasaran dari benda kerja dan semakin cepat kecepatan putar dari *spindle* maka akan semakin rendah tingkat kekasarannya (Zubaidi *et al.*, 2012).

Farizi A.Z., dkk., (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh sudut potong mayor pahat dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan benda kerja pada proses bubut. Penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin besar sudut mayor



dan semakin rendah nilai *feeding* maka nilai kekasaran permukaan yang didapat akan semakin rendah. Nilai dari sudut mayor yang digunakan pada penelitian ini yaitu  $65^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $75^\circ$ , dan  $80^\circ$ .

Metode taguchi merupakan *offline quality control* artinya pengendalian kualitas yang preventif, sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. *Offline quality control* dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (*to get right first time*). “Metode taguchi adalah metode eksperimen yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin sehingga dicapai kondisi yang optimal dan efisien” (Soejanto, 2009). Metode ini digunakan untuk memberikan *layout* pengujian, mengetahui kondisi optimal dari parameter permesinan terhadap kekasaran permukaan.

Dalam menghasilkan suatu kualitas produk yang baik pada proses permesinan *milling* CNC sangat dipengaruhi oleh tingkat kekasaran permukaan benda kerja yang telah dihasilkan. Semakin rendah kekasaran permukaannya, maka semakin baik pula kualitasnya. Misalnya saja pada produk *sliding piece* yang harus mempunyai nilai kekasaran permukaan yang rendah dikarenakan *sliding piece* bekerja secara meluncur (*slide*). Sehingga tingkat kekasaran pada produk jenis ini harus benar-benar diperhatikan supaya mengurangi dampak dari gesekan antar permukaan yang dapat menyebabkan keausan yang cukup tinggi.

Dalam penelitian ini menggunakan metode taguchi *orthogonal array* yang merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini bisa hanya separuh, seperempat, atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

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

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yang di fokuskan pada kekasaran permukaan hasil permesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540* adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh putaran *spindle*, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil proses permesinan 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

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui hubungan putaran *spindle*, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil proses permesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*



2. Dapat memberikan informasi kepada dunia industri manufaktur bahwa parameter manakah yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimal pada proses permesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*.

### 1.5 Batasan Masalah

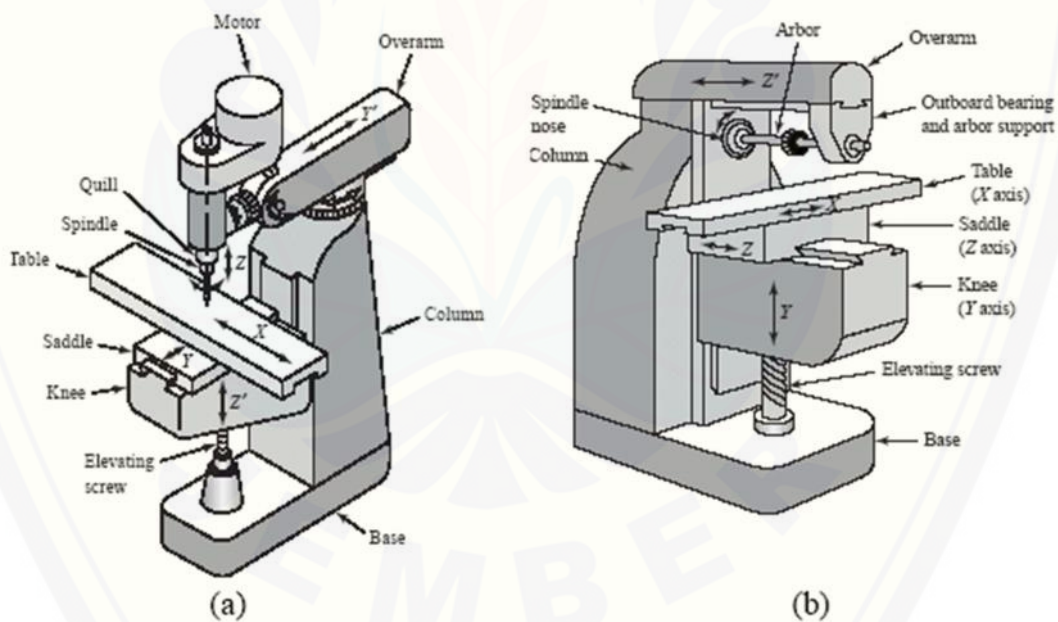
Di dalam penelitian ini membatasi masalah pada hal-hal yang berkaitan dengan variasi parameter yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimal pada proses permesinan CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*, antara lain:

1. Penelitian hanya dilakukan pada material baja ST 41
2. Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pahat HSS (*High Speed Steel*) jenis *End Mill Cutter 4 Fluet* dengan diameter 16mm
3. Percobaan dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali percobaan pada setiap parameter
4. Penelitian ini tidak menganalisa optimasi waktu pengerjaan
5. Tidak membahas masalah hubungan dengan biaya-biaya dalam penerepan mesin CNC *milling*
6. Proses *milling* yang dilakukan hanya putaran *spindle*, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan.

## 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:

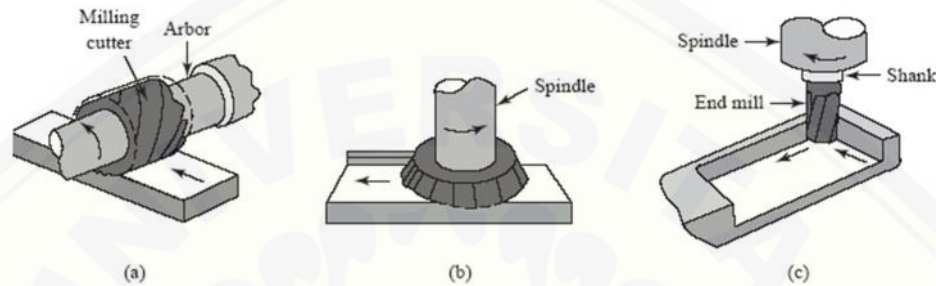


(a) Mesin frais vertikal dan (b) Mesin frais horisontal

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 rekatif 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 *slab milling*, 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*)

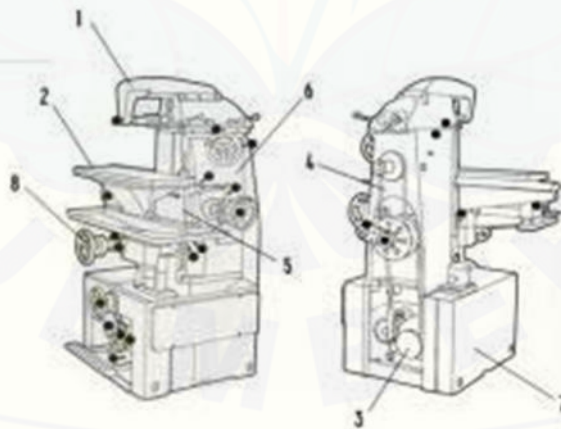
Tenaga untuk pemotongan berasal dari energi listrik yang diubah menjadi gerak utama oleh sebuah motor listrik, selanjutnya gerakan utama tersebut akan diteruskan melalui suatu transmisi untuk menghasilkan gerakan putar pada *spindle* mesin *milling*.

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

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

### 2.1.3 Bagian-bagian Mesin Frais (*Milling*)

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



Gambar 2.3 Bagian-bagian mesin frais (Sumber: Universitas Gunadarma, 2010)

1. *Spindle* utama, merupakan bagian yang terpenting dari mesin *milling*, yaitu tempat untuk mencekam alat potong.

2. Meja/*table*, merupakan bagian mesin *milling*, yaitu tempat yang di gunakan untuk dudukan *clamping device* atau benda kerja.
3. Motor *drive*, merupakan bagian mesin yang berfungsi menggerakkan bagian-bagian mesin yang lain seperti *spindle* utama, gerakan pemakanan (*feeding*) dan pendingin (*cooling*).
4. Transmisi, merupakan bagian mesin yang menghubungkan motor penggerak dengan yang digerakkan.
5. *Knee*, merupakan bagian mesin untuk menopang/menahan meja mesin. Pada bagian ini terdapat transmisi gerakan pemakanan (*feeding*).
6. *Column*/tiang, merupakan badan dari mesin. Tempat menyatunya bagian-bagian mesin yang lain.
7. *Base*/dasar, merupakan bagian bawah dari mesin *milling*. Bagian ini yang berfungsi untuk menopang badan/tiang.
8. *Control*, merupakan pengatur dari bagian-bagian mesin yang bergerak.

## 2.2 Mesin Frais (*Milling*) CNC

Awal lahirnya mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) bermula dari 1952 yang dikembangkan oleh John Pearson 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 *Two Axis* atau yang lebih dikenal dengan Mesin Bubut (*Lathe Machine*) dan Mesin CNC *Three Axis* atau yang lebih dikenal dengan Mesin Frais (*Milling Machine*).

### 2.2.1 Jenis-jenis Mesin Frais (*Milling*) CNC

Mesin Frais (*Milling*) CNC secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua, yaitu:

- a) Mesin Frais CNC *Training Unit*
- b) Mesin Frais CNC *Production Unit*.

Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua tipe mesin tersebut adalah penggunaannya di lapangan. CNC Frais *Training Unit* dipergunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoperasian CNC yang dilengkapi dengan EPS (*External Programing Sistem*).

Mesin CNC jenis *Training Unit* hanya mampu dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan ringan dengan bahan yang relatif lunak.

Sedangkan Mesin Frais CNC *Production Unit* dipergunakan untuk produksi masal, sehingga mesin ini dilengkapi dengan aksesoris tambahan seperti sistem pembuka otomatis yang menerapkan prinsip kerja hidrolis, pembuangan tatal, dan sebagainya.

### 2.2.2 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 2.4 merupakan gambar dari sistem koordinat Cartesius:

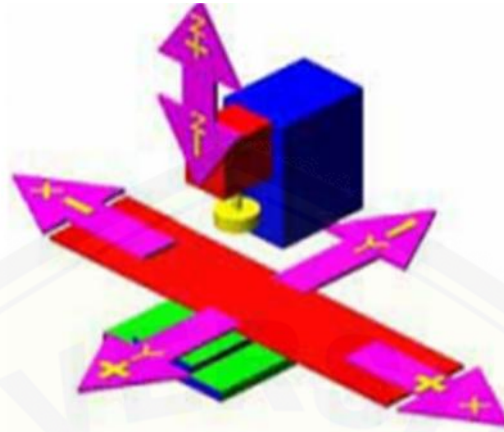


Gambar 2.4 Sistem koordinat *cartesius* (Sumber: Widarto, 2008)

Prinsip kerja mesin *milling* CNC adalah meja bergerak melintang dan horizontal sedangkan pisau/pahat berputar, lihat pada Gambar 2.5. 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.

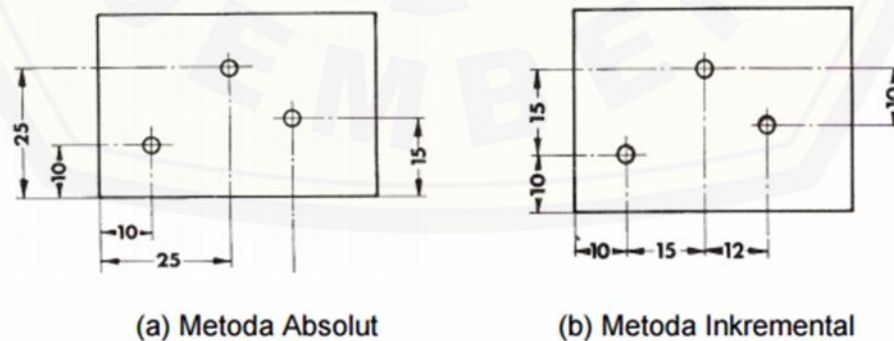




Gambar 2.5 Skema pergerakan koordinat mesin *milling* CNC (Sumber: Widarto, 2008)

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 2.6 dapat dilihat gambar metode pemrograman absolut dan inkremental.

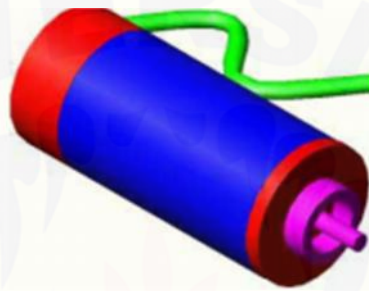


Gambar 2.6 Metode pemrograman CNC (Sumber: Direktorat Pembinaan SMK, 2013)

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

#### a. Motor Utama

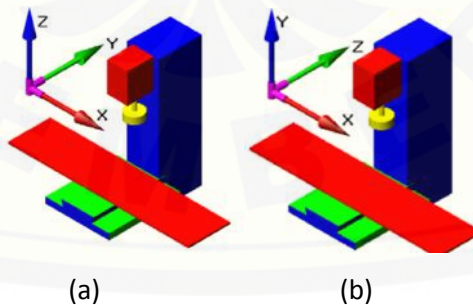
Motor utama adalah motor penggerak cekam untuk memutar benda kerja. Motor ini adalah jenis motor arus searah/ DC (*Direct Current*) dengan kecepatan putaran yang variabel. Berikut Gambar 2.7 merupakan gambar dari motor utama mesin frais.



Gambar 2.7 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 2.8 dapat dilihat gambar dari gerak persumbuan jalannya mesin.

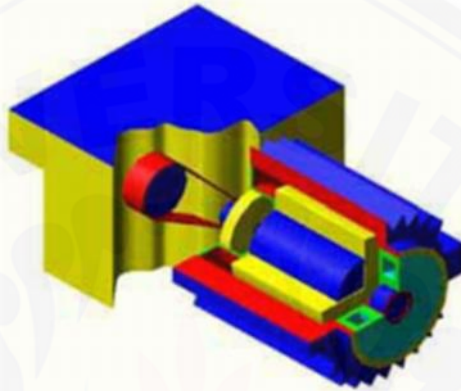


(a) Posisi vertikal dan (b) Posisi horizontal

Gambar 2.8 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 2.9 merupakan gambar dari step motor.



Gambar 2.9 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. 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 *tool holder*.

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 2.10 merupakan gambar dari penjepit potong atau *tool holder*.



Gambar 2.10 *Tool holder* (Sumber: Widarto, 2008)

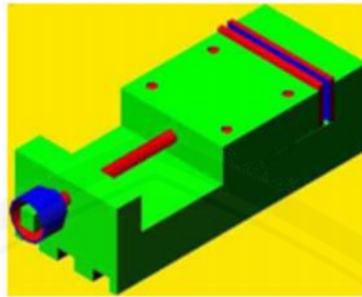
Alat bantu tersebut berfungsi untuk memperkuat pencekaman dari *tool holder*. Alat bantu tersebut dinamakan *collet*. *Collet* terbuat dari bahan logam, dimana diameter lubang pada *collet* sesuai dengan besarnya diameter pisau, seperti pada Gambar 2.11 merupakan gambar dari *collet*.



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

f. Ragum

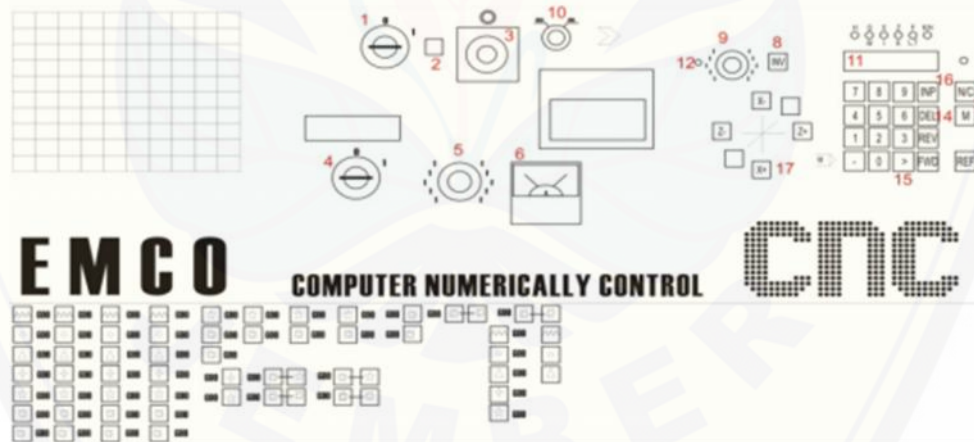
Ragum pada mesin CNC berfungsi untuk menjepit benda kerja pada saat proses penyayatan. Ragum pada mesin ini dilengkapi dengan sebuah *stopper*. Ragum bisa diganti sesuai kebutuhan. Ragum pada mesin ini dioperasikan secara manual. Pada Gambar 2.12 dapat dilihat gambar dari ragum.



Gambar 2.12 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 2.13 menunjukkan secara visual dengan nama-nama bagian pengendali/kontrol.



Gambar 2.13 Bagian pengendali (Sumber: Widarto, 2008)

Keterangan:

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

### 2.3 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  $f$  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*).



### 2.3.1 Putaran Sepindel (*Spindle Speed*)

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

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

Kecepatan potong adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik (dalam satuan meter) pada selubung pahat dalam waktu satu menit. Rumus kecepatan potong identik dengan rumus kecepatan potong pada mesin bubut. Pada proses 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)
- $V_c$  = Kecepatan potong (m/menit)
- $d$  = Diameter pisau (mm)

### 2.3.2 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

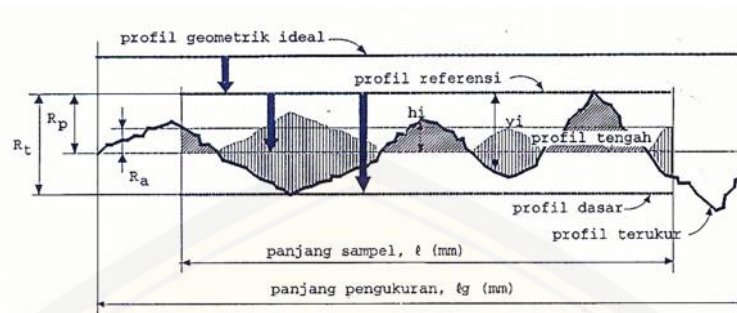
### 2.3.3 Kedalaman Pemakanan (*Depth of Cut*)

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

## 2.4 Kekasaran Permukaan

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

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



Gambar 2.14 Profil permukaan (Sumber: Rochim, 2007)

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

- Kekasaran total  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ) 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
- Kekasaran rata-rata kuadrat  $R_g$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah
- 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.

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

Sumber: Bimbing Atedi dan Djoko 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. Panjang sampel pengukuran disesuaikan dengan angka kekasaran yang dimiliki oleh suatu permukaan. Apabila panjang sampel tidak dicantumkan didalam penulisan simbol berarti panjang sampel 0,8 mm (bila diperkirakan proses permesinannya halus sampai sedang) dan 2,5 mm (bila diperkirakan proses pemesinannya kasar). (Rochim, 2007).

Dalam proses permesinan pada pengerjaan akhir untuk menentukan kekasaran permukaan obyek yang dikerjakan oleh permesinan *milling* dimana kekasaran permukaan rata-rata Ra 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 permesinan dan kekasaran permukaan Ra menurut ISO

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											
Polihiing											
Honing											
Grinding											
Boring											
Turning											
Drilling											
Extruding											
Drawing											
Milling											
Shaping											
Planing											

Sumber: Bimbing Atedi dan Djoko Agustono (2005).

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

Sumber: Sudji Munadi (1980).

## 2.5 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.

### 2.5.1 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 pemesinan.
- 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 respon sebanyak 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*).

### 2.5.2 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.

### 2.5.3 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:

$$\begin{aligned} V_A &= (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \\ &= k_A \cdot 1 \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= (\text{jumlah level faktor B}) \cdot 1 \\ &= k_B \cdot 1 \dots\dots\dots (2.5) \end{aligned}$$

- 2) Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A \cdot 1) (k_B \cdot 1) \dots\dots\dots (2.6)$$

- 3) Nilai derajat bebas total

$$V_t = (k_A \cdot 1) + (k_B \cdot 1) + (k_A \cdot 1) (k_B \cdot 1) \dots\dots\dots (2.7)$$

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:

$$L_a (b^c) \dots\dots\dots (2.8)$$

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 pengujian) di dalam *array*, suatu matriks  $L_8$  memiliki delapan eksperimen dan matriks  $L_{27}$  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 Arrays* 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 2.4 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: Irwan 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:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

atau

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log(\sigma^2 + \bar{y}^2) \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

$n$  = jumlah pengulangan dari suatu trial

$\sigma$  = stadar deviasi

2) *Larger the Better*

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

Rumus yang digunakan adalah:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots\dots\dots (2.11)$$

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:

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

atau

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1} \dots\dots\dots (2.13)$$

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:

$$SS = \sum_{i=1}^n (R_i - R)^2 \dots\dots\dots (2.14)$$

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*

## 2.6 Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini yaitu semakin besar putaran *spindle*, maka semakin rendah kekasaran permukaan benda kerja. Sedangkan semakin rendah kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan, maka semakin rendah pula kekasaran permukaan benda kerja.

Putaran *spindle* yang tinggi akan menghasilkan kekasaran permukaan yang rendah pada benda kerja, karena pahat/*cutter* semakin cepat berputar dan semakin sering melakukan penyayatan. Semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka akan membuat beban pada saat melakukan penyayatan semakin tinggi. Sehingga pahat akan bergetar lebih tinggi dan menyebabkan kekasaran permukaan menjadi rendah. Dalam proses permesinan, kedalaman pemakanan yang rendah membuat beban pada saat melakukan penyayatan semakin kecil. Sehingga pahat akan tidak terlalu bergetar ketika melakukan penyayatan dan membuat kekasaran permukaan menjadi rendah (Triatma *et al.*, 2014).

### 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 bulan 11 April – 13 Mei 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 Noseto Table* : 120 – 540 mm (4,7 – 21,3 in)
  - *Spindle Centerto Z – Rail* : 410 mm (16,1 in)
- 3) Spesifikasi Meja/*Table*:
  - *Tablesized* : 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
  - *Typeof 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 (5,5KW)
  - *X.Y Axis ServoMotor* : HF-154 (1,5 KW)/Beta 6 (1,2 KW)
  - *Z Axis ServoMotor* : HF-204BS(2,0KW)/Beta22 (2,5KW)
  - *Power* : 15 KVA
  - *Frequensi* : 50 Hz
  - *Motorof Tool Change System* : Geneva Type 60W/Arm Type 200W
- 7) Akurasi/*Machine Accuracy*:
  - *Positionning Accuracy (JIS)* : ± 0,005mm / 300mm

- *Repeat Positioning Accuracy*(JIS):  $\pm 0,003\text{mm}$

b. Pahat

Pahat yang digunakan adalah pahat HSS (*High Speed Steel*) jenis *End Mill Cutter 4 Fluet*  $\varnothing 16\text{mm}$  dengan merk NACHI untuk penyayatan dalam proses *milling* CNC. Berikut Gambar 3.2 merupakan gambar dari pahat.



Gambar 3.2 *End Mill Cutter 4 Fluet*

Pahat jenis *End Mill* merupakan pahat yang paling umum digunakan pada proses *milling*. Pahat ini merupakan jenis *cutter* mesin *milling* yang banyak digunakan untuk membuat alur pada bidang datar (rata) atau pembuatan alur pada poros untuk pasak. Pada umumnya *cutter* dipasang pada posisi tegak (*vertical*), namun pada kondisi tertentu dapat juga dipasang pada posisi horizontal sesuai dengan kebutuhan. Berikut Tabel 3.1 merupakan tabel hubungan kecepatan potong, material, dan pahat untuk proses *milling* pada pahat HSS.

Tabel 3.1 Kecepatan potong pada proses *milling* untuk pahat HSS

<i>Material</i>	<i>Cutting Speed (m/menit)</i>			
	<i>Cutter HSS</i>		<i>Cutter Carbide</i>	
	Kasar	Halus	Kasar	Halus
Baja perkakas	25 – 45	75 – 100	110 – 140	185 – 230
Baja karbon rendah	25 – 40	70 – 90	90 – 120	170 – 215
Baja karbon menengah	20 – 40	60 – 85	75 – 110	140 – 185
Besi cor kelabu	25 – 30	40 – 45	60 – 75	110 – 140
Kuningan	45 – 70	85 – 100	120 – 150	185 – 215
Alumunium	30 – 45	70 – 110	60 – 90	140 – 215

Sumber: Sularso (1997).

c. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur panjang lintasan pengerjaan oleh mesin *milling* CNC. Pada penelitian ini digunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05mm.

d. Alat Ukur Kekasaran Permukaan Benda Kerja (*Surface Roughnes Tester*)

Alat yang digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pemesinan. Alat yang digunakan adalah TR220 *Portable Roughness Tester*. Alat ini memiliki sistem desain modular pengukur permukaan yang portabel. Alat ini terdiri dari komponen-komponen berupa *traverse unit*, *Pickup* yang dilengkapi dengan *transducer* dan dilengkapi dengan *thermal printer*. *Traverse unit* merupakan sistem utama dari alat *Roughness Tester*. Komponen ini berfungsi sebagai unit pengolah data. *Pickup* ialah suatu komponen penjelajah yang dilengkapi dengan *transducer* dengan jenis induktansi variabel, dengan pemegang (*holder*) yang akan dihubungkan dengan *traverse unit*. Pengolahan hasil pengukuran dengan menggunakan mikroprosesor yang hasilnya ditampilkan pada sebuah LCD dalam bentuk nilai numerik dari kekasaran. Berikut Gambar 3.3 adalah gambar dari TR220 *Portable Roughness Tester*.



Gambar 3.3 TR220 *Portable Roughness Tester* (Sumber: Hegar D. J. S., 2016)

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.

### 3.2.2 Bahan

Material atau benda kerja yang digunakan adalah Baja ST 41 dengan diameter 2” atau 50,8mm dan tinggi 25mm. Jenis material ST 41 yang umum digunakan sebagai material berbagai produk permesinan. Karena material ST 41 memiliki keunggulan dalam kemampuan untuk proses permesinan (*machine ability*) & kemampuan untuk dilas (*weld ability*) yang baik, dan juga memiliki kemampuan untuk berbagai proses perlakuan panas (*heat treatment*).

Baja ST 41 (Baja dengan *tensile strength* 41 kg/mm<sup>2</sup>) merupakan baja karbon rendah karena memiliki kadar karbon di bawah 0,3%. Berikut merupakan spesifikasi dari Baja ST 41:

- Heat Number : 12473
- Quantity : 75
- Besi(Fe) : 98,985%
- Mangan(Mn) : 0,5477%
- Silikon(Si) : 0,1726%
- Karbon(C) : 0,1569%
- Fosfor(P) : 0,0154%
- Belerang(S) : 0,0337%
- Hardness (HRB) : -
- Hardness (HB) : 168



Gambar 3.4 Benda kerja sebelum proses *milling* CNC

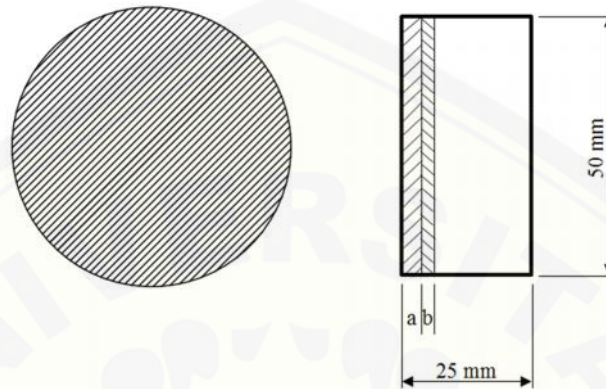
### 3.3 Pelaksanaan Percobaan

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

- Pesiapan benda kerja sesuai ukuran, seperti pada Gambar 3.4
- Persiapkan *tool* yang akan di pakai
- Membuat program CNC sesuai benda kerja yang akan di kerjakan dengan ketentuan yang sudah di variasikan
- Pasang pisau frais pada rumah pahat pada mesin CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*
- Pasang benda kerja pada ragum mesin CNC *milling Focus Esemka VMC-L540* dan kemudian kencangkan ragum
- Melakukan *setting* mesin CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*
- Masukkan program yang sudah dibuat sebelumnya pada mesin CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*
- Hidupkan mesin CNC *milling Focus Esemka VMC-L540* dan lakukan *setting point*
- Melakukan proses permesinan *milling* CNC dengan kedalaman 1 mm sebanyak dua kali dengan total kedalaman pemotongan sebesar 2 mm untuk proses *facing* pada benda kerja. Kemudian melakukan proses permesinan *milling* CNC sesuai



variasi parameter yang telah di tentukan, seperti di tunjukkan pada Gambar 3.5 berikut:



(a) Proses *facing* (b) Proses *milling* sesuai variasi parameter

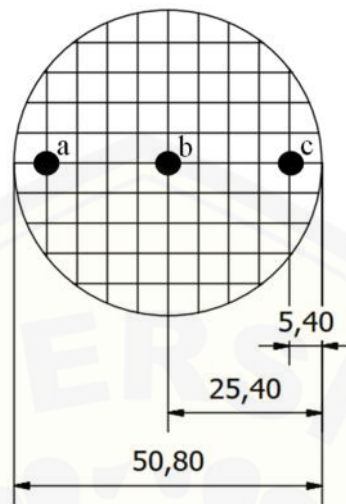
Gambar 3.5 Benda kerja setelah proses *milling* CNC

- j. Matikan mesin CNC *milling Focus Esemka VMC-L540*
- k. Lepaskan benda kerja pada ragum mesin *miling* CNC
- l. Hitung nilai kekasaran dari benda kerja dan catat pada tabel yang sudah tersedia.

### 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 permukaan dilakukan secara horisontal pada permukaan benda kerja dengan pengambilan data sebanyak 3 (tiga) kali pada benda kerja. Melakukan pengukuran nilai kekasaran permukaan menggunakan TR220 *Roughness Tester* dengan panjang pengukuran yaitu 5mm dan lebar pengukuran 0,8mm. Berikut Gambar 3.6 merupakan titik pengambilan data nilai kekasaran permukaan pada benda kerja.



Gambar 3.6 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 3.2 dapat dilihat parameter kendali dan level untuk *Orthogonal Array L9*.

Tabel 3.2 Parameter kendali dan level untuk *Orthogonal Array L9*

<i>Control Factor</i>	Level		
	1	2	3
A	A1	A2	A3
B	B1	B2	B3
C	C1	C2	C3

Tabel 3.3 *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 putaran *spindle*, variasi kecepatan pemakanan, dan variasi kedalaman potong. Untuk setiap variabel yang digunakan dalam penelitian mempunyai tiga level. Pada Tabel 3.4 dapat dilihat daftar variabel bebas dan level.

Tabel 3.4 Daftar variabel bebas dan level

Kode	Control Factors	Level		
		1	2	3
A	Putaran <i>Spindle</i> (rpm)	900	1200	1500
B	Kecepatan Pemakanan (mm/menit)	240	300	360
C	Kedalaman Pemotongan (mm)	0,25	0,50	0,75

### 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 kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pengfraisan.

### 3.7 Data Percobaan

Data dalam penelitian yang akan diambil data seperti yang terlihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut:

Tabel 3.5 Data Percobaan hasil pengujian

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

No.	Parameter Kendali			Pengulangan	Nilai Kekasaran Permukaan		
	A	B	C				
2	1	2	2	2	2a		
					2b		
					2c		
				3	3a		
						3b	
						3c	
						1	1a
							1b
							1c
3	1	3	3	2	2a		
					2b		
					2c		
				3	3a		
						3b	
						3c	
						1	1a
							1b
							1c
4	2	1	2	2	2a		
					2b		
					2c		
				3	3a		
						3b	
						3c	
						1	1a
							1b
							1c
5	2	2	3	2	2a		
					2b		
					2c		
				3	3a		
						3b	
						3c	
						1	1a
							1b
							1c
6	2	3	1	1	1a		
					1b		
					1c		



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

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

### 3.8 Metode Analisis

Dalam penelitian ini metode analisis yang digunakan adalah:

a. 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.

b. 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 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  $H_0$  diterima atau berarti tidak ada pengaruh perlakuan. Namun jika uji F lebih besar dari nilai F tabel, maka  $H_0$  ditolak berarti ada pengaruh perlakuan. Kriteria dalam pengambilan keputusan:

- 1) Jika  $F_{hitung} < F_{tabel 5\%}$ , maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan variansi level tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan atau dengan kata lain terima  $H_0$  dan tolak  $H_1$
- 2) Jika  $F_{hitung} > F_{tabel 5\%}$ , maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan variansi level berpengaruh terhadap kekasaran permukaan atau dengan kata lain tolak  $H_0$  dan terima  $H_1$ .

c. Persen Kontribusi

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

$$SS'_{Faktor} = SS_{Faktor} - MS_{Error} (V_v) \dots \dots \dots (3.1)$$

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$$\mu = \frac{SS'_{Faktor}}{SST} \times 100\% \dots \dots \dots (3.2)$$

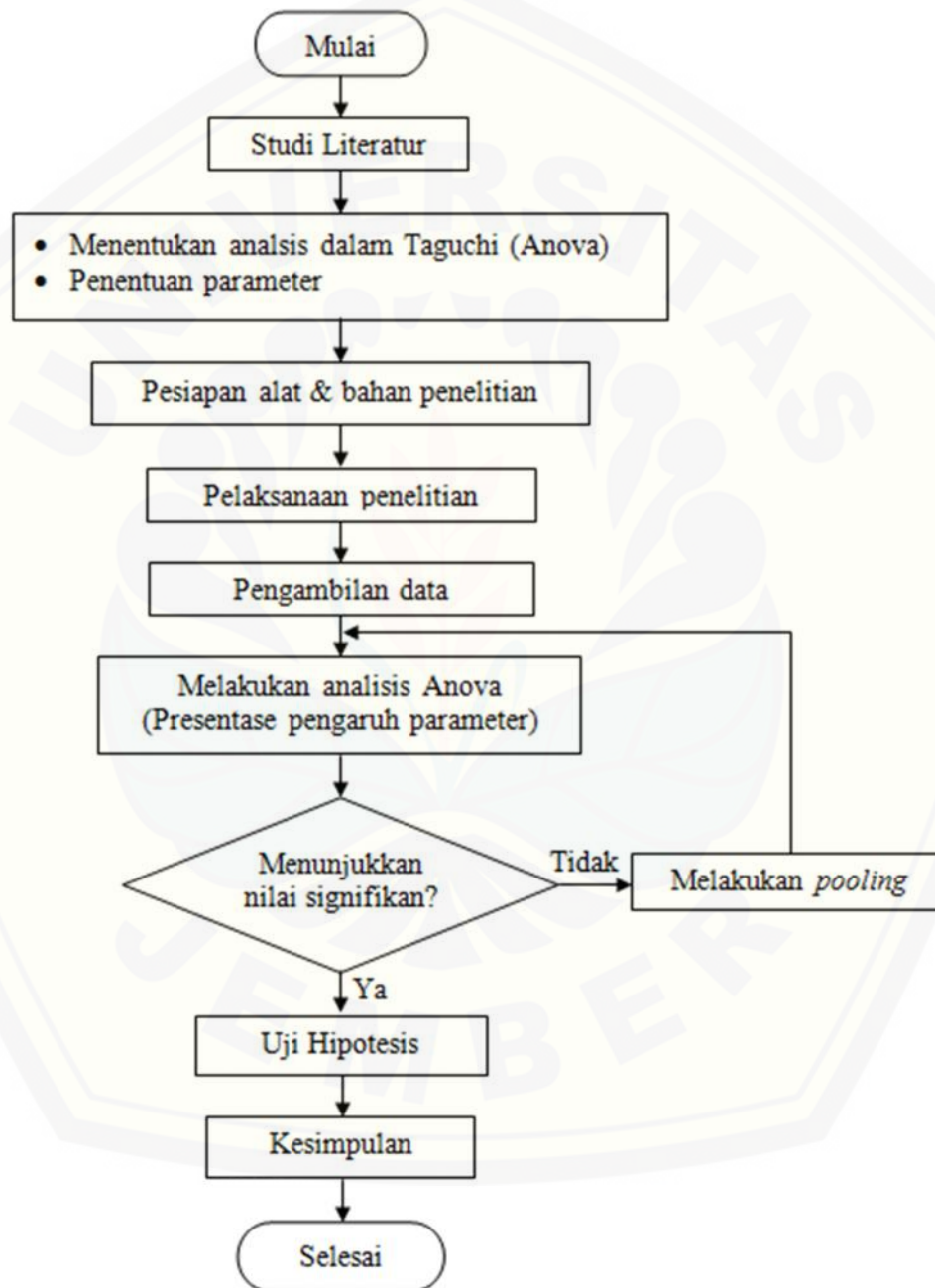
d. Prediksi Rasio S/N yang Optimal

Setelah di ketahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap *S/N Ratio* 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:

$$\mu_{prediksi} = \eta + (\text{nilai faktor} - \eta) \dots \dots \dots (3.3)$$

### 3.9 Flowchart

Tahapan penyelesaian dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan *flowchart*, berikut Gambar 3.7 merupakan gambar dari *flowchart* penelitian:



Gambar 3.7 *Flowchart* penelitian

## 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 putaran *spindle*, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan yang kemudian diolah secara statistik dengan menggunakan metode Taguchi, yaitu:

1. Hasil dari analisis statistik membuktikan bahwa pada variabel putaran *spindle* terbukti memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan dengan nilai persen kontribusi sebesar 53,10%. Pada variabel kecepatan pemakanan terbukti tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan dengan nilai persen kontribusi sebesar 21,21%. 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 0,97%;
2. Kombinasi yang optimum untuk tingkat kekasaran permukaan yang terendah dapat diperoleh dengan kombinasi faktor putaran *spindle* 1500rpm (faktor A level 3), kecepatan pemakanan 240 mm/menit (faktor B level 1), dan kedalaman pemakanan 0,25mm (faktor C level 1).

### 5.2 Saran

Penelitian yang telah penulis lakukan hanya membahas tentang pengaruh putaran *spindle*, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan pada baja ST 41. 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 penggunaan cairan pendingin (*coolant*) dan dapat dilakukan penambahan variabel terikat yang nantinya akan diteliti seperti laju pembuangan material (MRR).



**DAFTAR PUSTAKA**

- Anggoro, Paulus W. 2012. *Aplikasi DOE untuk Menentukan Setting Parameter Optimum pada Proses Pembubutan Produk Roll*. Jurnal: Media Statistika. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Vol: 5. Nomor: 2.
- Arifin, N. M., Sonief, A. A., dan Atmodjo, W. Y. 2011. *Pengaruh Parameter Proses Freis Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Fasa Ganda*. Jurnal: Jurnal Rekayasa Mesin. Malang: Universitas Brawijaya Malang. Vol: 2. Nomor: 3.
- 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.
- Direktorat Pembinaan SMK. 2013. *Teknik Permesinan CNC Dasar*. Bandung: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Firstiawan, Nur. 2012. *Optimasi Parameter Proses Permesinan CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Kayu Jati dengan Metode Taguchi*. Surakarta: Skripsi, Universitas Sebelas Maret.
- Grant, E. L. & Leavenwort, R. S. 1993. *Pengendalian Mutu Statistis*. Jakarta: Erlangga.
- Harinaldi. 2005. *Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. Jakarta: Erlangga.
- Hendrawah, Muh Alfatih. 2010. *Studi Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Up dan Down Milling dengan Pendekatan Vertical Milling*. Jurnal: Media Mesin. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta. Vol: 11. Nomor: 1.
- Ishikawa, Kaoru dan David. 1990. *Pengendalian Mutu Terpadu*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Kuspriyanto dan Seputro, H. *Mesin CNC*. Jurnal: Departemen Teknik Elektro. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- 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.

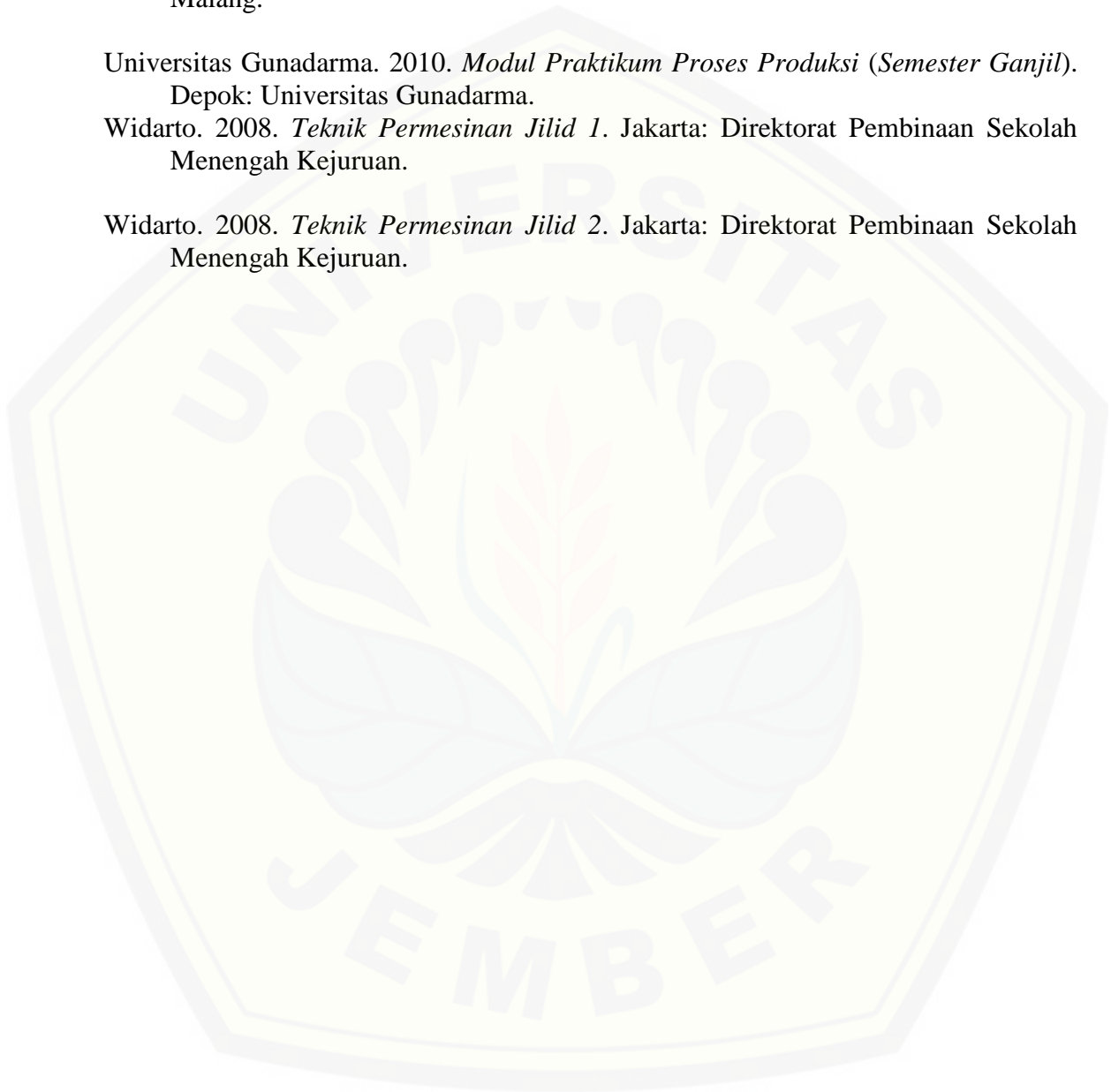
- Mangkuatmodjo, Soegyarto. 1997. *Pengantar Statistik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Mulyadi. 2009. *Analisa Pengaruh Putaran Spindle dan Kecepatan Makan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja SCM 4 pada Proses Milling*. Sidoarjo: Penelitian, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
- Munadi, Sudji. 1980. *Dasar-dasar Metrologi Industri*. Jakarta: Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Pendidikan.
- Nasution, Andi Hakin. 1969. *Teori Statistik*. Jakarta: Bhratara.
- Rahdiyanta, Dwi. 2010. *Proses Frais (Milling)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rochim, T. 2001. *Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Bandung: ITB.
- Sidi, P. dan Wayudi, M. T. 2013. *Aplikasi Metode Taguchi untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan pada Proses Bubut CNC*. Jurnal: Jurnal Rekayasa Mesin. Poloteknik Perkapalan Negeri Surabaya. Vol: 4. Nomer: 2.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Standar ISO 1302 : 1996 dan Standar DIN 4768 : 1981
- Sugiarto, B. dan Setiyawan, K. 2015. *Pengaruh Parameter Permesinan pada Proses Milling dengan Pendinginan Fluida Alami (Cold Natural Fluid) Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 42*. Jurnal: Intuisi Teknologi Dan Seni. Purwokerto: Teknik Mesin STT Wiworotomo Purwokerto. Edisi: 7. Nomor: 2.
- Sukma, H. D. J. 2016. *Optimasi Laju Pembuangan Material AISI 1045 pada Bubut CNC dengan Metode Taguchi*. Jember: Skripsi, Universitas Jember.
- Sularso. 1997. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Syaifullah, Herry. 2015. *Analisis Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Proses Milling pada Baja Karbon S45C dengan Metode  $3^3$  Desain Faktorial*. Jurnal: Technologic. Politeknik Manufaktur Astra Jakarta. Vol: 6. Nomor: 2.

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.

Universitas Gunadarma. 2010. *Modul Praktikum Proses Produksi (Semester Ganjil)*. Depok: Universitas Gunadarma.

Widarto. 2008. *Teknik Permesinan Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Widarto. 2008. *Teknik Permesinan Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.



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



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

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-1

$$\begin{aligned}
 1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\
 &= -10 \log (0,130^2 + 1,705^2) \\
 &= -10 \log (1,999) \\
 &= -3,007
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(1,473-1,705)^2 + (1,258-1,705)^2 + (1,493-1,705)^2}{3-1}} \\
 &= 0,130
 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-2

$$\begin{aligned}
 1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\
 &= -10 \log (0,269^2 + 1,705^2) \\
 &= -10 \log (6,886) \\
 &= -8,380
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(2,237-1,705)^2 + (2,908-1,705)^2 + (2,386-1,705)^2}{3-1}} \\
 &= 0,269
 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-3

$$\begin{aligned}
 1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\
 &= -10 \log (0,194^2 + 1,705^2) \\
 &= -10 \log (8,506) \\
 &= -9,297
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(2,934-1,705)^2 + (3,091-1,705)^2 + (2,705-1,705)^2}{3-1}} \\
 &= 0,194
 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-4

$$\begin{aligned}
 1 &= -10 \log(\sigma^2 + \bar{y}^2) \\
 &= -10 \log(0,029^2 + 1,705^2) \\
 &= -10 \log(1,863) \\
 &= -2,702
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(1,380-1,705)^2 + (1,383-1,705)^2 + (1,331-1,705)^2}{3-1}} \\
 &= 0,029
 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-5

$$\begin{aligned}
 1 &= -10 \log(\sigma^2 + \bar{y}^2) \\
 &= -10 \log(0,046^2 + 1,705^2) \\
 &= -10 \log(2,613) \\
 &= -4,172
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(1,565-1,705)^2 + (1,630-1,705)^2 + (1,653-1,705)^2}{3-1}} \\
 &= 0,046
 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-6

$$\begin{aligned}
 1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\
 &= -10 \log (0,162^2 + 1,705^2) \\
 &= -10 \log (3,073) \\
 &= -4,875
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(1,746-1,705)^2 + (1,907-1,705)^2 + (1,583-1,705)^2}{3-1}} \\
 &= 0,162
 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-7

$$\begin{aligned}
 1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\
 &= -10 \log (0,017^2 + 1,705^2) \\
 &= -10 \log (1,262) \\
 &= -1,011
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(1,119-1,705)^2 + (1,109-1,705)^2 + (1,142-1,705)^2}{3-1}} \\
 &= 0,017
 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-8

$$\begin{aligned}
 1 &= -10 \log (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\
 &= -10 \log (0,090^2 + 1,705^2) \\
 &= -10 \log (1,486) \\
 &= -1,719
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(1,116-1,705)^2 + (1,240-1,705)^2 + (1,291-1,705)^2}{3-1}} \\
 &= 0,090
 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-9

$$\begin{aligned}
 1 &= -10 \log(\sigma^2 + \bar{y}^2) \\
 &= -10 \log(0,025^2 + 1,705^2) \\
 &= -10 \log(1,832) \\
 &= -2,628
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(1,382-1,705)^2 + (1,345-1,705)^2 + (1,333-1,705)^2}{3-1}} \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

### Lampiran C. Perhitungan Rata-rata Respon

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

$$\bar{A}_1 = \frac{(-3,007) + (-8,380) + (-9,297)}{3} = -6,895$$

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

$$\bar{A}_2 = \frac{(-2,702) + (-4,172) + (-4,875)}{3} = -3,916$$

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

$$\bar{A}_3 = \frac{(-1,011) + (-1,719) + (-2,628)}{3} = -1,786$$

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

$$\bar{B}_1 = \frac{(-1,941) + (-2,702) + (-1,011)}{3} = -2,240$$

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

$$\bar{B}_2 = \frac{(-8,380) + (-4,172) + (-1,719)}{3} = -4,757$$

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

$$\bar{B}_3 = \frac{(-9,297) + (-4,875) + (-2,628)}{3} = -5,600$$

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

$$\bar{C}_1 = \frac{(-3,007) + (-4,875) + (-1,719)}{3} = -3,201$$

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

$$\bar{C}_2 = \frac{(-8,380) + (-2,702) + (-2,628)}{3} = -4,570$$

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

$$\bar{C}_3 = \frac{(-9,297) + (-4,172) + (-1,011)}{3} = -4,827$$

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

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

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



$$\bar{y} = \frac{-3,007 + (-8,380) + (-9,297) + \dots + (-1,011) + (-1,719) + (-2,268)}{9}$$

$$= -4,199$$

- 2) ST – Jumlah kuadrat total

Jumlah kuadrat total adalah sebagai berikut:

$$ST = \sum y^2$$

$$ST = -3,007^2 + (-8,380)^2 + (-9,297)^2 + \dots + (-1,011)^2 + (-1,719)^2 + (-2,268)^2$$

$$= 225,06$$

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

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

$$Sm = 9 \times (-4,199)^2$$

$$= 158,69$$

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

Jumlah kuadrat faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

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

$$SA = \frac{[-20,68]^2}{3} + \frac{[-11,75]^2}{3} + \frac{[-5,36]^2}{3} - \frac{[-20,68 + (-11,75) + (-5,36)]^2}{3 + 3 + 3}$$

$$= 39,50$$

- 5) SB – Jumlah kuadrat karena faktor kecepatan pemakanan

Jumlah kuadrat faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

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

$$SB = \frac{[-6,72]^2}{3} + \frac{[-14,27]^2}{3} + \frac{[-16,80]^2}{3} - \frac{[-6,72 + (-14,27) + (-16,80)]^2}{3 + 3 + 3}$$

$$= 18,03$$

- 6) SC – Jumlah kuadrat karena faktor kedalaman pemakanan

Jumlah kuadrat faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

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

$$SC = \frac{[-9,60]^2}{3} + \frac{[-13,71]^2}{3} + \frac{[-14,48]^2}{3} - \frac{[-9,60 + (-13,71) + (-14,48)]^2}{3+3+3}$$

$$= 4,59$$

7) Se – Jumlah kuadrat *error*

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

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

$$= 225,06 - 158,69 - 39,50 - 18,34 - 4,59$$

$$= 3,94$$

8) Mq – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{39,50}{2} = 19,75$$

Dimana:

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

$$= 3 - 1$$

$$= 2$$

9) Mq – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$Mq_B = \frac{Sq_B}{v_B}$$

$$= \frac{18,34}{2} = 9,17$$

Dimana:

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

$$= 3 - 1$$

$$= 2$$

10)  $M_q$  – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}M_{qc} &= \frac{Sq_c}{v_c} \\ &= \frac{4,59}{2} = 2,29\end{aligned}$$

Dimana:

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

11)  $M_q$  – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk *error* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}M_{qe} &= \frac{Sq_e}{v_e} \\ &= \frac{3,94}{2} = 2,29\end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}F_A &= \frac{M_{qA}}{S_e} \\ &= \frac{19,75}{1,97} = 10,02\end{aligned}$$

13) *F-ratio*

Untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_B &= \frac{M_{qB}}{S_e} \\ &= \frac{9,17}{1,97} = 4,65\end{aligned}$$

## 14) F-ratio

Untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_B &= \frac{Mq_B}{S_e} \\ &= \frac{2,29}{1,97} = 1,16\end{aligned}$$

## 15) F-ratio

Untuk faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_e &= \frac{Mq_e}{S_e} \\ &= \frac{1,97}{1,97} = 1,00\end{aligned}$$

## 16) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Untuk faktor putaran *spindle* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SA' &= SA - vA.Ve \\ &= 39,50 - (2 \times 1,97) \\ &= 35,56\end{aligned}$$

## 17) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SB' &= SB - vB.Ve \\ &= 18,34 - (2 \times 1,97) \\ &= 14,39\end{aligned}$$

## 18) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SC' &= SC - vC.Ve \\ &= 4,59 - (2 \times 1,97) \\ &= 0,64\end{aligned}$$

## 19) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

untuk *error* adalah sebagai berikut:

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

$$\begin{aligned} Se' &= 66,37 - 35,56 - 14,39 - 4,59 \\ &= 15,77 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} St &= ST - Sm \\ &= 225,06 - 158,69 \\ &= 66,37 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} A &= \frac{SA'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{35,56}{66,67} \times 100\% \\ &= 53,58\% \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} B &= \frac{SB'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{18,34}{66,67} \times 100\% \\ &= 21,69\% \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} C &= \frac{SC'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{4,59}{66,67} \times 100\% \\ &= 0,97\% \end{aligned}$$

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

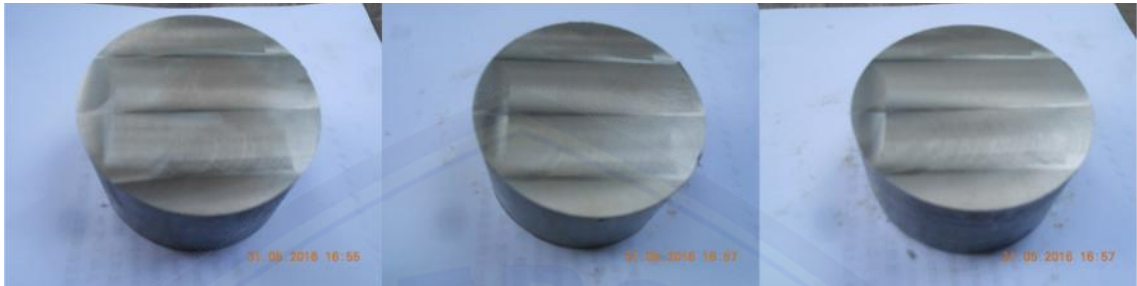
$$\begin{aligned} e &= \frac{Se'}{St} \times 100\% \\ e &= \frac{15,77}{66,67} \times 100\% \\ &= 23,76\% \end{aligned}$$



Lampiran E. Spesifikasi Bahan Baja ST41

DIMENSION		HEAT NUMBER	QUANTITY	CHEMICAL COMPOSITION (%)					TENSILE STRENGTH (N/mm <sup>2</sup> )	HARDNESS	
DIAMETER (in,mm)	LENGTH (mtr)			C	Si	Mn	P	S		(HRB)	(HB)
1 1/2 in	6	12450	150	0.1706	0.1919	0.6981	0.0275	0.0410	636	-	174
1 1/4 in	6	32227	2040	0.1472	0.1456	0.5059	0.0072	0.0351	625	-	170
1 1/8 in	6	32213	180	0.1688	0.2119	0.5970	0.0190	0.0362	624	-	168
1 3/4 in	6	32225	238	0.1690	0.1860	0.6310	0.0280	0.0440	633	-	177
1 in	6	12446	1100	0.1726	0.1978	0.6345	0.0304	0.0362	630	-	169
2 1/2 in	6	12481	32	0.1660	0.2050	0.5990	0.0280	0.0360	640	-	178
2 1/4 in	6	12465	20	0.1679	0.2091	0.5861	0.0246	0.0368	626	-	170
2 in	6	12473	75	0.1569	0.1726	0.9477	0.0154	0.0337	631	-	168
20 mm	6	12430	365	0.1342	0.1503	0.6261	0.0197	0.0379	621	-	160
25 mm	6	12438	1040	0.1535	0.1921	0.6780	0.0196	0.0404	622	-	166
3 in	6	12453	24	0.1501	0.1985	0.5458	0.0200	0.0421	630	-	168
30 mm	6	12463	252	0.1945	0.2193	0.6402	0.0205	0.0341	640	-	176
35 mm	6	12480	245	0.1538	0.1371	0.6848	0.0241	0.0415	633	-	164
40 mm	6	12496	40	0.1852	0.2368	0.6319	0.0216	0.0372	628	-	169
7/8 in	6	32188	910	0.1458	0.1569	0.5889	0.0146	0.0335	624	79	-

**Lampiran F. Gambar Benda Kerja**



Benda Kerja 1.1

Benda Kerja 1.2

Benda Kerja 1.3



Benda Kerja 2.1

Benda Kerja 2.2

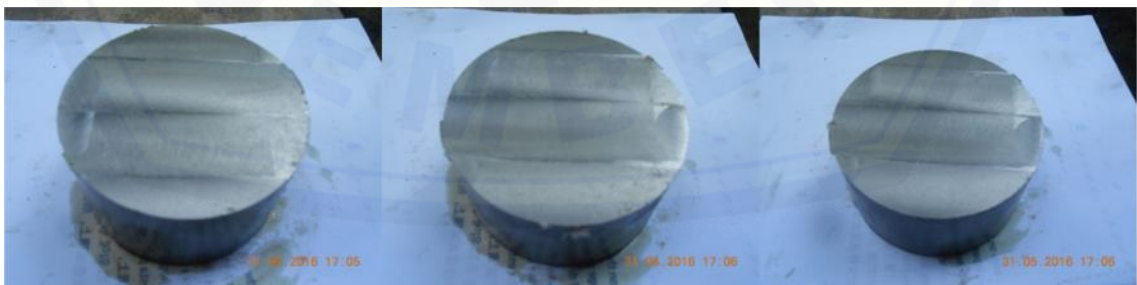
Benda Kerja 2.3



Benda Kerja 3.1

Benda Kerja 3.2

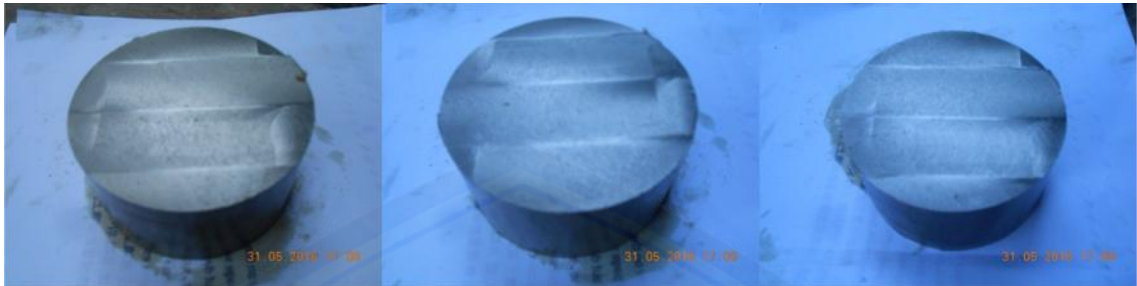
Benda Kerja 3.3



Benda Kerja 4.1

Benda Kerja 4.2

Benda Kerja 4.3



Benda Kerja 5.1

Benda Kerja 5.2

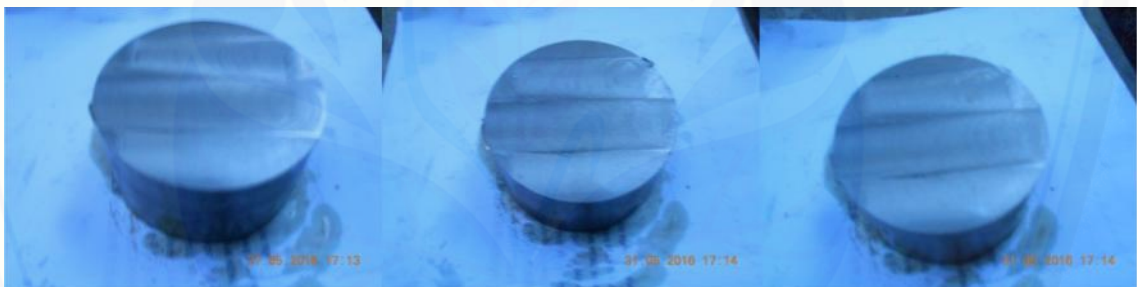
Benda Kerja 5.3



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

