



**OPTIMASI LAJU PEMBUANGAN MATERIAL AISI 1045 PADA  
BUBUT CNC DENGAN METODE TAGUCHI**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**HEGAR DWI JAYA SUKMA  
NIM. 111910101081**

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



**OPTIMASI LAJU PEMBUANGAN MATERIAL AISI 1045 PADA  
BUBUT CNC 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:**

**HEGAR DWI JAYA SUKMA  
NIM. 111910101081**

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

## PERSEMBAHAN

Laporan Proyek Akhir ini dibuat sebagai perwujudan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala berkah rahmat dan rizki-Nya, serta kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW;
2. Ayahanda Muchlis Rustopandi dan Ibunda Imas Hariyati yang senantiasa memberi do'a, dukungan, kepercayaan, dan memberikan motivasi serta kasih sayang dan pengorbanan selama ini;
3. Seluruh anggota keluarga, saudara, yang selalu mendoakan hingga terselesaikannya tugas akhir ini;
4. Guru-guruku dari TK, SD, SMP, SMA, dan Dosen Perguruan Tinggi atas semua ilmu yang telah diberikan;
5. Almamaterku Universitas Jember yang aku cintai dan aku banggakan;
6. Teman seperjuangan yang tidak biasa disebutkan namanya satu persatu yang selalu membantu dalam segala hal;
7. Rekan-rekan di Jurusan Teknik Mesin terutama angkatan 2011 “**Bedebah Mesin Sewelas**”, yang telah memberikan motivasi, dukungan dan doa'anya “**Solidarity Forever**”.

## **MOTTO**

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan ALLAH SWT”

*(HR. Turmudzi)*

“Harga kebaikan manusia adalah diukur menurut apa yang telah dilaksanakan/diperbuatnya”

*(Ali Bin Abi Thalib)*

”Banyaknya kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah”

*(Thomas Alva Edison)*

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hegar Dwi Jaya Sukma

NIM : 111910101081

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “OPTIMASI LAJU PEMBUANGAN MATERIAL AISI 1045 PADA BUBUT CNC DENGAN METODE TAGUCHI” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 05 Januari 2016

Yang menyatakan,

(Hegar Dwi Jaya Sukma)

NIM 111910101081

# **SKRIPSI**

## **OPTIMASI LAJU PEMBUANGAN MATERIAL AISI 1045 PADA BUBUT CNC DENGAN METODE TAGUCHI**

Oleh

Hegar Dwi Jaya Sukma  
NIM 111910101081

Pembimbing:

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Agus Triono, S.T., M.T.

## PENGESAHAN

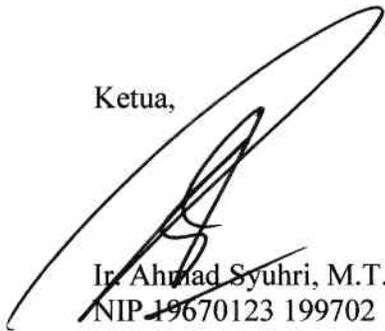
Skripsi berjudul “OPTIMASI LAJU PEMBUANGAN MATERIAL AISI 1045 PADA BUBUT CNC DENGAN METODE TAGUCHI” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 05 Januari 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

### Tim Penguji

Ketua,



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

Sekretaris,



Dr. Agus Triono, S.T., M.T.  
NIP 19700807 200212 1 001

Anggota I,



Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.  
NIP 19681207 199512 1 002

Anggota II,



M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T.  
NIP 19800307 201212 1 003

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,



Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP. 19610414 198902 1 001

## RINGKASAN

**Optimasi Laju Pembuangan Material AISI 1045 Pada Bubut CNC Dengan Metode Taguchi**; Hegar Dwi Jaya Sukma, 111910101081; 2015; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

Permasalahan yang di teliti adalah untuk mengetahui optimasi laju pembuangan material dan kekasaran permukaan AISI 1045 pada bubut CNC. Metode yang di pakai untuk mencari pengaruh variabel tersebut adalah dengan metode taguchi

Dari hasil penelitian, laju pembuangan material yang diambil menunjukkan bahwa nilai laju pembuangan material tertinggi terdapat pada pasangan variabel putaran spindel 1200 rpm, laju pemakanan 2,0 mm/put, dan kedalaman potong 0,20 mm dengan nilai *S/N Ratio* 72,0748, sedangkan nilai laju pembuangan material terendah terdapat pada pasangan variabel variabel putaran spindel 800 rpm, laju pemakanan 1,0 mm/put, dan kedalaman potong 0,15 mm dengan nilai *S/N Ratio* 57,4637. Dan hasil kekasaran permukaan yang diambil menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan tertinggi terdapat pada pasangan variabel putaran spindel 800

rpm, laju pemakanan 2,0 mm/put, dan kedalaman potong 0,25 mm dengan nilai *S/N Ratio* -11,6641, sedangkan nilai kekasaran terendah terdapat pada pasangan variabel variabel putaran spindel 1000 rpm, laju pemakanan 1,0 mm/put, dan kedalaman potong 0,20 mm dengan nilai *S/N Ratio* -0,1610.

## **SUMMARY**

***Optimization About Material Removal Rate Of AISI 1045 On CNC Turning by Taguchi Method***; Hegar Dwi Jaya Sukma, 111910101081; 2015; 75 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

*In conducting the machining process, the time required to make the components should be as short as possible in order to achieve a high production capacity. To achieve the minimum time, the parameters of existing machining processes on CNC machines must be set at the maximum conditions that will result in a high rate of material feeds. To obtain satisfactory results of the products is done in CNC machines, especially in achieving a desired size, usually the machine operator simply alter or adjust machine settings according to his experience or based on manual book that is sometimes less than satisfactory results and had to repeat the process to achieve the accuracy of the expected size.*

*The problems in the rigorous optimization is to determine the material removal rate and surface roughness of AISI 1045 on a CNC lathe. The method in use to look for the influence of these variables is the Taguchi method*

*From the research, the material removal rate are taken showed that the highest material removal rate value contained in the variable pair 1200 rpm spindle rotation, feeds rate 2.0 mm / rotation, and the depth of cut of 0.20 mm with a value of S / N Ratio 72.0748 , while the lowest value of the rate of disposal of the material contained on the pair variables 800 rpm spindle rotation, feeds the rate of 1.0 mm / rotation, and the depth of cut of 0.15 mm with a value of S / N Ratio 57.4637. And the results of surface roughness taken show that the highest surface roughness values contained in the pair variable spindle rotation of 800 rpm, feeds rate 2.0 mm / rotation, and the depth of cut of 0.25 mm with a value of S / N Ratio -11.6641, while the value of roughness lowest for the pair variables 1000 rpm spindle rotation, feeds rate of 1.0 mm / rotation, and the depth of cut of 0.20 mm with a value of S / N Ratio - 0.1610.*

## **PRAKATA**

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah Swt, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Optimasi Laju Pembuangan Material AISI 1045 Pada Bubut CNC Dengan Metode Taguchi”. Skripsi ini merupakan mata kuliah wajib dan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Selama penelitian dan penulisan laporan Skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan pengarahan selama masa kuliah.
5. Bapak Ir. Ahmat Syuhri, M.T selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
6. Bapak Dr. Agus Triono, S. T., M. T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
7. Bapak Aris Zainal Muttaqin, S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji I, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
8. Bapak Fahrur Rozy H., S. T., M.T. selaku Dosen Penguji II, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.

9. Bapak Rofik selaku Asisten Dosen Lab. Proses Produksi yang telah membantu dalam melakukan proses pebubutan CNC di kampus Politeknik Negeri Malang.
10. Bapakku Muchlis, Ibuku Imas, dan kakaku Irma yang telah memberikan dukungan moril, materil, do'a dan semangat demi terselesainya kuliahku.
11. Dosen – dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
12. Teknisi jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
13. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2011 khususnya dan semua teman-teman Teknik Mesin Universitas Jember pada umumnya.
14. Teman – teman beserta seluruh pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam pelaksanaan skripsi ini.

Skripsi ini disusun berdasarkan data-data yang di peroleh dari studi lapangan dan studi kepustakaan serta uji coba yang dilakukan, walaupun ada kekurangan itu diluar kemampuan saya sebagai penulis, oleh karena itu penulis senantiasa terbuka untuk menerima kritik dan saran dalam upaya penyempurnaan skripsi ini.

Jember, 05 Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Mesin Bubut (<i>Turning</i>)</b> .....	6
2.1.1 Pengertian Mesin Bubut .....	6
2.1.2 Bagian – Bagian Mesin Bubut .....	6
2.1.3 Prinsip Dasar Pembubutan .....	7
<b>2.2 Mesin Bubut CNC</b> .....	10
2.2.1 Pengertian Mesin Bubut CNC .....	10
2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Bubut CNC TU-2 Axis .....	11
2.2.3 Bagian Utama Mesin Bubut CNC TU-2 Axis.....	12

<b>2.3 Kekasaran Permukaan</b> .....	15
2.3.1 Parameter Kekasaran Permukaan .....	16
<b>2.4 Metode <i>Taguchi</i></b> .....	18
2.4.1 Tahapan Dalam Metode <i>Taguchi</i> . .....	19
2.4.2 Analisis Dalam Metode <i>Taguchi</i> . .....	20
2.4.3 Istilah Dalam Metode <i>Taguchi</i> . .....	21
<b>2.5 Hipotesa</b> .....	27
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	28
<b>3.1 Tempat dan Waktu</b> .....	28
<b>3.2 Bahan dan Alat</b> .....	28
3.2.1 Alat Penelitian .....	23
3.2.2 Bahan .....	30
<b>3.3 Pelaksanaan Percobaan</b> .....	31
<b>3.4 Pengambilan Data</b> .....	32
<b>3.5 Jenis <i>Orthogonal Array</i></b> .....	33
<b>3.6 Variabel Pengukuran</b> .....	34
3.6.1 Variabel Bebas. ....	34
3.6.2 Variabel Terikat. ....	35
<b>3.7 Data Percobaan</b> .....	35
3.7.1 Metode Analisis. ....	37
<b>3.8 Flowcahrt.</b> .....	40
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	41
<b>4.1 Data Percobaan</b> .....	41
4.1.1 Data Laju Pembuangan Material. ....	41
4.1.2 Data Kekasaran Permukaan. ....	42
<b>4.2 Pengolahan Data</b> .....	44
4.2.1 Laju Pembuangan Material. ....	44
4.2.2 Kekasaran Permukaan. ....	46
<b>4.3 Analisis Data Laju Pembuangan Material</b> .....	47

4.3.1 Perhitungan <i>Signal To Noise Ratio (S/N Ratio)</i> .....	47
4.3.2 Perhitungan Anova untuk <i>Signal To Noise Ratio</i> . ....	51
4.3.3 Prediksi <i>S/N Ratio</i> Laju Pembuangan Material yang Optimal. 52	
4.3.4 Perhitungan <i>Mean</i> . ....	53
4.3.5 Perhitungan Anova untuk <i>Mean</i> . ....	55
4.3.6 Prediksi <i>Mean</i> Laju Pembuangan Material yang Optimal.. 57	
<b>4.4 Analisis Data Kekasaran Permukaan</b> .....	58
4.4.1 Perhitungan <i>Signal To Noise Ratio</i> .....	58
4.4.2 Perhitungan Anova untuk <i>Signal To Noise Ratio</i> . ....	61
4.4.3 Prediksi <i>S/N Ratio</i> Kekasaran Permukaan yang Optimal. ..	63
4.4.4 Perhitungan <i>Mean</i> . ....	64
4.4.5 Perhitungan Anova untuk <i>Mean</i> . ....	66
4.4.6 Prediksi <i>Mean</i> Kekasaran Permukaan yang Optimal. ....	68
<b>4.5 Pembahasan</b> .....	69
4.5.1 Analisis Pengaruh Variabel Proses Terhadap Laju Pembuangan Material . ....	69
4.5.2 Analisis Pengaruh Variabel Proses Terhadap Kekasaran Permukaan. ....	70
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	72
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	72
<b>5.2 Saran</b> .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Standarisasi Simbol Nilai Kekasaran. ....	17
2.2 Tingkat Kekasaran rata-rata Permukaan Menurut Proses Pengerjaannya. ....	18
2.3 Contoh <i>Orthogonal Array</i> untuk L8. ....	24
3.1 Parameter Kendali & Level untu <i>Orthogonal Array L9</i> . ....	33
3.2 <i>Orthogonal Array</i> untuk <i>Taguchi L9</i> .....	34
3.3 Daftar Variabel Bebas dan Level. ....	34
3.4 Data Percobaan Hasil Pengujian. ....	35
4.1 Data Berat dan Waktu Pengerjaan Hasil Pengujian. ....	41
4.2 Data Kekasaran Permukaan. ....	43
4.3 Data Laju Pembuangan Material. ....	44
4.4 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> untuk Laju Pembuangan Material. ....	46
4.5 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> untuk Kekasaran Permukaan. ....	47
4.6 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> untuk Laju Pembuangan Material. ....	48
4.7 Perhitungan Efek Tiap Faktor untuk <i>Signal To Noise Ratio</i> Laju Pembuangan Material. ....	49
4.8 Hasil Perhitungan Anova untuk <i>Signal To Noise Ratio</i> . ....	51
4.9 Hasil Perhitungan <i>Mean</i> untuk Laju Pembuangan Material. ....	53
4.10 Perhitungan Efek Tiap Faktor untuk <i>Mean</i> Laju Pembuangan Material .....	54
4.11 Hasil Perhitungan Anova untuk <i>Mean</i> .....	56
4.12 Perbandingan Efek Faktor .....	58
4.13 Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> untuk Kekasaran Permukaan. ....	59
4.14 Perhitungan Efek Tiap Faktor untuk <i>S/N Ratio</i> . ....	60
4.15 Hasil Perhitungan Anova untuk <i>Signal To Noise Ratio</i> .....	62
4.16 Hasil Perhitungan <i>Mean</i> untuk Kekasaran Permukaan .....	64

4.17 Perhitungan Efek Tiap Faktor untuk <i>Mean</i> Kekasaran Permukaan .....	65
4.18 Hasil Perhitungan Anova untuk <i>Mean</i> .....	67
4.19 Perbandingan Efek Faktor.....	69
4.20 Interpretasi Hasil Perhitungan .....	71

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Mesin Bubut Serta Bagiannya.....	6
2.2 Proses Pembubutan .....	8
2.3 Mekanisme Gerakan Mesin Bubut.....	11
2.4 Mesin CNC .....	12
2.5 Revolver .....	13
2.6 Cekam .....	14
2.7 Transmisi Penggerak.....	14
2.8 <i>Sliding Bed</i> .....	15
2.9 Kepala Lepas.....	15
2.10 Profil Permukaan.....	16
3.1 Mesin Bubut CNC EMCO Turn 242 .....	29
3.2 <i>TR220 Portable Roughness Tester</i> .....	30
3.3 Benda Kerja.....	31
3.4 Benda Kerja Sebelum Diproses Bubut.....	32
3.5 Benda Kerja Setelah Diproses Bubut.....	32
3.6 Flowchart Penelitian.....	40
4.1 Efek Tiap Faktor untuk <i>Signal To Noise Ratio</i> Laju Pembuangan Material	50
4.2 Efek Tiap Faktor untuk <i>Mean</i> Laju Pembuangan Material.....	55
4.3 Efek Tiap Faktor untuk <i>Signal To Noise Ratio</i> Kekasaran Permukaan .....	61
4.4 Efek Tiap Faktor untuk <i>Mean</i> Kekasaran Permukaan .....	66

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan dan kemajuan proses pemesinan dalam industri manufaktur saat ini berlangsung sangat pesat. Proses pemesinan non-konvensional menjadi solusi pengerjaan ketika proses pengerjaan tidak dapat dilakukan dengan mesin menggunakan mesin-mesin konvensional. Tuntutan akan proses pemesinan untuk bahan sangat keras, benda kerja yang tipis, rumit dan lentur, akurat serta presisi mengharuskan penerapan mesin non-konvensional. Dalam industri manufaktur, proses pemesinan non-konvensional *Computer Numerik Control* (CNC) dalam industri proses CNC digunakan untuk mengerjakan produk-produk dengan bentuk permukaan yang kompleks dan kepresisian yang akurat. Oleh karena itu proses ini membutuhkan laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) yang tinggi, kekasaran permukaan hasil potongan yang halus dan kepresisian yang tinggi.

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

Industri besar menggunakan mesin *Computer Numeric 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. (Pramana, 2012)

Kualitas suatu produk proses pemesinan sangat dipengaruhi parameter yang dianggap sebagai tujuan manufaktur terutama pada *Material Removal Rate (MRR)*. Dalam proses ini *Material Removal Rate* dipertimbangkan untuk sebagai faktor yang secara langsung mempengaruhi biaya pemesinan dalam waktu pemesinan, pemesinan non-konvensional juga memerlukan waktu yang sesingkat mungkin agar dapat memproduksi produk sebanyak mungkin. Untuk memaksimalkan laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) dan meminimalkan proses pemesinan *CNC* dilakukan penelitian dengan menggunakan metode taguchi, parameter yang divariasikan yaitu *cutting speed*, *feed rate*, dan *depth of cut*. Dalam penelitian ini untuk mencari optimal parameter input juga untuk mengetahui pengaruh masing-masing parameter terhadap *Material Removal Rate*.

Penelitian yang dilakukan oleh Sayak Mukherjee, Anurag Kamal, dan Kaushik Kumar (2014) tentang *optimization of material removal rate during turning of SAE 1020 material in cnc lathe using taguchi technique*. Hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa kedalaman potong memiliki efek paling signifikan terhadap laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) dan diikuti oleh *feed rate*, dengan meningkatkan kedalaman potong maka (*Material Removal Rate*) meningkat.

Dalam proses pembubutan, kekasaran permukaan adalah hal yang sangat penting. Dari kekasaran permukaan ini dapat dilakukan evaluasi apakah benda kerja dapat diterima atau tidak. Semakin halus permukaan suatu benda kerja maka kualitas benda kerja tersebut akan semakin baik. Kekasaran permukaan yang semakin tinggi

akan mengakibatkan kinerja komponen pasangan benda kerja yang dihasilkan akan terganggu, sehingga kekasaran benda kerja ini sangat penting untuk komponen-komponen elemen mesin yang saling bergesekan.

Metode *Taguchi* merupakan usaha peningkatan kualitas secara *off-line* yang berfokus pada peningkatan rancangan produk dan proses. Sasaran metode tersebut adalah menjadikan produk tidak sensitif terhadap variabel gangguan (*noise*), sehingga disebut sebagai *robust design*. Metode ini digunakan dalam perke kayasaan dan peningkatan kualitas dengan cara rancangan percobaan untuk menemukan penyebab utama yang sangat dominan mempengaruhi karakteristik kualitas dalam proses, sehingga variabelitas karakteristik kualitas dapat dikendalikan. Dengan metode ini, diperoleh kombinasi terbaik antara unit produk dan unit proses pada tingkat keseragaman yang tinggi untuk mencapai karakteristik kualitas terbaik dengan biaya yang rendah.

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. Keuntungan *Orthogonal Array* adalah kemampuannya untuk mengevaluasi berapa faktor dengan jumlah tes atau percobaan yang minimum.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang diteliti adalah sejauh mana pengaruh parameter Putaran Spindel dan laju pemakanan terhadap laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) pada AISI 1045. Serta bagaimana setting parameter-parameter tersebut agar dihasilkan nilai ketelitian dan laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) yang optimal pada AISI 1045. Metode yang digunakan untuk mencari pengaruh

parameter Putaran Spindel dan laju pemakanan terhadap laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) pada AISI 1045 adalah dengan metode *Taguchi*.

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun yang menjadi batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Percobaan dilaksanakan dalam tiga level pada masing-masing variabel.
2. Penelitian ini tidak membahas getaran yang terjadi pada saat proses pembubutan permukaan.
3. Penelitian ini tidak menganalisa panas yang terjadi akibat proses pembubutan.
4. Selama proses pembubutan tidak menggunakan *cutting fluid*.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh Putaran Spindel dan laju pemakanan terhadap laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) pada AISI 1045.
2. Mengetahui hasil analisis statistik Putaran Spindel dan laju pemakanan agar dihasilkan laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) yang optimal pada AISI 1045.
3. Mengetahui pengaruh dari spindel dan laju pemakanan terhadap kekasaran permukaan pada AISI 1045.
4. Mengetahui hasil analisis statistik Putaran Spindel dan laju pemakanan agar dihasilkan kekasaran permukaan yang optimal pada AISI 1045.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dengan adanya penelitian mengenai optimasi laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) dan kekasaran permukaan pada proses *Computer Numeric Control* dapat diambil manfaat antara lain:

1. Memberi informasi kepada dunia industri dalam pengaruh Putaran Spindel dan laju pemakanan terhadap laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) pada AISI 1045.
2. Dapat mengetahui hubungan Putaran Spindel dan laju pemakanan terhadap laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) pada AISI 1045.
3. Memberi informasi kepada dunia industri dalam pengaruh Putaran Spindel dan laju pemakanan kekasaran permukaan pada AISI 1045.
4. Dapat mengetahui hubungan Putaran Spindel dan laju pemakanan terhadap kekasaran permukaan pada AISI 1045.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

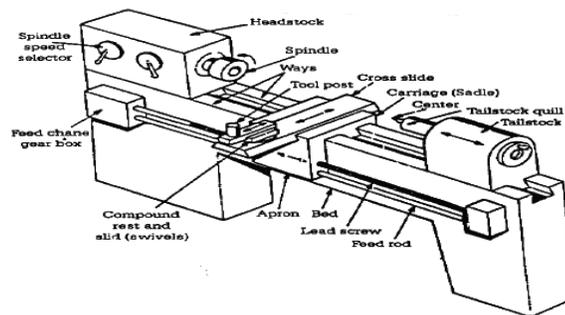
### 2.1 Mesin Bubut (*Turning*)

#### 2.1.1 Pengertian Mesin Bubut

Mesin bubut (*lathe machining*) merupakan mesin perkakas untuk tujuan proses pemotongan logam (*metal cutting process*). Kekhususan operasi mesin bubut adalah digunakan untuk memproses benda kerja dengan hasil atau bentuk penampang lingkaran (benda kerja silinder). Sebab – sebab yang paling memegang peranan digunakannya mesin bubut antara lain: (Winoto, 2011)

1. Banyak bagian konstruksi mesin (poros, sumbu, pasak tabung, badan roda, sekrup, dan sebagainya) menurut bentuk dasarnya merupakan benda putar (benda rotasi), sehingga membuat benda kerja ini sering digunakan dengan cara pembubutan;
2. Perkakas bubut relatif sederhana dan karenanya juga murah;
3. Proses pembubutan mengelupas serpih secara tak terputus sehingga daya sayat yang baik dapat dicapai.

#### 2.1.2 Bagian – Bagian Mesin Bubut



Gambar 2.1 Mesin Bubut Serta Bagiannya

Sumber : Rochim, 2007

Bagian – bagian utama dari mesin bubut antara lain: (Setyawan, 2011)

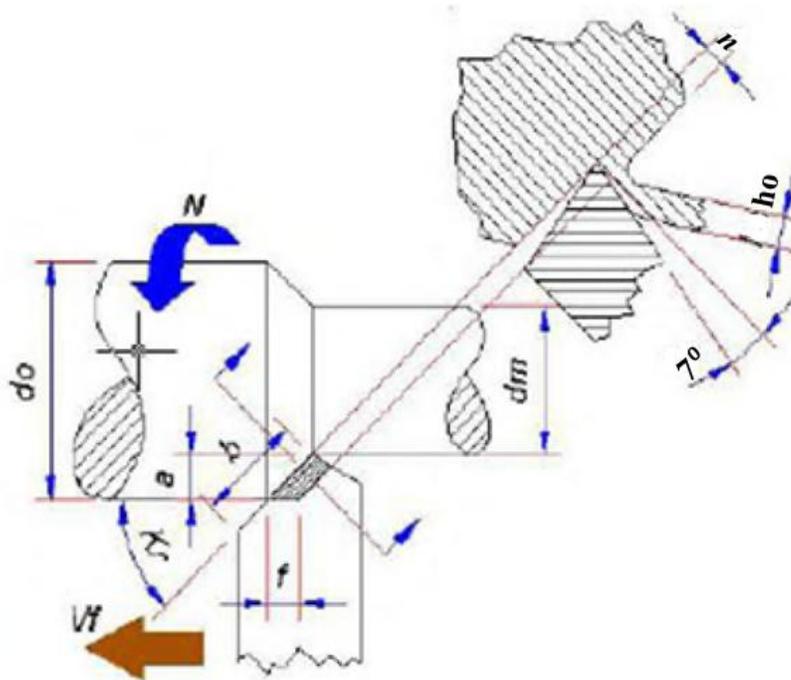
- |                                     |                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. <i>Weys</i> ;                    | 11. <i>Tailstock</i> ;            |
| 2. <i>Spindle</i> ;                 | 12. <i>Centre lathe</i> ;         |
| 3. <i>Chuck</i> (Pencekam);         | 13. <i>Carriage</i> (sadel);      |
| 4. <i>Headstock</i> ;               | 14. <i>Mandril</i> ;              |
| 5. <i>Coumpound rest</i> ;          | 15. <i>Bed</i> ;                  |
| 6. <i>Feed change gear box</i> ;    | 16. Eretan;                       |
| 7. <i>Lead screw</i> ;              | 17. <i>Quick charge gearbox</i> ; |
| 8. <i>Feed rod</i> ;                | 18. <i>Speed gearbox</i> ;        |
| 9. Alat penghubung ( <i>shaf</i> ); | 19. <i>Steady rest</i> ;          |
| 10. <i>Tool post</i> ;              | 20. <i>Follow rest</i> .          |

### 2.1.3 Prinsip Dasar Pembubutan

Proses bubut merupakan suatu proses pembentukan benda kerja dengan mengerjakan permukaan luar yang silindris, permukaan konis, permukaan dalam silindris ataupun konis. Harga putaran poros utama ( $n$ ) dan gerak makan ( $f$ ) dapat dipilih dan umumnya dibuat bertingkat, dengan aturan yang telah distandarkan. Untuk mesin bubut dengan putaran motor variabel, ataupun dengan sistem transmisi variabel, kecepatan putaran poros utama tidak lagi bertingkat melainkan berkesinambungan (Maulana, 2013).

Pada proses bubut terdapat beberapa tahap, salah satunya tahap *roughing*. Proses *roughing* sendiri adalah proses pemesinan dimana hasilnya masih kasar. Ini dikarenakan pada proses *roughing* gaya pemotonganmya relatif tinggi sehingga semakin naik kecepatan makan akan menaikkan nilai kekasaran permukaan (Rochim dalam Santoso *et al*, 2014). Untuk itu perlu dipahami lima elemen dasar proses pemesinan yaitu: (Rochim, 2007)

- Kecepatan potong (*cutting speed*) :  $v$  (m/min)
- Kecepatan makan (*feeding speed*) :  $v_f$  (mm/min)
- Kedalaman potong (*depth of cut*) :  $a$  (mm)
- Waktu pemotongan (*cutting time*) :  $t_c$  (min)
- Kecepatan penghasil geram (*rate of metal removal*) :  $Z$  (cm<sup>3</sup>/min)



Gambar 2.2 Proses Pembubutan

Sumber : Rochim, 2007

Elemen proses permesinan tersebut dihitung berdasarkan dimensi benda kerja dan jenis pahat yang digunakan serta besaran mesin perkakas. Elemen dasar dari proses bubut dapat dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

- kecepatan potong

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

$$\text{Dimana : } d = \frac{d_o + d_m}{2} \text{ (mm)}$$

2. kecepatan makan

$$vf = f.n \text{ (mm/put) .....(2.2)}$$

3. Waktu pemotongan

$$tc = lt/vf \text{ (min) ..... (2.3)}$$

4. kecepatan penghasilan geram

$$Z = A. v \text{ (cm}^3\text{/min) ..... (2.4)}$$

Dimana, penampang geram sebelum terpotong  $A = f.a \text{ (mm}^2\text{)}$

$$\text{Maka, } Z = f. a \text{ (cm}^3\text{/min) ..... (2.5)}$$

Dimana:

$f$  = gerak makan (mm/rev)

$n$  = putaran spindel (rpm)

$a$  = kedalaman potong (mm)

$d$  = diameter rata-rata (mm)

$lt$  = panjang pemotongan (mm)

Dari beberapa rumus di atas, dalam menentukan besarnya putaran spindel pada proses bubut mengacu pada standart kecepatan potong yang ditentukan dari jenis pahat dan material yang digunakan.

## 2.2 Mesin Bubut CNC

### 2.2.1 Pengertian Mesin Bubut 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 M30 spindle utama mesin akan berputar dan apabila kita tulis M05, 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*). Mesin bubut CNC secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua sebagai berikut:

1. Mesin bubut CNC *Training Unit (CNC TU)*.
2. Mesin bubut CNC *Production Unit (CNC PU)*.

Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua tipe mesin tersebut adalah penggunaannya dilapangan. CNC TU dipergunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoprasian mesin CNC yang dilengkapi dengan EPS (*External Programing System*). Mesin CNC jenis *Training Unit* hanya mampu dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan ringan dengan bahan yang relatif lunak.

Sedangkan mesin CNC PU dipergunakan untuk memproduksi massal. Mesin ini dilengkapi dengan assesoris tambahan seperti sistem pembuka otomatis yang menerapkan prinsip kerja hidrolis, pembuangan tatal dan sebagainya.

Gerakan mesin bubut CNC dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini

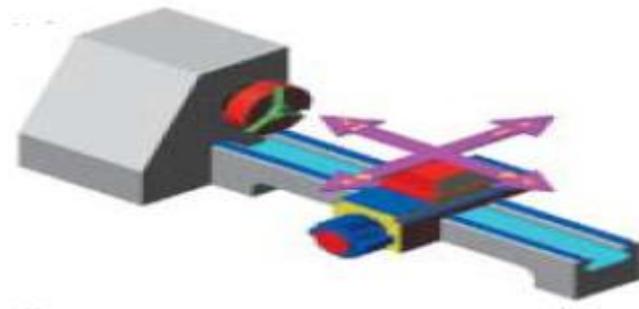
adalah memungkinkan mesin untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama pula.

### 2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Bubut CNC TU-2 Axis

Mesin bubut CNC TU-2 Axis mempunyai prinsip gerakan dasar seperti halnya mesin bubut konvensional yaitu gerakan kearah melintang dan horizontal dengan sistem koordinat sumbu X dan Z. Prinsip kerja mesin bubut CNC TU-2A juga sama dengan mesin bubut konvensional yaitu benda kerja yang dipasang pada cekam bergerak sedangkan alat potong diam. Untuk arah gerakan pada mesin bubut diberi lambang sebagai berikut:

1. Sumbu X untuk arah gerakan melintang tegak lurus terhadap sumbu putar.
2. Sumbu Z untuk arah gerakan memanjang yang sejajar sumbu putar.

Untuk memperjelas fungsi sumbu-sumbu mesin bubut CNC TU-2A dapat dilihat pada gambar ilustrasi dibawah ini.



Gambar 2.3 Mekanisme gerakan mesin bubut

### 2.2.3 Bagian Utama Mesin Bubut CNC TU 2-A



Gambar 2.4 Mesin CNC

#### 1. Motor utama

Motor utama adalah motor penggerak cekam untuk memutar benda kerja. Motor ini adalah jenis motor arus searah/DC (*Direct Current*) dengan kecepatan putaran yang variabel. Adapun data teknis motor utama sebagai berikut.

- Jenjang putaran 600-4.000 rpm.
- *Power Input* 500 watt.
- *Power Output* 300 watt.

#### 2. Eretan/support

Eretan adalah gerak persumbuan jalannya mesin. Untuk mesin bubut CNC TU-2A dibedakan menjadi dua bagian berikut.

- Eretan memanjang (sumbu Z) dengan jarak lintasan 0-300 mm.
- Eretan melintang (Sumbu X) dengan jarak lintasan 0-50 mm.

#### 3. Step Motor

Step motor berfungsi untuk menggerakkan eretan, yaitu gerakan sumbu X dan gerakan sumbu Z. Tiap-tiap eretan memiliki step motor sendiri-sendiri, adapun data teknis step motor sebagai berikut.

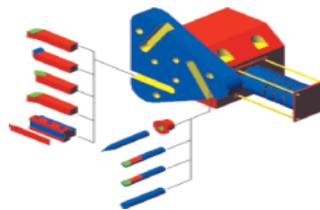
- a) Jumlah putaran 72 langkah.
- b) Momen putar 0.5 Nm.

c) Kecepatan gerakan:

- Gerakan cepat maksimum 700 mm/menit.
- Gerakan operasi manual 5–500 mm/menit.
- Gerakan operasi mesin CNC terprogram 2–499 mm/menit.

#### 4. Rumah alat potong (*revolver/toolturret*)

Rumah alat potong berfungsi sebagai penjepit alat potong pada saat proses pengerjaan benda kerja. Adapun alat yang dipergunakan disebut *revolver* atau *toolturret*, *revolver* digerakkan oleh step motor sehingga bisa digerakkan secara manual maupun terprogram. Pada *revolver* bisa dipasang enam alat potong sekaligus yang terbagi menjadi dua bagian berikut.



Gambar 2.5 *Revolver*

- a) Tiga tempat untuk jenis alat potong luar dengan ukuran  $12 \times 12$  mm. Misal: pahat kanan luar, pahat potong, pahat ulir, dan lain-lain.
- b) Tiga tempat untuk jenis alat potong dalam dengan maksimum diameter 8 mm. Misal: pahat kanan dalam, bor, *center drill*, pahat ulir dalam, dan lain-lain.

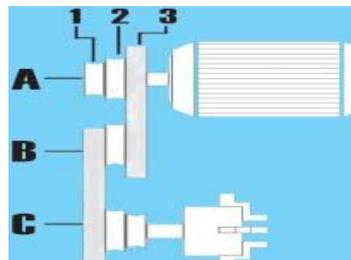
#### 5. Cekam

Cekam pada mesin bubut berfungsi untuk menjepit benda kerja pada saat proses penyayatan berlangsung. Kecepatan spindle mesin bubut ini diatur menggunakan transmisi sabuk. Pada sistem transmisi sabuk dibagi menjadi enam transmisi penggerak.



Gambar 2.6 Cekam

Adapun tingkatan sistem transmisi penggerak *spindle* utama mesin CNC TU-2A, bisa dilihat dari gambar ilustrasi berikut.



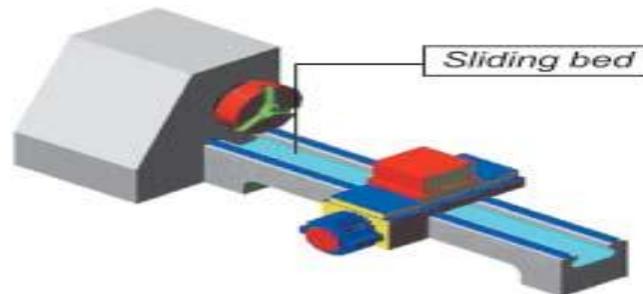
Gambar 2.7 Transmisi Penggerak

Enam tingkatan *pulley* penggerak tersebut memungkinkan untuk pengaturan berbagai putaran sumbu utama. Sabuk perantara *pulley* A dan *pulley* B bersifat tetap dan tidak dapat diubah, sedangkan sabuk perantara *pulley* B dengan *pulley* C dapat dirubah sesuai kecepatan putaran yang diinginkan, yaitu pada posisi BC1, BC2, dan BC3.

#### 6. Meja mesin

Meja mesin atau *sliding bed* sangat mempengaruhi baik buruknya hasil pekerjaan menggunakan mesin bubut ini, hal ini dikarenakan gerakan memanjang eretan (gerakan sumbu Z) tertumpu pada kondisi *sliding bed* ini. Jika kondisi *sliding bed* sudah aus atau cacat bisa dipastikan hasil pembubutan menggunakan mesin ini tidak akan maksimal, bahkan benda kerja juga rusak. Hal ini juga berlaku pada mesin

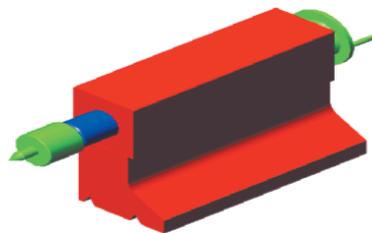
bubut konvensional.



Gambar 2.8 Sliding Bed

### 7. Kepala Lepas

Kepala lepas berfungsi sebagai tempat pemasangan senter putar pada saat proses pembubutan benda kerja yang relatif panjang. Pada kepala lepas ini bisa dipasang pengecam bor, dengan diameter mata bor maksimum 8 mm. Untuk mata bor dengan diameter lebih dari 8 mm, ekor mata bor harus memenuhi syarat ketirusan MT1.



Gambar 2.9 Kepala Lepas

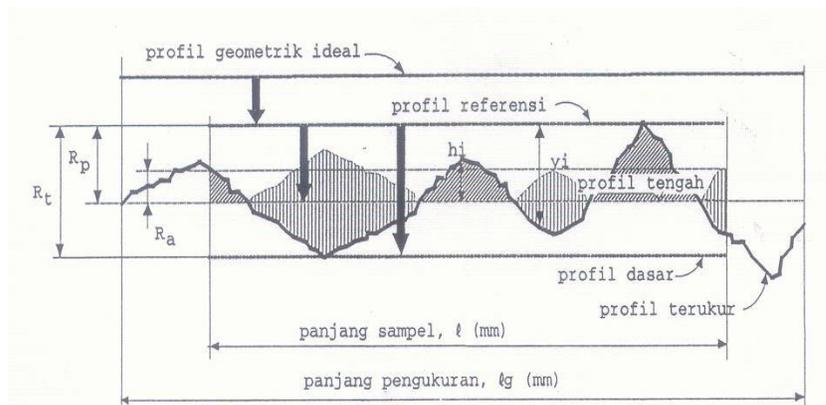
## 2.3 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidakraturan konfigurasi dan penyimpangan karakteristik permukaan berupa guratan yang nantinya akan terlihat pada profil permukaan. Adapun penyebabnya beberapa macam faktor, diantaranya yaitu; mekanisme parameter pemotongan, geometri dan dimensi pahat, cacat pada

material benda kerja dan kerusakan pada aliran geram. Kualitas suatu produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan benda kerja. Kekasaran permukaan dapat dinyatakan dengan menganggap jarak antara puncak tertinggi dan lembah terdalam sebagai ukuran dari kekasaran permukaan. Dapat juga dinyatakan dengan jarak rata-rata dari profil ke garis tengah.

### 2.3.1 Parameter Kekasaran Permukaan

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.



Gambar 2.10 Profil permukaan (Sumber: Rochim, 2007 )

Berdasarkan Gambar 2.10 dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah melintang. Untuk arah tegak dikenal beberapa parameter:

1. Kekasaran total  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
2. Kekasaran perataan  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil terukur.

3. Kekasaran rata-rata aritmatik  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
4. Kekasaran rata-rata kuadrat  $R_g$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.
5. 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 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.1 Standarisasi simbol nilai kekasaran

Harga Kekasaran, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	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	
0,005	N2	
0,025	N1	0,08

(Sumber: Tri Adi Prasetya, Bab 2: 43)

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

Toleransi harga kekasaran rata-rata,  $R_a$  dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda sudah tentu lebih halus dari pada dengan menggunakan mesin bubut. Tabel 2.4 berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2.2 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga $R_a$
<i>Flat and cylindrical lapping, Superfinishing Diamond turning</i>	$N_1 - N_4$ $N_1 - N_6$	0.025 – 0.2 0.025 – 0.8
<i>Flat cylindrical grinding Finishing</i>	$N_1 - N_8$ $N_4 - N_8$	0.025 – 3.2 0.1 – 3.2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	$N_5 - N_{12}$	0.4 – 50.0
<i>Drilling</i>	$N_7 - N_{10}$	1.6 – 12.5
<i>Shapping, planing, horizontal milling</i>	$N_6 - N_{12}$	0.8 – 50.0
<i>Sandcasting and forging</i>	$N_{10} - N_{11}$	12.5 – 25.0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	$N_6 - N_8$	0.8 – 3.2
<i>Die casting</i>	$N_6 - N_7$	0.8 – 1.6

(Sumber: Dasar-Dasar Metrologi Industri Bab VII – Pengukuran Kekasaran Permukaan: 230)

## 2.4 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.

#### 2.4.1 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 mentukan 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 Arrays* 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 Arrays* yang telah dipilih. Data respon yang telah diperoleh itu kemudian diubah menjadi *S/N ratios* (*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*)

#### 2.4.2 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 S/N ratio 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.

### 2.4.3 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:

- a. Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B:

$$V_A = (\text{jumlah level faktor A}) - 1$$

$$= k_A \cdot 1$$

$$V_B = (\text{jumlah level faktor B}) - 1$$

$$= k_B \cdot 1$$

- b. Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

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

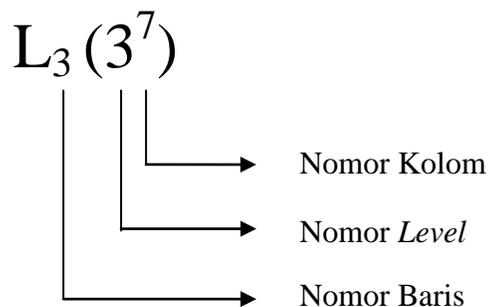
- c. Nilai derajat bebas total

$$= (k_A \cdot 1) + (k_B \cdot 1) + (k_A \cdot 1) (k_B \cdot 1)$$

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*.



Keterangan:

1. Notasi L

Notasi L menyatakan informasi mengenai *Orthogonal Array*

2. Nomor baris

Menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *Orthogonal Array*

3. Nomor kolom

Menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam *Orthogonal Array*

4. Nomor *level*

Menyatakan jumlah *level* faktor

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 bebas total. Penentuan derajat bebas 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 percobaan (berbagi kemungkinan kombinasi pengujian) di dalam array, suatu matriks L8 memiliki delapan percobaan dan matriks L27 memiliki 27 percobaan dan seterusnya. Banyaknya *level* yang digunakan di dalam faktor digunakan untuk memilih *Orthogonal Array* dua *level*. Jika *level*nya 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 2.3 Contoh *Orthogonal Array* untuk L8

Percobaan	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

### 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 (S/N Ratio)*

Optimasi proses yang dilakukan oleh *metode taguchi* adalah dengan memperhatikan nilai *S/N Rasio*. Prinsip dasarnya adalah pengaturan proses produksi mencapai kondisi yang optimum jika dapat memaksimalkan nilai *S/N Ratio*.

*S/N rasio* adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter kendali. Nilai *S/N rasio* 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 *S/N rasio* dari setiap *levelnya* memiliki nilai terbesar. Ada tiga jenis *S/N rasio* 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:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \times \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$$

## 2. *Larger the Better*

Optimasi jenis ini merupakan kebalikan dari optimasi *Smaller the Better*. Kasus yang biasanya dioptimasi dengan cara ini adalah untuk mencari kecepatan penghasil geram (MRR) yang paling besar, yang berarti semakin besar MRR maka semakin produktif proses produksi tersebut. Rumus yang digunakan adalah:

$$S / N \text{ Ratio} = -10 \times \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y^2}$$

## 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:

$$S / N \text{ Ratio} = -10 \times \log \frac{y^{-2}}{s^2}$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_1 - x)^2}{n - 1}$$

Dimana:  $s^2$  = varian

$n$  = jumlah pengulangan dari setiap kombinasi

$X_i$  = nilai dari kombinasi ke- $n$

$X$  = nilai rata-rata dari setiap kombinasi

e. *Sum of Square*

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

$$SS = \sum_{i=1}^n (R_1 - R)^2$$

Dimana:  $n$  = jumlah level dari setiap *control factor*

$R_1$  = nilai S/N Ratio pada level ke- $n$

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

## 2. 5 Hipotesa

Semakin besar kecepatan spindel dan laju pemakanan maka semakin besar pada laju pembuangan material. Hal ini dilihat bahwa laju pembuangan material yang optimum diperoleh pada tingkat parameter tinggi.

## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Politeknik Negeri Malang pada bulan Oktober 2015.

### **3.2 Alat dan Bahan**

#### **3.2.1 Alat Penelitian**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Neraca digital

Neraca digital digunakan untuk mengetahui massa spesimen uji sebelum dan sesudah pengerjaan oleh bubut CNC. Pada penelitian ini digunakan neraca digital dengan ketelitian 0,001 kg.

b. Mesin bubut CNC

Mesin bubut CNC yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin bubut CNC EMCO TURN 242. Dengan spesifikasinya adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Mesin Bubut CNC EMCO TURN 242

- |                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| 1. Distance Between Centers  | : 282,55 mm     |
| 2. Max Length of Workpiece   | : 255 mm        |
| 3. Max Diameter of Workpiece | : 158 mm        |
| 4. Putaran Spindel           | : 50 – 4500 Rpm |
| 5. No of Tools               | : 8             |

c. Stop Watch

Stop Watch digunakan untuk menghitung waktu aktual proses pengerjaan dengan mesin bubut CNC, stop watch yang digunakan pada penelitian ini memiliki ketelitian 0,01 detik.

d. Jangka Sorong

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

e. 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*, *Pick up* 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. *Pick up* 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. Dibawah ini adalah gambar 3.6 *TR220 Portable Roughness Tester*.



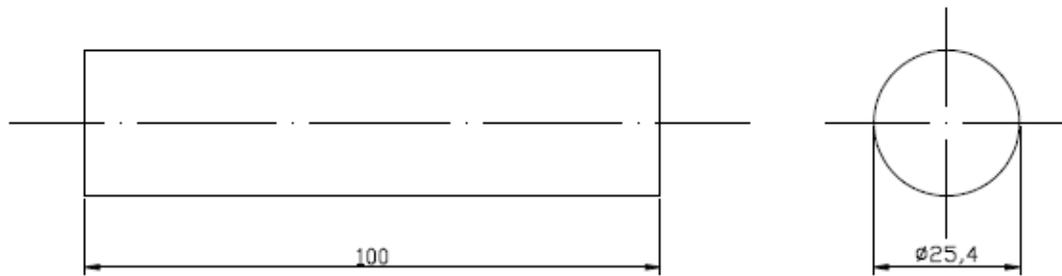
Gambar 3.2 *TR220 Portable Roughness Tester*

f. Pahat Insert

Pahat Insert digunakan untuk penyayatan dalam proses bubut CNC.

### 3.2.2 Bahan

Material atau benda kerja yang digunakan adalah AISI 1045 silinder pejal dengan diameter ( $\emptyset$ ) = 25,4 mm panjang 100 mm.

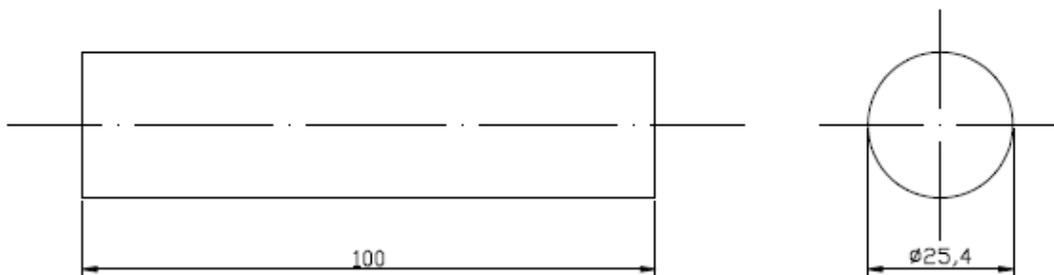


Gambar 3.3 Benda Kerja

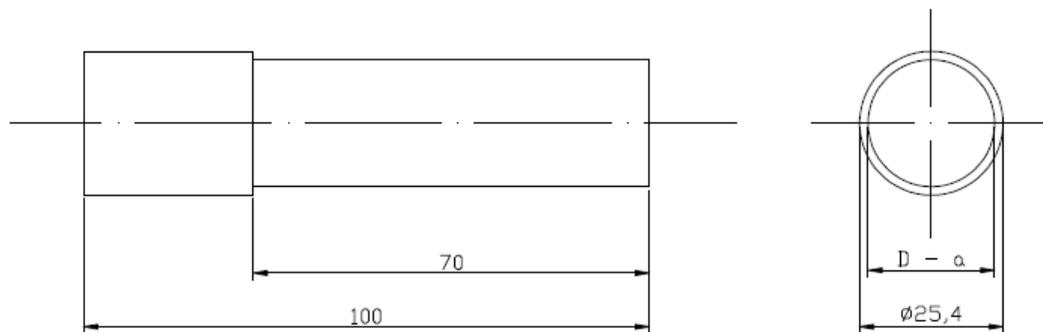
### 3.3 Pelaksanaan Percobaan

Mempersiapkan peralatan, benda kerja dan mesin bubut CNC.

- a. Persiapan benda kerja seperti Gambar 3.2 sesuai ukuran.
- b. Persiapkan tool yang akan dipakai adalah pahat Insert.
- c. Membuat program CNC sesuai benda kerja yang akan dikerjakan dengan ketentuan yang sudah di variasikan.
- d. Pasang pahat pada rumah pahat mesin bubut CNC.
- e. Menimbang berat benda kerja dan catat pada Tabel yang telah tersedia.
- f. Pasang benda kerja pada pencekam mesin bubut CNC dan kemudian kencangkan pencekam bubut CNC.
- g. Melakukan setting mesin bubut CNC.
- h. Masukkan program yang sudah dibuat sebelumnya pada mesin bubut CNC.
- i. Hidupkan mesin CNC dan lakukan setting poin.
- j. Membubut dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 3.4 Gambar Benda Kerja Sebelum Diproses Bubut



Gambar 3.5 Gambar Setelah Proses Bubut

- k. Pada saat proses penyayatan hitung waktu penyayatan.
- l. Matikan mesin bubut CNC.
- m. Lepaskan benda kerja pada cekam mesin bubut CNC.
- n. Timbang berat dari benda kerja dan catat pada Tabel yang sudah tersedia.
- o. Hitung laju pembuangan material dengan mengurangi berat benda kerja semula dengan berat benda kerja setelah proses dan bagi waktu yang dibutuhkan.

### 3.4 Pengambilan Data

Laju pembuangan material atau *Material Removal Rate* (MRR)

Waktu potong dihitung dengan menggunakan stop watch, dimulai pada saat pertama kali pahat menyentuh benda kerja atau pada saat terlihat loncatan geram

benda kerja sampai dengan penyayatan terakhir. Massa yang terbang akbat pemotongan oleh mesin bubut CNC didapat dengan mencari selisih massa spesimen uji sebelum pemotongan dengan massa setelah pemotongan. Massa yang terbang dibagi dengan massa jenis spesimen uji didapat volume spesimen uji yang terbang. MRR didapat dengan membagi volume spesimen uji yang terbang dengan waktu potong.

$$MRR = \frac{\text{Volume Material yang Terbang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu proses(min)}}$$

### 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 bubut CNC, 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 3.1 dapat dilihat parameter kendali dan level untuk *Orthogonal Array L9*.

Tabel 3.1 Parameter kendali & 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 3.2 *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 Pengukuran

Variabel yang digunakan pada penelitian 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 spindel, variasi laju pemakanan, dan variasi kedalaman potong. Pada Tabel 3.3 dapat dilihat daftar variabel bebas dan level.

Tabel 3.3 Daftar Variabel Bebas dan Level

Kode	<i>Control Factors</i>	<i>level</i>		
		1	2	3
A	Putaran Spindel (rpm)	800	1000	1200

B	Laju Pemakanan (mm/put)	1,0	1,5	2
C	Kedalaman potong (mm)	0,15	0,20	0,25

### 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 laju pembuangan material dan kekerasan permukaan benda kerja hasil proses pembubutan.

### 3.7 Data Percobaan

Data dalam penelitian yang akan diambil data seperti yang terlihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Data percobaan hasil pengujian

No	Parameter Kendali			Pengulangan	Data			MRR
	A	B	C		Waktu (menit)	Bobot benda kerja sebelum (g)	Bobot benda kerja sesudah (g)	
1	1	1	1	1				
				2				
				3				
2	1	2	2	1				
				2				
				3				

3	1	3	3	1				
				2				
				3				
4	2	1	2	1				
				2				
				3				
5	2	2	3	1				
				2				
				3				
6	2	3	1	1				
				2				
				3				
7	2	1	3	1				
				2				
				3				
8	3	2	1	1				
				2				
				3				
9	3	3	2	1				
				2				
				3				

Berdasarkan data yang didapat dari percobaan, dapat dihitung MRR atau laju pembuangan material dengan menggunakan rumus berikut:

$$MRR = \frac{\text{Volume Material yang Terbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu proses(min)}}$$

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

### 3.7.1 Metode Analisis

Dalam penelitian ini metode analisis yang digunakan adalah:

#### 1. 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.

#### 2. Uji hipotesis

Hipotesis adalah suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu di buktikan 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. Penirimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar. Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi  $\alpha$  sebesar 5% atau 0,05 dengan artian ada kemungkinan satu diantara dua puluh tujuh keputusan penolakan hipotesis nol adalah keputusan yang keliru.

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

$H_0$  : tidak ada pengaruh perbedaan level

$H_1$  : ada pengaruh perbedaan level

Apabila uji F lebih kecil dari nilai F tabel, maka  $H_0$  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 pengambilan keputusan :

- a. Jika  $F_{hitung} < F_{tabel} 5\%$  maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan variansi level tidak berpengaruh terhadap laju pembuangan material atau dengan kata lain terima  $H_0$  dan tolak  $H_1$
- b. Jika  $F_{hitung} > F_{tabel} 5\%$  maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan variansi level berpengaruh terhadap laju pembuangan material atau dengan kata lain tolak  $H_0$  dan terima  $H_1$

### 3. Persen kontribusi

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

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

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

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

### 4. Prediksi *S/N Ratios* dan *Mean* yang Optimal

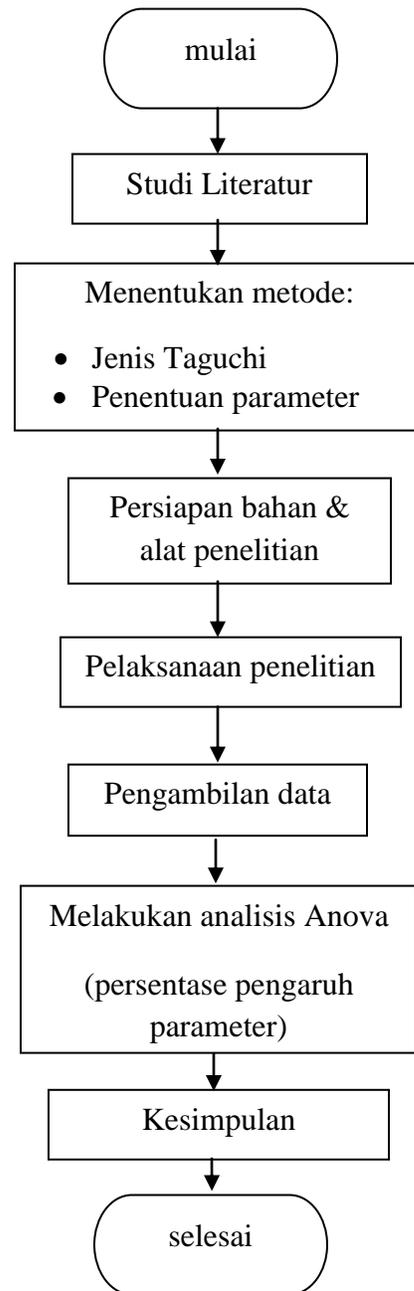
Setelah di ketahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap *S/N Ratios* dan *Mean* selanjutnya adalah pembuatan model persamaan rata-rata. Sebagai aturan empiris, hanya 1 faktor yang paling berpengaruh yang di pilih karena dalam matriks

*orthogonal* hanya diambil kira-kira setengah derajat kebebasan. Dengan rumus sebagai berikut:

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

### 3.8 Flowchart

Tahapan penyelesaian dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan *flowchart* di bawah ini



Gambar 3.6 *Flowchart* penelitian