

**SKRIPSI**

**OPTIMASI *MATERIAL REMOVAL RATE* (MRR) BAJA AISI 1045 PADA  
PROSES *TURNING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *TAGUCHI***



**Oleh:**

**Rizal Hadi**

**D021 18 1003**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2023**

**SKRIPSI**

**OPTIMASI *MATERIAL REMOVAL RATE* (MRR) BAJA AISI 1045 PADA  
PROSES *TURNING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *TAGUCHI***

**DISUSUN OLEH**

**RIZAL HADI**

**D021 18 1003**

**Merupakan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**OPTIMASI MATERIAL REMOVAL RATE (MRR) BAJA AISI 1045 PADA  
PROSES TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

**Disusun dan diajukan oleh**

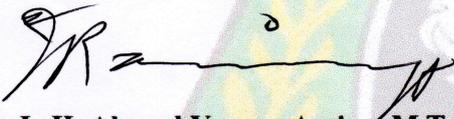
**RIZAL HADI**

**D021 18 1003**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas  
Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal <sup>26</sup> Januari 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan  
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

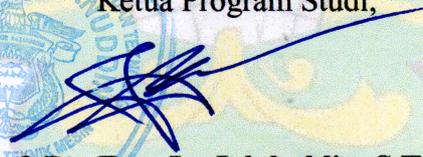
  
**Dr. Ir. H. Ahmad Yusran Aminy, M.T.**

**Nip. 19580921 1986 03 1003**

  
**Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT**

**Nip. 19770707 200511 1 001**

Ketua Program Studi,

  
**Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T**

**NIP. 19720825 200003 1 001**

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda-tangan dibawah ini:

NAMA : RIZAL HADI

NIM : D021 18 1003

JUDUL SKRIPSI : OPTIMASI *MATERIAL REMOVAL RATE* (MRR) BAJA AISI 1045 PADA PROSES *TURNING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *TAGUCHI*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 02 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



RIZAL HADI

## **OPTIMASI *MATERIAL REMOVAL RATE* (MRR) BAJA AISI 1045 PADA PROSES *TURNING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *TAGUCHI***

**Nama : RIZAL HADI**

**Nim : D021 18 1003**

**Pembimbing I : Dr. Ir. AHMAD YUSRAN AMINY., MT**

**Pembimbing II : Dr. Ir. MUHAMMAD SYAHID, ST., MT**

### **ABSTRAK**

Proses permesinan merupakan sesuatu yang sangat dibutuhkan pada pengerjaan manufaktur di industri saat ini. Mesin bubut merupakan salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar, benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram. Salah satu dari sekian banyak jenis baja adalah baja AISI 1045 yang tergolong dalam baja paduan karbon sedang yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti *gear*, batang penghubung piston dan terutama poros pada kendaraan bermotor dan industri. Tujuan dari setiap tahap produksi perlu diperjelas dan segera dibuat rencana kerja yang sesuai. Sebagai contoh pada tahap operasi roughing, dibutuhkan strategi meningkatkan produktifitas. Caranya adalah dengan meningkatkan *Material Removal Rate* (MRR). Diharapkan peningkatan produktifitas tersebut dapat membantu usaha menekan biaya produksi Faktor yang mempengaruhi MRR adalah parameter proses yang akan digunakan dalam proses penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui setting parameter permesinan yang paling optimal dan berpengaruh terhadap MRR. Dari hasil analisis didapatkan *feed* 0,27 mm/put, kecepatan spindel 1000 rpm, dan *depth of cut* 1,5 mm adalah setting parameter paling optimal dengan nilai MRR 35,8746 mm<sup>3</sup>/min dan parameter paling berpengaruh yaitu *feed* dengan kontribusi sebesar 52,78%.

**Kata Kunci:** Proses Permesinan, Mesin Bubut, Baja AISI 1045, MRR

**OPTIMASI *MATERIAL REMOVAL RATE* (MRR) BAJA AISI 1045 PADA PROSES *TURNING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *TAGUCHI***

**Nama : RIZAL HADI**

**Nim : D021 18 1003**

**Pembimbing I : Dr. Ir. AHMAD YUSRAN AMINY., MT**

**Pembimbing II : Dr. Ir. MUHAMMAD SYAHID, ST., MT**

**ABSTRACT**

The machining process is something that is needed in manufacturing work in today's industry. The lathe is one of the *metal cutting machines* with the main motion of rotating, the workpiece is clamped and rotates on its axis, while the *cutting tool* moves along the workpiece, so that a grit is formed. One of the many types of steel is AISI 1045 steel which is classified as medium carbon alloy steel which is widely used as the main material in engines such as *gears*, piston connecting rods and especially shafts in motorized vehicles and industry. The objectives of each stage of production need to be clarified and an appropriate work plan is immediately drawn up. For example, during the roughing operation stage, a strategy to increase productivity is needed. The trick is to increase the *Material Removal Rate* (MRR). It is hoped that this increase in productivity can help efforts to reduce production costs. Factors that affect MRR are process parameters that will be used in the research process. The purpose of this study was to determine the most optimal setting of machining parameters and their effect on MRR. From the results of the analysis, it was found that *feed* 0.27 mm/put, spindle speed 1000 rpm, and *depth of cut* 1.5 mm were the most optimal parameter settings with an MRR value of 35.8746 mm<sup>3</sup>/min and the most influential parameter was *feed* with a contribution of 52.78%.

Keywords: Machining Process, Lathe, AISI 1045 Steel, MRR

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang mengambil judul: “*Optimasi Material Removal Rate (MRR) Baja AISI 1045 Pada Proses Turning Dengan Menggunakan Metode Taguchi*”.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa program S-1 di program studi Jurusan Mesin Prodi Teknik Mesin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc selaku rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT selaku Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST, MT selaku Sekertaris Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT selaku dosen pembimbing pertama skripsi saya yang telah memberikan kritik dan saran bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT selaku pembimbing kedua skripsi saya atas bimbingan maupun arahan dalam penyusunan skripsi ini.

7. Bapak Marthen selaku Plp Laboratorium Teknologi Mekanik Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Kak Minhajjul selaku pegawai Laboratorium Teknologi Mekanik Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Bapak dan Ibu Dosen dan serta staf administrasi Departemen Teknik Mesin yang telah banyak membantu kami dalam mengurus dan memudahkan perjalanan berkas kami menuju Rektorat.
10. Kepada saudara(i) seperjuangan REACTOR'18 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada saudara Sudirman, Angga Asteriasti Aji, Muhammad Fatur, dan Ikhsan Biring Tandea serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
11. Kepada saudara(i) seperjuangan KKN Unhas Gel.106 Enrekang 4 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada saudara Ashanty Auliya Ashary serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
12. Kepada saudara(i) seperjuangan S18BAWA HPMM KOM. UNHAS yang selalu memberikan dukungan dan semangat. Khususnya kepada saudara Aldy Afdal serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
13. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Suritno dan Buhari dan saudara saya yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moral, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Gowa, 02 Januari 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Permesinan .....	4
2.2 Mesin Bubut .....	7
2.3 Variabel Permesinan.....	9
2.4 Pahat Karbida .....	11
2.5 Baja AISI 1045 .....	13
2.5.1 Struktur Baja AISI 1045 .....	13
2.5.2 Klasifikasi Baja AISI 1045 .....	14
2.6 Geometri Alat Potong.....	15
2.7 Metode Taguchi.....	16
2.7.1 Tahap Perencanaan.....	17
2.7.2 Tahap Pelaksanaan .....	19

2.7.3	Tahap Analisis.....	20
2.7.4	Rasio S/N .....	22
2.8	Material Removal Rate (MRR) .....	22
2.9	Minitab .....	23
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>25</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	25
3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	25
3.3	Metode Penelitian.....	29
3.4	Variabel Penelitian .....	29
3.4.1	Variabel Bebas .....	29
3.4.2	Variabel Terikat .....	29
3.5	Pelaksanaan Penelitian .....	29
3.5.1	Prosedur Proses Bubut .....	29
3.5.2	Pengambilan Data .....	30
3.6	Flowchart Penelitian.....	31
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>33</b>
4.1	Menganalisis Kecepatan Potong Dari Masing-masing Putaran Spindel	33
4.2	Pengambilan Data MRR dan Kekasaran Permukaan (Ra) Dari Masing-masing Spesimen .....	34
4.3	Menganalisis Hubungan Antara Feed Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Depth Of Cut.....	36
4.3.1	Menganalisis Hubungan Antara Feed Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Depth Of Cut Pada Putaran Spindel 400 rpm.....	36
4.3.2	Menganalisis Hubungan Antara Feed Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Depth Of Cut Pada Putaran Spindel 600 rpm.....	37

4.3.3	Menganalisis Hubungan Antara Feed Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Depth Of Cut Pada Putaran Spindel 800 rpm.....	38
4.3.4	Menganalisis Hubungan Antara Feed Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Depth Of Cut Pada Putaran Spindel 1000 rpm.....	40
4.4	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Feed. ....	41
4.4.1	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Feed Pada Depth Of Cut 0,5 mm.....	41
4.4.2	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat Feed Pada Depth Of Cut 0,7 mm. ....	42
4.4.3	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Feed Pada Depth Of Cut 1 mm.....	44
4.4.4	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Feed Pada Depth Of Cut 1,5 mm.....	45
4.5	Menganalisis Hubungan Antara Depth Of Cut Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel.....	46
4.5.1	Menganalisis Hubungan Antara Depth Of Cut Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Feed 0,05 mm/put. ....	46
4.5.2	Menganalisis Hubungan Antara Depth Of Cut Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Feed 0,13 mm/put. ....	48

4.5.3	Menganalisis Hubungan Antara Depth Of Cut Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Feed 0,21 mm/put. ....	49
4.5.4	Menganalisis Hubungan Antara Depth Of Cut Terhadap Material Removal Rate (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Feed 0,27 mm/put. ....	50
4.6	Menganalisis Variabel Permesinan Paling Berpengaruh Terhadap Nilai Material Removal Rate (MRR) Hasil Pembubutan Dengan Metode Taguchi. .	52
4.7	Analisis Of Varians (ANOVA) .....	55
BAB 5 PENUTUP.....		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA .....		58
LAMPIRAN 1. Tabel Distribusi .....		60
LAMPIRAN 2. Dokumentasi Kegiatan .....		61
LAMPIRAN 3. Data Hasil Penelitian.....		64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Mesin Bubut .....	7
Gambar 2.2 Gerakan Pada Proses Pembubutan .....	8
Gambar 2.3 Panjang Permukaan Benda Kerja .....	9
Gambar 2.4 Gerak Makan (f) dan Kedalaman Pemoangan (h) .....	9
Gambar 2.5 Geometri Pahat Bubut Sesuai DIN 6581 .....	15
Gambar 3.1 Mesin Bubut .....	25
Gambar 3.2 Kunci <i>Chuck</i> .....	25
Gambar 3.3 Kunci T .....	26
Gambar 3.4 Jangka Sorong .....	26
Gambar 3.5 Kuas .....	26
Gambar 3.6 Gurinda .....	27
Gambar 3.7 <i>Holder</i> MTJNR 2020 .....	27
Gambar 3.8 Pahat Sisipan Karbida TNMG160404-MA UE6020 .....	27
Gambar 3.9 Baja AISI 1045 .....	28
Gambar 3.10 Timbangan Digital .....	28
Gambar 3.11 <i>Stopwatch</i> .....	28
Gambar 3.12 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	32
Gambar 4.1 Hubungan Antara <i>Feed</i> Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat <i>Depth Of Cut</i> Pada Putaran Spindel 400 rpm .....	36
Gambar 4.2 Hubungan Antara <i>Feed</i> Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat <i>Depth Of Cut</i> Pada Putaran Spindel 600 rpm .....	37
Gambar 4.3 Hubungan Antara <i>Feed</i> Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat <i>Depth Of Cut</i> Pada Putaran Spindel 800 rpm .....	38
Gambar 4.4. Hubungan Antara <i>Feed</i> Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat <i>Depth Of Cut</i> Pada Putaran Spindel 1000 rpm .....	40
Gambar 4.5 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat <i>Feed</i> Pada <i>Depth Of Cut</i> 0,5 mm .....	41

Gambar 4.6 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat <i>Feed</i> Pada <i>Depth Of Cut</i> 0,7 mm .....	42
Gambar 4.7 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat <i>Feed</i> Pada <i>Depth Of Cut</i> 1 mm..	44
Gambar 4.8 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat <i>Feed</i> Pada <i>Depth Of Cut</i> 1,5 mm .....	45
Gambar 4.9 Hubungan Antara <i>Depth Of Cut</i> Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat Kecepatan Spindel Pada <i>Feed</i> 0,05 mm/put .....	46
Gambar 4.10 Hubungan Antara <i>Depth Of Cut</i> Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat Kecepatan Spindel Pada <i>Feed</i> 0,13 mm/put .....	48
Gambar 4.11 Hubungan Antara <i>Depth Of Cut</i> Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat Kecepatan Spindel Pada <i>Feed</i> 0,21 mm/put .....	49
Gambar 4.12 Hubungan Antara <i>Depth Of Cut</i> Terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR) dan Kekasaran Permukaan Akibat Kecepatan Spindel Pada <i>Feed</i> 0,27 mm/put .....	50
Gambar 4.13 Grafik Plot Rata-rata Untuk S/N Ratios Nilai MRR ( <i>Larger is better</i> ) Menggunakan Aplikasi Minitab 19 .....	54
Gambar 4.14 Grafik Plot Rata-rata Untuk Nilai MRR ( <i>Larger is better</i> ) Menggunakan Aplikasi Minitab 19 .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Variabel permesinan yang direkomendasikan pada pembubutan .....	11
Tabel 2.2. Komposisi Kimia Baja AISI 1045 .....	13
Tabel 2.3 Komposisi (% berat) Baja AISI 1045 .....	14
Tabel 2.4 Sifat-Sifat Mekanik Baja AISI 1045 .....	14
Tabel 2.5 Matriks Ortogonal .....	19
Tabel 2.6 Tabel Analisis Variansi (ANAVA) .....	20
Tabel 4.1 Data Hasil Perhitungan Nilai MRR dan Kekasaran Permukaan .....	34
Tabel 4.2 Variabel Bebas Penelitian .....	52
Tabel 4.3 Desain <i>Of Experiment</i> (DOE) Matriks <i>Ortogonal Array</i> Minitab 19 ...	53
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Rasio S/N ( <i>Signal To Noise Rasio</i> ) .....	53
Tabel 4.5 <i>Response Table for Signal to Noise Ratios</i> Minitab 19 .....	54
Tabel 4.6 <i>Response Table for Means</i> Menggunakan Minitab 19.....	55
Tabel 4.7 <i>Factor Information</i> .....	56
Tabel 4.8 <i>Analysis of Variance</i> .....	56

## DAFTAR SIMBOL

$MRR_{exp}$	: Laju Pembuangan Material Eksperimen
$MRR_{th}$	: Laju Pembuangan Material Teori
Ra	: Kekasaran Permukaan
a	: Kedalaman Pemakanan
f	: Gerak Makan
n	: Kecepatan Spindel
Vc	: Kecepatan Potong
$W_0$	: Berat Spesimen Sebelum Pembubutan
$W_1$	: Berat Spesimen Setelah Pembubutan
$\Delta W$	: Selisih $W_1$ dengan $W_2$
t	: Waktu Pengerjaan
SNRA	: Rasio S/N
MEAN	: Rata-rata
DF	: Derajat Bebas
Adj SS	: Jumlah Kuadrat
Adj MS	: Kuadrat Rata-rata
F-Value	: f hitung

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dunia industri manufaktur, keberhasilan suatu proses produksi sangat dipengaruhi oleh mesin-mesin produksi yang digunakan. Hal ini dikarenakan ditiap bengkel mesin konstruksi dan bengkel-bengkel pengerjaan logam, mesin-mesin ini banyak digunakan dalam pembuatan atau perbaikan komponen tertentu dalam suatu produk manufaktur. Salah satu mesin perkakas yang digunakan adalah mesin bubut. Mesin Bubut adalah mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang berputar. Bubut merupakan suatu proses pemakanan benda kerja dengan mensayat benda kerja yang berputar. Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan. Proses bubut (*turning*) dalam industri manufaktur merupakan salah satu proses yang digunakan dalam pemotongan logam. Lebih kurang 80% dari keseluruhan kegiatan yang ada pada operasi proses pemotongan logam menggunakan proses bubut (Azib, 2017).

Proses permesinan merupakan sesuatu yang sangat dibutuhkan pada pengerjaan manufaktur di industri saat ini. Salah satu permesinan yang paling sering ditemui saat ini adalah proses pembubutan. Mesin bubut merupakan salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar, benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram (Nurdjito dan Arifin, 2015).

Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang industri permesinan dan konstruksi. Salah satu dari sekian banyak jenis baja adalah baja AISI 1045 yang tergolong dalam baja paduan karbon sedang yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti *gear*, batang penghubung piston dan terutama poros pada kendaraan bermotor dan industri. Baja karbon sedang merupakan salah satu material yang banyak diproduksi dan digunakan untuk membuat alat-alat atau bagian-bagian mesin,

karena baja karbon sedang memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, sedikit ulet (*ductile*) dan tangguh (*toughness*) (Pratowo & Fernando, 2018).

Mukherjee, dkk (2014) menyimpulkan bahwa kedalaman potong memiliki pengaruh paling signifikan terhadap laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) dan diikuti oleh kecepatan pemakanan (*feed rate*), dengan meningkatkan kedalaman potong (*depth of cut*) maka laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) juga ikut meningkat.

Vinayak, dkk (2019) menyatakan bahwa rasio S/N dan main *effect plot* untuk MRR, dapat disimpulkan optimal. Parameter pemesinan untuk memaksimalkan tingkat laju pengerjaan material, dimana kecepatan potong pada sebesar 750 m/ mnt, gerak umpan 0.07 mm/mnt, dan kedalaman pemotongan 0.5 mm adalah *setting* parameter yang disarankan untuk mendapatkan MRR yang tinggi.

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti akan membahas tentang **“OPTIMASI MATERIAL REMOVAL RATE (MRR) BAJA AISI 1045 PADA PROSES TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI”** untuk membuktikan bahwa parameter apa yang paling berpengaruh terhadap *material removal rate* sesuai dengan parameter pemesinan [Kecepatan spindle (rpm), Kedalaman potong (mm), dan Kecepatan makan (mm/put)].

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dikemukakan diatas dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimana *setting* parameter pemesinan sehingga *material removal rate* (MRR) atau laju pembuangan material bisa optimal pada proses bubut material baja AISI 1045.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Menganalisis hubungan *Feed*, Kecepatan Spindel, dan *Depth Of cut* terhadap *Material Removal Rate* (MRR) pada pembubutan material baja AISI 1045.

2. Optimasi MRR terhadap variasi parameter permesinan [Kecepatan spindle (rpm), Kedalaman potong (mm), dan Kecepatan makan (mm/put)] dengan menggunakan metode *Taguchi* pada pembubutan material baja AISI 1045.
3. Untuk mengetahui kontribusi yang dihasilkan oleh setiap parameter permesinan berdasarkan metode *Taguchi*.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan adalah baja AISI 1045 berbentuk silinder dengan permukaan rata.
2. Menggunakan pahat karbida dimana kondisi pahat dianggap selalu sama.
3. Parameter permesinan yang divariasikan adalah Kecepatan spindle (400 rpm, 600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm), Kedalaman potong (0,5 mm, 1 mm, 0,7 mm, 1,5 mm), dan Kecepatan makan (0,05 mm/put, 0,13 mm/put, 0,21 mm/put, 0,27 mm/put).

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh parameter permesinan untuk mendapatkan nilai MRR optimal pada proses bubut material baja AISI 1045 dengan menggunakan metode *Taguchi*.
2. Dapat memberikan informasi sebagai referensi tambahan di bidang Manufaktur.
3. Sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Permesinan**

Proses permesinan adalah istilah yang mencakup banyak koleksi proses manufaktur yang dirancang untuk menghilangkan bahan yang tidak diinginkan, biasanya dalam bentuk *chip*, dari benda kerja. Proses Permesinan digunakan untuk merubah hasil coran, tempa, atau blok logam yang sudah terbentuk sebelumnya menjadi bentuk yang diinginkan, dengan ukuran dan hasil akhir yang ditentukan untuk memenuhi persyaratan desain. Hampir setiap produk yang diproduksi memiliki komponen yang memerlukan pemesinan, seringkali dengan presisi tinggi. Oleh karena itu, kumpulan proses ini adalah salah satu proses yang paling penting dari proses manufaktur dasar karena nilai tambah pada produk akhir. Dengan cara yang sama, proses pemesinan seringkali lebih mahal.

Sebagian besar aplikasi industri permesinan adalah logam. Meskipun proses pemotongan logam telah menolak analisis teoretis karena kerumitannya, penerapan proses ini di dunia industri tersebar luas. Proses pemesinan dilakukan pada berbagai peralatan mesin. Contoh lain dari peralatan mesin dasar adalah mesin giling, bor tekan, penggiling, pembentuk, mesin penggerak, dan gergaji (ASM Internasional.Vol 16, 1995).

Setiap jenis alat mesin dasar memiliki banyak konfigurasi yang berbeda. misalnya, mesin bubut turet mesin bubut, mesin pelacak roda, atau mesin sekrup otomatis. Mesin bubut telah mengikuti tren alat mesin lainnya, dan mesin bubut NC sekarang dapat dibeli secara mudah. Proses pembentukan *chip* utama tercantum di bawah ini, dengan versi alternatif dalam tanda kurung. Setiap proses adalah dilakukan pada satu atau lebih peralatan mesin dasar. Misalnya, pengeboran dapat dilakukan pada mesin bor, penggilingan mesin, mesin bubut, dan beberapa mesin diantaranya:

- *Turning (boring, facing, cutoff, taper turning, form cutting, chamfering, recessing, thread cutting).*
- *Shaping (planing, vertical shaping)*

- *Milling (hobbing, generating, thread milling)*
- *Drilling (reaming, tapping, spot facing, counterboring, countersinking)*
- *Sawing (filing)*
- *Abrasive machining (grinding, honing, lapping)*

Baja atau besi tempa sebagai bahan produk yang akan dibentuk melalui proses pemesinan biasanya memiliki bentuk profil berupa bentuk dan ukuran yang telah distandarkan misalnya, bentuk bulat “O”, segi empat, segi enam “L”, “I” “H” dan lain lain.

Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu: proses pemotongan dengan mesin press, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional. Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (*shearing*), pengepresan (*pressing*) dan penarikan (*drawing elongating*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*), sekrap (*shaping*). Proses pemotongan logam ini biasanya dinamakan proses pemesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi beram (*chips*) sehingga terbentuk benda kerja. Proses pemesinan adalah proses yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Diperkirakan sekitar 60% sampai 80% dari seluruh proses pembuatan suatu mesin yang komplit dilakukan dengan proses pemesinan. Berikut ini adalah klasifikasi proses permesinan yaitu:

#### 1. Berdasarkan Gerak Relatif Pahat

Pahat yang bergerak relatif terhadap benda kerja akan menghasilkan geram dan sementara itu permukaan benda kerja secara bertahap akan terbentuk menjadi komponen yang dikehendaki. Gerak relatif pahat terhadap benda kerja dapat dipisahkan menjadi dua komponen gerakan yaitu:

- Gerak potong (*cutting movement*), Dimana gerak potong adalah gerak yang menghasilkan permukaan baru pada benda kerja.

- Gerak makan (*feeding movement*), Gerak makan adalah gerak yang menyelesaikan permukaan baru yang telah di potong oleh gerak potong.

## 2. Berdasarkan Jumlah Mata Pahat yang digunakan

Pahat yang dipasangkan pada suatu jenis mesin perkakas memiliki mata pahat yang berbeda-beda. Jenis pahat/perkakas potong disesuaikan dengan cara pemotongan dan bentuk akhir dari produk. Adapun pahat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis pahat yaitu pahat bermata potong tunggal (*single point cutting tools*) dan pahat bermata potong jamak (*multiple point cuttings tools*).

## 3. Berdasarkan Orientasi Permukaan

Selain ditinjau dari segi orientasi permukaan maka poses pemesinan dapat diklasifikasikan berdasarkan proses terbentuknya permukaan (proses generasi permukaan; *surface generation*). Dalam hal ini proses tersebut dikelompokkan dalam dua garis besar proses yaitu:

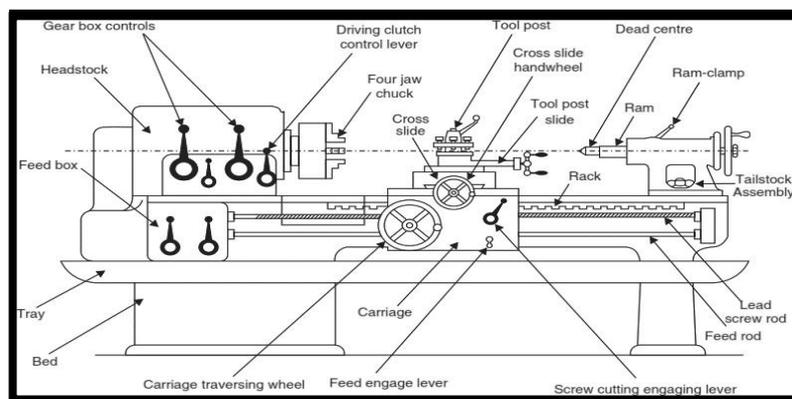
- Generasi permukaan silindrik atau konis dan
- Generasi permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja

## 4. Berdasarkan Mesin yang Digunakan

Dalam proses pemesinan jika kita ingin melakukan suatu pekerjaan, maka perlu kita ketahui terlebih dahulu dengan mesin apa yang semestinya kita gunakan sehingga produk yang kita buat sesuai dengan yang diinginkan. Beberapa jenis proses mungkin dapat dilakukan pada satu mesin perkakas. Misalnya, mesin bubut tidak selalu digunakan sebagai untuk membubut saja melainkan dapat pula digunakan untuk menggurdi, memotong dan melebarkan lubang (*boring*) dengan cara mengganti pahat dengan yang sesuai. Bahkan dapat digunakan untuk mengefreis, menggerinda atau mengasah halus asalkan pada mesin bubut yang bersangkutan dapat dipasangkan peralatan tambahan (*attachments*) yang khusus (Kencanawati, 2017).

## 2.2 Mesin Bubut

Mesin bubut (*turning machine*) adalah suatu jenis mesin perkakas yang dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan pahat potong (*cutting tools*) sebagai alat untuk memotong benda kerja tersebut. Mesin bubut merupakan salah satu mesin proses produksi yang dipakai untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris, namun dapat juga dipakai untuk beberapa kepentingan lain. Pada prosesnya benda kerja terlebih dahulu dipasang pada *chuck* (pencekam) yang terpasang pada spindel mesin, kemudian *spindel* dan benda kerja diputar dengan kecepatan tertentu. Alat potong (pahat) yang dipakai untuk membentuk benda kerja akan ditempelkan pada benda kerja yang berputar sehingga benda kerja terbentuk sesuai dengan ukuran yang dikehendaki. Umumnya pahat bubut dalam keadaan diam, pada perkembangannya ada jenis mesin bubut yang berputar alat potongnya, sedangkan benda kerjanya diam.

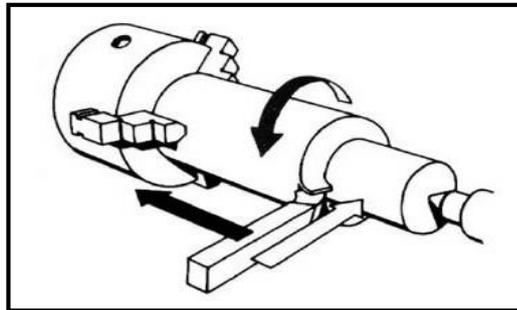


Gambar 2.1 Komponen Mesin Bubut

Sumber: (Gupta, et al., 2009)

Pada kelompok mesin bubut juga terdapat bagian-bagian otomatis dalam pergerakannya bahkan juga ada yang dilengkapi dengan layanan sistem otomatis, baik yang dilayani dengan sistem hidraulik ataupun elektrik. Ukuran mesinnya pun tidak semata-mata kecil karena tidak sedikit mesin bubut konvensional yang dipergunakan untuk mengerjakan pekerjaan besar seperti yang dipergunakan pada industri perkapalan dalam membuat atau merawat poros baling-baling kapal yang diameternya mencapai 1.000 mm atau lebih (Azhar, 2014).

Pergerakan memanjang dari pahat sepanjang luncuran (*sliding*) menghasilkan suatu permukaan yang bundar, dan pergerakan melintang untuk “*surfacing*” (atau *facing*) menghasilkan suatu permukaan yang rata. Gerak putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan (*feeding*). Bila gerak umpan lebih lambat dibandingkan dengan gerak potongnya akan dihasilkan benda kerja berbentuk silindrik dengan alur spiral yang hampir tidak kelihatan, dapat dikatakan, permukaan benda kerja tersebut halus. Bila gerak umpannya secara translasi dipercepat dan gerak potongnya diperlambat maka bentuk alur spiral yang mengelilingi benda kerja silindrik tersebut semakin jelas atau permukaan benda kerja kasar (Upara, 2009).



Gambar 2.2. Gerakan Pada Proses Pembubutan

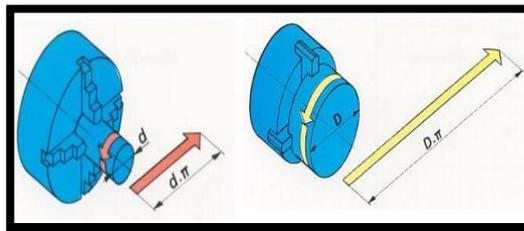
Sumber: Handout Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Mesin bubut merupakan salah satu metal cutting machine dengan gerak utama berputar, tempat benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram. Prinsip kerja mesin bubut adalah:

1. Benda kerja berputar pada sumbunya
2. Gerakan alat potong:
  - a. Alat potong bergerak sejajar sumbu utama disebut pembubutan memanjang.
  - b. Alat potong bergerak tegak lurus terhadap sumbu utama disebut pembubutan permukaan.
  - c. Alat potong bergerak bersudut terhadap sumbu utama disebut pembubutan konis atau pembubutan tirus (Nurdjito dan Arifin, 2015).

### 2.3 Variabel Permesinan

Ada 3 (tiga) parameter utama pada setiap proses bubut yaitu kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki pengaruh yang cukup besar, tetapi tiga parameter di atas adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada mesin bubut.

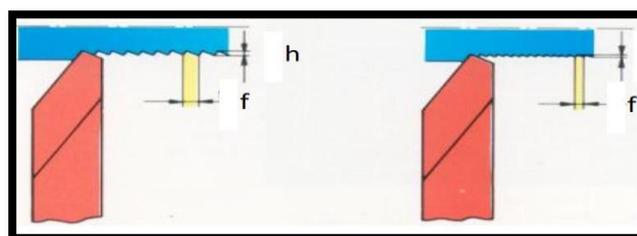


Gambar 2.3. Panjang permukaan benda kerja

Sumber: *Handout* Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Kecepatan putar,  $n$  (*speed*), selalu dihubungkan dengan spindel (sumbu utama) dan benda kerja. Karena kecepatan putar diekspresikan sebagai putaran per menit (*revolutions per minute*, rpm). Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (*Cutting speed* atau  $V$ ) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling benda kerja (gambar 2.3).

Selain kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja faktor bahan benda kerja dan bahan pahat sangat menentukan harga kecepatan potong. Pada dasarnya pada waktu proses bubut kecepatan potong ditentukan berdasarkan bahan benda kerja dan pahat. Harga kecepatan potong sudah tertentu tergantung jenis bahan/benda kerja, jenis alat potong, dan kekasaran pemakanan pahat bubut. Misalnya untuk benda kerja *Mild Steel* dengan pahat dari HSS, kecepatan potongnya antara 20 sampai 30 m/menit.



Gambar 2.4. Gerak makan ( $f$ ) dan kedalaman pemotongan ( $h$ )

Sumber : *Handout* Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Gerak makan,  $f$  (*feed*), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali (gambar 2.4), sehingga satuan  $f$  adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong  $h$ . Gerak makan tersebut berharga sekitar  $1/3$  sampai  $1/20$   $h$ , atau sesuai dengan kehalusan permukaan yang dikehendaki.

Kedalaman potong,  $h$  (*depth of cut*), adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong (gambar 2.4). Ketika pahat memotong sedalam  $h$ , maka diameter benda kerja akan berkurang  $2h$ , karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar (Nurdjito dan Arifin, 2015).

Bagi suatu tingkat proses, ukuran produk terlebih dahulu ditentukan dan kemudian pahat harus membuang sebagian material benda kerja sampai ukuran benda kerja tercapai. Hal ini tidak terlepas dari elemen dasar proses pemesinan. Elemen dasar dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut ini:

Kecepatan potong

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} ; m/min \quad (2.1)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} d &= \text{diameter rata-rata} \\ &= (d_o + d_m)/2, \text{ mm} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Kecepatan makan

$$V_f = f \cdot n, \text{ mm/min} \quad (2.3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} f &= \text{gerak makan, mm/put} \\ n &= \text{putaran spindel, rpm} \end{aligned}$$

Tabel 2.1. Variabel pemesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan

Workpiece material	Cutting tool	Range for roughing and finishing		
		Depth of cut, mm	Feed, mm/rev	Cutting Speed, m/min
Low carbon and free machining Steel	Uncoated carbide	0,5-7,6	0,15-1,1	60-135
	Ceramic-coated carbide	“	“	180-495
	Triple coated carbide	“	“	90-245
	Tin coated carbide	“	“	60-230
	Al2O3 ceramic	“	“	365-550
Medium and High carbon Steel	Uncoated carbide	2,5-7,6	0,15-0,75	135-225
	Ceramic-coated carbide	“	“	120-210
	Triple coated carbide	“	“	75-215
	Tin coated carbide	“	“	45-215
	Al2O3 ceramic	“	“	245-455

Sumber: (Kalpakjian & Schmid, 2014)

Secara sederhana variabel pemesinan merupakan segala variabel yang mempengaruhi proses maupun hasil pemesinan. Variabel pemesinan ini terdiri atas variabel yang bergantung pada mesin dan variabel yang bergantung pada benda kerja. Adapun variabel pemesinan yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Benda kerja:

$d_o$  = diameter mula (mm)

$d_f$  = diameter akhir (mm)

$l_t$  = panjang pemotongan (mm)

$d$  = kedalaman pemotongan (mm)

2. Mesin:

$f$  = gerak makan (mm/putaran)

$n$  = putaran poros utama (rpm)

## 2.4 Pahat Karbida

Karbida memiliki kelas dari bahan keras, tahan aus, tahan api di mana karbida keras partikel diikat menjadi satu, atau disemen, oleh pengikat logam yang lunak dan ulet. Bahan-bahan ini pertama kali dikembangkan di Jerman pada awal 1920-an menanggapi permintaan untuk bahan cetakan yang memiliki

ketahanan aus yang cukup untuk menggambar kabel filamen pijar tungsten untuk menggantikan berlian yang mahal kemudian digunakan. Karbida yang disemen pertama diproduksi adalah tungsten karbida (WC) dengan pengikat kobalt.

Penggunaan tungsten sebagai elemen paduan memberi baja penahan yang baik kekerasan pada suhu tinggi dari 900°C hingga 1000°C. Karbida dibuat dengan cara mencampur bubuk logam tungsten dengan karbon dan memanaskan campuran ke sekitar 1600°C di atmosfer hidrogen sampai kedua zat itu hilang zat kimianya. Saat ini, tiga kelompok karbida berikut secara luas diterapkan untuk elemen alat potong:

- a. WC + Co + (WC-TiC-TaC-NiC) untuk digunakan dalam permesinan baja.
- b. WC + Co untuk digunakan dalam permesinan besi cor dan logam *non ferro*.
- c. TiC + Ni + Mo untuk digunakan dalam pemesinan logam kekuatan tinggi suhu tinggi.

Karbida semen memiliki kekerasan yang sangat tinggi (hanya setelah berlian) dan keausan tinggi resistensi terhadap abrasi. Mereka tidak kehilangan sifat pemotongannya, kekerasan melebihi suhu hingga 900°C- 1000°C. Karenanya alat berujung karbida mampu mengolah logam yang paling keras secara efisien, termasuk baja yang dikeraskan pada kecepatan potong tinggi. Alat tersebut dapat beroperasi pada kecepatan potong dari 16 hingga 25 Kali lipat yang diizinkan untuk alat yang terbuat dari baja perkakas karbon. Satu kelemahan dari semen karbida adalah kerapuhannya. Kekakuan sangat tinggi (modulus Young sekitar tiga kali dari baja) dari karbida yang disemen mensyaratkan bahwa mereka didukung dengan ketebalan yang cukup, bahkan untuk sejumlah kecil deformasi ikatan dalam pada bahan kekakuan ini dapat menyebabkan tegangan tarik yang sangat tinggi. Karbida disemen lemah pada tegangan daripada kompresi. Mereka memiliki kecenderungan kuat untuk terbentuk las tekanan pada kecepatan potong rendah. Dalam pandangan ini mereka harus dioperasikan dengan kecepatan jauh lebih banyak dari yang digunakan dengan alat baja kecepatan tinggi. Ini disebabkan untuk peralatan mesin dari peningkatan daya. Karbida yang memperoleh persentase kobalt tinggi adalah lebih keras dan lebih kuat dari yang mengandung kobalt rendah. Karenanya mereka digunakan untuk pemotongan

kasar, pemotongan terputus dan untuk penggilingan. Varietas kobalt rendah digunakan untuk jadi operasi seperti berputar dengan penampang chip yang halus dan pemotongan kontinu. Disarankan untuk menjaga braze metal setipis mungkin (Singh, 2006).

## 2.5 Baja AISI 1045

Baja karbon AISI 1045 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah (0,43–0,50% C berat) yang banyak digunakan dipasaran karena memiliki banyak keunggulan. Baja ini memiliki karakteristik: sifat mampu mesin yang baik, *wear resistance*-nya baik, dan sifat mekaniknya menengah. Dengan bantuan diagram fasa yang merupakan landasan untuk perlakuan panas bagi logam, dan diagram fasa besi-karbon diberlakukan untuk baja. Memahami diagram fasa menjadi sebuah tuntutan karena terdapatnya hubungan antara struktur mikro dengan sifat-sifat mekanis suatu material, yang semuanya berhubungan dengan karakteristik diagram fasanya. Diagram fasa juga memberikan informasi penting tentang titik leleh, titik kristalisasi, dan fenomena lainnya.

### 2.5.1 Struktur Baja AISI 1045

AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 - 0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Baja AISI 1045

Kode	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	S%
AISI	0,4	0,1	0,06	0,025	0,004	0,005
1045	0,43	0,3	0,9		Max	Max

Sumber: (Erick Wiratama, 2021)

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineers*). Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukkan *plain carbon* kemudian kode xxx setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon. Jadi baja AISI 1045 berarti baja

karbon atau *plain carbon steel* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan. Pada umumnya ketahanan berbanding lurus dengan kekerasan.

### 2.5.2 Klasifikasi Baja AISI 1045

Baja dengan kadar karbon medium mempunyai sifat mampu tempa, *cold drawing, machining, heat treating* (termasuk *flame hardening*) serta mempunyai sifat ketahanan terhadap aus yang baik dengan melalui perlakuan *flame* atau *induction hardening*. Baja ini merupakan salah satu bahan untuk pembuatan kapak, baut, poros, *machinery parts, lightly stressed gears, pinions forming dies, hydraulic shafting, pump shafts, piston rods* dan lain-lain. Berikut merupakan komposisi kimia dari baja AISI 1045:

Tabel 2.3 Komposisi (% berat) Baja AISI 1045

Kandungan Unsur %	Berat
C	0.42 – 0.50
Mn	0.50 – 0.80
Mn Si Maks.	0.40
S Maks.	0.040
Cr + Mo + Ni Maks.	0.63

Sumber: (Erick Wiratama, 2021)

Material baja AISI 1045 memiliki sifat mekanik sebagai berikut:

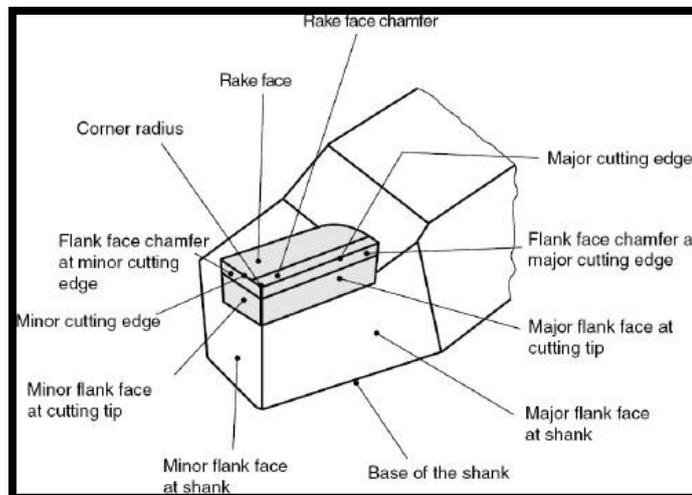
Tabel 2.4 Sifat-Sifat Mekanik Baja AISI 1045

Kekuatan Tarik, $\sigma_u$	580 kg/mm <sup>2</sup>
Kekuatan Luluh, $\sigma_y$	305 kg/mm <sup>2</sup>
Perpanjangan ( <i>elongation</i> )	16 %

Sumber: (Erick Wiratama, 2021)

## 2.6 Geometri Alat Potong

Dalam bidang pemesinan, geometri alat potong biasanya didefinisikan sesuai dengan standar DIN 6580 dan 6581. Gambar pahat bubut yang sesuai dengan standar DIN 6581 dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Geometri pahat bubut sesuai dengan DIN 6581

Sumber: (Husein, 2015)

### 1. Permukaan *Flank* (*flank faces*).

Permukaan *Flank* adalah area pada sisi potong yang sejajar dengan permukaan potong (*cut surfaces*). Jika permukaan *flank* ini diberi *chamfer*, selanjutnya disebut bagian ini disebut *flank face chamfer*.

### 2. Permukaan *Rake* (*rake faces*).

Permukaan *Rake* adalah permukaan di mana tatal (*chip*) bergerak dan menggesek bidang tersebut. Jika permukaan atau bidang *rake* juga diberi *chamfer* kemudian disebut *rake face chamfer*.

### 3. Sisi potong.

- Sisi potong utama (*major cutting edges*). Didefinisikan sebagai sisi pemotong, ketika dilihat dari area bidang kerja pada arah gerak makan yang sesuai.
- Sisi potong minor. Didefinisikan sebagai sisi pemotong tetapi jika dipandang dari area bidang kerja bukanlah berbentuk titik.

### 4. Pojok alat potong (*corners*).

- Pojok sisi potong. Didefinisikan sebagai titik bertemunya sisi potong mayor dan sisi potong minor.
- Radius pahat (*corner radius*) adalah bentuk radius pada ujung alat potong (pojok). Radius pahat diukur dalam bidang referensi pahat (*tool reference plane*) (Sutopo, 2007).

## 2.7 Metode Taguchi

Dr. Genichi Taguchi (1940), memperkenalkan metode *Taguchi* yang merupakan metodologi baru dalam bidang teknik dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses, serta bertujuan menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Soejanto (2009), menyatakan bahwa metode *Taguchi* menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*). Metode *Taguchi* menjadikan produk dan proses memiliki sifat *robust* terhadap faktor-faktor gangguan tersebut, sehingga disebut sebagai *robust design*.

Metode *Taguchi* memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan metode desain eksperimen lainnya. Kelebihan-kelebihan tersebut antara lain (Soejanto, 2009):

1. Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level faktor.
2. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan *robust* terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

Oleh karena metode *Taguchi* memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks, maka metode ini juga memiliki rancangan yang mengorbankan pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Untuk mengatasi hal tersebut, pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Desain eksperimen dengan menggunakan metode *Taguchi* dibagi menjadi tiga tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen, yaitu sebagai berikut:

### **2.7.1 Tahap Perencanaan**

Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut.

- a. Perumusan Masalah harus dirumuskan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.
- b. Penentuan Tujuan Eksperimen yang ditentukan harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan.
- c. Penentuan Respon memiliki nilai yang tergantung pada faktor-faktor lain yang disebut variabel bebas.
- d. Pengidentifikasian Faktor/Variabel Bebas. Faktor adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada langkah ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam suatu eksperimen, tidak semua faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian, eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.
- e. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan Faktor-faktor yang diamati dapat dibagi menjadi faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam desain eksperimen *Taguchi*, keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak dapat dikendalikan.
- f. Penentuan Jumlah dan Nilai Level Faktor Pemilihan jumlah level akan mempengaruhi ketelitian hasil dan biaya pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen yang diperoleh akan semakin akurat, tetapi biaya yang harus dikeluarkan akan semakin banyak.
- g. Penentuan Matriks Ortogonal Matriks ortogonal merupakan matriks eksperimen yang memuat 28 beberapa faktor-faktor dan level-level dari

faktor tersebut. Matriks ini adalah matriks yang seimbang antara faktor dan level, sehingga pengaruh suatu faktor atau level tidak tercampur dengan pengaruh faktor atau level yang lain (Soejanto, 2009).

Dalam matriks ortogonal, elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom pada matriks tersebut berisi faktor-faktor atau kondisi-kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris berisikan keadaan (level) dari faktor yang terdapat pada kolom. Matriks disebut ortogonal karena level-level dari faktor-faktor berimbang jumlahnya.

Penggunaan matriks ortogonal bertujuan untuk mengefisienkan dan meminimalkan biaya eksperimen serta memperhatikan faktor gangguan (sehingga disebut *Robust Design*). Hal ini sangat bermanfaat dalam penelitian khususnya penelitian industri, karena dalam penelitian tersebut banyak faktor yang saling berpengaruh dan berinteraksi, serta adanya faktor gangguan yang sangat mahal untuk dikendalikan.

Penentuan matriks ortogonal digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Matriks ortogonal yang tepat dapat ditentukan apabila jumlah derajat kebebasan eksperimen telah dihitung. Derajat kebebasan dapat didefinisikan sebagai jumlah perbandingan antara faktor atau parameter yang dibuat untuk menentukan level mana yang lebih baik dan seberapa jauh parameter tersebut lebih baik (Lin, 2002).

Jadi langkah awal dalam penentuan matriks ortogonal adalah penentuan jumlah faktor dan levelnya agar jumlah derajat kebebasan dapat ditentukan. Derajat kebebasan dari matriks ortogonal ( $\nu_{mo}$ ) dapat ditentukan dengan menjumlahkan derajat kebebasan dari faktor dan level ( $\nu_{fl}$ ).

Derajat kebebasan dari faktor dan level ( $\nu_{fl}$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\nu_{fl} = \text{Jumlah level factor} - 1 \quad (2.4)$$

Jumlah eksperimen minimal yang digunakan untuk penentuan matriks ortogonal didapatkan dari persamaan berikut:

$$\text{Jumlah eksperimen (n)} = \nu_{mo} + 1 \quad (2.5)$$

Jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada Tabel 2.5. Matriks ortogonal L4 (23) berarti jumlah eksperimen yang dilakukan adalah empat, jumlah derajat kebebasan dari matriks ortogonal ( $\nu_{mo}$ ) maksimal adalah tiga, serta matriks tersebut dapat digunakan untuk jumlah faktor maksimal 3 dengan masing-masing memiliki 2 level.

Tabel 2.5 Matriks Ortogonal

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Level Gabungan
L <sub>4</sub> (2 <sup>3</sup> )	L <sub>9</sub> (3 <sup>4</sup> )	L <sub>16</sub> (4 <sup>3</sup> )	L <sub>25</sub> (5 <sup>6</sup> )	L <sub>18</sub> (2 <sup>1</sup> X 3 <sup>7</sup> )
L <sub>8</sub> (2 <sup>7</sup> )	L <sub>27</sub> (3 <sup>13</sup> )	L <sub>64</sub> (4 <sup>21</sup> )		L <sub>32</sub> (2 <sup>1</sup> X 4 <sup>9</sup> )
L <sub>12</sub> (2 <sup>11</sup> )	L <sub>81</sub> (3 <sup>40</sup> )			L <sub>36</sub> (2 <sup>11</sup> X 3 <sup>12</sup> )
L <sub>16</sub> (2 <sup>13</sup> )				L <sub>36</sub> (2 <sup>3</sup> X 3 <sup>13</sup> )
L <sub>32</sub> (2 <sup>31</sup> )				L <sub>54</sub> (2 <sup>1</sup> X 3 <sup>25</sup> )
L <sub>54</sub> (2 <sup>63</sup> )				L <sub>50</sub> (2 <sup>1</sup> X 5 <sup>11</sup> )

Sumber: (Soejanto, 2009)

### 2.7.2 Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan terdiri dari 2 hal, yaitu penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen.

- Jumlah Replikasi Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah percobaan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi, mengurangi tingkat kesalahan serta memperoleh harga taksiran dari kesalahan.
- Randomisasi Pengaruh faktor-faktor lain yang tidak diinginkan atau tidak dapat dikendalikan selalu ada dalam sebuah eksperimen. Pengaruh itu dapat diperkecil dengan menyebarkan faktor-faktor tersebut melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Randomisasi dilakukan bertujuan untuk menyebarkan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen serta memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama. Selain itu, randomisasi juga bertujuan mendapatkan hasil eksperimen yang bebas satu sama lain. Jika replikasi bertujuan untuk memungkinkan dilakukannya uji signifikansi, maka

randomisasi bertujuan untuk memberikan validasi terhadap uji signifikansi tersebut dengan menghilangkan sifat bias.

### 2.7.3 Tahap Analisis

Pada tahap ini, pengolahan data dilakukan. Selain itu, juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik pada data hasil eksperimen. Analisis Variasi (ANAVA) digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik. Analisis ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variasi atas bagian-bagian yang diteliti. ANAVA pada matriks ortogonal dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing masing kolom. Analisis variansi digunakan untuk menganalisis data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel ANAVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (db), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS) dan kuadrat tengah (*mean of square*, MS) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.6 Tabel Analisis Variansi (ANAVA)

Sumber Variansi	db	SS	MS
Faktor A	$v_A$	SSA	MSA
Faktor B	$v_B$	SSB	MSB
Faktor C	$v_C$	SSC	MSC
Faktor D	$v_D$	SSD	MSD
Faktor E	$v_E$	SSE	MSE
Faktor F	$v_F$	SSF	MSF
Error	$v_{error}$	SSerror	MSerror
Total	$v_T$	SST	

Sumber : (Soejanto, 2009)

Dimana:

$$\begin{aligned}
 v_T &= \text{derajat bebas total} \\
 &= N - 1 \qquad (2.6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_A &= \text{derajat bebas faktor A} \\
 &= k_A - 1 \qquad (2.7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_B &= \text{derajat bebas faktor B} \\
 &= k_B - 1 \qquad (2.8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \nu_C &= \text{derajat bebas faktor C} \\ &= k_C - 1 \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \nu_{\text{error}} &= \text{derajat bebas error} \\ &= \nu_T - \nu_A - \nu_B - \nu_C - \nu_D - \nu_E - \nu_F \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} T &= \text{jumlah keseluruhan} \\ &= \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} CF &= \text{faktor koreksi} \\ &= \frac{T^2}{N} \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} SS_T &= \text{jumlah kuadrat total} \\ &= \sum_{i=1}^n y_i^2 - CF \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$= \sum_{i=1}^n (y_i - T)^2 \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} SS_A &= \text{jumlah kuadrat faktor A} \\ &= \left[ \sum_{i=0}^{k_A} \binom{A_i^2}{n_{A_1}} \right] - CF \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} SS_B &= \text{jumlah kuadrat faktor B} \\ &= \left[ \sum_{i=0}^{k_B} \binom{B_i^2}{n_{B_1}} \right] - CF \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} SS_C &= \text{jumlah kuadrat faktor C} \\ &= \left[ \sum_{i=0}^{k_C} \binom{C_i^2}{n_{C_1}} \right] - CF \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} SS_E &= \text{jumlah kuadrat error} \\ &= SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D - SS_E - SS_F \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} MS_A &= \text{kuadrat tengah faktor A} \\ &= SS_A - \nu_A \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} MS_B &= \text{kuadrat tengah faktor B} \\ &= SS_B - \nu_B \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} MS_C &= \text{kuadrat tengah faktor C} \\ &= SS_C - \nu_C \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} MS_E &= \text{kuadrat tengah faktor error} \\ &= SS_E - \nu_E \end{aligned} \quad (2.22)$$

#### 2.7.4 Rasio S/N

Rasio S/N (*Signal to Noise Ratio*) digunakan untuk memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Penggunaan Rasio S/N dilakukan untuk meminimalkan karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan. Perhitungan rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas, yaitu: (Soejanto, 2009)

1. Semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non-negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (2.23)$$

2. Tertuju pada nilai tertentu adalah karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \quad (2.24)$$

3. Semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non-negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right] \quad (2.25)$$

#### 2.8 *Material Removal Rate* (MRR)

Tantangan manufaktur modern adalah mencari cara atau strategi membuat produk berkualitas tinggi dengan biaya rendah serta dalam waktu yang pendek. Operasi mesin bubut sebagai bagian dari teknik manufaktur juga memerlukan strategi yang tepat (efektif) dan efisien untuk menjawab tantangan tersebut. Tujuan dari setiap tahap produksi perlu diperjelas dan segera dibuat rencana kerja yang sesuai. Sebagai contoh pada tahap operasi roughing, dibutuhkan strategi

meningkatkan produktifitas. Caranya adalah dengan meningkatkan *Material Removal Rate* (MRR). Diharapkan peningkatan produktifitas tersebut dapat membantu usaha menekan biaya produksi (Handoko dan Mudjijama, 2012).

MRR adalah proses pembentukan lubang-lubang kecil pada permukaan benda kerja. Faktor yang mempengaruhi MRR adalah parameter proses yang akan digunakan dalam proses penelitian. MRR dapat didefinisikan sebagai volume material yang terbuang per satuan waktu ( $\text{mm}^3/\text{min}$ ), rumusnya adalah sebagai berikut: (Arfendi., et al, 2021)

$$\text{MRR}_{\text{exp}} = \frac{\Delta W}{t} \quad (2.26)$$

$$\Delta W = W_0 - W_1$$

$$\text{MRR}_{\text{th}} = Vc \cdot f \cdot a \quad (2.27)$$

Dimana:

$W_0$  = Berat Spesimen Sebelum Pembubutan.

$W_1$  = Berat Speseimen Sesudah Pembubutan.

$t$  = Waktu Pengerjaan.

## 2.9 Minitab

Minitab adalah program komputer yang dirancang untuk melakukan pengolahan statistik. Minitab mengkombinasikan kemudahan penggunaan layaknya Microsoft Excel dengan kemampuannya melakukan analisis statistik yang kompleks. Minitab dikembangkan di Pennsylvania State University oleh periset Barbara F. Ryan, Thomas A. Ryan, Jr., dan Brian L. Joiner pada tahun 1972. Minitab memulai versi ringannya OMNITAB, sebuah program analisis statistik oleh NIST.

Minitab didistribusikan oleh Minitab Inc, sebuah perusahaan swasta yang bermarkas di State College, Pennsylvania, dengan kantor cabang di Coventry, Inggris (Minitab Ltd.) Paris, Prancis (Minitab SARL) dan Sydney, Australia (Minitab Pty.). Kini, Minitab sering kali digunakan dalam implementasi Six Sigma, CMMI serta metode perbaikan proses yang berbasis statistika lainnya.

Minitab 19, versi terbaru perangkat lunak ini, tersedia dalam tujuh bahasa: Inggris, Prancis, Jerman, Jepang, Korea, Mandarin, dan Spanyol. Minitab Inc. juga membuat perangkat lunak sebagai pelengkap Minitab 19. Quality Trainer; sebuah paket *e-Learning* yang mengajarkan metode statistik dan konsep dalam konteks perbaikan kualitas yang terintegrasi dengan Minitab 19 dan Quality Companion 3, sebuah perangkat lunak untuk mengelola proyek *Six Sigma* dan *Lean Manufacturing* yang memungkinkan data Minitab di kombinasikan dengan dan manajemen proyek. Penggunaan Minitab diantaranya:

1. Mengelola data dan file *spreadsheet* untuk analisis data yang lebih baik.
2. Analisis regresi dan perancangan percobaan.
3. *Power* dan ukuran sampel.
4. Tabel dan grafik dan analisis variansi untuk menentukan perbedaan antar data.
5. Analisis *multivariate* termasuk analisis faktor, analisis kluster, analisis korespondensi dan lainnya
6. Test *nonparametrics* berbagai tes termasuk test signal, *run test*, *friedman test*, dan lainnya.
7. *Time Series* dan *Forecasting* membantu menunjukkan kecenderungan pada data yang dapat digunakan untuk membuat dugaan. *Time series plots*, *exponential smoothing*, *trend analysis*.
8. *Statistical Process Control* dan analisis sistem pengukuran.