

**SKRIPSI**

**ANALISIS VOLUME BAHAN TERBUANG TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN BAJA ST 37 PADA PROSES TURNING DENGAN  
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**



**OLEH:**

**YUDI REYALDI**

**D021 18 1338**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**SKRIPSI**

**ANALISIS VOLUME BAHAN TERBUANG TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN BAJA ST 37 PADA PROSES TURNING DENGAN  
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

**DISUSUN OLEH**

**YUDIREYALDI**

**D021 18 1338**

**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

### ANALISIS VOLUME BAHAN TERBUANG TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 37 PADA PROSES TURNING DENGAN MENGUNAKAN METODE TAGUCHI

Disusun dan diajukan oleh

**YUDI REYALDI**

**D021 18 1338**

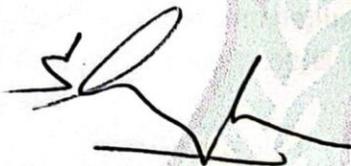
Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin pada Tanggal 18 Desember 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



**Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT**

**Fauzan, ST, MT., Ph.D**

**Nip. 195709141987031001**

**Nip. 197701032008011009**

Ketua Program Studi,



**Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T.**  
**NIP. 19720825 200003 1 001**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Yudi Reyaldi  
NIM : D021 18 1338  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**Analisis Volume Bahan Terbuang Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 37 Pada  
Proses Turning Dengan Menggunakan Metode Taguchi**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah di beri penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap di klarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari doen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 9 Januari 2024

Yang menyatakan



Yudi Reyaldi

# ANALISIS VOLUME BAHAN TERBUANG TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 37 PADA PROSES TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

**Nama** : YUDI REYALDI  
**Nim** : D021 18 1338  
**Pembimbing I** : Prof. Dr. Ir. H. ILYAS RENRENG, MT  
**Pembimbing II** : FAUZAN, ST, MT..., Ph.D

## ABSTRAK

Dunia industri manufaktur, keberhasilan suatu proses produksi sangat dipengaruhi oleh mesin-mesin produksi yang digunakan. Hal ini dikarenakan di tiap 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. 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. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui hubungan antara Volume Bahan Terbuang (MRR) terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) pada proses *turning* dengan Metode Taguchi material baja ST 37. Dari hasil analisis didapatkan hubungan antara parameter permesinan dengan *Material Removal Rate* (MRR) adalah semakin besar nilai parameter permesinan (*feed*, kecepatan spindle, dan *depth of cut*) maka nilai *Material Removal Rate* (MRR) hasil pembubutan material baja ST 37 semakin besar.

**Kata Kunci:** *Material Removal Rate* (MRR), baja ST 37, Mesin bubu

***ANALYSIS OF THE VOLUME OF WASTED MATERIAL ON THE SURFACE  
ROUGHNESS OF ST 37 STEEL IN THE TURNING PROCESS USING THE  
TAGUCHI METHOD***

**Name : YUDI REYALDI**

**Nim : D021 18 1338**

**Guidance Lecturer I : Prof. Dr. Ir. H. ILYAS RENRENG, MT**

**Guidance Lecturer II : FAUZAN, ST, MT..,Ph.D**

**ABSTRACT**

*In the world of the manufacturing industry, the success of a production process is greatly influenced by the production machines used. This is because in every construction machine shop and metal working workshops, these machines are widely used in making or repairing certain components in a manufactured product. One of the machine tools used is a lathe. A lathe is a tool used to cut rotating objects. For example, at the roughing operation stage, a strategy to increase productivity is needed. The way to do this is by increasing the Material Removal Rate (MRR). It is hoped that this increase in productivity can help businesses reduce production costs. The aim of this research is to determine the relationship between the Volume of Waste Material (MRR) and Surface Roughness (Ra) in the turning process using the Taguchi Method for ST 37 steel material. From the results of the analysis, it is found that the relationship between machining parameters and the Material Removal Rate (MRR) is the greater the parameter value machining (feed, spindle speed, and depth of cut) then the Material Removal Rate (MRR) value resulting from turning ST 37 material is greater.*

**Keywords: Material Removal Rate (MRR), ST 37, lathe machine**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang mengambil judul: “Analisis Volume Bahan Terbuang Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 37 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.

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 Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, 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 Fauzan, ST, MT.,Ph.D selaku pembimbing kedua skripsi saya atas bimbingan maupun arahan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Kak Minhajjul selaku Plp Laboratorium Teknologi Mekanik Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin..
8. 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.
9. Kepada saudara(i) seperjuangan REACTOR'18 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada saudara Gabriel Yuranta, Angga Asteriasti Aji, Gilbert A. L Hamdani, dan Ikhsan Elyeser Pakiding Sura' serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.

10. Kepada saudara(i) seperjuangan KKN Unhas Gel.109 Toraja Utara yang selalu ada dalam suka maupun duka. serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
11. Kepada saudara(i) seperjuangan KMKO Teknik 2018 yang selalu memberikan dukungan dan semangat. Khususnya kepada KMKO Mesin 2018 serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
12. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Pundi Sakka dan Alberthin Ling dan saudara saya Jet Ariel 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, 08 Desember 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

SAMPUL .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	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 .....	6
2.3 Variabel Permesinan.....	8
2.4 Pahat Karbida .....	11
2.5 Baja ST 37 .....	12
2.5.1 Struktur Baja ST 37.....	12
2.5.2 Klasifikasi Baja ST 37.....	13
2.6 Geometri Alat Potong .....	13
2.7 Metode Taguchi .....	14
2.7.1 Tahap Perencanaan .....	15
2.7.2 Tahap Pelaksanaan.....	17
2.7.3 Tahap Analisis.....	18
2.7.4 Rasio S/N .....	20
2.8 <i>Material Removal Rate</i> (MRR).....	20
2.9 Minitab.....	21

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.3 Metode Penelitian.....	27
3.4 Variabel Penelitian .....	27
3.4.1 Variabel Bebas .....	27
3.4.2 Variabel Terikat.....	27
3.5 Pelaksanaan Penelitian.....	27
3.5.1 Pengambilan Data.....	28
3.6 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Pengambilan Data MRR dan Kekasaran Permukaan (Ra) Dari Masing-masing Spesimen .....	31
4.2 Menganalisis Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kedalaman Potong. 33	
4.2.1 Menganalisis Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 750 rpm .....	37
4.2.2 Menganalisis Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 950 rpm .....	39
4.2.3 Menganalisis Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 1200 rpm .....	40
4.3 Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Gerak Makan .....	42
4.3.1 Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 0,7 mm .....	42

4.3.2	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 1,2 mm.....	44
4.3.3	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 1,5 mm.....	46
4.3.4	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 1,8 mm.....	47
4.4	Menganalisis Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel.....	49
4.4.1	Menganalisis Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,04 mm/put.....	49
4.4.2	Menganalisis Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,11 mm/put.....	51
4.4.3	Menganalisis Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,24 mm/put.....	53
4.4.4	Menganalisis Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,28 mm/put.....	55
4.5	Menganalisis Variabel Permesinan Paling Berpengaruh Terhadap Nilai Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) Hasil Pembubutan Dengan Metode <i>Taguchi</i> .....	57
4.6	<i>Analisis Of Varians</i> (ANOVA) .....	60
BAB 5 PENUTUP .....		62
5.1	Kesimpulan.....	62
5.2	Saran .....	63
DAFTAR PUSTAKA .....		64

LAMPIRAN .....	66
----------------	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Mesin Bubut .....	6
Gambar 2.2. Gerakan Pada Proses Pembubutan .....	7
Gambar 2.3. Panjang permukaan benda kerja .....	8
Gambar 2.4. Gerak makan (f) kedalaman pemotongan (h) .....	9
Gambar 2.5 Geometri pahat bubut sesuai dengan DIN 6581 .....	13
Gambar 3.1 Mesin Bubut.....	23
Gambar 3.2 Kunci <i>Chuck</i> .....	23
Gambar 3.3 Kunci T .....	24
Gambar 3.4 Jangka sorong.....	24
Gambar 3.5 Kuas .....	24
Gambar 3.6 Gurinda .....	25
Gambar 3.7. <i>Holder</i> MTJNR 2020.....	25
Gambar 3.8. Pahat Sisipan Karbida TNMG160404-MA UE6020.....	25
Gambar 3.9 Baja ST 37.....	26
Gambar 3.10 Timbangan Digital .....	26
Gambar 3.11 <i>Stopwatch</i> .....	26
Gambar 3.12 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	30
Gambar 4.1 Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 450 rpm .....	34
Gambar 4.2 Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 450 rpm .....	35
Gambar 4.3 Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 750 rpm .....	38
Gambar 4.4 Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Pindel 750 rpm .....	38
Gambar 4.5 Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 950 rpm .....	39
Gambar 4.6 Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 950 rpm .....	40

Gambar 4.7 Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 1200 rpm .....	40
Gambar 4.8 Hubungan Antara Gerak Makan Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kedalaman Potong Pada Putaran Spindel 1200 rpm .....	42
Gambar 4.9 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 0,7 mm.....	42
Gambar 4.10 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 0,7 mm .....	43
Gambar 4.11 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 1,2 mm.....	44
Gambar 4.12 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 1,2 mm .....	45
Gambar 4.13 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 1,5 mm.....	46
Gambar 4.14 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 1,5 mm .....	47
Gambar 4.15 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 1,8 mm.....	47
Gambar 4.16 Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Gerak Makan Pada Kedalaman Potong 1,8 mm .....	49
Gambar 4.17 Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,04 mm/put.....	49
Gambar 4.18 Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,04 mm/put .....	51
Gambar 4.19 Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,11 mm/put.....	51
Gambar 4.20 Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,11 mm/put .....	53
Gambar 4.21 Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,24 mm/put.....	53
Gambar 4.22 Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,24 mm/put .....	55

Gambar 4.23 Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Volume Bahan Terbuang (MRR) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,28 mm/put.....	55
Gambar 4.24 Hubungan Antara Kedalaman Potong Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel Pada Gerak Makan 0,28 mm/put .....	56
Gambar 4.25 Grafik Plot Rata-rata Untuk S/N Ratios Nilai Volume Bahan Terbuang (MRR) ( <i>Larger is better</i> ) Menggunakan Aplikasi Minitab 19 .....	58
Gambar 4.26 Grafik Plot Rata-rata Untuk S/N Ratios Nilai Kekasaran Permukaan (Ra) ( <i>Smaller is better</i> ) Menggunakan Aplikasi Minitab 19 .....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Variabel permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan.....	10
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja ST 37 .....	12
Tabel 2.3 Komposisi (%) Baja ST 37.....	13
Tabel 2.4 Sifat Mekanik Baja ST 37 .....	13
Tabel 2.5 Matriks Ortogonal.....	17
Tabel 2.6 Tabel Analisis Variansi (ANOVA) .....	18
Tabel 4.1 Data Hasil Perhitungan Nilai MRR dan Kekasaran Permukaan.....	31
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Rasio S/N ( <i>Signal To Noise Rasio</i> ) Volume Bahan Terbuang (MRR) .....	58
Tabel 4.5 <i>Response Table for Signal to Noise Ratios</i> Volume Bahan Terbuang (MRR) Menggunakan Minitab 19 .....	58
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Rasio S/N ( <i>Signal To Noise Rasio</i> ) Kekasaran Permukaan (Ra) .....	59
Tabel 4.7 <i>Response Table for Signal to Noise Ratios</i> Kekasaran Permukaan (Ra) Menggunakan Minitab 19 .....	60
Tabel 4.8 <i>Analysis of Variance</i> Volume Bahan Terbuang (MRR) .....	61
Tabel 4.9 <i>Analysis of Variance</i> Kekasaran Permukaan (Ra).....	61

# 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 di tiap 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 industry 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 oada sumbunya, sedangkan alay potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram (Nudjito 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 ST 37 tergolong baja karbon rendah, dimana memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3% sesuai spesifikasi sebesar 0,16%. Baja ini sering dipakai untuk konstruksi mesin yang saling bergesekkan seperti roda gigi, poros karena sangat ulet. (Wattimena, 2014).

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

Vinayak, dkk (2019) menyatakan bahwa rasio S/N dan main *effect plot* untuk MRR, dapat disimpulkan optimal. Parameter permesinan untuk memaksimalkan tingkat laju pengerjaan material, dimana kecepatan potong pada sebesar 750m/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 **“ANALISIS VOLUME BAHAN TERBUANG TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 37 PADA PROSES TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI”** untuk membuktikan bahwa parameter apa yang paling berpengaruh terhadap *material removal rate* sesuai dengan parameter permesinan [kecepatan spindle (rpm), kedalaman potong (mm), dan kecepatan makan (mm/put)].

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan antara Volume Bahan Terbuang (MRR) terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) pada proses *turning* dengan Metode Taguchi material baja ST 37.
2. Bagaimana *setting* parameter pembubutan untuk mendapatkan Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) yang optimal
3. Bagaimana kontribusi parameter pembubutan terhadap Volume Bahan Terbuang dan Kekasaran Permukaan

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui hubungan antara Volume Bahan Terbuang (MRR) terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) pada proses *turning* dengan Metode Taguchi material baja ST 37
2. Untuk mengetahui *setting* parameter pembubutan untuk mendapatkan Volume Bahan Terbuang (MRR) dan Kekasaran Permukaan (Ra) yang optimal
3. Untuk mengetahui kontribusi parameter pembubutan terhadap Volume Bahan Terbuang dan Kekasaran Permukaan

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah;

1. Material yang digunakan adalah baja ST 37 berbentuk silinder dengan permukaan yang rata.
2. Menggunakan pahat karbida dimana kondisi pahat dianggap selalu sama.
3. Parameter permesinan yang divariasikan adalah Kecepatan spindel (450 rpm, 750 rpm, 950 rpm, 1200 rpm), Kedalaman potong (0,7 mm, 1,2 mm, 1,5 mm, 1,8 mm), dan Kecepatan makan (0,04 mm/put, 0,11 mm/put, 0,24 mm/put, 0,28 mm/put).

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diharapkan pada penelitian ini yaitu:

1. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang pengaruh parameter permesinan untuk mendapatkan nilai MRR optimal pada proses bubut menggunakan material baja ST 37 dengan menggunakan metode Taguchi.
2. Dapat mengetahui pengaruh volume bahan terbuang (MRR) terhadap kondisi pemotongan
3. Dapat memberikan informasi sebagai referensi tambahan di bidang Manufaktur.

## 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 komplis 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

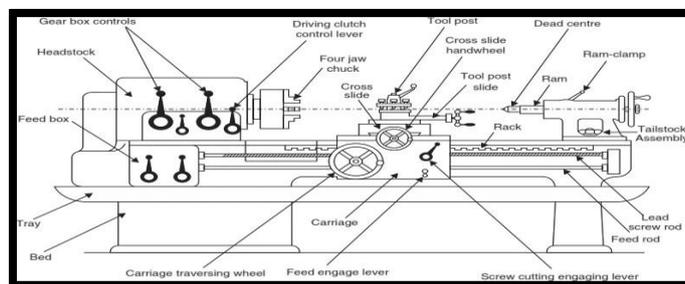
Selain ditinjau dari segi orientasi permukaan maka poses pemesinan dapat diklasifikasikan berdasarkan proses terbentuknya permukaan (proses generasi permukaan; *surface generation*). Dalam hal ini proses tersebut dikelompokkan dalam dua garis besar proses yaitu:

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

### 4. Berdasarkan Mesin yang Digunakan

Dalam proses permesinan 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



Gambar 2.1 Komponen Mesin Bubut

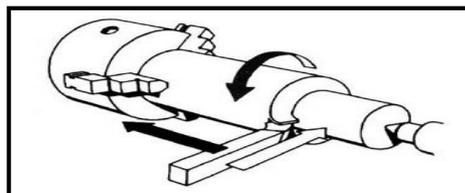
Sumber: (Gupta, et al., 2009)

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* (penyekam) 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.

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 (Upura, 2009).



Gambar 2.2. Gerakan Pada Proses Pembubutan

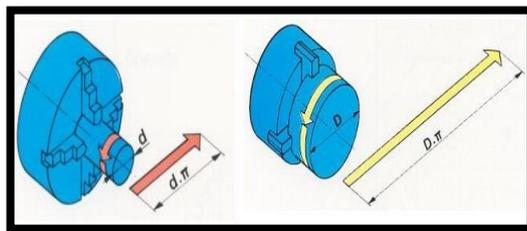
Sumber: Handout Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

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.

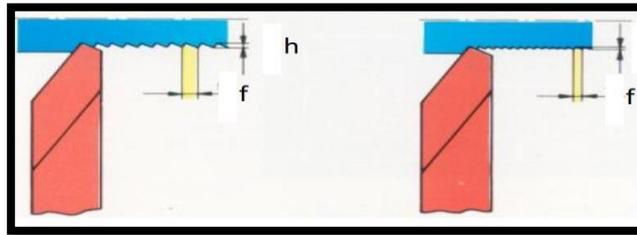


Gambar 2.3. Panjang permukaan benda kerja

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 dan 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) 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

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

Dimana:

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

Kecepatan makan

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

Dimana:

$f$  = gerak makan, mm/put

$n$  = putaran spindel, rpm

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 menjaatau 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.(Singh, 2006).

## 2.5 Baja ST 37

Baja karbon rendah (St 37) memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3 %. Baja ini sering dipakai juga untuk konstruksi-konstruksi mesin yang saling bergesekan seperti roda gigi, poros, dll karena sangat ulet. Namun kekerasan permukaan dari baja tersebut tergolong rendah sehingga sebelum digunakan untuk konstruksi perlu dimodifikasi atau diperbaiki sifat kekerasan pada permukaannya. Baja karbon rendah ini tidak dapat dikeraskan secara konvensional tetapi melalui penambahan karbon dengan proses carburizing. Jenis baja karbon St 37 untuk keperluan pembuatan komponen mesin yang distandarkan menurut kekuatan tarik mempunyai kekutan tarik 37-45 Kg/mm<sup>2</sup>.

### 2.5.1 Struktur Baja ST 37

Baja karbon rendah (St 37) merupakan bukan baja yang keras karena kadar karbonnya sedikit. Adapun penggunaan baja ST 37 dapat dijadikan mur, baut, ulir sekrup dan lain – lain. Komposisi kimia dari baja ST 37 dapat dilihat pada table 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja ST 37

Sample	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Al%	Cu%
Baja ST 37	0,12	0,10	0,50	0,04	0,05	0,04	0,1

Sumber: (media nofri, 2012)

Baja ini disebut dengan baja ringan (mild steel) atau baja perkakas yang mengandung karbon kurang dari 0,3%. Setiap satu ton baja karbon rendah mengandung 10 – 30 kg karbon. Baja karbon rendah bersifat kuat, mudah dibentuk dan dapat dilakukan pengerjaan dalam keadaan panas maupun pengerjaan dingin. Arti dari St itu sendiri adalah singkatan dari Steel (baja). Sedangkan angka 37 berarti menunjukkan batas minimum untuk kekuatan tarik 37 km/mm<sup>2</sup> .

### 2.5.2 Klasifikasi Baja ST 37

Baja ST 37 tergolong baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang memiliki beberapa karakter yaitu tahan panas yang bertujuan membentuk martensit, *cold working*, struktur mikronya terdiri dari ferit dan perlit, relative lunak dan lemah, ulet dan Tangguh, serta mampu mesin dan mampu lasnya baik. Baja ini sering dipakai juga untuk konstruksi-konstruksi mesin yang saling bergesekan seperti roda gigi, poros, dll karena sangat ulet. Berikut merupakan komposisi kimia dari baja ST 37:

Tabel 2.3 Komposisi (%) Baja ST 37

Unsur	Kandungan (%)
C	0,17
Si	0.30
Mn	0,2-0,5
P	0,05
S	0,05

Sumber Team Logam Ceper, 2021

Material baja ST 37 memiliki sifat mekanik sebagai berikut:

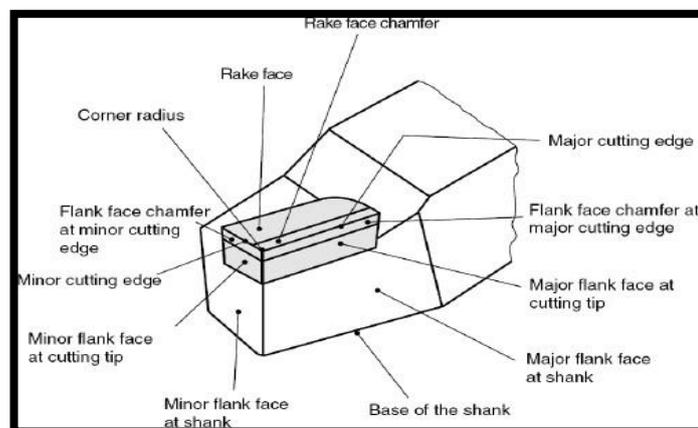
Tabel 2.4 Sifat Mekanik Baja ST 37

Kekuatan Tarik, $\sigma_u$	598,53 N/mm <sup>2</sup>
Kekuatan Luluh, $\sigma_y$	427,49 N/mm <sup>2</sup>
Kekerasan ( <i>hardness</i> )	$\pm 170$ HB

Sumber Sasi Kirono, 2011

### 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 berubahannya 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

<b>2 Level</b>	<b>3 Level</b>	<b>4 Level</b>	<b>5 Level</b>	<b>Level Gabungan</b>
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.

- a. 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.
- b. 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 (ANOVA) digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik. Analisis ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variasi atas bagian-bagian yang diteliti. ANOVA 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 ANOVA 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 (ANOVA)

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:

$$\begin{aligned}
 v_T &= \text{derajat bebas total} \\
 &= N - 1 \\
 v_A &= \text{derajat bebas faktor A}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

$$= k_A - 1 \quad (2.7)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 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:

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

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)

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

$$\Delta W = W_0 - W_1$$

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

$$\text{MRR}_{\text{th}} = L \cdot (d_0 - d_1) \quad (2.28)$$

Dimana:

$W_0$  = Berat Spesimen Sebelum Pembubutan.

$W_1$  = Berat Spesimen Sesudah Pembubutan.

$t$  = Waktu Pengerjaan.

$L$  = Panjang Specimen Yang Akan Dibubut.

$d_0$  = Diameter Spesimen Sebelum Pembubutan.

$d_1$  = Diameter Spesimen Sesudah Pembubutan.

## 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 varians untuk menentukan perbedaan antar data.
5. Analisis *multivariate* termasuk analisis faktor, analisis klaster, 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.