

SKRIPSI

**EFEK PERUBAHAN GERAK MAKAN, KEDALAMAN POTONG, DAN
PUTARAN SPINDLE TERHADAP KEKASARAN HASIL
PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061**



Oleh :

SUDIRMAN

D021 18 1014

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

SKRIPSI

**EFEK PERUBAHAN GERAK MAKAN, KEDALAMAN POTONG, DAN
PUTARAN SPINDLE TERHADAP KEKASARAN HASIL
PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061**

DISUSUN OLEH

SUDIRMAN

D021 18 1014

**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

**EFEK PERUBAHAN GERAK MAKAN, KEDALAMAN POTONG,
DAN PUTARAN SPINDLE TERHADAP KEKASARAN HASIL
PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061**

Disusun dan diajukan oleh

SUDIRMAN

D021 18 1014

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal 04 Oktober 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. H. Ahmad Yusran Aminy. M.T
Nip. 19580921 1986 03 1003.



Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D
Nip. 19840126 201212 1 002

Ketua Program Studi,



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : SUDIRMAN

NIM : D021 18 1014

JUDUL SKRIPSI : EFEK PERUBAHAN GERAK MAKAN, KEDALAMAN
POTONG, DAN PUTARAN SPINDLE TERHADAP
KEKASARAN HASIL PEMBUBUTAN ALUMINIUM
6061

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, 28 September 2022

Yang membuat pernyataan,



The image shows a 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'METERAL TEMPEL', and '34GARXX062241552'. A handwritten signature in black ink is written over the stamp.

SUDIRMAN

**EFEK PERUBAHAN GERAK MAKAN, KEDALAMAN POTONG, DAN
PUTARAN SPINDLE TERHADAP KEKASARAN HASIL
PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061**

Nama : SUDIRMAN
Nim : D021 18 1014
Pembimbing I : Dr. Ir. AHMAD YUSRAN AMINY,. MT
Pembimbing II : AZWAR HAYAT, ST.,M.Sc.,Ph.D

ABSTRAK

Pada masa kini, pengerjaan dengan mesin perkakas sangat dibutuhkan pada industri manufaktur, salah satunya adalah mesin bubut (*turning machine*). Mesin bubut atau biasa disebut turning Machine adalah mesin perkakas dimana benda kerja di cekam pada kepala tetap dan berputar pada poros, kemudian pahat bergerak ke benda kerja untuk melakukan prose pembubutan. Mesin bubut digunakan untuk mengubah ukuran, bentuk dan dimensi suatu benda kerja sesuai dengan apa yang kita inginkan. Banyak faktor yang mempengaruhi agar benda menjadi rata dan halus, mulai dari kecepatan spindle, kedalaman pemakanan, kecepatan pemakanan, sudut dan jenis pahat, kemampuan mesin, jenis pendingin, jenis benda, dan operator, khususnya dalam hal mesin bubut. Benda kerja yang digunakan pada proses permesinan sangat beragam. Mulai dari benda kerja yang lunak hingga yang memiliki tingkat kekerasan tinggi. Aluminium 6061 merupakan salah satu bahan yang tahan akan korosi. Penelitian ini bertujuan untuk (1) Menganalisis hubungan gerak makan terhadap kekasaran dari material yang mengalami hasil pembubutan.(2) Menganalisis hubungan kedalaman potong terhadap kekasaran dari material yang mengalami hasil pembubutan. (3) Menganalisis hubungan putaran spindle terhadap kekasaran dari material yang mengalami hasil pembubutan. (4) Menganalisis variabel paling berpengaruh antara gerak makan, kedalaman potong dan putaran spindle

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu Semakin besar gerak makan dan kedalaman potong maka nilai kekasaran permukaan semakin kasar. dan semakin kecil gerak makan dan kedalaman potong maka nilai kekasaran permukaan semakin halus. Semakin kecil putaran spindle maka nilai kekasaran permukaan semakin kasar, semakin besar putaran spindle maka nilai kekasaran permukaan

yang di hasilkan semakin halus. Variabel permesinan yang paling berpengaruh adalah gerak makan (feed) dengan persen kontribusi tertinggi sebesar 95,35%

Kata Kunci : Permesinan Bubut, aluminium 6061, Variabel Permesinan, gerak makan, kedalaman potong, putaran spindle.

**EFEK PERUBAHAN GERAK MAKAN, KEDALAMAN POTONG, DAN
PUTARAN SPINDLE TERHADAP KEKASARAN HASIL
PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061**

Nama : SUDIRMAN
Nim : D021 18 1014
Pembimbing I : Dr. Ir. AHMAD YUSRAN AMINY,. MT
Pembimbing II : AZWAR HAYAT, ST.,M.Sc.,Ph.D

ABSTRACT

Nowadays, working with machine tools is needed in the manufacturing industry, one of which is a turning machine. A lathe or commonly called a turning machine is a machine tool where the workpiece is clamped on a fixed head and rotates on the shaft, then the chisel moves to the workpiece to carry out the turning process. The lathe is used to change the size, shape and dimensions of a workpiece according to what we want. Many factors influence the object to be flat and smooth, ranging from spindle speed, feed depth, feed speed, angle and type of tool, machine capability, type of coolant, type of object, and operator, especially in the case of lathes. The workpieces used in the machining process are very diverse. Ranging from soft workpieces to those that have a high level of hardness.. This study aims to (1) analyze the relationship between feed motion and the roughness of the material subjected to turning results. (2) Analyze the relationship between depth of cut and roughness of the material subjected to turning results. (3) Analyzing the spindle rotation relationship to the roughness of the material undergoing turning results. (4) Analyze the most influential variables between feeding motion, depth of cut and spindle rotation

The results obtained from this study are the greater the feeding motion and the depth of cut, the rougher the surface roughness value. and the smaller the feed motion and the depth of cut, the smoother the surface roughness value. The smaller the spindle rotation, the rougher the surface roughness, the larger the spindle rotation, the smoother the resulting surface roughness. The most influential machining variable is feed with the highest percentage contribution of 95.35%

Keywords: Lathe Machining, aluminum 6061, Machining Variables, feeding motion, depth of cut, spindle rotation.

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 judul : *“Efek Perubahan Gerak Makan, Kedalaman Potong, Dan Putaran Spindle Terhadap Kekasaran Hasil Pembubutan Aluminium 6061”*.

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 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 Azwar Hayat, ST.,M.Sc.,Ph.D selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan serta masukan selama penyusunan tugas akhir ini.

7. Bapak Marthen selaku Plp Laboratorium Teknologi Mekanik Departemen Mesin Fkultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Bapak dan Ibu Dosen dan serta staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang telah banyak membantu kami dalam mengurus dan memudahkan perjalanan berkas kami menuju Rektorat.
9. Kepada Dr.Eng Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku Dosen yang membantu saya dalam pengujian kekasaran hasil pembubutan spesimen saya.
10. Kepada saudara(i) seperjuangan REACTOR'18 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada saudara Angga Asteriasti Aji, Rizal Hadi, Rahmat Ramadan, Almudai dan Ikhsan Biring Tandea serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
11. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Tamrin dan Sitti Saleha dan saudaraku yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moral, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Buat sahabat – sahabat saya. Terima kasih atas dukungan dan doanya.

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, 28 September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	1
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I.....	18
PENDAHULUAN.....	18
1.1 Latar belakang	18
1.2 Rumusan Masalah	19
1.3 Tujuan.....	20
1.4 Batasan Masalah.....	20
1.5 Manfaat.....	21
BAB II.....	22
TINJAUAN PUSTAKA.....	22
2.1 Proses Permesinan	22
2.1.1 Berikut ini adalah klasifikasi proses permesinan yaitu:	23
2.1.2 Variable Permesinan.....	24
2.2 Mesin Bubut	28
2.2.1 Prinsip kerja mesin bubut adalah :.....	30
2.2.2 Bentuk dasar benda kerja yang dapat dikerjakan mesin bubut :	30

2.3 Bagian-bagian utama mesin bubut	30
2.4 Peralatan-peralatan yang terdapat pada mesin bubut	32
2.5 Jenis-Jenis Mesin Bubut dan Penggunaanya	35
2.5.1 Mesin Bubut Bench (Mesin Bubut Mini)	35
2.5.2 Mesin Bubut Speed (Mesin Bubut Kayu)	36
2.5.3 Mesin bubut standar.....	36
2.5.4 Mesin Bubut Capstan dan Turret	37
2.5.5 Mesin Bubut Turret Vertikal	37
2.6 Pahat	38
2. 6.1. Pahat bubut High Speed Steel (HSS)	39
2.7 Aluminium.....	39
2.7.1 Klasifikasi penggolongan Aluminium	39
2.8 Paduan Aluminium 6061.....	40
2.8.1 Komposisi Kimia dari Alumunium Seri 6061	41
2.9 Elemen Dasar dan Perencanaan Proses bubut	42
2.9.1 Kecepatan potong (cutting speed).....	42
2.9.2 Kecepatan Gerak Pemakanan.....	42
2.9.3 Kedalaman pemakanan.....	43
2.9.4 Waktu pemotongan	443
2.10 Surface Roughness (kekasaran permukaan).....	44
2.11 Minitab	47
2.11.1 Penggunaan Minitab.....	49
2.12 Metode Taguchi.....	49
BAB III.....	56
METODE PENELITIAN	56
3.1 Tempat penelitian	56

3.2 Alat dan Bahan	56
3.2.1 Alat	56
3.2.2 Bahan	59
3.3 Metode Pengambilan Data	59
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	59
3.4.1 Proses Pembubutan	59
3.4.2 Pengujian Kekasaran Permukaan Benda Kerja	60
3.5 Flowchart Penelitian	61
BAB IV	62
HASIL DAN PEMBAHASAN	62
4.1. Menganalisis hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan	64
4.1.1. Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada feed 0.08 mm/putaran.	64
4.1.2. Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada feed 0.17 mm/putaran.	65
4.1.3. Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada feed 0.24 mm/putaran.	66
4.1.4. Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada feed 0.30 mm/putaran.	67
4.1.5. Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada kedalaman potong 1 mm.....	68
4.1.6. Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada kedalaman potong 2 mm.....	69
4.2. Menganalisis variabel paling berpengaruh antara gerak makan, kedalaman potong dan putaran terhadap kekasaran hasil pembubutan dengan metode taguchi.	70

4.2.1 Analisis of varian (ANOVA)	73
BAB 5	75
PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Panjang permukaan benda kerja.....	25
Gambar 2.2 : Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h).....	26
Gambar 2.3 : Mesin bubut standar	28
Gambar 2.4 : Fungsi mesin bubut standar.....	28
Gambar 2.5 : Gerakan Pada Proses Pembubutan	29
Gambar 2.6 : . Bentuk Dasar Pembubutan).....	30
Gambar 2.7 : Bagian-bagian utama mesin Bubut	31
Gambar 2.8 : kepala lepas	32
Gambar 2.9 : kepala tetap.....	33
Gambar 2.10 : Eretan Memanjang	33
Gambar 2.11 : Eretan Melintang.....	34
Gambar 2.12 : Alas Mesin	34
Gambar 2.13 : Mesin Bubut Mini	35
Gambar 2.14 : Mesin Bubut Kayu	36
Gambar 2.15 : Mesin Bubut standar	36
Gambar 2.16 : Mesin Bubut Capstan dan Turret	37
Gambar 2.17 : Mesin Bubut Turret Vertikal.....	37
Gambar 2.18 : Variasi komponen dan parameter dari kekasaran permukaan permesinan.....	44
Gambar 2.19 : Tekstur permukaan benda kerja	45
Gambar 2.20 : Lambang kekasaran permukaan.....	46
Gambar 2.21 : Minitab 19 Metode Taguchi	48
Gambar 3.1 : Mesin bubut.....	56
Gambar 3.2 : Jangka Sorong	56
Gambar 3.3 : Kunci L.....	57
Gambar 3.4 : chuck mesin bubut.....	57
Gambar 3.5 : Gurinda.....	57
Gambar 3.6 : kuas	58
Gambar 3.7 : Alat Olympus	58
Gambar 3.8 : <i>Holder</i>	58
Gambar 3.9 : Pahat Sisipan Carbida	58

Gambar 3.10 : Aluminium 6061	59
Gambar 3.11 : Flowchart Penelitian.....	61
Gambar 4.1.1 : Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada feed 0.08 mm/putaran.	64
Gambar 4.1.2 : Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada feed 0.17 mm/putaran..	65
Gambar 4.1.3 : Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada feed 0.24 mm/putaran..	66
Gambar 4.1.4 : Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada feed 0.30 mm/putaran.	67
Gambar 4.1.5 : Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada kedalaman potong 1 mm.....	68
Gambar 4.1.6 : Hubungan antara putaran spindle terhadap kekasaran hasil pembubutan pada kedalaman potong 2 mm.....	69
Gambar 4.2.1 : Grafik plot rata-rata untuk SN ratios kekasaran permukaan (Smaller is better) Menggunakan aplikasi minitab19	72
Gambar 4.2.2 : Grafik plot rata-rata untuk kekasaran permukaan (Smaller is better) Menggunakan aplikasi minitab19.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Variabel permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan.	27
Tabel 2.2 : Komposisi Kimia Paduan Aluminium 6061	41
Tabel 2.3 : Karakteristik Al 6061	41
Tabel 2.4 : Angka Kekasaran permukaan	46
Tabel 2.5 : Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan.....	47
Tabel 2.6 : Matriks Ortogonal	52
Tabel 2.7 : Tabel Analysis Of Variance (ANOVA).....	53
Tabel 3.1 : variabel permesinan pembubutan spesimen.....	60
Tabel 4.1 : hasil dari pengujian spesimen menggunakan alat Olympus	63
Tabel 4.2 : Variabel bebas penelitian	70
Tabel 4.3 : Desain of experiment (DOE) Matriks Ortogonal Array Minitab 19.....	71
Tabel 4.4 : Hasil perhitungan rasio S/N (signal to noise Rasio) Small is better Minitab 19	72
Tabel 4.5 : Response Table for Signal to Noise Ratios Smaller is better menggunakan minitab 19.....	73
Tabel 4.6 : Response Table for Means menggunakan minitab 19.....	73
Tabel 4.7 : Factor Information	74
Tabel 4.8 : Analysis of Variance.....	74
Tabel 4.9 : Model Summary.....	74

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : Tabel hasil penelitian kekasaran hasil pembubutan aluminium 6061	77
LAMPIRAN 2 : Tabel Distribusi F tabel untuk Probabilitas = 0,05	77
LAMPIRAN 3 : Proses pemasangan pahat	79
LAMPIRAN 4 : Proses pembubutan	79
LAMPIRAN 5 : hasil pembubutan aluminium 6061	80
LAMPIRAN 6 : Penempatan spesimen pada meja alat Olympus	80
LAMPIRAN 7 : Pengukuran spesimen pada alat Olympus	80
LAMPIRAN 8 : Penentuan matriks ortogonal pada minitab 19	80
LAMPIRAN 9 : Penentuan Response Table for Signal to Noise Ratios pada minitab 19	81
LAMPIRAN 10: Penentuan Response Table for Means menggunakan minitab 19	82
LAMPIRAN 11: Penentuan variabel permesinan yang optimal menggunakan minitab 19	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Zaman sekarang ini, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dianggap sangat penting untuk mempengaruhi keberhasilan pembangunan dalam bidang industri, hal ini dilihat dari kemajuan teknologi yang semakin canggih saat ini, terutama pada teknologi. Namun, ini tidak berarti bahwa pemesinan secara konvensional harus diikuti, karena prinsip-prinsip dasar permesinan konvensional masih diperlukan untuk menunjang pemesinan secara modern yang banyak digunakan di sektor industri. Industri pemesinan yang digunakan menggunakan perpaduan mesin digital dan konvensional.

Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu : proses pemotongan dengan mesin pres, 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. (Sugeng, 2019)

Proses permesinan yang sering kita jumpai di bidang industry saat ini adalah proses pembubutan. Mesin bubut merupakan salah satu metal cutting machine dengan gerak utama berputar, tempat benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya. (Nurdjito & Arifin, 2015)

Banyak faktor yang mempengaruhi agar benda menjadi rata dan halus, mulai dari kecepatan spindel, kedalaman pemakanan, kecepatan pemakanan, sudut dan jenis pahat, kemampuan mesin, jenis pendingin, jenis benda, dan operator, khususnya dalam hal mesin bubut CNC. Menurut Prasetya (2010) ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil

pembubutan, diantaranya adalah laju pemakanan, media pendingin, kecepatan spindel, kedalaman pemotongan, bahan dan geometri pahat. Pada proses pembubutan konvensional beberapa faktor tersebut sangatlah penting, dan perlu perhatian yang khusus. Pada proses pemesinan konvensional, cara yang digunakan untuk mendapatkan setingan kekasaran tertentu adalah dengan mencoba-coba, atau dengan feeling. Biasanya dilakukan dengan memperbesar atau memperkecil kecepatan spindel, kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan. Tentunya hasilnya tidak dapat dipastikan, bergantung dari skill dan pengalaman operator. (Al- Fiansyah & Dika kurnia, 2017)

Benda kerja yang digunakan pada proses permesinan sangat beragam. Mulai dari benda kerja yang lunak hingga yang memiliki tingkat kekerasan tinggi. Aluminium merupakan salah satu bahan yang tahan akan korosi. Aluminium murni pada dasarnya memiliki kekuatan tensil yang sangat rendah, kekerasan yang sangat kecil dan ductility yang tinggi. Kekerasan aluminium yang sangat kecil mengakibatkan sifat mampu mesin sangat tinggi sehingga mudah untuk dibentuk atau di proses pada mesin.

Salah satu parameter mampu mesin adalah *surface roughness* (kekasaran permukaan) benda kerja. kekasaran permukaan benda kerja pada proses permesinan dipengaruhi oleh variabel permesinan. Variabel permesinan diantaranya kedalaman pemakanan, kecepatan potong, dan kecepatan putaran.

Berdasarkan masalah tersebut, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai **Efek Perubahan Gerak Makan, Kedalaman Potong, dan Putaran Spindle Terhadap Kekasaran Hasil Pembubutan Aluminium 6061.**

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang dikemukakan diatas dapat dirumuskan Masalah yang akan diteliti adalah:

1. Bagaimana karakteristik kekasaran dari material terhadap gerak makan hasil pembubutan?
2. Bagaimana karakteristik kekasaran dari material terhadap kedalaman potong hasil pembubutan?

3. Bagaimana karakteristik kekasaran dari material terhadap kecepatan putar *spindel* hasil pembubutan?
4. Bagaimana optimasi yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan aluminium 6061.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk :

1. Menganalisis hubungan gerak makan terhadap kekasaran dari material yang mengalami proses pembubutan.
2. Menganalisis hubungan kedalaman potong terhadap kekasaran dari material yang mengalami proses pembubutan.
3. Menganalisis hubungan kecepatan putar *spindel* terhadap kekasaran dari material yang mengalami proses pembubutan.
4. Menentukan optimasi yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan aluminium 6061.

1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Benda kerja yang digunakan berbentuk silinder dengan permukaan rata
2. Proses pemesinan yang dilakukan adalah pembubutan rata permukaan tanpa pendinginan.
3. Variabel permesinan yang divariasikan yaitu *feed* (0.08 mm/s, 0.17 mm/s, 0.24 mm/s, dan 0.30 mm/s), kedalaman pemotongan (1 mm, dan 2 mm) dan kecepatan putaran *spindel* (300 rpm, 600 rpm dan 900 rpm).
4. Hanya menganalisis karakteristik kekasaran permukaan pada material hasil pembubutan .
5. Tidak melakukan pengujian kehausan pahat.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui karakteristik kekasaran pada material hasil pembubutan terhadap variabel permesinan.
2. Menjadi wadah pengaplikasian ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis, khususnya dalam bidang pemesinan.
3. Menjadi bahan informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.
4. Sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses 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.

Pemesinan (Machining) merupakan suatu proses pembentukan suatu produk dengan pemotongan dan menggunakan mesin perkakas. Umumnya, benda kerja yang digunakan berasal dari proses sebelumnya, seperti proses penuangan (Casting) dan proses pembentukan (Metal Forging). Proses pemesinan dibagi menjadi dua yaitu (Bondan T. Sofyan, 2015):

1. Traditional Machining : turning, milling, grinding, dll.
2. Non-traditional machining : chemical machining, ECM, EDM, EBM, LBM, machining dari material non-metallic

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 penggerek, dan gergaji. (Rizal, 2020)

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)*

2.1.1 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.

3. Berdasarkan Orientasi Permukaan

Selain ditinjau dari segi orientasi permukaan maka poses pemesinan dapat diklassifikasikan 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

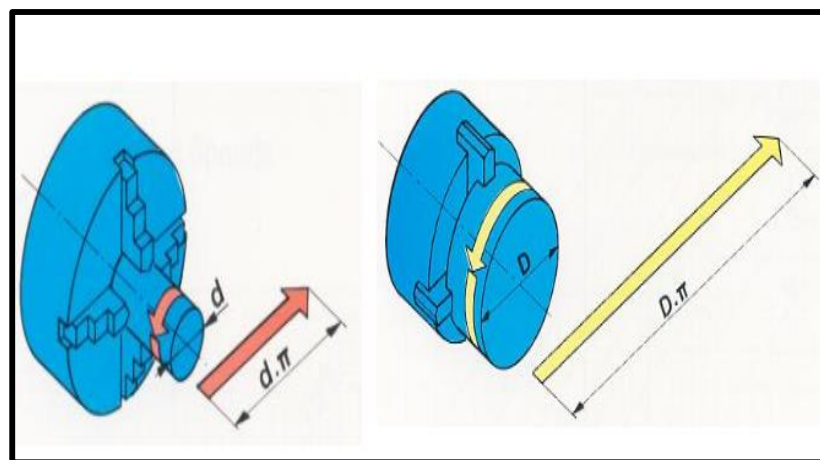
4. Berdasarkan Mesin yang Digunakan

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)

2.1.2 Variable 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.

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), hal ini menggambarkan kecepatan putarannya. Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (Cutting speed) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling benda kerja (lihat gambar 2.1). Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar dapat dirumuskan sebagai berikut:



Gambar 2.1. Panjang permukaan benda kerja
 Sumber : *Handout Permesinan Bubut* (Nurdjito dan Arifin, 2015)

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

Dimana :

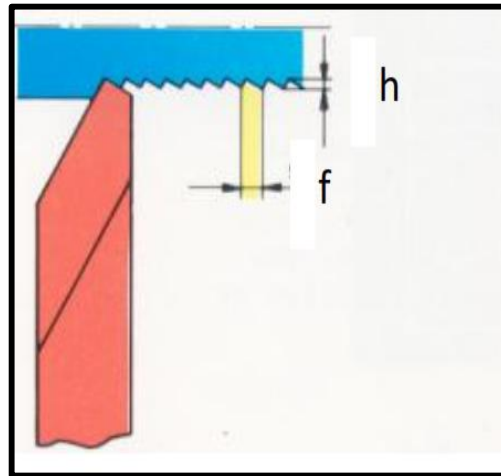
V_C = kecepatan potong; m/menit

d = diameter benda kerja ;mm

n = putaran benda kerja; putaran/menit

Dengan demikian kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja. 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 2.2. Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h)
Sumber : Handout Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Gerak makan (*feed*), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali (lihat 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 (ditunjukkan pada gambar 2.4). Ketika pahat memotong sedalam h , maka diameter benda kerja akan berkurang, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar (Nurdjito.2015)

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_i = panjang pemotongan (mm)

d = kedalaman potong (mm)

2. Mesin :

f = gerak makan (mm/putaran)

n = putaran poros utama (putaran/menit)

Variabel pemesinan merupakan hal-hal yang mempengaruhi proses Pemesinan. (Nurdjito dan Arifin, 2015)

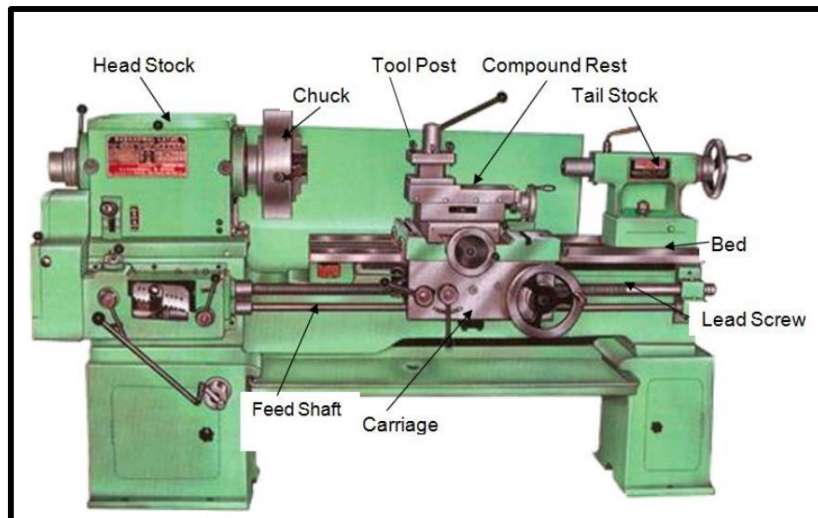
Tabel 2.1. Variabel permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan.

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			
	Triple coated carbide			
	Tin coated carbide			
	Al ₂ O ₃ ceramic			
Medium and High carbon Steel	Uncoated carbide	2,5-7,6	0,15-0,75	135-225
	Ceramic-coated carbide			
	Triple coated carbide			
	Tin coated carbide			
	Tin coated carbide			

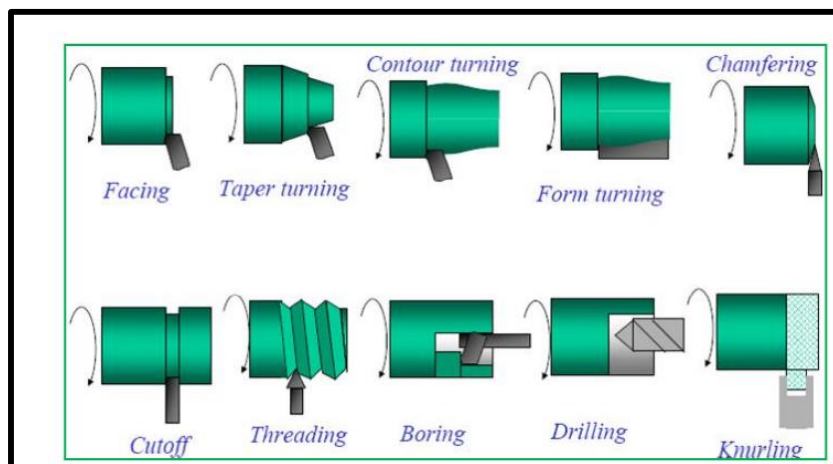
Sumber: (Kalpakjian & Schmid,2014)

2.2 Mesin Bubut

Mesin bubut standar merupakan salah satu jenis mesin yang paling banyak digunakan pada bengkel-bengkel pemesinan baik itu di industri manufaktur, lembaga pendidikan kejuruan dan lembaga dikat atau pelatihan. Fungsi mesin bubut standar pada prinsipnya sama dengan mesin bubut lainnya, yaitu untuk: membubut muka/facing, rata lurus/bertingkat, tirus, alur, ulir, bentuk, mengebor, memperbesar lubang, mengkartel, memotong dll. (Bse, 2013)



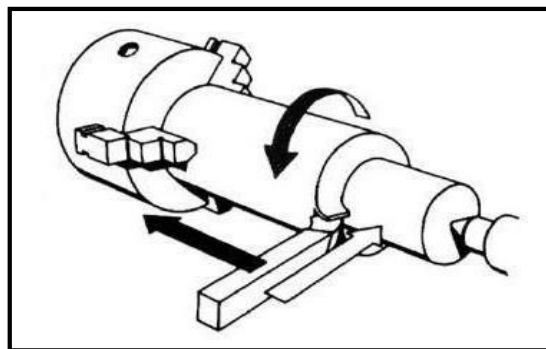
Gambar 2.3 Mesin bubut standar
Sumber: Teknik Pemesinan Bubut 1,2013



Gambar 2.4 Fungsi mesin bubut standar
Sumber: Teknik Pemesinan Bubut 1,2013

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. (Rizal, 2020)

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. (Nafsana & Upara, 2009)

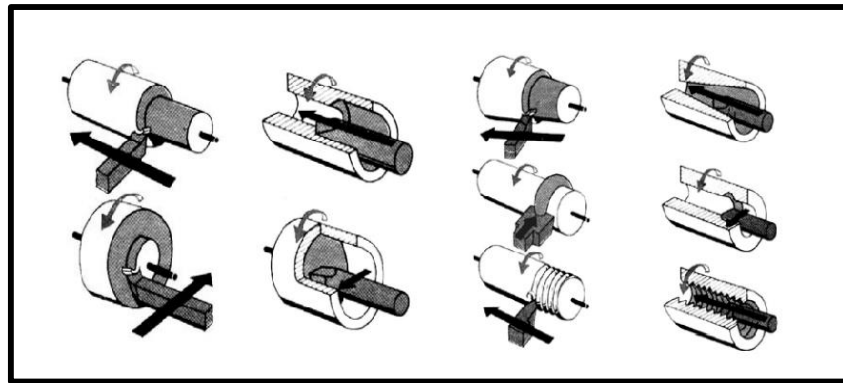


Gambar 2.5. Gerakan Pada Proses Pembubutan
Sumber : Handout Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

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. (Nurdjito & Arifin, 2015)

2.2.1 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)



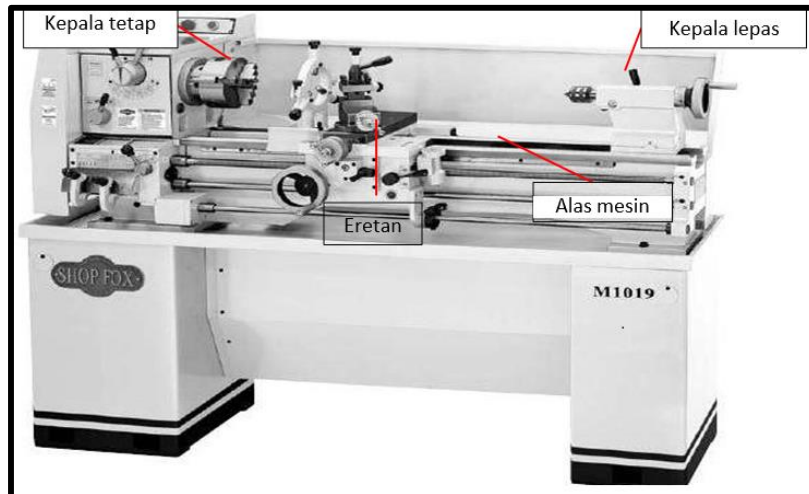
Gambar 2.6. Bentuk Dasar Pembubutan
Sumber : Handout Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

2.2.2 Bentuk dasar benda kerja yang dapat dikerjakan mesin bubut :

1. bentuk poros / lubang silindris
2. bentuk permukaan rata
3. bentuk tirus / konis luar
4. bentuk tirus / konis dalam
5. bentuk bulat / profil
6. bentuk ulir luar
7. bentuk ulir dalam
8. bentuk alur dalam

2.3 Bagian-bagian utama mesin bubut

Secara umum, sebuah mesin bubut terdiri dari empat bagian utama, yaitu tetap, kepala lepas, eretan dan alas mesin. Keempat bagian utama mesin tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.7. Bagian-bagian utama mesin Bubut
 Sumber : (*estukarya.com*)

a) Kepala Tetap

Kepala tetap adalah bagian utama dari mesin bubut yang digunakan untuk menyangga poros utama, yaitu poros yang digunakan untuk menggerakkan spindel. Dimana di dalam spindel tersebut dipasang alat untuk menjepit benda kerja. Spindel ini merupakan bagian terpenting dari sebuah kepala tetap. Selain itu, poros yang terdapat pada kepala tetap ini digunakan sebagai dudukan roda gigi untuk mengatur kecepatan putaran yang diinginkan. Dengan demikian, dalam kepala tetap terdapat sejumlah rangkaian roda gigi transmisi yang meneruskan putaran motor menjadi putaran spindel.

b) Kepala lepas

Kepala lepas adalah bagian dari mesin bubut yang letaknya di sebelah kanan dan dipasang di atas alas atau meja mesin. Bagian ini berguna untuk tempat untuk pemasangan senter yang digunakan sebagai penumpu ujung benda kerja dan sebagai tempat/dudukan penjepit mata bor pada saat melakukan pengeboran. Kepala lepas ini dapat digerakkan atau digeser sepanjang alas/meja mesin, dan dikencangkan dengan perantara mur dan baut atau dengan tuas pengencang. Selain digeser sepanjang alas atau meja mesin, kepala lepas juga dapat digerakkan maju mundur (arah melintang), yakni untuk keperluan pembubutan benda yang *konis*.

c) Alas mesin

Alas mesin adalah bagian dari mesin bubut yang berfungsi sebagai pendukung eretan (*support*) dan kepala lepas, serta sebagai lintasan eretan dan kepala lepas. Alas mesin ini memiliki permukaan yang rata dan halus. Hal ini dimaksudkan untuk mendukung kesempurnaan pekerjaan membubut (kelurusan).

d) Eretan (*carriage/support*)

Eretan adalah bagian mesin bubut yang berfungsi sebagai penghantar pahat bubut sepanjang alas mesin. Eretan terdiri dari tiga jenis, yaitu:

- eretan bawah yang berjalan sepanjang alas mesin.
- eretan lintang yang bergerak tegak lurus terhadap alas mesin
- eretan atas yang digunakan untuk menjepit pahat bubut, dan dapat diputar ke kanan atau ke kiri sesuai dengan sudut yang dikehendaki, khususnya pada saat mengerjakan benda-benda yang konis. Dalam operasinya, eretan ini dapat digerakkan secara manual maupun otomatis.

2.4 Peralatan-peralatan yang terdapat pada mesin bubut

Ada beberapa peralatan yang digunakan pada sebuah mesin bubut.

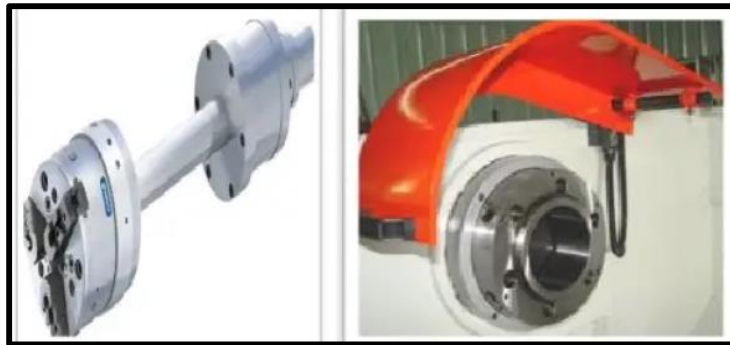
Peralatan-peralatan tersebut adalah :

- a. Kepala lepas berfungsi untuk mendukung benda kerja yang panjang, dimana senter diam ataupun senter putar dapat dipasang pada kepala lepas ini. Berbeda dengan kepala tetap yang diam di tempat, maka kepala lepas dapat digeserkan maju-mundur sepanjang alas mesin.



Gambar 2.8. kepala lepas
Sumber : (Martin, 2019)

- b. Kepala tetap, pada kepala tetap ini terdapat poros spindel mesin yang berfungsi sebagai tempat kedudukan cekam (chuck) sehingga bila poros spindel berputar maka cekam juga akan ikut berputar. Di dalam kepala tetap terdapat juga puli (pulley) yang dihubungkan dengan motor penggerak melalui belt (sabuk). Untuk mengubah kecepatan dan arah putaran mesin, puli ini dihubungkan dengan poros spindel mesin melalui susunan roda gigi transmisi di dalam gear box (kotak roda gigi).



Gambar 2.9. kepala tetap
Sumber : (Martin, 2019)

- c. Eretan alas atau eretan memanjang berfungsi untuk melakukan gerakan pemakanan arah memanjang sejajar sumbu benda kerja. Eretan alas ini memiliki roda pemutar yang dapat diputar secara manual maupun secara otomatis. Dengan demikian eretan memanjang ini dapat bergerak mendekati atau menjauhi kepala tetap



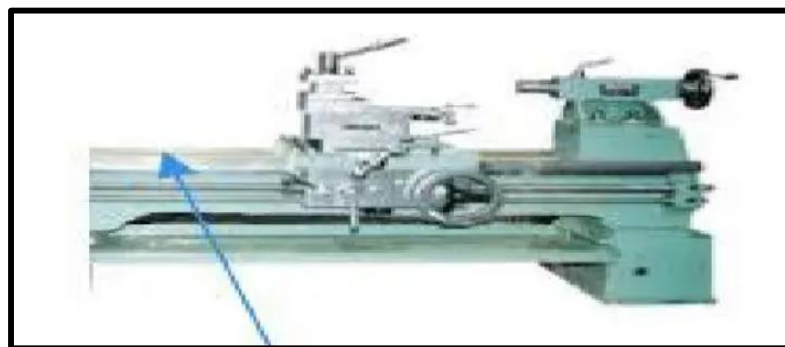
Gambar 2.10. Eretan Memanjang
Sumber : (Martin, 2019)

- d. Eretan melintang berfungsi untuk melakukan gerakan pemakanan arahmelintang sumbu benda kerja. Eretan melintang ini juga memiliki roda pemutar yang dapat digerakkansecara manual maupun secara otomatis untuk mendekati ataupun menjauhitik pusat benda kerja.



Gambar 2.11.Eretan Melintang
Sumber : (Martin, 2019)

- e. Rumah pahat digunakan untuk memegang (menjepit) pahat. Secara garis besar rumah pahat dapat dibedakan menjadi rumah pahat standar dan rumah pahat yang dapat disetel. Pada rumah pahat standar untuk mengatur ketinggian pahat harus dilakukan dengan cara memberi ganjal, sementara pada rumah pahat yang dapat disetel untuk mengatur ketinggian pahat tidak perlu menggunakan ganjal karena rumah pahat jenis ini dapat disetel ketinggiannya.
- f. Alas mesin berfungsi sebagai tempat kedudukan eretan memanjang dan kepala lepas.



Gambar 2.12. Alas Mesin
Sumber : (Martin, 2019)

- g. Poros pembawa mempunyai fungsi untuk membawa eretan pada waktu melakukan pembubutan secara otomatis.
- h. Poros transportir merupakan poros berulir yang pada umumnya memiliki bentuk ulir trapesium atau segi empat. Poros transportir digunakan untuk membawa eretan sewaktu melakukan pembubutan ulir.
- i. Tuas roda gigi digunakan untuk mengatur kecepatan poros spindel mesin bubut.
- j. Tuas motor dipakai untuk menjalankan motor penggerak mesin.
- k. Cekam atau chuck sebenarnya cekam ini merupakan perlengkapan dari mesin bubut. Cekam dipasang pada poros spindel mesin dan dipakai untuk menjepit benda kerja yang akan dibubut.

2.5 Jenis-Jenis Mesin Bubut Dan Penggunaannya

setiap mesin bubut tentu memiliki batasan ukuran untuk suatu benda kerja. Berikut jenis mesin bubut dan penggunaannya :

2.5.1 Mesin Bubut Bench (Mesin Bubut Mini)

Mesin bubut yang berukuran kecil. Biasanya dipasang pada meja atau bangku. Mesin ini digunakan untuk mengerjakan benda kerja yang kecil dan presisi. Memiliki banyak perlengkapan untuk menunjang atau membantu pekerjaannya. Mesin ini tidak memiliki poros transportir. (Furqoni, 2020)



Gambar 2.13. Mesin Bubut Mini

Sumber : <https://teknikece.com/author/muhammadrezafurqoni>

2.5.2 Mesin Bubut Speed (Mesin Bubut Kayu)

Mesin bubut yang tidak memiliki gearbox, eretan, dan poros transportir. Alat potongnya dipegang menggunakan tangan. Biasanya digunakan untuk membubut kayu. Sehingga sering disebut mesin bubut kayu. (Furqoni, 2020)



Gambar 2.14. Mesin Bubut Kayu

Sumber : <https://teknikece.com/author/muhammadrezafurqoni/>

2.5.3 Mesin bubut standar

Mesin bubut paling umum yang anda kenal. Mesin ini sering kita jumpai di sekolah teknik dengan jurusan teknik pemesinan. Memiliki ukuran yang lebih besar dari mesin bubut bench. Memiliki konstruksi yang kuat dan cocok untuk pekerjaan yang presisi. (Furqoni, 2020)

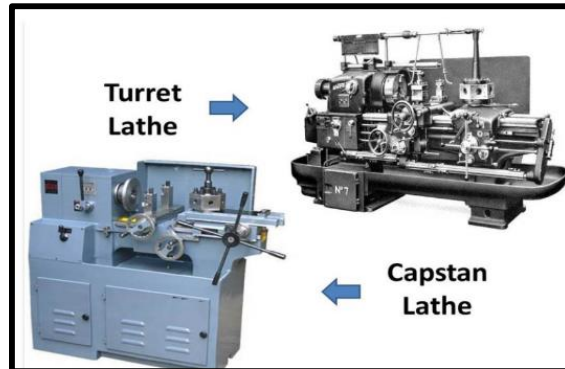


Gambar 2.15. Mesin Bubut standar

Sumber : <https://teknikece.com/author/muhammadrezafurqoni/>

2.5.4 Mesin Bubut Capstan dan Turret

Mesin Bubut Capstan dan Turret Yaitu mesin bubut yang cocok digunakan untuk produksi massal. Termasuk tipe mesin semi-automatic dan memiliki rentang operasi yang luas. Dalam mengoperasikan mesin ini, operator tidak dituntut untuk memiliki banyak keterampilan. (Furqoni, 2020)



Gambar 2.16. Mesin Bubut Capstan dan Turret

Sumber : <https://teknikece.com/author/muhammadrezafurqoni/>

2.5.5 Mesin Bubut Turret Vertikal

Mesin bubut turret vertikal memiliki meja putar yang mempunyai bidang cengkram dan turret yang dipasang secara menyilang di atas rel meja putar. Terdapat kepala samping pada turret yang berguna sebagai pengontrol pahat. Pengontrol pahat tersebut telah disetting sehingga terjadi pengulangan proses ketika mesin sedang dioperasikan. Kecepatan translasi dari pahat diatur dengan perbandingan tertentu yang akan menghasilkan ulir di benda putar sesuai dengan ukuran pada settingan awal. (Furqoni, 2020)



Gambar 2.17. Mesin Bubut Turret Vertikal

Sumber : <https://teknikece.com/author/muhammadrezafurqoni/>

2.6 Pahat

Pahat merupakan suatu alat yang di pasang pada mesin bubut yang berfungsi untuk memotong benda kerja sesuai dengan keinginan saat proses pembubutan, material pahat harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Harus keras, kekerasan dari material pahat HSS harus melebihi kekerasan dari material benda kerja yang di pakai saat pembubutan.
2. Harus Tahan terhadap Gesekan hal ini berfungsi agar pahat tidak muda habis saat proses pembubutan berlangsung (berkurang ukuranya).
3. Tahan panas, material pahat haruslah ulet, dikarenakan pada saat proses pembubutan pahat HSS pastilah akan menerima beban kejut. Tahan panas, karena pada saat pahat dan benda kerja melakukan gesekan akan menimbulkan panas yang cukup tinggi yaitu (250 o - 400 o) tergantung dari putaran.
4. mesin bubut, semakin tinggi putaran mesin bubut maka semakin tinggi pula suhu yang dihasilkan.
5. Ekonomis, material pahat harulah bersifat ekonomis, pemilihan material pahat haruslah sesuai dengan jenis pengerjaan yang dilakukan dan jenis material dari benda kerja.

Kekerasan dan tahan terhadap proses gesekan yang rendah tidak diinginkan pada material pahat ,yang akan mengakibatkan keausan pada material pahat tersebut, keuletan yang rendah dan ketahanan panas yang rendah akan mengakibatkan rusaknya mata potong atau pun retak pada struktur mikro padan pahat yang akhirnya mengakibatkan kerusakan fatal pada material pahat dan 17 benda kerja. Sifat-sifat unggul diatas harus perlu dimiliki oleh material pahat, namun tidak semua sifat tersebut bisa dipenuhi secara seimbang. (Bayu, 2020)

Secara berurutan material pahat dibawah ini adalah dari paling lemah keuletan sampai yang paling keras tapi getar yaitu :

1. Baja karbon tinggi
2. HSS (High Speed Steel) Baja paduan tinggi
3. Paduan cor np ferro
4. Karbida
5. Keramik

2. 6.1. Pahat bubut High Speed Steel (HSS)

Pahat Hight Speed Steel (HSS) terbuat dari jenis baja paduan tinggi dengan unsur paduan wolfram (W). krom (Cr) dan tungsten Melalui proses penuangan (wolfram metallurgi) kemudian diikuti dengan proses pegerolan ataupun penempaan. Baja ini dibentuk menjadi berbagai macam bentuk seperti batang atau silinder. Pada kondisi yang lunak bahan tersebut dapat diproses secara permesinan menjadi berbagai bentuk pahat potong. Setelah proses perlakuan panas dilaksanakan kekerasannya akan cukup tinggi sehingga dapat digunakan pada kecepatan potong yang tinggi. Apailah telah aus pahat HSS dapat diasah adanya usur paduan 0.6W%, 4%Cr, 1-2% V, 5-8%Mo, dan 0,8% Co. (Bayu, 2020).

2.7 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb. Secara satu persatu atau bersamasama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi. (Angga R, 2016)

2.7.1 Klasifikasi penggolongan Aluminium

1. Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan tensil sebesar 90 MPa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga seringkali aluminium dipadukan dengan logam lain. (Angga R, 2016)

2. Aluminium paduan

Elemen paduan yang umum digunakan pada aluminium adalah silikon, magnesium, tembaga, seng, mangan, dan juga lithium

sebelum tahun 1970. Secara umum, penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu meningkatkan kekuatan tensil dan kekerasan, serta menurunkan titik lebur. Jika melebihi konsentrasi tersebut, umumnya titik lebur akan naik disertai meningkatnya kerapuhan akibat terbentuknya senyawa, kristal, atau granula dalam logam. Namun, kekuatan bahan paduan aluminium tidak hanya bergantung pada konsentrasi logam paduannya saja, tetapi juga bagaimana proses perlakuannya hingga aluminium siap digunakan, apakah dengan penempaan, perlakuan panas, penyimpanan, dan sebagainya. Kelemahan aluminium paduan adalah pada ketahanannya terhadap lelah (*fatigue*). Aluminium paduan tidak memiliki batas lelah yang dapat diperkirakan seperti baja, yang berarti *failure* akibat *fatigue* dapat muncul dengan tiba-tiba bahkan pada beban siklik yang kecil (Angga R, 2016)

2.8 Paduan Aluminium 6061

6061 (penunjukan Unified Numbering System (UNS) A96061) adalah paduan aluminium yang dikeraskan presipitasi, mengandung magnesium dan silikon sebagai elemen unsur paduan utamanya. Awalnya disebut "Alloy 61S".

6061 biasanya digunakan untuk hal-hal berikut:

- konstruksi struktur pesawat terbang, seperti sayap dan badan pesawat, lebih umum pada pesawat buatan sendiri daripada pesawat komersial atau militer.
- konstruksi kapal pesiar, termasuk kapal utilitas kecil.
- suku cadang otomotif, seperti sasis Audi A8 dan Plymouth Prowler.
- senter
- kaleng aluminium untuk kemasan makanan dan minuman.

Dari sekian banyak logam yang potensial, Komposit Matrik Logam (MMCs) paduan Al 6061 (tersusun atas Al, Mg, Si, Cr, Cu) telah menjadi obyek dari banyak riset, terutama oleh keringannya, murah dan kemudahan untuk dipabrikasi. (Angga R, 2016)

Al 6061 memiliki ketahanan korosi yang tinggi, karena logam ini sangat reaktif, karena terbentuk lapisan oksida tipis pada permukaannya, sehingga jika bersentuhan dengan udara dan lapisan ini terkelupas maka akan segera terbentuk lapisan baru.

2.8.1 Komposisi Kimia Dari Aluminium Seri 6061

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Paduan Aluminium 6061

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others (Each)	Others (Total)
Min	0.4	-	0.15	-	0.8	0.04	-	-	-	-
Max	0.8	0.7	0.40	0.15	1.2	0.35	0.25	0.15	0.05	0.15

Tabel 2.3 Karakteristik Al 6061 (Smith F. Wiliam. 1994)

Alloy	Temper	Tensile Strength Psi	Tensile Yield Strength Psi	Elongation & In 2 In	Hardness Bhn	Shear Strength Psi	Fatigue Limit Psi
6050	0	16000	8000	35	26	11000	8000
	T6	37000	32000	13	80	23000	13000
6061	0	18000	8000	25	30	12000	8000
	T4,T451	35000	21000	33	65	34000	13000
	T6,T651	45000	40000	12	95	30000	14000
	T81	55000	52000	15		32000	
	T91	59000	57000	12		33000	14000
	T913	67000	66000	10		35000	
6066	0	22000	12000	18	43	14000	
	T4,T451	52000	30000	18	90	29000	
	T6,T651	57000	52000	12	120	34000	16000
6070	0	21000	10000	20	35	14000	9000
	T6	57000	52000	12	120	34000	14000
6101	T6	32000	28000	15	71	20000	
6151	T6	48000	43000	17	100	32000	12000
6201	T81	48000		8			15000
6362	T9	58000	55000	10	120	35000	13000
6351	T4,T451	42000	27000	20	60	22000	13000
	T6,T651	49000	43000	13	95	29000	13000
6951	0	16000	6000	30	28	11000	
	T6	39000	33000	13	82	26000	

2.9 Elemen Dasar dan Perencanaan Proses bubut

Elemen pemesinan dapat dihitung dengan rumus-rumus yang identik dengan elemen pemesinan proses pemesinan yang lain yaitu:

2.9.1 Kecepatan potong (cutting speed)

Kecepatan potong adalah panjang ukuran lilitan pahat terhadap benda kerja atau dapat juga disamakan dengan panjang total yang terpotong dalam ukuran meter yang diperkirakan apabila benda kerja berputar selama satu menit. (Rohan, 2010)

Kecepatan potong ditentukan dengan rumus :

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana

V = kecepatan potong (m/min)

π = konstanta seharga (3,14)

d = diameter

n = kecepatan putar poros utama (rpm)

2.9.2 Kecepatan Gerak Pemakanan

Kecepatan gerak pemakanan adalah kecepatan yang dibutuhkan pahat untuk bergeser menyayat benda kerja tiap radian per menit. Kecepatan tersebut dihitung tiap menit. Untuk menghitung kecepatan gerak pemakanan didasarkan pada gerak makan (f). Gerak makan ini biasanya disediakan dalam daftar spesifikasi yang dicantumkan pada mesin bubut bersangkutan. Untuk memperoleh kecepatan gerak pemakanan yang kita inginkan kita bisa mengatur gerak makan tersebut. Untuk menghitung kecepatan gerak pemakanan dapat kita rumuskan sebagai berikut : (Rohan, 2010)

Kecepatan gerak pemakanan :

$$V = f \cdot N \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

V = kecepatan gerak pemakan (m/min)

f = gerak makan (mm/rev)

n = putaran benda kerja (rad/min)

2.9.3 Kedalaman pemakanan

Kedalaman pemakanan adalah rata – rata selisih dari diameter benda kerja sebelum dibubut dengan diameter benda kerja setelah di bubut. Kedalaman pemakanan dapat diatur dengan menggeserkan peluncur silang melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter). Kedalaman pemakanan dapat diartikan pula dengan dalamnya pahat menusuk benda kerja saat penyayatan atau tebalnya tatal bekas bubutan. Kedalaman pemakanan dirumuskan sebagai berikut. (Rohan, 2010)

$$a = \frac{d_0 + d_m}{2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

a = kedalaman pemakanan (mm)

d_0 = diameter awal (mm)

d_m = diameter akhir (mm)

2.9.4 Waktu pemotongan

Waktu pemotongan bisa diartikan dengan panjang permesinan tiap kecepatan gerak pemakanan. Satuan waktu permesinan adalah milimeter.

Panjang permesinan sendiri adalah panjang pemotongan pada benda kerja ditambah langkah pengawalan ditambah dengan langkah pengakhiran, waktu pemotongan dirumuskan dengan (Rohan, 2010) :

$$t_c = \frac{\lambda t}{Vf} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana :

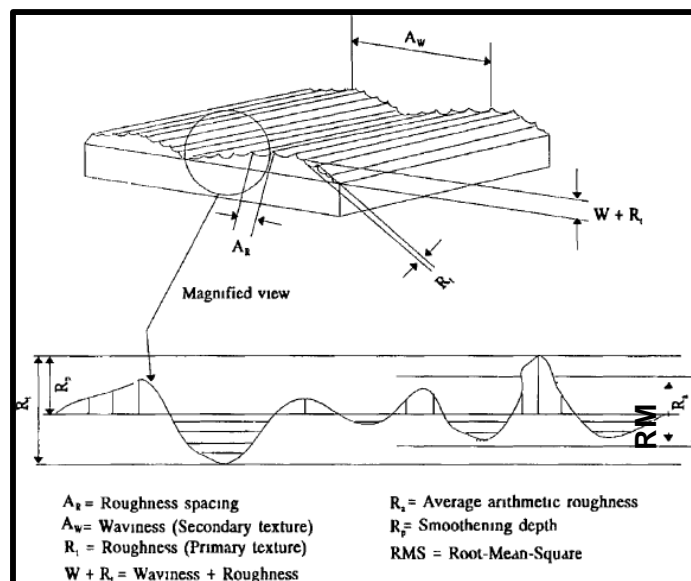
t_c = waktu pemotongan (s)

λt = panjang permesinan (mm)

Vf = kecepatan pemotongan rpm

2.10 Surface Roughness (Kekasaran Permukaan)

Di permukaan permesinan apa pun, istilah yang digunakan untuk menggambarkan kualitas geometrisnya diketahui sebagai kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan mengacu pada properti permukaan mesin. Kekasaran permukaan adalah bagian dari permukaan akhir (tekstur permukaan) yang bisa didefinisikan sebagai tanda yang ditinggalkan oleh tindakan dari proses produksi yang digunakan, seperti operasi balik. Kekasaran permukaan terdiri dari penyimpangan permukaan yang relatif tertutup atau berjarak halus biasanya dalam bentuk tanda pemakanan yang ditinggalkan oleh alat pemotong pada permukaan mesin. Diukur dengan ketinggian penyimpangan sehubungan dengan garis referensi. Tekstur permukaan permukaan mesin terdiri dari tekstur primer (kekasaran) dan tekstur sekunder. Tekstur primer dapat diukur dengan berbagai indeks seperti rata-rata tinggi kekasaran aritmatika R_a , kedalaman *smoothing* R_p , maksimal kekasaran R_z , dan tinggi RMS *root-mean-square*.

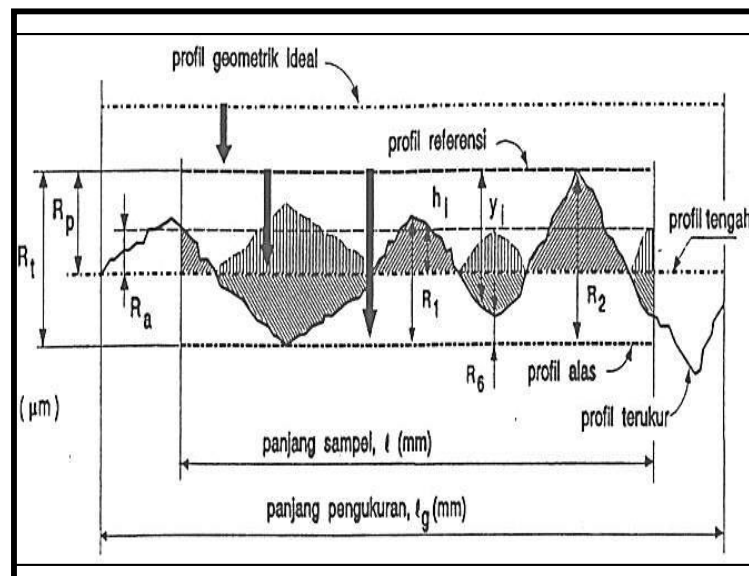


Gambar 2.18. Variasi komponen dan parameter dari kekasaran permukaan permesinan.
Sumber : (Choudhury, 1995)

Dengan pengecualian RMS, berbagai indeks ini (R_a , R_p , R_t) biasa digunakan. Indeks yang paling umum digunakan adalah tinggi kekasaran aritmatika R_a tekstur sekunder adalah bagian dari tekstur permukaan yang mendasari kekasaran. Semua jenis getaran mesin, terjadinya *built-up-edge*,

ketidakakuratan dalam pergerakan alat mesin dapat berkontribusi pada tekstur sekunder. Gambar 2.18 menunjukkan berbagai komponen dan parameter permukaan mesin. Kekasaran aritmatika rata-rata R_a juga dikenal sebagai CLA rata-rata garis tengah (Inggris) dan rata-rata aritmatika AA (Amerika) R_a dikutip dalam mikron mewakili nilai rata-rata kekasaran CLA atau kekasaran AA R_a diperoleh dengan mengukur penyimpangan rata-rata puncak dari garis tengah jejak, garis tengah ditetapkan sebagai garis di atas dan di bawah, area yang sama antara garis tengah dan jejak permukaan.

Menurut Taufiq Rochim, kekasaran akhir permukaan benda bisa ditetapkan dari banyak parameter. Parameter yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan adalah kekasaran rata-rata (R_a). Parameter ini adalah juga dikenal sebagai perhitungan nilai kekasaran AA (*arithmetic average*) atau CLA (*center line average*). R_a bersifat universal dan merupakan parameter internasional kekasaran yang paling sering digunakan.

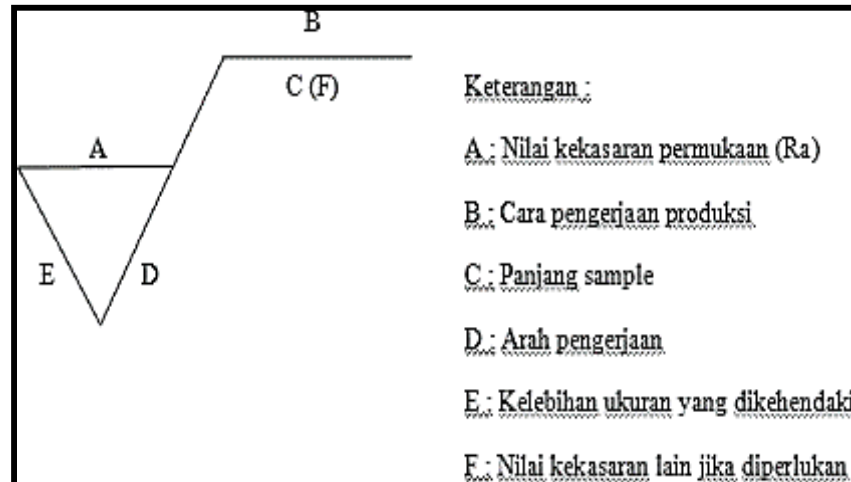


Gambar 2.19. Tekstur permukaan benda kerja
Sumber : (Rochim, 1993)

Kedalaman kehalusan R_p adalah jarak antara titik tertinggi dan rata-rata garis R_p biasanya hasil dari kondisi alat pemotong puncak maksimum. ketinggian lembah dalam jejak jejak profil permukaan dikenal sebagai R_t RMS adalah kekasaran geometris rata-rata dan merupakan standar Amerika

numerik nilainya sekitar 11% lebih tinggi dari Ra. (Choudhury, 1995)

Pada gambar teknik kekasaran permukaan biasanya dilambangkan dengan simbol yang berupa segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan. Pada segitiga ini juga terdapat beberapa angka dan symbol yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.20. Lambang kekasaran permukaan

Sumber : Analisa Kekasaran Permukaan Benda Kerja dengan Variasi Jenis Material dan Pahat Potong (Azhar, 2014)

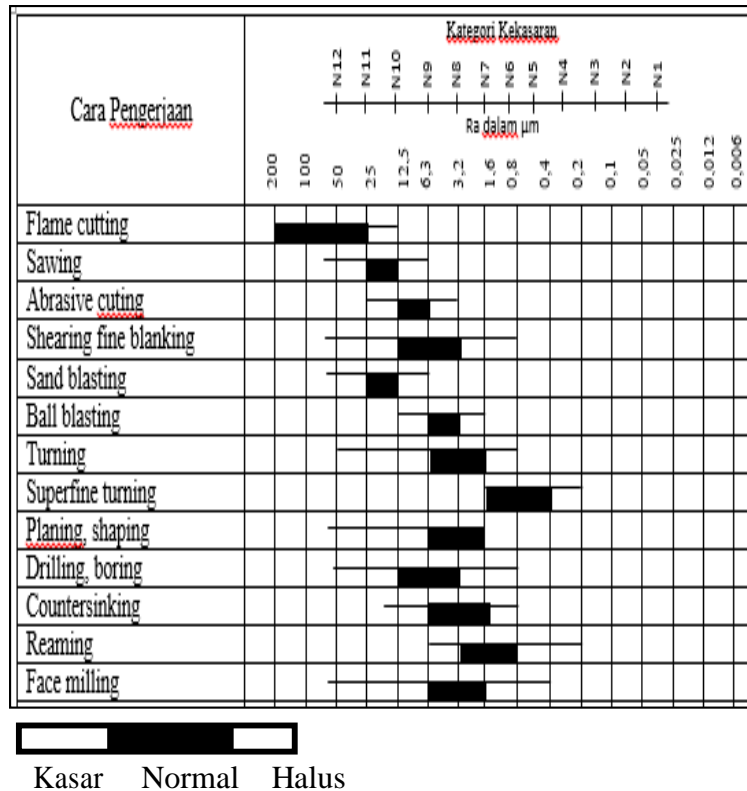
Nilai Ra telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada Tabel 2.4 dibawah ini. (Azhar, 2014)

Tabel 2.4. Angka Kekasaran permukaan (Azhar, 2017)

Kelas Kekasaran	Harga Ra (μm)	Toleransi (μm) (+50% & - 25%)	Panjang sampel (mm)
N1	0,025	0,02 – 0,04	0,08
N2	0,05	0,04 – 0,08	
N3	0,1	0,08 – 0,15	
N4	0,2	0,15 – 0,03	
N5	0,4	0,03 – 0,06	0,8
N6	0,8	0,6 – 1,2	
N7	1,6	1,2 – 2,4	
N8	3,2	2,4 – 4,8	
N9	6,3	4,8 – 9,6	2,5
N10	12,5	9,6 – 18,75	
N11	25	18,5 – 37,5	8
N12	50	37,5 – 75,0	

Berikut ini adalah acuan kelas kekasaran rata-rata untuk beberapa proses pengerjaan permesinan.

Tabel 2.5. Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan (Adzkari, 2017)



2.11 Minitab

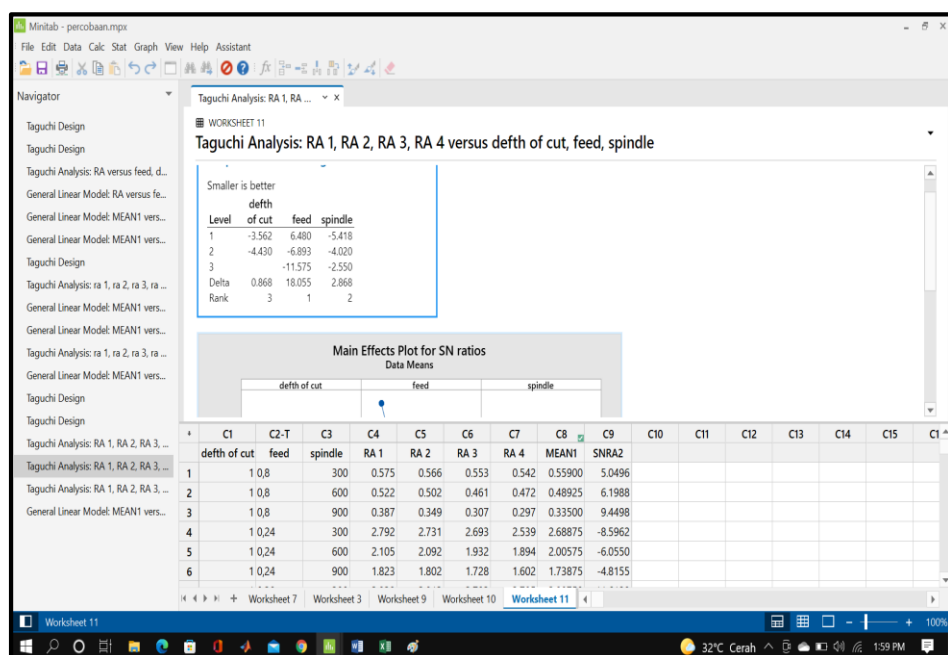
Minitab adalah program komputer yang dirancang untuk melakukan pengolahan statistik. Minitab mengkombinasikan kemudahan penggunaan layaknya Microsoft Excel dengan kemampuannya melakukan analisis statistik yang kompleks. Minitab dikembangkan di Pennsylvania State University oleh periset Barbara F. Ryan, 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.

A. Penggunaan Minitab:

1. Mengelola data dan file - spreadsheet untuk analisis data yang lebih baik.
2. Analisis regresi, Power dan ukuran sampel, dan Tabel dan grafik
3. Analisis multivariat termasuk analisis faktor, analisis kluster, analisis korespondensi dan lainnya
4. Tes Nonparametrics - berbagai tes termasuk test signal, run tes, friedman tes, dan lainnya
5. Statistical Process Control, Analisis sistem pengukuran dan Analisis varians - untuk menentukan perbedaan antar data



Gambar 2.21. Minitab 19 Metode Taguchi

2.12 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:

1. Tahap Perencanaan

Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut.

- a. Perumusan Masalah Masalah harus dirumuskan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.

- b. Penentuan Tujuan Eksperimen Tujuan eksperimen yang ditentukan harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan
- c. Penentuan Respon 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 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 kondisikondisi

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 susah 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 (ν_{mo}) dapat ditentukan dengan menjumlahkan derajat kebebasan dari faktor dan level (ν_{fl}).

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

$$\nu_{fl} = \text{jumlah level faktor} - 1 \quad (2.3)$$

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

$$\text{Jumlah eksperimen (n)} = \nu_{mo} + 1 \quad (2.4)$$

Jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada Tabel 2.6. Matriks ortogonal L4 (23) berarti jumlah eksperimen yang dilakukan adalah empat, jumlah derajat kebebasan dari matriks ortogonal (ν_{mo}) maksimal adalah tiga, serta matriks tersebut dapat digunakan untuk jumlah faktor maksimal 3 dengan masing-masing memiliki 2 level.

Tabel 2.6 Matriks Ortogonal

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

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.
3. Tahap Analisis Pada tahap ini, pengolahan data dilakukan. Selain itu, juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik pada data hasil eksperimen.
 - a. Analysis Of Variance (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. Analysis Of Variance 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).

Tabel 2.7 Tabel Analysis Of Variance (ANOVA)

Sumber Variansi	Db	SS	MS
Faktor A	ν_A	SS_A	MS_A
Faktor B	ν_B	SS_B	MS_B
Faktor C	ν_C	SS_C	MS_C
Faktor D	ν_D	SS_D	MS_D
Faktor E	ν_E	SS_E	MS_E
Faktor F	ν_F	SS_F	MS_F
Error	ν_{error}	SS_{error}	MS_{error}
Total	ν_T	SS_T	

Dimana:

$$\begin{aligned} \nu_T &= \text{derajat bebas total.} \\ &= N-1 \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \nu_A &= \text{derajat bebas faktor A.} \\ &= k_A - 1 \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} \nu_B &= \text{derajat bebas faktor B.} \\ &= k_B - 1 \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \nu_C &= \text{derajat bebas faktor C.} \\ &= k_C - 1 \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} \nu_{error} &= \text{derajat bebas error.} \\ &= \nu_T - \nu_A - \nu_B - \nu_C - \nu_D - \nu_E - \nu_F \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} T &= \text{jumlah keseluruhan.} \\ &= \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} CF &= \text{faktor koreksi.} \\ &= \frac{T^2}{N} \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$SST = \text{jumlah kuadrat total.}$$

$$= \sum_{i=1}^N y_1^2 - CF \quad (2.12)$$

$$= \sum_{i=1}^N (y_1 - T)^2 \quad (2.13)$$

SSA = jumlah kuadrat faktor A.

$$= \left[\sum_{i=0}^{kA} \left(\frac{A_1^2}{n_{A_1}} \right) \right] - CF \quad (2.14)$$

SSB = jumlah kuadrat faktor B.

$$= \left[\sum_{i=0}^{kB} \left(\frac{A_1^2}{n_{A_1}} \right) \right] - CF \quad (2.15)$$

SSC = jumlah kuadrat faktor C.

$$= \left[\sum_{i=0}^{kC} \left(\frac{A_1^2}{n_{A_1}} \right) \right] - CF \quad (2.16)$$

SSE = jumlah kuadrat error.

$$= SST - SSA - SSB - SSC - SSD - SSE - SSF \quad (2.17)$$

MSA = kuadrat tengah faktor A.

$$= SSA / v_A \quad (2.18)$$

MSB = kuadrat tengah faktor B.

$$= SSB / v_B \quad (2.19)$$

MSC = kuadrat tengah interaksi.

$$= SSC / v_C \quad (2.20)$$

MSE = kuadrat tengah error.

$$= SSE / v_E \quad (2.21)$$

kA = jumlah level faktor A.

kB = jumlah level faktor B.

N = jumlah total percobaan.

nAi = jumlah total pengamatan faktor A.

nBj = jumlah total pengamatan faktor B.

b. 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 (Soejanto, 2009) tergantung dari jenis karakteristik kualitas, yaitu:

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:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (2.22)$$

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:

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

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

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