

SKRIPSI

**OPTIMASI KUALITAS PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061 AKIBAT
PERUBAHAN SUDUT POTONG PAHAT HSS**



Oleh :

ANGGA ASTERIASTI AJI

D021 18 1012

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

SKRIPSI

**OPTIMASI KUALITAS PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061 AKIBAT
PERUBAHAN SUDUT POTONG PAHAT HSS**

DISUSUN OLEH

ANGGA ASTERLASTLAJI

D021 18 1012

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMASI KUALITAS PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061 AKIBAT
PERUBAHAN SUDUT POTONG PAHAT HSS**

Disusun dan diajukan oleh

ANGGA ASTERIASTI AJI

D021 18 1012

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas
Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal April 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.



Fauzan, ST., MT., Ph.D

Nip. 19770103 200801 1 009

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 : ANGGA ASTERIASTI AJI
NIM : D021 18 1012
JUDUL SKRIPSI : OPTIMASI KUALITAS PEMBUBUTAN ALUMINIUM
6061 AKIBAT PERUBAHAN SUDUT POTONG PAHAT
HSS

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 ijasah 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, 3 Juni 2022

Yang membuat pernyataan,



ANGGA ASTERIASTI AJI

**OPTIMASI KUALITAS PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061
AKIBAT PERUBAHAN SUDUT POTONG PAHAT HSS**

Nama : ANGGA ASTERIASTI AJI
Nim : D021 18 1012
Pembimbing I : Dr. Ir. AHMAD YUSRAN AMINY., MT
Pembimbing II : Fauzan, ST.,MT.,Ph.D

ABSTRAK

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, suatu hasil produksi harus di imbangi dengan peningkatan kualitas hasil produksi, khususnya pada proses produksi yang menggunakan mesin-mesin perkakas seperti mesin bubut, mesin skrap, mesin frais dan mesin bor. Proses permesinan merupakan proses membentuk sebuah benda kerja menjadi benda jadi dengan tujuan untuk mendapatkan produk jadi dengan ukuran, bentuk, dan kualitas permukaan yang diharapkan. Mesin Bubut adalah suatu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar. Aluminium 6061 adalah paduan aluminium yang mengandung magnesium dan silikon sebagai elemen paduan utamanya. Pahat bubut merupakan alat potong yang digunakan untuk memotong atau menyayat benda kerja yang dikerjakan pada mesin bubut. Pahat Bubut HSS Sebagian besar pahat potong yang terbuat dari baja termasuk dalam kategori baja kecepatan tinggi atau HSS (*High Speed Steel*). Geometri pahat merupakan salah satu faktor terpenting yang menentukan keberhasilan proses pemesinan. Geometri pahat harus dipilih dengan benar disesuaikan terhadap jenis matrial benda kerja, matrial pahat, dan kondisi pemotongan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas pembubutan terhadap perubahan sudut potong pahat. Dari hasil analisis didapatkan Sudut potong (K_r) yang paling optimal adalah 65° dengan nilai kekasaran $0,341 \mu\text{m}$.

Kata Kunci : Proses Permesinan, Mesin Bubut, aluminium 6061, Pahat HSS, Geometri Pahat

**OPTIMASI KUALITAS PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061
AKIBAT PERUBAHAN SUDUT POTONG PAHAT HSS**

Nama : ANGGA ASTERIASTI AJI
Nim : D021 18 1012
Pembimbing I : Dr. Ir. AHMAD YUSRAN AMINY., MT
Pembimbing II : Fauzan, ST.,MT.,Ph.D

ABSTRACT

In line with the development of science and technology, a production result must be balanced with an increase in the quality of production, especially in the production process using machine tools such as lathes, scrap machines, milling machines and drilling machines. The machining process is the process of forming a workpiece into a finished object with the aim of getting a finished product with the expected size, shape, and surface quality. A lathe is a machine tool used to cut rotating objects. Aluminum 6061 is an aluminum alloy containing magnesium and silicon as its main alloying elements. Lathe chisel is a cutting tool used to cut or slash the workpiece that is done on a lathe. HSS Lathe Tool Most cutting tools made of steel fall into the category of high speed steel or HSS (High Speed Steel). The tool geometry is one of the most important factors that determine the success of the machining process. The tool geometry must be selected correctly according to the type of workpiece material, tool material, and cutting conditions. The purpose of this study was to determine the quality of turning to changes in the cutting angle of the chisel. the roughness value is 0.341 m.

Keywords: Machining Process, Lathe, aluminum 6061, HSS Chisel, Tool Geometry.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang mengambil judul : “*Optimasi Kualitas Pembubutan Aluminium 6061 Akibat Perubahan Sudut Potong Pahat HSS*”.

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.

Terselesaikannya 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. Muhammad Isran Ramli, ST.,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 Fauzan, ST.,MT.,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 saudara(i) seperjuangan REACTOR'18 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada saudara Sudirman, Andi Dandi Reski Alam Syah, Gabriel Yuranta, Rizal Hadi, Rahmat Ramadan, Muhammad Sukmal Faraid dan Ikhsan Biring Tandea serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
10. Kepada saudara(i) seperjuangan KKN Unhas Gel.106 Sinjai 2 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada saudara Fatur Rahman Ramli, A. Nur Fakhriyah Zaenal, A. Annisa Miftahul Sakinah dan Yuliarni serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
11. Teristimewa kepada Orang Tua penulis M. Yamin Sultan dan Esti Ismayawati 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, 18 April 2022

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Simbol	xiv
BAB 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 Tinjauan Pustaka.....	4
2.1 Permesinan	4
2.2 Mesin Bubut	5
2.3 Bagian-Bagian Mesin Bubut.....	6
2.3.1 Kepala tetap (<i>Headstock</i>)	6
2.3.2 Meja Mesin (Bed)	6
2.3.3 Eretan (Carriage).....	6
2.3.4 Kepala lepas (Tail stock).....	7
2.3.5 Penjepit pahat (<i>Toolpost</i>)	7
2.3.6 Pencekam (<i>Chuck</i>)	7
2.3.7 Kran pendingin.....	7
2.4 Parameter Proses Bubut	7
2.5 Aluminium 6061.....	8
2.6 Pahat Potong	9
2.7 Geometri Alat Potong.....	9
2.8 Optimasi Geometri Pahat	11

2.9	Pahat Bubut HSS	15
2.10	Kekasaran Permukaan	16
2.11	Metode Taguchi	18
BAB 3	Metodologi Penilitan	26
3.1	Tempat Penelitian	26
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	26
3.3	Metode Penelitian	29
3.4	Variabel Penelitian	29
3.4.1	Variabel bebas	29
3.4.2	Variabel terikat	29
3.5	Pelaksanaan Penelitian	29
3.5.1	Prosedur Proses Bubut	29
3.5.2	Pengujian Kekasaran	30
3.5.3	Pengambilan Data	30
3.5.4	Flowchart Penelitian.....	31
3.6	Rencana Jadwal Penelitian	32
BAB 4	Hasil Dan Pembahasan	33
4.1	Proses Pembentukan Sudut Pahat	33
4.2	Proses Pembubutan	33
4.3	Pengambilan Data Uji Spesimen	35
4.4	Hasil Pengujian	36
4.5	Menganalisis hubungan antara kecepatan potong terhadap kekasaran akibat perubahan sudut potong.	38
4.5.1	Hubungan antara kecepatan potong terhadap kekasaran akibat perubahan perubahan sudut potong pada feed 0.05 mm/putaran.....	39
4.5.2	Hubungan antara kecepatan potong terhadap kekasaran akibat perubahan perubahan sudut potong pada feed 0.17 mm/putaran.....	40
4.5.3	Hubungan antara kecepatan potong terhadap kekasaran akibat perubahan perubahan sudut potong pada feed 0.30 mm/putaran.....	41
4.6	Menganalisis hubungan antara feed terhadap kekasaran akibat perubahan sudut potong.	42
4.6.1	Hubungan antara gerak makan (feed) terhadap kekasaran akibat perubahan sudut potong pada kecepatan putaran spindel 200 rpm.....	42

4.6.2	Hubungan antara gerak makan (feed) terhadap kekasaran akibat perubahan sudut potong pada kecepatan putaran spindel 400 rpm.....	43
4.6.3	Hubungan antara gerak makan (feed) terhadap kekasaran akibat perubahan sudut potong pada kecepatan putaran spindel 600 rpm.....	44
4.7	Menganalisis variabel paling berpengaruh antara feed dan kecepatan potong terhadap kekasaran dengan metode taguchi.	45
BAB 5	Penutup.....	51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran.....	51
	DAFTAR PUSTAKA	52
	Lampiran	54
	Lampiran 1.Hasil Penelitian.....	55
	Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian.....	57

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Komponen Mesin Bubut	5
Gambar 2.2 Geometri pahat bubut sesuai dengan DIN 6581	10
Gambar 2.3 Variasi Sudut Potong Utama Kr	14
Gambar 2.4 Parameter Kekasaran Permukaan	17
Gambar 3.1 Mesin Bubut	26
Gambar 3.2 Kunci <i>Chuck</i>	26
Gambar 3.3 Kunci Pahat	27
Gambar 3.4 Jangka sorong	27
Gambar 3.5 Kuas	27
Gambar 3.6 Gurinda	28
Gambar 3.7 Pahat HSS	28
Gambar 3.8 Surface Roughness Tester	28
Gambar 3.9 Aluminium 6061	29
Gambar 3.10 Variasi sudut potong utama pada pahat HSS	30
Gambar 3.11 Flowchart Penelitian	31
Gambar 4.1 Proses Pembentukan Sudut pahat	33
Gambar 4.2 Hasil Proses Pembubutan	35
Gambar 4.3 Proses Pengambilan Data kekasaran	36
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara kecepatan potong terhadap kekasaran akibat perubahan sudut potong pada feed 0.05 mm/putaran	39
Gambar 4.5 Hubungan antara kecepatan potong terhadap kekasaran akibat perubahan perubahan sudut potong pada feed 0.17 mm/putaran	40
Gambar 4.6 Hubungan antara kecepatan potong terhadap kekasaran akibat perubahan perubahan sudut potong pada feed 0.30 mm/putaran	41
Gambar 4.7 Hubungan antara gerak makan (feed) terhadap kekasaran akibat perubahan sudut potong pada kecepatan putaran spindel 200 rpm	42
Gambar 4.8 Hubungan antara gerak makan (feed) terhadap kekasaran akibat perubahan sudut potong pada kecepatan putaran spindel 400 rpm	43
Gambar 4.9 Hubungan antara gerak makan (feed) terhadap kekasaran akibat perubahan sudut potong pada kecepatan putaran spindel 600 rpm	44

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Spesifikasi Aluminium 6061.....	8
Tabel 2.2 Sudut Geram Optimum Bagi Pahat Bubut.....	12
Tabel 2.3 Radius Pojok Pahat	15
Tabel 2.4 Jenis Pahat HSS	15
Tabel 2.5 Nilai Kekasaran dan Tingkat Kekasaran.....	17
Tabel 2.6 Proses Pengerjaan untuk Kekasaran Permukaan	18
Tabel 2.7 Matriks Ortogonal.....	21
Tabel 2.8 Analisis Variansi (ANOVA).....	22
Tabel 4.1 Parameter Proses Pembubutan Spesimen	34
Tabel 4.2 Data Pengukuran.....	37
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Analisis Varian.....	50

Daftar Simbol

kr : Sudut Potong

vc : Kecepatan Potong

f : Gerak Makan

n : Putaran Spindel

Vt : Derajat bebas total

Verror : Derajat bebas error

CF : Faktor koreksi

JKT : Jumlah kuadrat total

JKerror : Jumlah kuadrat error

KTtotal : Kuadrat tengah total

KTerror : Kuadrat tengah error

PK : Persen Kontribusi

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses permesinan merupakan proses membentuk sebuah benda kerja menjadi benda jadi dengan tujuan untuk mendapatkan produk jadi dengan ukuran, bentuk, dan kualitas permukaan yang diharapkan. Pada proses permesinan ada beberapa proses yang ada yaitu proses bubut, proses sekrap, proses milling, proses gerinda, dan proses drilling. (Mulyadi, 2012)

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, suatu hasil produksi harus di imbangi dengan peningkatan kualitas hasil produksi, khususnya pada proses produksi yang menggunakan mesin-mesin perkakas seperti mesin bubut, mesin skrap, mesin frais dan mesin bor. Ditemukanya mesin-mesin produksi akan mempermudah dalam pembuatan komponen-komponen mesin. Adanya mesin perkakas produksi, pembuatan komponen mesin akan semakin efisien dan dengan ketelitian yang sangat tinggi. (Husein, 2015)

Dalam dunia industri, mesin-mesin perkakas sangat berperan dalam mendukung berhasilnya suatu proses produksi karena tiap bengkel mesin konstruksi dan bengkel-bengkel pengerjaan logam, pada umumnya mesin-mesin ini banyak digunakan dalam pembuatan atau perbaikan komponen tertentu dalam suatu mesin. Dari beberapa mesin perkakas yang ada salah satunya adalah mesin bubut. Mesin Bubut adalah suatu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar. Bubut sendiri merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja. Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan. (Dewangga, et al., 2017)

Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan untuk paduan aluminium 6061 telah terus meningkat pada ruang angkasa, pesawat terbang dan mobil aplikasi karena kekuatan yang sangat baik untuk rasio berat, daktilitas yang baik, ketahanan korosi dan ketahanan retak di lingkungan yang merugikan. (Leon & Vijayarangan, 2014)

Paduan aluminium 6061 juga menawarkan finishing yang bagus karakteristik dan merespon dengan baik untuk anodizing. Paduan 6061 mudah dilas dan disambung dengan berbagai metode komersial. (Singari & Mishra, 2013)

Sudut potong pahat merupakan salah satu hal yang dapat mempengaruhi hasil pengerjaan pembubutan. Kualitas permukaan potong tergantung pada kondisi pemotongan, dengan pemakaian standarisasi kecepatan potong dan sudut potong kemungkinan akan didapat hasil kerataan yang sesuai. (Susarno, 2012)

Proses bubut umumnya menggunakan pahat High Speed Steel (HSS). HSS merupakan baja paduan tinggi dengan unsur paduan utama karbon (C), Tungsten (W), Vanadium (V), Molybdenum (Mo), Cromium (Cr) ataupun Cobalt (Co). Jenis HSS yang dikenal antara lain HSS jenis Tungsten, HSS jenis Tungsten-Molybdenum dan High Performance HSS. (Rahmanto & Qamaruddin, 2016)

Sudut potong pahat HSS pada proses bubut dengan tipe pemotongan orthogonal berpengaruh signifikan terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil proses pembubutan (Husein, 2015)

Berdasarkan uraian tersebut diatas, penelitian ini dilakukan dengan menitikberatkan pada pengaruh variasi sudut pemotongan pada proses pembubutan pada material Aluminium 6061. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang **“OPTIMASI KUALITAS PEMBUBUTAN ALUMINIUM 6061 AKIBAT PERUBAHAN SUDUT POTONG PAHAT HSS”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan yaitu :

1. Bagaimana pengaruh parameter bubut dengan sudut potong utama 65° , 75° , 85° dan 90° , putaran mesin 200 rpm, 400 rpm, 600 rpm dan kecepatan makan 0,05 mm/rev, 0,17 mm/rev dan 0,30 mm/rev terhadap kekasaran permukaan dengan tipe pemotongan orthogonal ?
2. Bagaimana kontribusi yang dihasilkan oleh parameter pembubutan berdasarkan metode taguchi ?
3. Bagaimana optimasi kualitas pembubutan yang dihasilkan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh parameter bubut dengan sudut potong utama 65° , 75° , 85° dan 90° putaran mesin 200 rpm, 400 rpm, 600 rpm dan kecepatan makan 0,05 mm/rev, 0,17 mm/rev dan 0,30 mm/rev terhadap kekasaran permukaan dengan tipe pemotongan orthogonal.
2. Untuk mengetahui kontribusi yang dihasilkan oleh parameter pembubutan berdasarkan metode taguchi.
3. Untuk mengetahui optimasi kualitas pembubutan yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Material yang digunakan yaitu jenis Aluminium 6061.
2. Menggunakan pahat HSS, dimana kondisi pahat dianggap selalu sama.
3. Benda kerja yang digunakan berbentuk silinder dengan permukaan rata.
4. Sudut potong pahat yang digunakan yaitu sebesar 65° , 75° , 85° dan 90°

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam kegiatan ini, yaitu :

1. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh perubahan sudut terhadap proses bubut Aluminium 6061.
2. Dapat memberikan informasi pada bidang manufaktur .
3. Menjadi wadah pengaplikasian ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis, khususnya dalam bidang pemesinan.
4. Sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Permesinan

Proses pemesinan merupakan proses lanjutan dalam pembentukan benda kerja atau mungkin juga merupakan proses akhir setelah pembentukan logam menjadi bahan baku berupa besi tempa atau baja paduan atau dibentuk melalui proses pengecoran yang dipersiapkan dengan bentuk yang mendekati kepada bentuk benda yang sebenarnya. (Kencanawati, 2017)

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”, “P” “H” dan lain-lain. (Kencanawati, 2017)

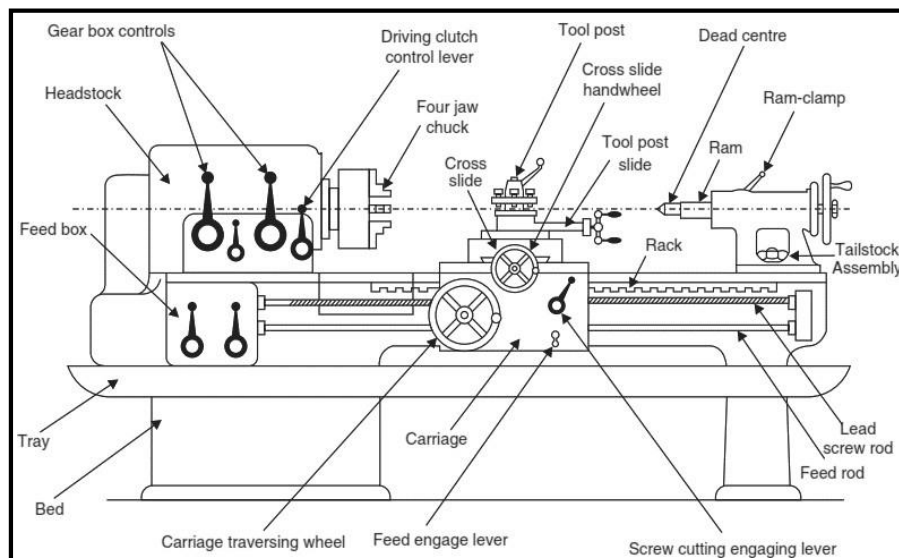
Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu : proses pemotongan dengan mesin pres, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional . Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (shearing), pengepresan (pressing) dan penarikan (drawing, elongating). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (turning), proses frais (milling), sekrup (shaping). Proses pemotongan logam ini biasanya dinamakan proses pemesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi serpihan (chips) sehingga terbentuk benda kerja. Dari semua prinsip pemotongan di atas pada buku ini akan dibahas tentang proses pemesinan dengan menggunakan mesin perkakas. 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 kompleks dilakukan dengan proses pemesinan.

Proses pemesinan seperti proses bubut, pengeboran, frais atau pemesinan baut pada dasarnya merupakan suatu proses pembuangan sebagian bahan benda kerja dimana pada proses pemotongannya akan dihasilkan serpihan (chip) yang merupakan bagian benda kerja yang akan dibuang. Pahat potong bergerak

sepanjang benda kerja dengan kecepatan V dan kedalaman pemotongan Doc . Pergerakan pahat ini mengakibatkan timbulnya geram (chip) yang terbentuk akibat proses pergeseran (shearing) secara kontinu pada bidang geser. (Kencanawati, 2017)

2.2 Mesin Bubut

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



Gambar 2.1 Komponen Mesin Bubut
Sumber: (Gupta, et al., 2009)

2.3 Bagian-Bagian Mesin Bubut

2.3.1 Kepala tetap (*Headstock*)

Kepala tetap (*Headstock*), adalah bagian dari mesin bubut yang merupakan tempat dari komponen-komponen utama penggerak dari sumbu utama (*main spindle*) yang berfungsi sebagai tempat dudukan pencekam (*Chuck*), plat pembawa, kolet, senter, pada sebuah sumbu utama (*Main spindle*) terpasang sebuah pencekam. *Thermoelectric Cooler*. (Segara, 2020)

2.3.2 Meja Mesin (*Bed*)

Meja mesin bubut juga berfungsi tempat dari dudukan kepala lepas, eretan lepas, penyangga diam (*Steady rest*) dan merupakan tumpuan dari gaya pemakanan saat pembubutan bentuk dari alas bermacam-macam, ada yang datar Permukaanya halus dan rata, sehingga gerakan dari kepala lepas bergerak lancar.

2.3.3 Eretan (*Carriage*)

Eretan (*Carriage*), adalah bagian dari komponen mesin yang digunakan untuk penyetelan dari posisi pahat HSS pada arah memanjang, ke kanan dan kiri baik secara manual dan otomatis. Eretan tersebut terdiri dari, yaitu :

1. Eretan memanjang

Eretan memanjang digunakan untuk bisa menggerakkan atau menyetel pahat kearah sumbu memanjang pada saat mesin beroperasi atau mesin dalam keadaan mati

2. Eretan melintang (*Cross carriage*)

Eretan melintang ditempatkan memanjang fungsinya agar dapat mengatur posisi pahat pada saat proses pembubutan sehingga dapat diatur mendekati atau menjauhi operator.

3. Eretan atas (*Top carriage*)

Eretan atas antara eretan melintang dan eratan atas juga dipasang support yang juga dilengkapi dengan skala serajat, juga berfungsi sebagai dudukan penjepit (*toolpost*) mata pahat pada mesin bubut.

2.3.4 Kepala lepas (Tail stock)

Kepala Lepas merupakan bagian utama dari mesin bubut yang berfungsi sebagai penopang dalam membubut benda kerja yang panjang, agar benda kerja tetap berputar pada sumbunya, meletakkan mata bor, dan tap.

2.3.5 Penjepit pahat (Toolpost)

Penjepit pahat (*Toolpost*) digunakan untuk menjepit atau memasag pahat, maka bisa menambahkan lempengan plat besi, agar posisi ujung pahat tingginya dapat satu sumbu (*senter*) dengan kepala lepas.

2.3.6 Pencekam (Chuck)

Pencekam (*Chuck*), berfungsi digunakan untuk menjepit benda kerja pada mesin bubut. Jenis cekamnya ada yang berahang 3 (tiga) sepusat (*Self centering chuck*) dan ada juga yang berahang 3 (tiga) dan 4 (empat) tidak sepusat.

2.3.7 Kran pendingin

Kran pendingin berfungsi untuk menyalurkan cairan pendingin (*bromus*) saat proses pembubutan. Pemberian cairan pendingin berfungsi untuk mendinginkan benda kerja Aluminium 6061 dan pahat potong HSS pada saat terjadinya proses pembubutan sehingga pahat tidak mudah aus.

2.4 Parameter Proses Bubut

1. Kecepatan potong, berhubungan dengan kecepatan putar dan diameter awal. Persamaan kecepatan potong : (Susarno, 2012)

$$v = \frac{D_o N}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

D_o = diameter awal

N = kecepatan putar (rpm)

2. Gerak makan, diatur dengan tuas pemilih gerak makan. Arah gerak makan bisa aksial (pada reduksi diameter dan pembuatan ulir) atau radial (pada facing)
3. Kedalaman potong, tidak boleh terlalu dalam karena pemotongan yang terlalu dalam akan menyebabkan pahat cepat rusak

4. Waktu potong berhubungan dengan panjang pemesinan
5. Panjang permesinan menentukan waktu potong dengan persamaan

$$T = \frac{L}{f_r} \dots\dots\dots(2.2)$$

T = waktu potong (menit)

L = panjang pemesinan (mm)

f_r = feed rate (mm/menit)

2.5 Aluminium 6061

Aluminium ialah unsur kimia. Lambang aluminium ialah *Al*, dan nomor atomnya 13. Aluminium ialah logam paling berlimpah. Aluminium bukan merupakan jenis logam berat, tetapi merupakan elemen yang berjumlah sekitar 8% dari permukaan bumi dan paling berlimpah ketiga.

Sifat teknik bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut. Aluminium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida di permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium.

Aluminium 6061 adalah paduan aluminium yang mengandung magnesium dan silikon sebagai elemen paduan utamanya. Awalnya disebut "Alloy 61S", ini dikembangkan pada tahun 1935. Ini memiliki sifat mekanik yang baik, menunjukkan kemampuan las yang baik, dan sangat umum diekstrusi (kedua dalam popularitas hanya 6063). Ini adalah salah satu paduan aluminium yang paling umum untuk keperluan umum.

Tabel 2.1 Spesifikasi Aluminium 6061

Spesifikasi Alumunium 6061	
Densitas	2,7g/cc
Modulus Elastisitas	68,9GPa

Kekuatan Tekan	310MPa
Kekuatan Geser	207MPa
Kekuatan tekan	120Kg/mm

Sumber: (mafad, 2006)

Aluminium ini umumnya tersedia dalam kelas pra-tempered seperti 6061-O (anil), nilai *tempered* seperti 6061-T6 (usia dioptimalkan dan buatan) dan 6061-T651 (solusi, peregangan bebas stres dan usia buatan).

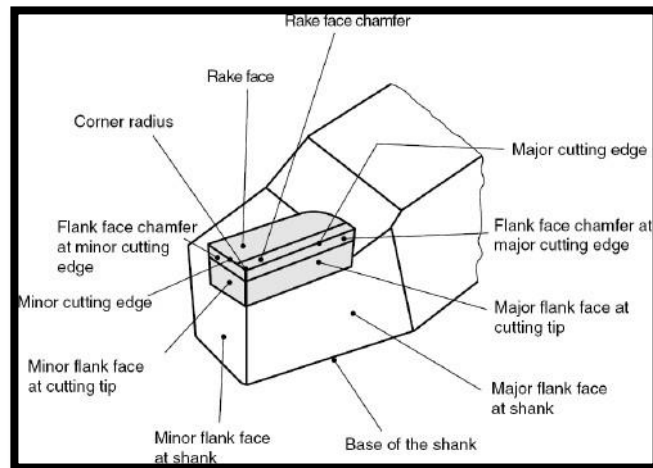
6061 sangat mudah disambung atau dilas, misalnya menggunakan pengelasan gas inert tungsten (TIG) atau pengelasan gas inert logam (MIG). Biasanya, setelah pengelasan, sifat-sifat di dekat las adalah dari 6061-T4, kehilangan kekuatan sekitar 40%. Bahan tersebut dapat dipanaskan ulang untuk mengembalikan suhu mendekati -T6 untuk seluruh bagian. Setelah pengelasan, material dapat menua secara alami dan mengembalikan kekuatannya juga. Sebagian besar kekuatan pulih dalam beberapa hari pertama hingga beberapa minggu. Namun demikian, Aluminium Design Manual merekomendasikan kekuatan desain material yang berdekatan dengan lasan untuk diambil sebagai 165 MPa / 24000 PSI tanpa perlakuan panas yang tepat setelah pengelasan.

2.6 Pahat Potong

Perkakas atau pahat potong yang digunakan pada mesin perkakas untuk proses pemesinan merupakan komponen yang utama. Menurut bentuk keseluruhan, pahat potong dapat dikenali dengan nama yang dikaitkan dengan proses pemesinan seperti, pahat bubut (*turning tools*), pahat gurdi (*drilling tools*), pahat pelubang (pelebar dan penghalus lubang, *boring tools*), pahat ulir (*threading tools*), pahat freis (*milling cutter*), pahat sekrap (*shaping tools*) dan pahat gergaji (*saw*) (Husein, 2015)

2.7 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 2.2.



Gambar 2.2 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).

2.8 Optimasi Geometri Pahat

Proses pemesinan menggunakan pahat sebagai perkakas potong dan geometri pahat tersebut merupakan salah satu faktor terpenting yang menentukan keberhasilan proses pemesinan. Geometri pahat harus dipilih dengan benar disesuaikan terhadap jenis material benda kerja, material pahat, dan kondisi pemotongan. Sehingga salah satu atau beberapa objektif seperti tingginya umur pahat, rendahnya gaya atau daya pemotongan, halusness permukaan, dan ketelitian geometri produk dapat tercapai. Untuk itu akan dibahas optimisasi geometri pahat bubut yaitu sudut-sudut pahat.

1. Sudut Bebas atau *clearance angle* (α_0)

Fungsinya adalah mengurangi gesekan antara bidang utama dengan bidang transien dari benda kerja, sehingga temperatur tinggi akibat gesekan dapat dihindari dan keausan tepi pahat tidak cepat terjadi.

Gerak makan akan menentukan harga sudut bebas, semakin besar gerak makan maka gaya pemotongan akan semakin besar sehingga untuk memperkuat pahat dibutuhkan sudut penampang β_0 yang besar, yaitu dengan memperkecil sudut bebas α bila sudut

geraknya tetap. Sebagai petunjuk umum dalam pemesinan baja, harga sudut bebas ditentukan sesuai dengan gerak makan, yaitu:

$$f \leq 0,2 \text{ mm/Rev, maka } \alpha = 12^\circ$$

$$f > 0,2 \text{ mm/Rev, maka } \alpha = 8^\circ$$

2. Sudut Geram atau *rake angle* (γ_0)

Sudut geram adalah sudut kiri bidang geram terhadap bidang normal sama seperti sudut bebas, sudut geram juga memiliki harga optimum. Untuk kecepatan potong tertentu, sudut geram yang besar akan menurunkan rasio penempatan tebal geram (γ_h) yang mengakibatkan kenaikan sudut geser (ϕ) yang besar akan menurunkan penampang bidang geser (A_{shi}) sehingga gaya potong menurun, tapi

sudut geram (γ) yang terlalu besar akan mengakibatkan proses perambatan panas sehingga temperatur naik, hal ini mengakibatkan menurunnya umur pahat.

Jenis material benda kerja juga mempengaruhi pemilihan sudut geram. Pada prinsipnya untuk material lunak dan ulet memerlukan sudut geram yang besar (untuk mempermudah proses pembentukan geram). Bagi material yang keras dan rapuh (*hard & brittle*) dibutuhkan sudut geram yang lebih kecil atau negatif (untuk memperkuat pahat). Sebagai petunjuk umum untuk menentukan sudut geram dapat digunakan dengan catatan bahwa pahat karbida selalu digunakan pada kecepatan potong yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan potong untuk pahat HSS.

Tabel 2.2 Sudut Geram Optimum Bagi Pahat Bubut

Benda Kerja	ϕ (derajat)	
	HSS	Karbida
Baja karbon & baja paduan $\delta u < 480$ N/mm ²	25	5 s.d 10
Kuningan ulet (<i>ductile brass</i>)	25	5 s.d10
Baja karbon & baja paduan $\delta u = 480$ s/d 770 N/mm ²	18	-5
Besi tuang malleable < 160 BHN	18	-5
Baja Karbon / Paduan & Baja Tuang < 770 s.d 1170 N/mm ²	12	-10
Besi Tuang Kelabu & Malleable	12	-5 s.d 0
Kuningan & Perunggu Getas (<i>brittle brass & bronze</i>)	12	-5 s.d 0
Besi Tuang (<i>cast iron</i>) > 220 BHN	5	-10 s.d -5

Sumber: (Rochim, 2007)

3. Sudut Miring (λ_s)

Sudut miring mempunyai arah aliran geram, bila berharga nol maka aliran geramnya tegak lurus mata potong. Dengan adanya sudut miring, maka panjang kontak antara pahat dan benda kerja menjadi lebih diperpanjang. Temperatur bidang kontak akan mencapai harga minimum bila $\lambda = +5^\circ$ untuk proses penghalusan (*finishing*) dan -5° untuk proses pengasaran (*roughing*).

4. Sudut Potong utama (K_r)

Sudut potong utama memiliki peran antara lain, yaitu:

- Menentukan lebar dan tebal geram sebelum terpotong (b dan h).
- Menentukan panjang mata potong yang aktif atau panjang kontak antara geram dengan bidang pahat.
- Menentukan besarnya gaya radial.

Gaya radial akan membesar dengan pengecilan, hal ini akan menyebabkan lenturan yang besar ataupun getaran sehingga menurunkan ketelitian geometri dan hasil pemotongan terlalu besar. Untuk kedalaman potong dan gerak makan yang tetap, dan dengan memperkecil sudut potong utama akan menurunkan tebal geram sebelum terpotong dan menaikkan lebar geram, sebagai rumus berikut:

$$h = f \sin K_r \dots\dots\dots(2.3)$$

$$b = a / \sin K_r \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana:

h = tebal geram

f = gerak makan

K_r = sudut potong utama

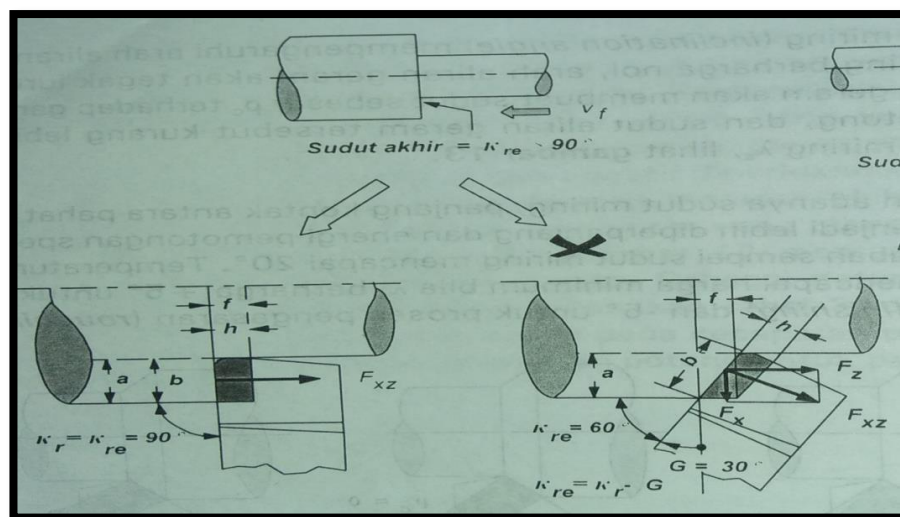
b = harga lebar

a = kedalaman pemakanan

Tebal geram yang kecil secara langsung akan menurunkan temperatur pemotongan. Sehingga temperatur pahat akan relatif rendah. Dengan demikian umur pahat akan lebih tinggi, dengan kata lain kecepatan potong dapat lebih dipertinggi untuk menaikkan kecepatan

produksi. Akan tetapi, pemakaian sudut potong utama yang kecil tidak akan selalu menguntungkan sebab akan menaikkan gaya radial.

Gaya radial yang besar mungkin menyebabkan lenturan yang terlalu besar ataupun getaran, sehingga menurunkan ketelitian geometrik produksi dan hasil pemotongan terlalu kasar. Tergantung pada kekakuan benda kerja dan pahat serta metode pengecam benda kerja serta sudut akhir atau geometri benda kerja, maka operator mesin dapat memilih pahat dengan sudut yang cocok.



Gambar 2.3 Variasi Sudut Potong Utama K_r
Sumber: (Rochim, 2007)

5. Sudut Potong Bantu (K^1_r)

Pada prinsipnya sudut potong bantu dapat dipilih sekecil mungkin karena selain memperkuat ujung pahat, maka kehalusan produk dapat dipertinggi. Yang menjadi masalah adalah kekakuan sistem pemotongan karena sudut potong bantu yang kecil akan mempertinggi gaya radial (F_x), sebagai petunjuk:

Sistem pemotongan yang kaku, (K^1_r) = 5° s.d 10°

Sistem pemotongan yang lemah, (K^1_r) = 10° s.d 20°

6. Radius Pojok ($r\epsilon$)

Radius pojok berfungsi untuk memperkuat ujung pertemuan antara mata potong utama (S) dengan mata potong minor (S^1), selain itu menentukan kehalusan permukaan hasil pemotongan. Untuk yang relatif besar, maka bersama-

sama dengan gerak makan yang dipilih sehingga mempengaruhi kehalusan permukaan produk.

Tabel 2.3 Radius Pojok Pahat

a = mm	r _c = mm
0 s.d. 3	0.5 s.d. 0.8
3 s.d. 10	0.8 s.d. 1.5
10 s.d. 20	1.5 s.d. 2.0

Sumber: (Rochim, 2007)

2.9 Pahat Bubut HSS

Pahat bubut merupakan alat potong yang digunakan untuk memotong atau menyayat benda kerja yang dikerjakan pada mesin bubut. Pahat bubut dipasang di dalam rumah pahat pada mesin bubut. Pahat bubut dibedakan menjadi 2 jenis material, yaitu material HSS (High Speed Steel) dan material carbide. (Patriadicka, 2021)

Pahat Bubut HSS Sebagian besar pahat potong yang terbuat dari baja termasuk dalam kategori baja kecepatan tinggi atau HSS (*High Speed Steel*). Dua kelompok utama dari kategori ini adalah *molibden* (M1, M2 dan seterusnya, biasanya dengan 0.8% C, 4% Cr, 5-8% Mo, 0,6% W dan 1-2% V) dan jenis *tungsten* (seperti T1, dengan 0,7C-4Cr-18W-1V) (A. Schey John, 2000).

Tabel 2.4 Jenis Pahat HSS

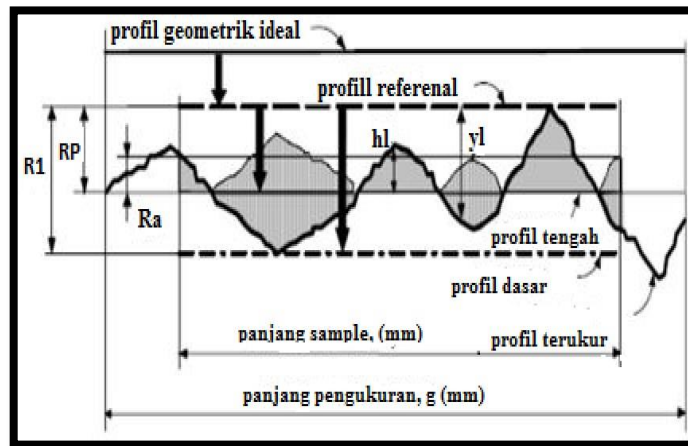
Jenis HSS	Standart AISI
1. HSS Konvensional	
a. Molibdenum HSS	M1, M2, M7, M10
b. Tungsten HSS	T1, T2
2. HSS Spesial	
a. Cobal added HSS	M33, M36, T4, T5, T6
b. High Vanadium HSS	M3-1, M3-2, M4, T15

c. High Hardness Co HSS	M41, M42, M43, M44, M45, M46
d. Cast HSS	
e. Powdered HSS	
f. Coated HSS	

Sumber: (Husein, 2015)

2.10 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan suatu karakteristik permukaan dan ketidakraturan konfigurasi permukaan berupa guratan yang terlihat pada profil permukaan. Kekasaran permukaan dapat juga dikatakan jarak penyimpangan rata-rata dari garis rata-rata profil. Faktor yang mempengaruhi nilai kekasaran antara lain yaitu mekanisme parameter pemotongan, geometri dan dimensi pahat, cacat pada material benda kerja dan kerusakan pada aliran geram. Hasil pembubutan adalah benda kerja yang dihasilkan setelah mendapat perlakuan pada mesin bubut yang meliputi pengurangan ukuran karena pemakanan yang dilakukan oleh pahat. Hasil pembubutan dapat dikatakan baik atau buruk didasarkan dua faktor, yaitu ketepatan pada ukuran-ukurannya (kepresisian) dan tingkat kualitas permukaan yang dihasilkan. Melihat kedua faktor tersebut maka hasil bubutan dapat dikatakan baik apabila benda kerja mempunyai tingkat kekasaran yang rendah (halus), benda kerja yang dikerjakan dengan mesin dan dilakukan pemotongan pada permukaan tidak dapat rata atau halus sama sekali, tetapi akan meninggalkan berkas berupa lembah atau puncak yang disebut kekasaran permukaan. Adapun profil-profil kekasaran permukaan sebagai berikut :



Gambar 2.4 Parameter Kekasaran Permukaan
 Sumber : (Rochim, 2001)

Nilai penyimpangan rata-rata aritmatika telah diklasifikasikan oleh ISO menjadi 12 tingkat kekasaran. Tingkat kekasaran ini dilambangkan dari N1 hingga N12 seperti tabel berikut :

Tabel 2.5 Nilai Kekasaran dan Tingkat Kekasaran

Kekasaran Ra (μm)	Tingkat Kekasaran	Panjang sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12.5	N10	2.5
6.3	N9	
3.2	N8 N7 N6	0.8
1.6	N5	
0.8		
0.4		
0.2	N4 N3	0.25
0.1	N2	
0.05		
0.025	N1	0.08

Sumber : (Rochim, 2001)

Dalam proses permesinan pada pengerjaan akhir untuk menentukan kekasaran permukaan objek yang dikerjakan pada proses permesinan bubut

(*turning*), dimana kekasaran permukaan rata-rata (Ra) yang distandarkan dapat dilihat dari tabel dibawah ini :

Tabel 2.6 Proses Pengerjaan untuk Kekasaran Permukaan

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga Ra
Flat and cylindrical lapping,	N1-N4	0.025-0.2
Superfinisihing Diamond turning	N1-N6	0.025-0.8
Flat cylindrical grinding Finising	N1-N8	0.025-3.2
	N4-N8	0.1-3.2
Face and cylindrical tuning, milling and reaming Drilling	N5-N12	0.4-50.0
	N7-N10	1.6-12.5
Shapping, planning, horizontal milling	N6-N12	0.8-50.0
Sandcasting and forging	N10-N11	12.5-25.0
Extruding, cold rolling, drawing	N6-N8	0.8-3.2
Die casting	N6-N7	0.8-1.6

Sumber : (Munandi, 1980)

2.11 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 :

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 mengefisiensikan 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 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 & Cl, 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:

$$\nu_{fl} = \text{jumlah level faktor} - 1$$

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

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

Jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada Tabel 2.4. Matriks ortogonal $L_4 (2^3)$ 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 2.7 Matriks Ortogonal

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Level Gabungan
$L_4 (2^3)$	$L_9 (3^4)$	$L_{16} (4^3)$	$L_{25} (5^6)$	$L_{18} (2^1 \times 3^7)$
$L_8 (2^7)$	$L_{27} (3^{13})$	$L_{64} (4^{21})$		$L_{32} (2^1 \times 4^9)$
$L_{12} (2^{11})$	$L_{81} (3^{40})$			$L_{36} (2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16} (2^{13})$				$L_{36} (2^3 \times 3^{13})$
$L_{32} (2^{31})$				$L_{54} (2^1 \times 3^{25})$
$L_{54} (2^{63})$				$L_{50} (2^1 \times 5^{11})$

Sumber : (Soejanto, 2009)

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. 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 2.8 Analisis Variansi (ANOVA)

Sumber Variansi	db	SS	MS
Faktor A	v_A	SS_A	MS_A
Faktor B	v_B	SS_B	MS_B
Faktor C	v_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	

Sumber : (Soejanto, 2009)

Dimana:

$$\nu_T = \text{derajat bebas total.} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$= N - 1$$

$$\nu_A = \text{derajat bebas faktor A.} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$= k_A - 1$$

$$\nu_B = \text{derajat bebas faktor B.} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$= k_B - 1$$

$$\nu_C = \text{derajat bebas faktor C.} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$= k_C - 1$$

$$\nu_{error} = \text{derajat bebas error.} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$= \nu_T - \nu_A - \nu_B - \nu_C - \nu_D - \nu_E - \nu_F$$

$$T = \text{jumlah keseluruhan.} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$= \sum_{i=1}^n y_i$$

$$CF = \text{faktor koreksi.} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$= \frac{T^2}{N}$$

$$SST = \text{jumlah kuadrat total.} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$= \sum_{i=1}^N y_i^2 - CF$$

$$= \sum_{i=1}^N (y_i - T)^2$$

$$SSA = \text{jumlah kuadrat faktor A.} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$= \left[\sum_{i=0}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - CF$$

$$SSB = \text{jumlah kuadrat faktor B.} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$= \left[\sum_{i=0}^{k_B} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - CF$$

$$SSC = \text{jumlah kuadrat faktor C.} \dots\dots\dots(2.15)$$

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

$$SSE = \text{jumlah kuadrat error.} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$= SST - SSA - SSB - SSC - SSD - SSE - SSF$$

$$MSA = \text{kuadrat tengah faktor A.} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$= SSA / vA$$

$$MSB = \text{kuadrat tengah faktor B.} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$= SSB / vB$$

$$MSC = \text{kuadrat tengah interaksi.} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$= SSC / vC$$

$$MSE = \text{kuadrat tengah error.} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$= SSE / vE$$

$$kA = \text{jumlah level faktor A.}$$

$$kB = \text{jumlah level faktor B.}$$

$$N = \text{jumlah total percobaan.}$$

$$n_{Ai} = \text{jumlah total pengamatan faktor A.}$$

$$n_{Bj} = \text{jumlah total pengamatan faktor B.}$$

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:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \dots\dots\dots(2.21)$$

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

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

3. Semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan nonnegatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. 27 Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

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