

SKRIPSI

**OPTIMASI PERMESINAN BUBUT POROS ST.60 DENGAN
VARIASI KECEPATAN POTONG DAN KEDALAMAN
POTONG**

FIRMANSYAH

D211 16 020



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

SKRIPSI
OPTIMASI PERMESINAN BUBUT POROS ST.60 DENGAN
VARIASI KECEPATAN POTONG DAN KEDALAMAN
POTONG

Disusun dan diajukan oleh:

FIRMANSYAH

D21116020

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMASI PERMESINAN BUBUT POROS ST.60 DENGAN VARIASI KECEPATAN
POTONG DAN KEDALAMAN POTONG**

Disusun dan diajukan oleh

FIRMANSYAH

D21116020

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal 12 April 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

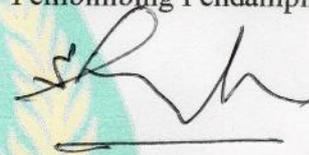
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



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

NIP. 19580921 198603 1 003



Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T.

NIP. 195709141 98703 1 001

Ketua Program Studi,



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

NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Firmansyah
NIM : D211 16 020
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

**“OPTIMASI PERMESINAN BUBUT POROS ST.60 DENGAN VARIASI
KECEPATAN POTONG DAN KEDALAMAN POTONG”**

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

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

Gowa, 25 Maret 2021

Yang membuat pernyataan,



Firmansyah

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

❖ Data diri

Nama : Firmansyah
Tempat Tanggal Lahir : Po'riga, 22 Januari 1997
Alamat : Jl.STPP gowa
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Telepon : 085398582684
E-mail : firmansyahbur@gmail.com

❖ Riwayat Pendidikan

- SDN 150 Baibo (2003-2009)
- YPST Tampumia (2010 – 2013)
- SMK Latanro Enrekang (2013 – 2016)

❖ Riwayat Organisasi

- OKFT-UH
- HMM FT-UH
- MARCH HMM FT-UH
- HPMM KOM. UNHAS

ABSTRACT

Firmansyah (D21116020). Optimization of St.60 Shaft lathe with variations in cutting speed and depth of cut. (Supervised by Dr.Ir. Yusran Aminy, MT and Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT.). This study aims to (1) get the relationship between cutting power with variations in rotation, depth and infeed speed of the ST 60 turning (2) Obtaining the minimum power on the steel workpiece turning shaft ST 60. The turning parameter greatly affects the size of the power, where the greater the turning parameter, the greater the power that occurs.

The results obtained from this study are that the highest power consumption is loaded by the maximum feeding speed at all spindle speed levels, this is indicated by changes in the spindle speed from 490 rpm to 750 rpm indicating a smaller change in cutting power. While the increase in cutting power significantly increased from the spindle speed of 750 rpm to 1000 rpm. Experimental results were obtained where the minimum cutting power was 1299.61 watts at a spindle speed of 490 rpm with an infeeding speed of 0.05 mm / rotation and a depth of cut 0.5 mm. The spindle rotation speed greatly affects the power consumption in the turning process where the higher the spindle speed, the greater the power that occurs.

Optimization using the most optimal power taguchi method in this study occurred at the cutting power of 1299.61 watts 490 rpm with a feeding motion of 0.05 mm / rotation with an infeed depth of 0.5 mm.

ABSTRAK

Firmansyah (D21116020). Optimasi permesinan bubut Poros St.60 Dengan variasi kecepatan potong dan kedalaman potong. (Dibimbing oleh Dr.Ir. Yusran aminy, MT dan Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT.). Penelitian ini bertujuan untuk (1) Mendapatkan hubungan daya potong dengan variasi putaran, kedalaman dan kecepatan pemakanan pada pembubutan ST 60 (2) Mendapatkan daya minimum pada poros pembubutan benda kerja baja poros ST 60 . Parameter pembubutan sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya daya, dimana semakin besar parameter pembubutan maka semakin besar daya yang terjadi.

Hasil yang di peroleh dari penelitian ini yaitu Konsumsi daya tertinggi dimuat oleh kecepatan pemakanan maksimum disemua tingkat kecepatan spindel, hal ini ditunjukkan perubahan kecepatan spindel dari 490 rpm ke 750 rpm menunjukkan perubahan daya potong yang lebih kecil. Sedangkan peningkatan daya potong signifikan meningkat dari kecepatan spindel 750 rpm ke 1000 rpm. Didapatkan hasil eksperimen dimana daya potong minimum yaitu 1299.61 watt pada kecepatan spindel 490 rpm dengan kecepatan pemakanan 0.05 mm/putaran dan kedalaman potong 0.5 mm. kecepatan putaran spindel sangat mempengaruhi konsumsi daya dalam proses pembubutan dimana semakin tinggi kecepatan spindel maka semakin besar daya yang terjadi.

Optimasi menggunakan metode taguchi daya yang paling optimal pada penelitian ini terjadi pada daya potong 1299.61 watt 490 rpm dengan gerak makan 0,05 mm/putaran dengan kedalaman pemakanan 0,5 mm.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis haturkan kepada kehadiran Allah SWT atas anugerah, taufik, hidayah dan inayah-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Optimasi permesinan bubut Poros St.60 Dengan variasi kecepatan potong dan kedalaman potong”** ini dapat diselesaikan pada tepat waktunya. Salam dan shalawat kepada Nabi Muhammad SAW sebagai tauladan yang menghantarkan kita dari alam yang gelap dan jahiliah menuju alam terang benderang. Skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semoga adanya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi khazanah pengetahuan ilmu teknik mesin untuk pengembangan keilmuan di Departemen Teknin Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi masih jauh dari sempurna, dan banyak baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis. Sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun mudah-mudahan dikemudin hari dapat memperbaiki segala kekurangannya.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada orang tua terkhususnya Burhan & Syamsidar serta H. Hasniar dan saudara-saudara saya

yang selalu memberikan motivasi, support dan kasih sayang serta doa restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Tak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT selaku pembimbing pertama atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir.
2. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT., selaku Dosen Pembimbing II yang juga telah memberikan waktu, arahan, dan masukan selama proses pengerjaan skripsi ini.
3. Dr.Eng Jalaluddin, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST, MT, selaku sekertaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Marthen selaku Plp Laboratorium Teknologi Mekanik Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Mesin atas bimbingan dan arahan, didikan, serta motivasi yang telah diberikan selama empat tahun terakhir ini.
7. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh

perkuliahan terutama kepada staf Departemen Teknik Mesin Kak Suri, Pak Iwan, dan Pak Mansur.

8. Teman-teman seperjuangan COMPREZZOR 2016 yang telah menjadi saudara selama ini yang selalu ada dalam suka maupun duka di bangku perkuliahan
9. Teman-teman seperjuangan, PULMAN 2016 dan berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis ucapkan terimakasih atas kehangatan, bantuan, dan doa yang diberikan.
10. Padamu, pemilik hati yang tak pernah kumiliki. Yang hadir sebagai bagian dari kisah hidupku.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan ini masih belum sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak.

Gowa , 14 Februari 2021

Penulis,

Firmansyah

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	iv
ABSTRACT.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Pengertian Proses Permesinan	4
2.1.1. Mesin Bubut (<i>Turning</i>)	7
2.1.2. Variabel Permesinan	10
2.2. Pahat Bubut.....	14
2.2.1. Geometri Pahat Bubut.....	16
2.2.2. Pahat Karbida.....	16
2.3. Konsumsi Energi.....	18
2.4. Baja ST60.....	23
2.5. Optimasi.....	24
2.6. Komponen waktu produksi	25
2.7. Metode taguchi.....	26
2.7.1. Tahap perencanaan	26

2.7.2. Tahap pelaksanaan	29
2.7.3. Tahap analisis.....	30
2.7.4. Rasio S/N	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.2. Alat dan Bahan.....	34
3.2.1. Alat.....	34
3.2.2. Bahan	37
3.3. Metode Pengambilan Data	38
3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	39
3.4.1. Proses Pembubutan	39
3.5. Diagram Alir Penelitian	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Mencari nilai rata-rata pada variasi kedalaman.....	41
4.2. Mencari nilai Daya listrik setiap kutup p (ampere).....	43
4.3. Mencari nilai daya potong Pp (Watt)	46
4.4. Menganalisis hubungan antara kecepatan potong terhadap gerak makan akibat kedalaman potong 0,5 mm	47
4.5. Menganalisis hubungan antara kecepatan potong terhadap gerak makan akibat kecepatan kedalaman potong 1 mm.....	49
4.6. Hubungan antara kecepatan spindle terhadap gerak makan akibat perubahan kecepatan kedalaman potong 1,5 mm	51
4.7. Optimasi proses permesinan bubut pada baja ST.60.	52
4.7.1. Menentukan nilai optimum pengukuran kuat arus listrik pada pembubutan ST 60	52
4.7.2. Analisis varian (ANOVA)	56
BAB V PENUTUP.....	58
5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen Mesin Bubut	8
Gambar 2. 2 Gerakan Pada Proses Pembubutan	9
Gambar 2. 3 Panjang permukaan benda kerja.....	10
Gambar 2. 4 Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h).....	11
Gambar 2. 5 Geometri pada pahat bubut	16
Gambar 3. 1 Mesin bubut.....	34
Gambar 3. 2 Holder MTENN2020K16.....	35
Gambar 3. 3 Pahat sisipan karbida TNMG160404-MA UE6020.....	36
Gambar 3. 4 Tang Ampere.....	37
Gambar 3. 5 Baja ST 60.....	37
Grafik 4. 1 Hubungan daya dan kecepatan putaran spindel pada kedalaman 0,5 mm	47
Grafik 4. 2 Hubungan daya dan kecepatan putaran spindel pada kedalaman 1 mm	49
Grafik 4. 3 Hubungan daya dan kecepatan putaran spindel pada kedalaman 1,5 mm	51
Grafik 4. 4 Gambar plot rata-rata untuk respon daya optimum (<i>small is better</i>) Menggunakan aplikasi minitab17	56
Grafik 4. 5 Nilai hasil perhitungan Analisis Varian Rata-rata Menggunakan aplikasi minitab17.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 variabel permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan.	13
Tabel 2. 2 analisis Variansi (ANAVA)	30
Tabel 3. 1 Komposisi kimia Baja karbon ST60	38
Tabel 3. 2 Sifat Mekanik Baja karbon ST60.....	38
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran.	42
Tabel 4. 2 Data Hasil pengukuran.....	44
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Daya Potong	46
Tabel 4. 4 Variabel Bebas Penelitian.	53
Tabel 4. 5 .Hasil perhitungan rasio S/N (signal to noise Rasio) <i>Small is better</i> Minitab17	55

DAFTAR NOTASI

V_c	= Kecepatan potong (m/menit)
D	= Diameter benda kerja (mm)
D_o	= Diameter mula (mm)
D_f	= Diameter akhir (mm)
L_t	= Panjang pemotongan (mm)
A	= Kedalaman potong (mm)
F	= Gerak makan (mm/putaran)
N	= Putaran poros utama (putaran/menit)
ν_A	= Derajat bebas faktor A
ν_T	= Derajat bebas total
ν_{error}	= Derajat bebas error
T	= Jumlah keseluruhan
CF	= Faktor koreksi
SS_A	= Jumlah kuadrat faktor A
SS_T	= Jumlah kuadrat total
SS_E	= Jumlah kuadrat error
MS_A	= Kuadrat tengah faktor A
MS_C	= Kuadrat tengah interaksi
MS_E	= Kuadrat tengah error

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Operasi pemotongan logam merupakan salah satu aktivitas yang sering dilakukan dalam industri manufaktur, khususnya untuk memproduksi bagian-bagian permesinan. Lebih kurang 80% dari keseluruhan kegiatan yang ada pada operasi proses pemotongan logam menggunakan proses bubut (Nakaminami, dkk. 2007).

Proses bubut adalah proses pemesinan untuk menghasilkan bagian-bagian mesin berbentuk silindris yang dikerjakan dengan menggunakan mesin bubut. Pada proses ini, merupakan salah satu proses mesin pemotong dengan gerak utama berputar, benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja akibatnya terjadilah penyayatan (Widarto 2008).

Variabel permesinan pada proses pembubutan adalah variabel yang diatur pada mesin bubut yang berguna untuk mengatur kualitas hasil permesinan bubut. Pada proses pemesinan, penentuan penyetelan parameter proses yang tepat untuk mencapai respon yang optimum sangat penting dilakukan secara efektif. Hal ini bertujuan untuk mengurangi proses coba-coba sehingga waktu dan biaya proses pemesinan dapat di minimalkan. Material baja poros yang dijumpai dipasaran, yaitu baja yang biasa digunakan sebagai komponen peralatan dan mesin industri, salah satunya adalah baja ST 60. Baja ST 60 umumnya digunakan sebagai poros

karena memiliki nilai kekerasan yang cukup tinggi dan memiliki ketahanan pada putaran tinggi

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilatar belakangi adanya keinginan dilakukan optimasi proses pemesinan bubut pada baja karbon ST.60 dengan variabel pemesinan yang bervariasi sehingga diperoleh hasil proses yang optimum.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah yang di angkat dalam penelitian ini adalah bagaimana melakukan optimasi pemesinan bubut pada material baja ST.60 dengan parameter pemesinan yang bervariasi.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan hubungan daya potong dengan variasi putaran , kedalaman dan kecepatan pemakanan pada pembubutan ST 60.
2. Mendapatkan daya minimum pada pembubutan benda kerja baja poros ST. 60

1.4. Batasan masalah

1. Benda kerja yang digunakan berbentuk silinder dengan permukaan rata.
2. Variabel pemesinan yang divariasikan yaitu kecepatan putaran spindel (650 rpm, 750 rpm dan 1000 rpm) dan kedalaman pemotongan (0,5 mm, 1 mm dan 1,5 mm).
3. Proses pemesinan yang dilakukan adalah pembubutan rata permukaan tanpa pendinginan.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variabel permesinan pada material baja ST.60 terhadap proses pembubutan
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.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Proses Pemesinan

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

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

Setiap jenis alat mesin dasar memiliki banyak konfigurasi yang berbeda. misalnya, mesin bubut turet mesin bubut, mesin pelacak roda, atau mesin sekrup otomatis. Mesin bubut telah mengikuti tren alat mesin lainnya, dan mesin bubut

NC sekarang dapat dibeli secara mudah. Proses pembentukan chip utama tercantum di bawah ini, dengan versi alternatif dalam tanda kurung. Setiap proses adalah dilakukan pada satu atau lebih peralatan mesin dasar. Misalnya, pengeboran dapat dilakukan pada mesin bor, penggilingan mesin, mesin bubut, dan beberapa mesin diantaranya :

- *Turning (boring, facing, cutoff, taper turning, form cutting, chamfering, recessing, thread cutting).*
- *Shaping (planing, vertical shaping)*
- *Milling (hobbing, generating, thread milling)*
- *Drilling (reaming, tapping, spot facing, counterboring, countersinking)*
- *Sawing (filing)*
- *Abrasive machining (grinding, honing, lapping)*

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

Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu : proses pemotongan dengan mesin press, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional . Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (*shearing*), pengepresan (*pressing*) dan penarikan (*drawing elongating*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*), sekrup (*shaping*). Proses

pemotongan logam ini biasanya dinamakan proses pemesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi beram (*chips*) sehingga terbentuk benda kerja. Proses pemesinan adalah proses yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Diperkirakan sekitar 60% sampai 80% dari seluruh proses pembuatan suatu mesin yang komplit dilakukan dengan proses pemesinan. Berikut ini adalah klasifikasi proses permesinan yaitu:

1. Berdasarkan Gerak Relatif Pahat

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

- Gerak potong (*cutting movement*), Dimana gerak potong adalah gerak yang menghasilkan permukaan baru pada benda kerja.
- Gerak makan (*feeding movement*), Gerak makan adalah gerak yang menyelesaikan permukaan baru yang telah di potong oleh gerak potong.

2. Berdasarkan Jumlah Mata Pahat yang digunakan

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

3. Berdasarkan Orientasi Permukaan

Selain ditinjau dari segi orientasi permukaan maka poses pemesinan dapat 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

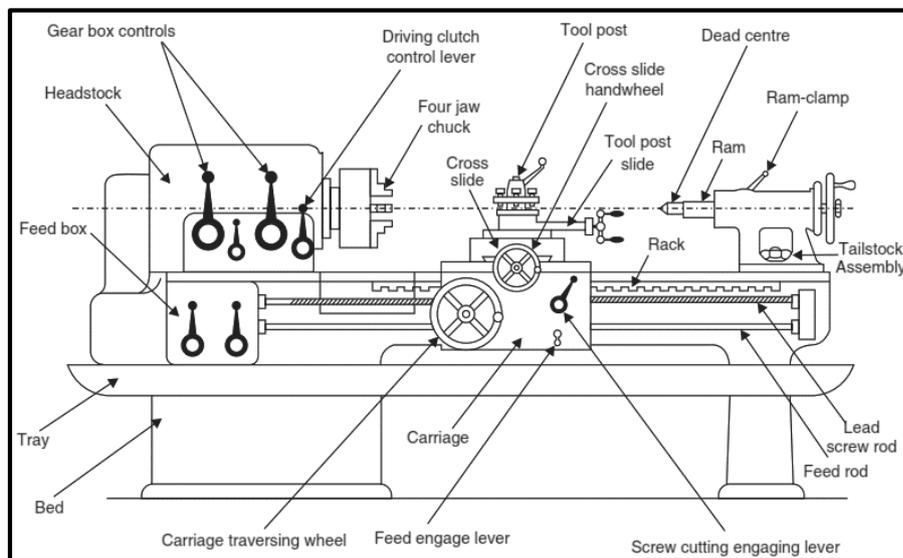
4. Berdasarkan Mesin yang Digunakan

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)

2.1.1 Mesin Bubut (*Turning*)

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.

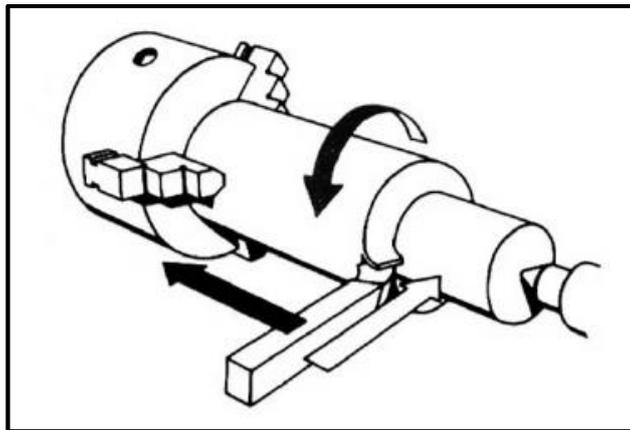


Gambar 2.1. Komponen Mesin Bubut
 Sumber : *Manufacturing Processes* (Gupta dkk, 2015)

Pada kelompok mesin bubut juga terdapat bagian-bagian otomatis dalam pergerakannya bahkan juga ada yang dilengkapi dengan layanan sistem otomatis, baik yang dilayani dengan sistem hidraulik ataupun elektrik. Ukuran mesinnya pun tidak semata-mata kecil karena tidak sedikit mesin bubut konvensional yang

dipergunakan untuk mengerjakan pekerjaan besar seperti yang dipergunakan pada industri perkapalan dalam membuat atau merawat poros baling-baling kapal yang diameternya mencapai 1.000 mm atau lebih.(Azhar, 2014)

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



Gambar 2.2. Gerakan Pada Proses Pembubutan
Sumber : *Handout* Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

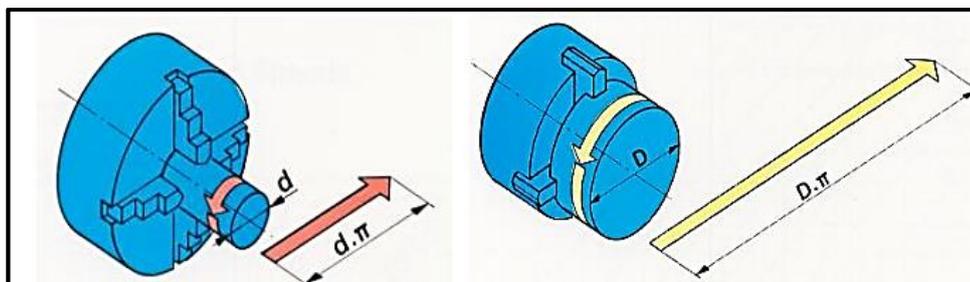
Mesin bubut merupakan salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar, tempat benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya,

sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram. Prinsip kerja mesin bubut adalah :

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

2.1.2. Variabel Permesinan

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

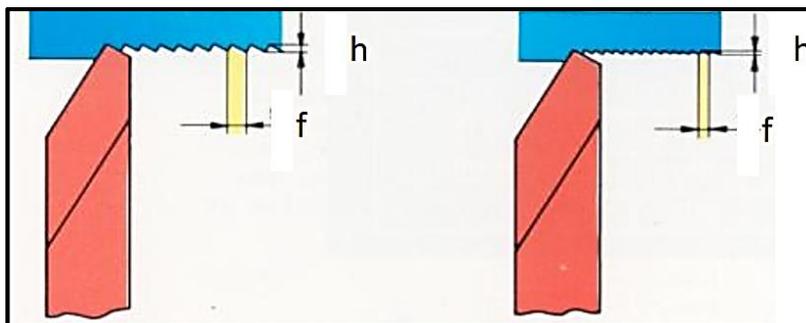


Gambar 2.3. Panjang permukaan benda kerja
Sumber : *Handout* Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Kecepatan putar, n (*speed*), selalu dihubungkan dengan spindel (sumbu

utama) dan benda kerja. Karena kecepatan putar diekspresikan sebagai putaran per menit (*revolutions per minute*, rpm), hal ini menggambarkan kecepatan putarannya. Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (*Cutting speed* atau V) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling benda kerja (gambar 2.3).

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 2.4. Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h)
Sumber : *Handout* Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Gerak makan, f (*feed*), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali (gambar 2.4), sehingga satuan f adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak

makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong h . Gerak makan tersebut berharga sekitar $1/3$ sampai $1/20$ h , atau sesuai dengan kehaluasan permukaan yang dikehendaki.

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

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

Kecepatan potong

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

dimana : d = diameter rata-rata

$$= (d_o + d_m) / 2 \approx d_o ; mm \quad (2.2)$$

Kecepatan makan :

$$V_f = f \cdot n ; mm / min \quad (2.3)$$

Dimana : f = gerak makan ; mm/ put.

n = putaran spindel put/min

Tabel 2.1. variabel permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan

(Kalpakjian & Schmid,2014)

		Range for roughing and finishing		
Workpiece material	Cutting tool	Depth of cut, mm	Feed, mm/rev	Cutting Speed, m/min
Low carbon and free machining Steel	Uncoated carbide	0,5-7,6	0,15-1,1	60-135
	Ceramic-coated carbide	“	“	180-495
	Triple coated carbide	“	“	90-245
	Tin coated carbide	“	“	60-230
	Al ₂ O ₃ ceramic	“	“	365-550
	Medium and High carbon Steel	Uncoated carbide	2,5-7,6	0,15-0,75
Ceramic-coated carbide		“	“	120-210
Triple coated carbide		“	“	75-215
Tin coated carbide		“	“	45-215
Al ₂ O ₃ ceramic		“	“	245-455

Secara sederhana variabel pemesinan merupakan segala variabel yang mempengaruhi proses maupun hasil pemesinan. Variabel pemesinan ini terdiri

atas variabel yang bergantung pada mesin dan variabel yang bergantung pada benda kerja. Adapun variabel pemesinan yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Benda Kerja :

d_o = diameter mula (mm)

d_f = diameter akhir (mm)

l_t = panjang pemotongan (mm)

d = kedalaman 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)

2.2. Pahat Bubut

Kualitas benda kerja dan efisiensi kerjanya akan tergantung dari pahat yang digunakan. Pahat memiliki arti proses memotong (*cutting process*), yaitu memotong logam untuk mendapatkan bentuk dan ukuran, serta kualitas permukaan potong yang direncanakan. Setiap pekerjaan diperlukan pahat yang tepat, misalnya untuk pekerjaan kasar (*roughing*), halus (*finishing*), permukaan (*facing*), bor, ulir dan lain – lain, diperlukan pahat yang khusus untuk tujuan masing – masing. (Upara, 2009)

Kekerasan dan tahan terhadap gesekan yang rendah tidak diinginkan pada material pahat, sebab akan menyebabkan keausan pada material pahat tersebut. Keuletan yang rendah dan ketahanan *thermal* yang rendah akan mengakibatkan

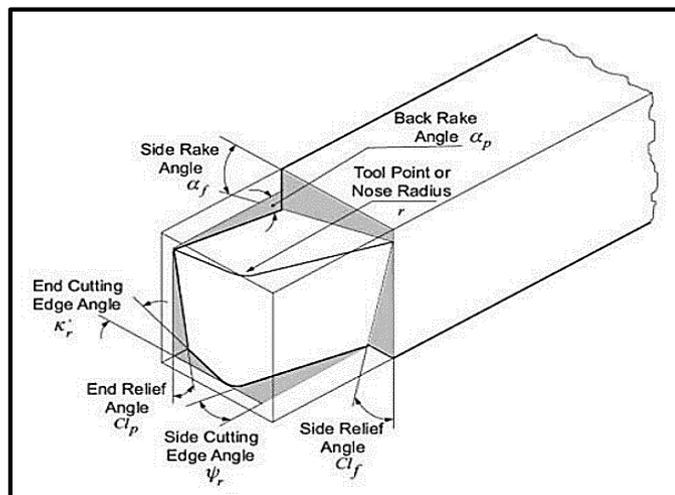
rusaknya pahat terhadap mata potong maupun retak mikro pada pahat yang mengakibatkan kerusakan fatal pada pahat dan benda kerja. Sifat-sifat unggul diatas memang perlu dimiliki oleh material pahat. Akan tetapi tidak semua sifat tersebut dapat dipenuhi secara berimbang. Pada umumnya kekerasan, ketahanan gesek dan ketahanan *thermal* yang tinggi selalu diikuti oleh penurunan keuletan. Berbagai penelitian dilakukan untuk mempertinggi kekerasan dan menjaga supaya keuletan tidak terlalu rendah sehingga pahat tersebut dapat digunakan pada kecepatan potong yang tinggi.

Pada mulanya untuk memotong baja digunakan baja karbon tinggi sebagai bahan dari pahat, dimana kecepatan potongnya pada waktu itu hanya bisa mencapai sekitar 10 m/menit. Berkat kemajuan teknologi kecepatan potong ini dapat dinaikkan sehingga mencapai sekitar 700 m/menit yaitu dengan menggunakan CBN (*Cubic Boron Nitride*). Kekerasan tersebut dapat dicapai berkat kekerasan yang tetap relatif tinggi meskipun temperatur kerjanya cukup tinggi. Dari kemajuan teknologi tersebut dapat diketahui bahwa hanya material dari jenis karbida dan keramiklah yang tetap berfungsi dengan baik pada kecepatan potong atau temperatur kerja yang tinggi. Meskipun demikian, bukan berarti hanya Karbida dan Keramik saja yang saat ini di pakai sebagai pahat potong tetapi jenis lain masih tetap dipilih yaitu pada saat di perlukan sifat keuletan yang dan nilai ekonomis yang tinggi. Namun pada saat ini material pahat yang banyak digunakan adalah HSS dan Karbida Berikut ini adalah material-material pahat secara berurutan dari yang paling lunak tetapi ulet sampai dengan yang paling keras tetapi getas, yaitu : i) Baja Karbon Tinggi, ii) HSS (*High Speed*

Steels), iii) Paduan Cor Nonferro, iv) Karbida, v) CBN (*Cubic Baron Nitride*) (Azhar, 2014).

2.2.1. Geometri Pahat Bubut

Dalam pengerjaan mesin, geometri pahat merupakan aspek penting untuk dipertimbangkan karena pengaruhnya dalam memotong kekuatan dimensi dan pembentukan chip. Selain itu, faktor ini akan secara langsung mempengaruhi masalah lain seperti defleksi pahat, getaran, dll. Parameter geometris yang paling penting disertakan dalam gambar 2.5. Parameter ini adalah sisi *cutting edge angle*, *end cutting edge angle*, *cutting edge inclination* dan *nose radius*.



Gambar 2.5. Geometri pada pahat bubut
Sumber : *Cutting Forces in Turning Operations* (Umbert, 2017)

2.2.2. Pahat Karbida

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

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

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

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

Karbida semen memiliki kekerasan yang sangat tinggi (hanya setelah berlian) dan keausan tinggi resistensi terhadap abrasi. Mereka tidak kehilangan sifat pemotongannya, kekerasan melebihi suhu hingga 900°C- 1000°C. Karenanya alat berujung karbida mampu mengolah logam yang paling keras secara efisien, termasuk baja yang dikeraskan pada kecepatan potong tinggi. Alat tersebut dapat beroperasi pada kecepatan potong dari 16 hingga 25 Kali lipat yang diizinkan untuk alat yang terbuat dari baja perkakas karbon. Satu kelemahan dari semen karbida adalah kerapuhannya. Kekakuan sangat tinggi

(modulus Young sekitar tiga kali dari baja) dari karbida yang disemen mensyaratkan bahwa mereka didukung dengan ketebalan yang cukup, bahkan untuk sejumlah kecil deformasi ikatan dalam pada bahan kekakuan ini dapat menyebabkan tegangan tarik yang sangat tinggi. Karbida disemen lemah pada tegangan daripada kompresi. Mereka memiliki kecenderungan kuat untuk terbentuk las tekanan pada kecepatan potong rendah. Dalam pandangan ini mereka harus dioperasikan dengan kecepatan jauh lebih banyak dari yang digunakan dengan alat baja kecepatan tinggi. Ini disebabkan untuk peralatan mesin dari peningkatan daya. Karbida yang memperoleh persentase kobalt tinggi adalah lebih keras dan lebih kuat dari yang mengandung kobalt rendah. Karenanya mereka digunakan untuk pemotongan kasar, pemotongan terputus dan untuk penggilingan. Varietas kobalt rendah digunakan untuk jadi operasi seperti berputar dengan penampang chip yang halus dan pemotongan kontinu. Disarankan untuk menjaga *braze metal* setipis mungkin (Singh, 2006).

2.3. Konsumsi Energi

Proses permesinan banyak digunakan di sebagian besar industri manufaktur maka konsumsi energi merupakan hal yang utama untuk diperhatikan. Ada banyak penelitian yang dilakukan pada proses pemesinan seperti yang dilakukan oleh Gutowski dkk. (2006) yang mempelajari tentang kebutuhan energi listrik dalam proses *milling*. Pendekatan mereka lakukan dapat digunakan untuk mengevaluasi konsumsi energi dalam proses pemesinan.

Permesinan adalah proses penghilangan material di mana alat pemotong digunakan untuk menghilangkan chip dari benda kerja. Ada berbagai jenis proses

pemesinan seperti *twist*, *milling*, pengeboran dan *reaming*, tetapi mereka semua menjalani proses pemotongan yang sama yang menciptakan chip. Profil energi listrik selama operasi alat mesin dipelajari dan diberikan untuk berbagai jenis proses pemesinan (Li dkk, 2011).

Penelitian menunjukkan bahwa permintaan listrik tidak statis melainkan dinamis selama proses permesinan. Kurva daya (*power*) dapat dibagi menjadi tiga bagian: daya yang konstan, daya variabel dan daya puncak. Daya puncak (*peak power*) biasanya pendek dan hanya memberi sebagian kecil untuk konsumsi energi kumulatif, sehingga dapat diabaikan ketika menghitung total konsumsi energi. Dengan adanya pernyataan tersebut, maka kebutuhan daya secara umum dapat dibedakan menjadi variabel dan daya konstan (Gutowski dkk, 2006).

Gutowski dkk. melaporkan bahwa energi yang dibutuhkan untuk proses *removal* material bisa sangat kecil dibandingkan dengan total energi untuk operasi alat mesin. Dari hasil penelitian sebelumnya oleh Gutowski dkk. (2006), kebutuhan daya listrik, P , untuk mesin dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut:

$$P = P_o + k \cdot v \quad (2.4)$$

dimana, P adalah power/daya [W] dikonsumsi oleh proses pemesinan, P_o adalah kekuatan [W] dikonsumsi oleh semua modul mesin untuk mesin beroperasi tanpa beban, k adalah kebutuhan energi spesifik [Ws/mm³] dalam operasi pemotongan, dan v adalah banyaknya material yang dihilangkan [mm³/s] .

Seperti ditunjukkan dalam persamaan (2.1), kebutuhan energi untuk proses pemesinan tergantung pada daya yang dikonsumsi dan energi spesifik

dalam operasi pemotongan. Energi spesifik representatif untuk bahan yang berbeda mesin diterbitkan oleh Kalpakjian dan Schmid (2006). Nilai untuk beradaptasi tergantung pada kombinasi perkakas dan benda kerja bahan/nilai yang digunakan.

Dengan demikian, dari persamaan (1) daya total untuk mesin dapat dibagi menjadi dua, yaitu daya tanpa pembebanan (P) dan daya permesinan ($k \cdot v$). Idle power adalah daya yang dibutuhkan atau diperlukan untuk fitur peralatan yang mendukung mesin. Sebagai contoh, kekuatan untuk memulai komputer dan fans, motor, pompa pendingin dan lain-lain. Daya yang tergambar pada peralatan mesin menggunakan motor tiga fase, P , dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cos \phi \quad (2.5)$$

dimana V adalah tegangan, I adalah arus [A] dan $\cos \phi$ adalah faktor daya.

Energi listrik yang dibutuhkan untuk proses pembubutan, E , dapat diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan (2.1) kedalam persamaan (2.3).

$$E = (P + k \cdot v) t \quad (2.6)$$

dimana t adalah waktu yang diperlukan untuk permesinan dalam satuan detik.

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang berfungsi untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik dapat digunakan juga di rangkaian listrik perumahan (*mixer*, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja”nya industri. Diperkirakan motor-

motor menggunakan sekitar 70% total energi listrik di industri (Abidin dkk 2013).

Prinsip kerja dari motor listrik ini adalah, Karena kumparan pada rotor ini merupakan kumparan rangkaian yang tertutup, maka tegangan induksi akan menghasilkan arus. Dalam medan magnet akan menimbulkan gaya dengan adanya arus pada rotor. Apabila torsi diawal yang dihasilkan oleh gaya pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, maka rotor akan berputar searah dengan arah medan putar stator. Untuk mendapatkan tegangan induksi E_2s , maka diperlukan perbedaan antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan putar rotor (n_r). Jika $n_s = n_r$, induksi terjadi pada tegangan dan arus tidak akan mengalir pada rotor, jika itu terjadi tidak ada torsi yang dapat dihasilkan. Torsi suatu motor akan terjadi jika $n_s > n_r$. Dari cara kerja yang didapatkan motor tiga fasa disebut juga dengan motor tak serempak atau asinkron (Hendry dkk 2019).

Motor induksi 3 fasa banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari aplikasi rumah tangga sampai aplikasi industri besar. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah mempunyai konstruksi yang sederhana, harganya relatif lebihmurah jika dibandingkan dengan jenis motor yang lainnya, menghasilkan putaran yang konstan, perawatan yang mudah. Walaupun demikian motor induksi merupakan salah satu peralatan penting dalam suatu proses produksi pada industri, karena jika motor induksi mengalami penurunan performansi maka suatu proses produksi atau proses kerja industri akan terganggu (Septianto dkk 2015).

Efisiensi motor induksi merupakan perbandingan antara daya input dan daya yang diberikan oleh motor sebagai penggerak, sebesar : (Abidin dkk 2013)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \% \quad (2.7)$$

dimana : P_1 : Daya input

P_2 : Daya output

Daya pemotongan N_{ct} adalah daya yang terpakai dalam proses pembentukan geram, selain daya pemotongan, motor mesin perkakas juga harus menanggung daya yang hilang karena terpakai untuk menggerakkan komponen mesin dan gesekan pada sistem transmisi daya pada mesin tersebut. Maka daya dalam proses pemesinan N_{mc} adalah :

$$N_{mc} = N_{ct} + N_{ml} \quad (2.8)$$

Dimana : N_{mc} : daya pemesinan (kW)

N_{ml} : daya yang hilang (kW)

Unjuk kerja mesin perkakas biasanya dapat diketahui dengan pengukuran langsung daya menggunakan *dinamometer* ataupun putaran dengan *tachometer*, tetapi berhubung keterbatasan dalam penyediaan peralatan di atas, maka karakteristik unjuk kerja mesin dihitung dengan membandingkan waktu pemesinan dan geram yang dihasilkan untuk berbagai kondisi pemesinan.

$$N_{ct} = \eta_{ct} \cdot N_{mc} \quad (2.9)$$

Dimana, N_{ct} : Daya Pemotongan (Watt)

η_{ct} : efisiensi pemotongan

N_{mc} : Daya Pemotongan (Watt)

2.4. Baja ST 60

Baja adalah paduan logam besi dan karbon yang kemungkinan juga terdiri dari konsentrasi unsur-unsur paduan logam yang lain. Ada beribu-ribu paduan

logam, yang mempunyai komposisi yang berbeda-beda. Sub kelas juga ada di dalam masing-masing kelompok menurut konsentrasi dari campuran logam unsur-unsur paduannya. Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin, struktur bangunan, dan lain sebagainya. (Furqon, Firman dan Sugeng, 2016).

Pada penelitian Madjidi (2019) pada proses pembubutan memperoleh persamaan umur pahat Taylor untuk kombinasi pahat sisipan karbida dengan benda kerja baja ST 60 adalah $V.T^n = C_T \leftrightarrow V.T^{0,0068} = 162,715$. Dan kesimpulan bahwa semakin besar nilai *feed* pada pembubutan ST 60 maka semakin sedikit pula waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai keausan minimum pahat dan sebaliknya.

Baja dibuat dari besi kasar dengan mengurangi jumlahnya karbon dan kotoran lainnya dan menambahkan spesifik jumlah elemen paduan. baja dengan dua kelas umum besi: besi tuang (lebih dari 2% karbon) dan besi murni (kurang dari 0,15% karbon). Dalam pembuatan baja, dikendalikan jumlah elemen paduan ditambahkan selama tahap cair untuk menghasilkan komposisi yang diinginkan. Komposisi baja ditentukan oleh aplikasinya dan spesifikasi yang dikembangkan oleh organisasi atau asosiasi berikut: *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, *Society of Automotive Engineers (SAE)*, dan *American Iron and Steel Institute (AISI)*.

Baja karbon adalah istilah yang diterapkan untuk berbagai baja yang jatuh di antara besi ingot murni komersial dan besi cor. Kisaran baja karbon ini mungkin diklasifikasikan menjadi empat kelompok:

1. Low-Carbon Steel 0.05% to 0.30% carbon
2. Medium-Carbon Steel 0.30% to 0.45% carbon
3. High-Carbon Steel 0.45% to 0.75% carbon
4. Very High-Carbon Steel 0.75% to 1.70% carbon

2.5. Optimasi

Optimalisasi adalah berasal dari kata dasar optimal yang berarti terbaik, tertinggi, paling menguntungkan dalam KBBI. Menjadikan paling baik, paling tinggi, pengoptimalan proses, cara, perbuatan mengoptimalkan, sehingga optimalisasi adalah suatu tindakan, proses, atau metodologi untuk membuat sesuatu menjadi lebih sempurna, fungsional, dan lebih efektif. Optimalisasi adalah upaya seseorang untuk meningkatkan suatu kegiatan atau pekerjaan agar dapat memperkecil kerugian atau memaksimalkan keuntungan agar tercapai tujuan sebaik-baiknya dalam batas-batas tertentu. (Singiresu 2009)

Optimasi merupakan usaha yang dilakukan untuk memperoleh hasil akhir yang lebih baik (Susilowati, 2013). Dengan adanya optimasi maka dapat dicapai tingkat biaya yang paling rendah dengan hasil produksi yang paling baik (Anis, Nandiroh, dan Utami, 2007). Teknik optimasi merupakan suatu teknik pengalokasian sumber daya, baik bahan baku, waktu, tenaga kerja maupun biaya, tergantung dari kondisi yang diinginkan. Dengan menggunakan teknik optimasi, maka sumber daya terbatas yang dimiliki dapat terproses dengan baik dan mendapatkan hasil yang maksimal (Suwirmayanti, 2018).

Secara matematis optimasi adalah cara mendapatkan harga ekstrim baik maksimum maupun minimum dari suatu fungsi tertentu dengan faktor-faktor

kendalanya perumusan umum permasalahan optimasi sebagai fungsi obyektif adalah sebagai berikut:

$$f(x) = \alpha_1 f_1(x) + \alpha_2 f_2(x) \quad (2.10)$$

Dimana α_1 dan α_2 merupakan konstanta yang nilainya menunjukkan kepentingan relatif dari suatu fungsi (Singiresu, 2009).

2.6. Komponen Waktu Produksi

Komponen waktu yang dipengaruhi oleh variabel proses waktu pemotongan dan waktu penggantian pahat (Aseng dkk 2015).

1. Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{l_t}{n \cdot f} \text{ (menit/produk)} \quad (2.11)$$

dimana,

l_t = panjang pemesinan (mm)

n = putaran spindle (rpm)

f = gerak makan (mm/r)

2. Waktu penggantian pahat

$$t_{dT} = t_d \cdot \frac{t_c}{T} \text{ (menit/produk)} \quad (2.12)$$

dimana,

t_d = waktu pemasangan pahat (menit), untuk mengganti pahat karbida sisipan diperlukan waktu sekita 0.5 menit

T = umur pahat (menit), untuk umur pahat karbida sisipan adalah 40 menit

2.7. Metode Taguchi

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

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

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

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

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

2.7.1. Tahap Perencanaan

Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut.

- a. Perumusan Masalah

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 mahal 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, 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 (v_{mo}) dapat ditentukan dengan menjumlahkan derajat kebebasan dari faktor dan level (v_{fl}).

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

$$v_{fl} = \text{Jumlah level faktor} - 1 \quad (2.13)$$

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

$$\text{Jumlah eksperimen (n)} = v_{mo} + 1 \quad (2.14)$$

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 (v_{mo}) maksimal adalah tiga, serta matriks tersebut dapat digunakan untuk jumlah faktor maksimal 3 dengan masing-masing memiliki 2 level.

Tabel 2. 1 Matriks Ortogonal

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

2.7.2. Tahap Pelaksanaan

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

a. Jumlah Replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah percobaan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi, mengurangi tingkat kesalahan serta memperoleh harga taksiran dari kesalahan.

b. Randomisasi

Pengaruh faktor-faktor lain yang tidak diinginkan atau tidak dapat dikendalikan selalu ada dalam sebuah eksperimen. Pengaruh itu dapat diperkecil dengan menyebarkan faktor-faktor tersebut melalui

randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Randomisasi dilakukan bertujuan untuk menyebarkan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen serta memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama. Selain itu, randomisasi juga bertujuan mendapatkan hasil eksperimen yang bebas satu sama lain. Jika replikasi bertujuan untuk memungkinkan dilakukannya uji signifikansi, maka randomisasi bertujuan untuk memberikan validasi terhadap uji signifikansi tersebut dengan menghilangkan sifat bias.

2.7.3. Tahap Analisis

Pada tahap ini, pengolahan data dilakukan. Selain itu, juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik pada data hasil eksperimen. Analisis Variasi (ANOVA) digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik. Analisis ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variasi atas bagian-bagian yang diteliti. ANOVA pada matriks ortogonal dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing masing kolom. Analisis variansi digunakan untuk menganalisis data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel ANOVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (db), jumlah kuadrat (sum of square, SS) dan kuadrat tengah (mean of square, MS) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.5

Tabel 2. 2 Tabel Analisis Variansi (ANOVA)

Sumber Variansi	Db	SS	MS
Faktor A	Y_a	SS_A	MS_A
Faktor B	Y_b	SS_B	MS_B
Faktor C	v_c	SS_C	MS_c
Faktor D	Y_d	SS_D	MS_D
Faktor E	Y_e	SS_E	MS_E
Faktor F	v_F	SS_F	MS_F

Error	Y_{error}	SS_{error}	M_{error}
Total	Y_t	SS_T	

$$\begin{aligned} \nu_T &= \text{Derajat bebas total.} \\ &= N-1 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Dimana :

N = jumlah total percobaan.

$$\begin{aligned} \nu_A &= \text{Derajat bebas faktor A.} \\ &= k_A - 1 \end{aligned} \quad (2.16)$$

Dimana :

k_A = Jumlah level faktor A.

$$\begin{aligned} \nu_B &= \text{Derajat bebas faktor B.} \\ &= k_B - 1 \end{aligned} \quad (2.17)$$

Dimana :

k_B = Jumlah level faktor B.

$$\begin{aligned} \nu_C &= \text{Derajat bebas faktor C.} \\ &= k_C - 1 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Dimana :

k_C = Jumlah level faktor C.

$$\begin{aligned} \nu_{\text{error}} &= \text{Derajat bebas error.} \\ &= \nu_T - \nu_A - \nu_B - \nu_C - \nu_D - \nu_E - \nu_F \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} T &= \text{Jumlah keseluruhan.} \\ &= \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} CF &= \text{Faktor koreksi.} \\ &= \frac{T^2}{N} \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} SS_T &= \text{Jumlah kuadrat total.} \\ &= \sum_{i=1}^N y_1^2 - CF \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$= \sum_{i=1}^N (y_1 - T)^2 \quad (2.23)$$

$$SS_A = \text{Jumlah kuadrat faktor A.}$$

$$= \left[\sum_{i=0}^{kA} \left(\frac{A_1^2}{n_{A_1}} \right) \right] - CF \quad (2.24)$$

SS_B = Jumlah kuadrat faktor B.

$$= \left[\sum_{i=0}^{kB} \left(\frac{B_1^2}{n_{B_1}} \right) \right] - CF \quad (2.25)$$

SS_C = Jumlah kuadrat faktor C.

$$= \left[\sum_{i=0}^{kC} \left(\frac{C_1^2}{n_{C_1}} \right) \right] - CF \quad (2.26)$$

SS_E = Jumlah kuadrat error.

$$= SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D - SS_E - SS_F \quad (2.27)$$

MS_A = Kuadrat tengah faktor A.

$$= SS_A / \nu_A \quad (2.28)$$

MS_B = Kuadrat tengah faktor B.

$$= SS_B / \nu_B \quad (2.29)$$

MS_C = Kuadrat tengah interaksi.

$$= SS_C / \nu_C \quad (2.30)$$

MS_E = Kuadrat tengah error.

$$= SS_E / \nu_E \quad (2.31)$$

2.7.4. Rasio S/N

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

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (2.32)$$

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:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i^2 - \bar{y})^2}{n} \right] \quad (2.33)$$

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: $S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right]$ (2.34)