

SKRIPSI

**PENGARUH PROSES *ANNEALING* BAJA KARBON ST60
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
HASIL PERMESINAN BUBUT**

OLEH :

RIZAL AMIL AULIA KASMAN

D211 15 017



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2020

SKRIPSI

**PENGARUH PROSES *ANNEALING* BAJA KARBON ST 60
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
HASIL PERMESINAN BUBUT**

OLEH :

RIZAL AMIL AULIA KASMAN

D211 15 017

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

JUDUL :

**PENGARUH PROSES ANNEALING BAJA KARBON ST 60
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
HASIL PERMESINAN BUBUT**

RIZAL AMIL AULIA KASMAN
D211 15 017

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT
NIP. 19580921 198603 1 003

Dosen Pembimbing II



Ir. Mukhtar Rahman, MT
19571013 198703 1 001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.
19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rizal Amil Aulia Kasman
NIM : D211 15 017
Judul Skripsi : Pengaruh Proses *Annealing* Baja Karbon ST60 terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan Bubut

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.

Makassar, 27 November 2020

Saya membuat pernyataan,



Rizal Amil Aulia Kasman

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama Lengkap : Rizal Amil Aulia Kasman
Nama Panggilan : Rizal
Tempat Tanggal Lahir : Ujung Pandang, 20 Februari 1997
Jenis Kelamin : Laki- Laki
Agama : Islam
Golongan Darah : A
Alamat : Perumnas Antang, jln. Suling Raya no.12E
Telepon/ Nomor HP : 085340846730
Email : raakical@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- SD INPRES MALLAWA (2003-2007)
- SD INPRES BARRU 1 (2007-2009)
- SMP NEGERI 1 BARRU (2009-2012)
- SMA NEGERI 4 KOTA TERNATE (2012-2014)
- SMA NEGERI 1 BARRU (2014-2015)
- UNIVERSITAS HASANUDDIN (2015-2020)

RIWAYAT ORGANISASI

- OKFT-UH
- HMM FT-UH
- KOMTEK 09 SMFT-UH
- ART 09 SMFT-UH

ABSTRACT

Rizal Amil Aulia Kasman (D211 15 017). Effect of Annealing Process in ST60 Carbon Steel to Surface Roughness of Lathe Machining Results. (Supervised by Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT *and* Ir. Mukhtar Rahman, MT)

This study aims to (1) compare the surface roughness of normal material with annealed material. 2) Determine the roughness characteristics of the annealed material and its relation to the machining variables. (3) Determine the optimization and machining variables that most effect the surface roughness of the annealed ST60 material.

The results obtained from this research are that the surface of the annealed ST60 is smoother or better than the surface of the normal ST60 annealing because the residual stress on the annealing ST60 is removed during the annealing process. This means that the machinability of the annealed material is getting better. The higher of the spindle rotation speed on the annealing ST60 turning is have a low surface roughness value obtained under the same material and cutting conditions. Conversely, the higher of the feed value and the depth of cut on the annealing ST60 turning, have a high of the surface roughness value obtained. Based on the Taguchi analysis, it was found that the most optimal machining variables in the study were the spindle rotation is 1000 rpm followed by feed is 0.085 mm / rotation and depth of cut is 0.5 mm. Based on the analysis of variance, it was found that the most effected machining variables were the spindle rotation speed with contribution percentage is 39.6013291% followed by feed is 30.7802336% and then depth of cut is 4.30832601%.

ABSTRAK

Rizal Amil Aulia Kasman (D211 15 017). Pengaruh Proses *Annealing* Baja Karbon ST60 terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan Bubut. (Dibimbing oleh Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT dan Ir. Mukhtar Rahman, MT)

Penelitian ini bertujuan untuk (1) Membandingkan kekasaran permukaan material normal dengan material yang di *annealing*. 2) Menentukan karakteristik kekasaran dari material yang di *annealing* serta hubungannya dengan variabel permesinan. (3) Menentukan Optimasi dan variabel permesinan yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan material ST60 yang di anil.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu permukaan hasil pembubutan ST60 anil lebih halus atau lebih baik daripada permukaan hasil pembubutan ST60 normal. Yang berarti *machinability* dari material hasil anil semakin baik. Semakin tinggi kecepatan putaran spindle pada pembubutan ST60 anil maka semakin rendah nilai kekasaran permukaan yang diperoleh pada kondisi material dan kondisi pemotongan yang sama. Sebaliknya Semakin tinggi nilai *feed* dan kedalaman pemakanan pada pembubutan ST60 anil maka semakin tinggi pula nilai kekasaran permukaan yang diperoleh. Berdasarkan analisis Taguchi diperoleh variabel permesinan yang paling optimal pada penelitian yaitu kecepatan putaran spindle dengan putaran 1000 rpm diikuti oleh *feed* sebesar 0,085 mm/putaran dan kedalaman pemakanan sebesar 0,5 mm. Dan berdasarkan analisis varian diperoleh variabel permesinan yang paling berpengaruh pada penelitian yaitu kecepatan putaran spindle dengan persen kontribusi sebesar 39,6013291 % diikuti oleh *feed* sebesar 30,7802336 % dan kedalaman pemakanan sebesar 4,30832601 %.

Kata Kunci: Baja Karbon ST60, *Annealing*, Permesinan Bubut, Variabel Permesinan, *machinability*, Kecepatan Putaran Spindel, *Feed*, Kedalaman Pemakanan Analisis Taguchi, Kontribusi.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Salam dan shalawat kepada Nabi Muhammad SAW sebagai tauladan yang menghantarkan kita dari alam alam yang gelap dan jahiliah menuju alam terang benderang.

Akhir penyusunan skripsi **“Pengaruh Proses *Annealing* Baja Karbon ST60 terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan Bubut”** sudah ada dihadapan pembaca dan dapat dijadikan refrensi pada penelitian yang bersangkutan.

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 Ibu saya tercinta Dra. Murniaty M.Pd.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. Bapak Ir. Mukhtar Rahman, MT., selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan serta masukan selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT, selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST, MT, selaku sekretaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak dan ibu dosen serta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Kepada saudara-saudari seperjuangan, HYDRAULIC'15 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada Saudara Hasan, Hamdani, Wahyudi, Andi Ilham Akbar, Muhammad Chatib Dwi Putra, Lukman Hakim, dan Komeng serta teman teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
7. Kepada seluruh saudara – saudari serta kanda kanda senior di OKFT-UH terkhusus HMM FT-UH, KOMTEK 09 SMFT-UH, dan ART 09 SMFT-UH.

Akhir kata, *jazakumullah khairan katsiran* atas semuanya dan penulis berharap, tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya dalam bidang ilmu Teknik Mesin. Karenanya, masukan dan kritik rekan-rekan sekalian kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya.

Gowa, 09 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | ii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI..... | iii |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP..... | iv |
| ABSTRAK..... | v |
| KATA PENGANTAR..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| DAFTAR GRAFIK..... | xvi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan..... | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Manfaat..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1. Proses Permesinan..... | 4 |
| 2.1.1. Mesin Bubut (<i>Turning</i>)..... | 7 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.2. Variabel Permesinan..... | 9 |
| 2.1.3. <i>Machinability</i> / Mampu Mesin..... | 12 |
| 2.2. Pahat Bubut..... | 22 |
| 2.2.1. Geometri Pahat Bubut..... | 23 |
| 2.2.2. Pahat Karbida..... | 23 |
| 2.3. <i>Heat Treatment</i> | 25 |
| 2.3.1. <i>Annealing</i> | 30 |
| 2.4. Baja ST60..... | 31 |
| 2.5. Metode Taguchi..... | 32 |
| 2.6. Analisis Varian..... | 37 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 40 |
| 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian..... | 40 |
| 3.2. Alat dan Bahan..... | 40 |
| 3.2.1. Alat..... | 40 |
| 3.2.2. Bahan..... | 43 |
| 3.3. Metode Pengambilan Data..... | 44 |
| 3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian..... | 44 |
| 3.4.1. Proses <i>Heat Treatment</i> dan <i>Annealing</i> | 44 |
| 3.4.2. Proses Pembubutan..... | 45 |
| 3.4.3. Proses Pengujian Kekasaran Permukaan Benda Kerja..... | 45 |
| 3.5. Diagram Alir Penelitian..... | 46 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 47 |

| | |
|--|----|
| 4.1. Perbandingan Kekasaran Permukaan Material Normal dengan Material yang di <i>Annealing</i> | 47 |
| 4.2. Karakteristik Kekasaran Dari Material Yang Di <i>Annealing</i> Serta Hubungannya Dengan Variabel Permesinan..... | 54 |
| 4.2.1. Kekasaran Permukaan Terhadap Kecepatan Putaran Spindle..... | 54 |
| 4.2.2. Kekasaran Permukaan Terhadap Gerak Makan (<i>feed</i>)..... | 62 |
| 4.2.3. Kekasaran Permukaan Terhadap Kedalaman Pemakanan..... | 67 |
| 4.3. Optimalisasi dan Penentuan Variabel Permesinan yang Paling Berpengaruh terhadap Kekasaran Permukaan Material ST60 yang di Anil..... | 73 |
| BAB V PENUTUP..... | 81 |
| 5.1. Kesimpulan..... | 81 |
| 5.2. Saran..... | 82 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 83 |
| LAMPIRAN..... | 87 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1. Variabel permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan..... | 11 |
| Tabel 2.2. Angka Kekasaran permukaan..... | 21 |
| Tabel 2.3. Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan..... | 21 |
| Tabel 2.4. Perkiraan Periode Penahanan untuk Pengerasan, Annealing, dan Normalisasi Baja..... | 30 |
| Tabel 2.5. Level Matriks Orthogonal..... | 35 |
| Tabel 3.1. Komposisi kimia baja karbon ST60..... | 44 |
| Tabel 3.2. Sifat mekanik baja karbon ST60..... | 44 |
| Tabel 4.1. Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Normal Terhadap ST60 Anil pada $a= 0,5$ mm | 48 |
| Tabel 4.2. Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Normal Terhadap ST60 Anil pada $a= 1$ mm | 50 |
| Tabel 4.3. Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Normal Terhadap ST60 Anil pada $a= 1,5$ mm | 52 |
| Tabel 4.4. Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil pada $a = 0,5$ mm..... | 55 |
| Tabel 4.5. Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil pada $a = 1$ mm..... | 57 |
| Tabel 4.6. Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil pada | |

| | |
|--|----|
| a = 1,5 mm..... | 59 |
| Tabel 4.7. Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil pada T = 800°C dan HT = 30 menit..... | 67 |
| Tabel 4.8. Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil pada T = 850°C dan HT = 30 menit..... | 69 |
| Tabel 4.9. Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil pada T = 900°C dan HT = 30 menit..... | 71 |
| Tabel 4.10. Variabel Bebas Penelitian..... | 73 |
| Tabel 4.11. Perhitungan Derajat Kebebasan..... | 74 |
| Tabel 4.12. Eksperimen..... | 74 |
| Tabel 4.13. Perhitungan rasio S/N..... | 75 |
| Tabel 4.14. Perhitungan Nilai Efek Faktor terhadap rasio S/N..... | 76 |
| Tabel 4.15. Hasil Perhitungan Analisis Varian..... | 80 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. Komponen Mesin Bubut..... | 7 |
| Gambar 2.2. Gerakan Pada Proses Pembubutan..... | 8 |
| Gambar 2.3. Panjang permukaan benda kerja..... | 9 |
| Gambar 2.4. Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h)..... | 10 |
| Gambar 2.5. Berbagai variabel <i>machinability</i> pada proses permesinan..... | 13 |
| Gambar 2.6. Tiga komponen <i>cutting force</i> yang bekerja pada satu titik..... | 14 |
| Gambar 2.7. Fitur <i>pada single poin</i> pahat..... | 17 |
| Gambar 2.8. Variasi komponen dan parameter dari kekasaran permukaan Permesinan..... | 18 |
| Gambar 2.9. Tekstur permukaan benda kerja | 19 |
| Gambar 2.10. Lambang kekasaran permukaan..... | 20 |
| Gambar 2.11. Geometri pada pahat bubut..... | 23 |
| Gambar 2.12. hubungan suhu pemanasan dan struktur baja..... | 29 |
| Gambar 2.13. Range perlakuan panas baja..... | 29 |
| Gambar 3.1. Mesin bubut ERM-1640..... | 40 |
| Gambar 3.2. <i>Electric Furnace</i> | 41 |
| Gambar 3.3. <i>Surface roughness tester</i> LEXT OLYMPUS-OLS4100..... | 41 |
| Gambar 3.4. Holder MTJNR 2020..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.5. <i>Stopwatch</i> | 42 |
| Gambar 3.6. pahat sisipan karbida TNMG160404-MA UE6020..... | 43 |
| Gambar 3.7. Baja ST 60..... | 43 |

DAFTAR GRAFIK

| | |
|---|----|
| Grafik 4.1. Perbandingan Ra Normal Terhadap Ra Anil pada $a=0,5$ mm dan a) $n=650$ rpm; b) $n=750$ rpm; c) $n=1000$ rpm. | 49 |
| Grafik 4.2. Perbandingan Ra Normal Terhadap Ra Anil pada $a=1$ mm dan a) $n=650$ rpm; b) $n=750$ rpm; c) $n=1000$ rpm | 51 |
| Grafik 4.3. Perbandingan Ra Normal Terhadap Ra Anil pada $a=1,5$ mm dan a) $n=650$ rpm; b) $n=750$ rpm; c) $n=1000$ rpm | 53 |
| Grafik 4.4. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil terhadap kecepatan putaran spindel ($a = 0,5$ mm)..... | 56 |
| Grafik 4.5. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil terhadap kecepatan putaran spindel ($a = 1$ mm)..... | 58 |
| Grafik 4.6. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil terhadap kecepatan putaran spindel ($a = 1,5$ mm)..... | 60 |
| Grafik 4.7. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil terhadap Gerak Makan pada kedalaman pemakanan $0,5$ mm dan a) $n = 650$ rpm; b) $n = 750$ rpm; c) $n = 1000$ rpm..... | 62 |
| Grafik 4.8. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 | |

Anil terhadap Gerak Makan pada kedalaman pemakanan 1 mm dan
a) $n = 650$ rpm; b) $n = 750$ rpm; c) $n = 1000$ rpm..... 64

Grafik 4.9. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60

Anil terhadap Gerak Makan pada kedalaman pemakanan 1,5 mm
dan a) $n = 650$ rpm; b) $n = 750$ rpm; c) $n = 1000$ rpm..... 66

Grafik 4.10. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60

Anil ($T = 800^{\circ}\text{C}$; HT = 30 menit) terhadap kedalaman pemakanan
dan a) $n = 650$ rpm; b) $n = 750$ rpm; c) $n = 1000$ rpm..... 68

Grafik 4.11. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60

Anil ($T = 850^{\circ}\text{C}$; HT = 30 menit) terhadap kedalaman pemakanan
dan a) $n = 650$ rpm; b) $n = 750$ rpm; c) $n = 1000$ rpm..... 70

Grafik 4.12. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60

Anil ($T = 900^{\circ}\text{C}$; HT = 30 menit) terhadap kedalaman pemakanan
dan a) $n = 650$ rpm; b) $n = 750$ rpm; c) $n = 1000$ rpm..... 72

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 Tabel Hasil Pengukuran Kekasaran | 87 |
| Lampiran 2 Desain Proses Permesinan..... | 90 |
| Lampiran 3 Hasil Uji Tarik Material ST60..... | 93 |
| Lampiran 4 Dokumentasi Kegiatan Penelitian..... | 94 |
| Lampiran 5 Tabel Perlakuan <i>Annealing</i> | 96 |
| Lampiran 6 Tabel Konversi Harga Kekerasan Bahan..... | 97 |
| Lampiran 7 Hasil Uji Komposisi Material ST60..... | 98 |
| Lampiran 8 Tabel Distribusi F_{tabel} untuk probabilitas 0,05..... | 99 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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

Banyak faktor yang mempengaruhi agar benda menjadi rata dan halus, mulai dari kecepatan spindel, kedalaman pemakanan, kecepatan pemakanan, sudut dan jenis pahat, kemampuan mesin, jenis pendingin, jenis benda, dan operator, khususnya dalam hal mesin bubut CNC. Menurut Prasetya (2010) ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan, diantaranya adalah laju pemakanan, media pendingin, kecepatan spindel, kedalaman pemotongan, bahan dan geometri pahat. Pada proses pembubutan konvensional beberapa faktor tersebut sangatlah penting, dan perlu perhatian yang khusus. Pada proses pemesinan konvensional, cara yang digunakan untuk mendapatkan setingan kekasaran tertentu adalah dengan mencoba-coba, atau dengan *feeling*. Biasanya dilakukan dengan memperbesar atau memperkecil kecepatan spindel, kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan. Tentunya hasilnya tidak dapat dipastikan, bergantung dari *skill* dan pengalaman operator. (Alfiansyah, 2017)

Benda kerja yang digunakan pada proses permesinan sangat beragam. Mulai dari benda kerja yang lunak hingga yang memiliki tingkat kekerasan tinggi. Baja merupakan salah satu diantara sekian bahan yang digunakan, khususnya pada industri yang membutuhkan bahan utama yang memiliki nilai kekerasan, kekakuan, dan duktilitas yang tinggi. Kekerasan baja yang sangat tinggi mengakibatkannya sulit untuk dibentuk atau diproses dengan mesin dengan kata lain sifat mampu

mesinnya (*machinability*) sangat rendah. sifat mampu mesin mempengaruhi umur pahat potong pada pembubutan.

Sifat mampu mesin material baja dapat diperbaiki dengan berbagai cara salah satunya adalah dengan proses *annealing*. *Annealing* adalah proses yang melibatkan pemanasan dan pendinginan di dalam tungku, biasanya diterapkan untuk menghasilkan pelunakan. Istilah ini juga mengacu pada perawatan yang dimaksudkan mengubah sifat mekanik atau fisik, menghasilkan struktur mikro yang pasti, atau menghilangkan gas. Suhu operasi dan laju pendinginan tergantung pada bahan yang dianil dan tujuan perawatan. (Digges, Rosenberg dan Geil, 1966)

Salah satu parameter mampu mesin adalah *surface roughness* (kekasaran permukaan) benda kerja. Dan yang mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja pada proses permesinan adalah variabel permesinan. Variabel permesinan diantaranya kedalaman pemakanan, kecepatan putaran, dan gerak makan.

Dari Masalah Tersebut Diatas Penulis Sangat Tertarik Untuk Meneliti Pengaruh Proses *Annealing* baja karbon ST 60 terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana perbandingan kekasaran permukaan material normal dengan material yang di *annealing* ?
2. Bagaimana karakteristik kekasaran dari material yang di *annealing* serta hubungannya dengan variabel permesinan?
3. Bagaimana optimasi dan variabel permesinan yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan material ST60 yang di anil?

1.3. Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah untuk :

1. Membandingkan kekasaran permukaan material normal dengan material yang di *annealing*.

2. Menentukan karakteristik kekasaran dari material yang di *annealing* serta hubungannya dengan variabel permesinan.
3. Menentukan optimasi dan variabel permesinan yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan material ST60 yang di anil.

1.4. Batasan Masalah

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

1. Benda kerja yang digunakan berbentuk silinder dengan permukaan rata.
2. Benda kerja akan di *annealing* sebelum dilakukan proses permesinan. dengan variasi suhu berbeda (800°C, 850°C dan 900°C) dan waktu penahanan konstan (30 menit) pada saat dilakukan perlakuan panas.
3. Variabel permesinan yang divariasikan yaitu kecepatan putaran spindel (650 rpm, 750 rpm dan 1000 rpm) , gerak makan (0,085 mm/putaran, 0,18 mm/putaran dan 0,28 mm/putaran) dan kedalaman pemotongan (0,5 mm, 1 mm dan 1,5 mm).
4. Proses pemesinan yang dilakukan adalah pembubutan rata permukaan tanpa pendinginan.

1.5. Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh proses *annealing* terhadap sifat mampu mesin pada proses pembubutan baja ST 60.
2. Dapat memberikan informasi sebagai referensi tambahan di bidang manufaktur.
3. Sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Permesinan

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

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 serpihan (*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 komplet dilakukan dengan proses pemesinan.

Berikut ini adalah klasifikasi proses permesinan yaitu:

1. Berdasarkan Gerak Relatif Pahat

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

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

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

2. Berdasarkan Jumlah Mata Pahat yang digunakan

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

3. Berdasarkan Orientasi Permukaan

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

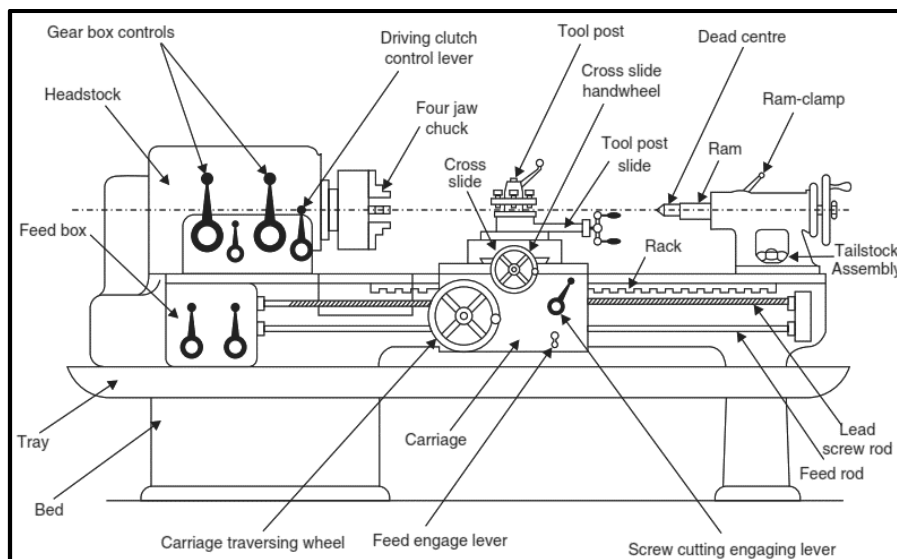
- Generasi permukaan silindrik atau konis dan
- Generasi permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja

4. Berdasarkan Mesin yang Digunakan

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

2.1.1. 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 spindle mesin, kemudian spindle 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.

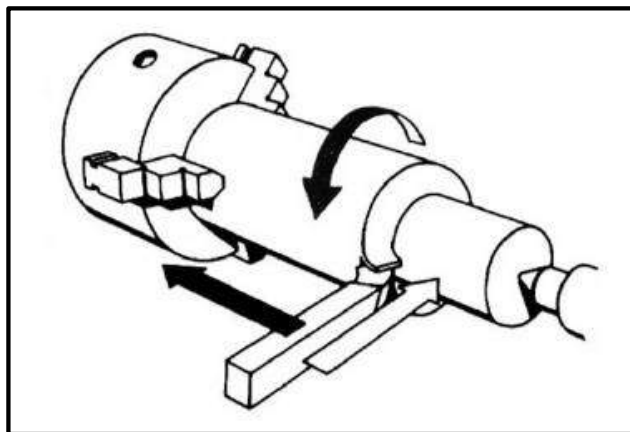


Gambar 2.1. Komponen Mesin Bubut
Sumber : Manufacturing Processes (Gupta dkk, 2015)

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)

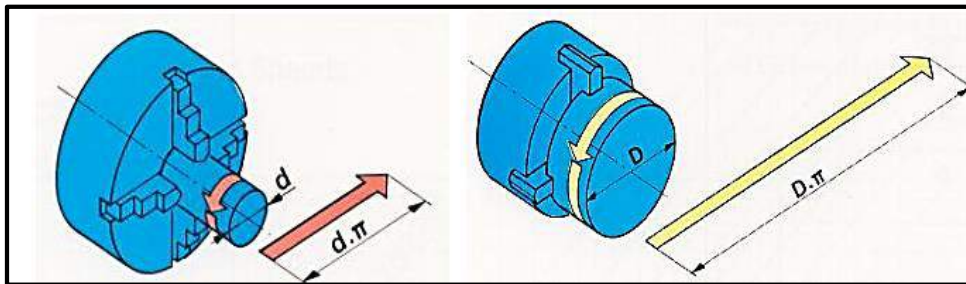
Mesin bubut merupakan salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar, tempat benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram.

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. Variable Permesinan

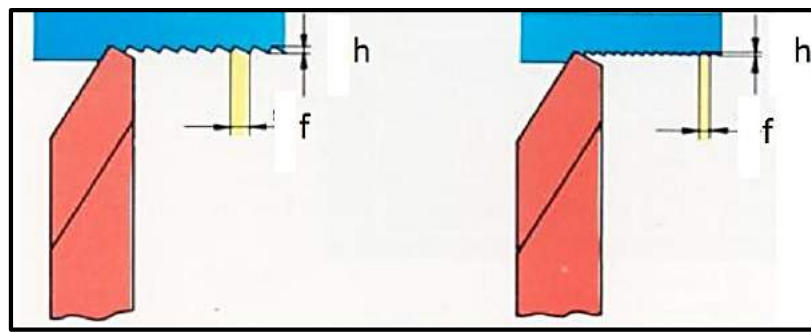
Ada 3 (tiga) parameter utama pada setiap proses bubut yaitu kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki pengaruh yang cukup besar, tiga parameter di atas adalah bagian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

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

Tabel 2.1. variabel pemesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan (Kalpakjian & Schmid,2014)

| Workpiece material | Cutting tool | Range for roughing and finishing | | |
|--|--|----------------------------------|--------------|----------------------|
| | | Depth of cut, mm | Feed, mm/rev | Cutting Speed, m/min |
| Low carbon and free machining Steel | Uncoated carbide | 0,5-7,6 | 0,15-1,1 | 60-135 |
| | Ceramic-coated carbide | “ | “ | 180-495 |
| | Triple coated carbide | “ | “ | 90-245 |
| | Tin coated carbide | “ | “ | 60-230 |
| | Al ₂ O ₃ ceramic | “ | “ | 365-550 |
| Medium and High carbon Steel | Uncoated carbide | 2,5-7,6 | 0,15-0,75 | 135-225 |
| | Ceramic-coated carbide | “ | “ | 120-210 |
| | Triple coated carbide | “ | “ | 75-215 |
| | Tin coated carbide | “ | “ | 45-215 |
| | 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)

2.1.3. *Machinability*/ Mampu Mesin

Istilah *machinability* digunakan untuk merujuk pada kemudahan material kerja dikerjakan di bawah serangkaian kondisi pemotongan tertentu. Pengetahuan tentang suatu pekerjaan bahan penting bagi insinyur produksi sehingga ia dapat merencanakan pemrosesan secara efisien. Jika bahan A lebih mampu mesin dari bahan B, itu bisa berarti lebih sedikit daya diperlukan material A untuk dikerjakan di mesin, atau umur pahat yang lebih tinggi dapat dicapai dengan bahan A, atau permukaan akhir yang lebih baik dapat diperoleh dengan material A. Selain itu, kemudahan pembuangan chip, suhu pemotongan, keselamatan operator, dll adalah kriteria lain dari *machinability* juga

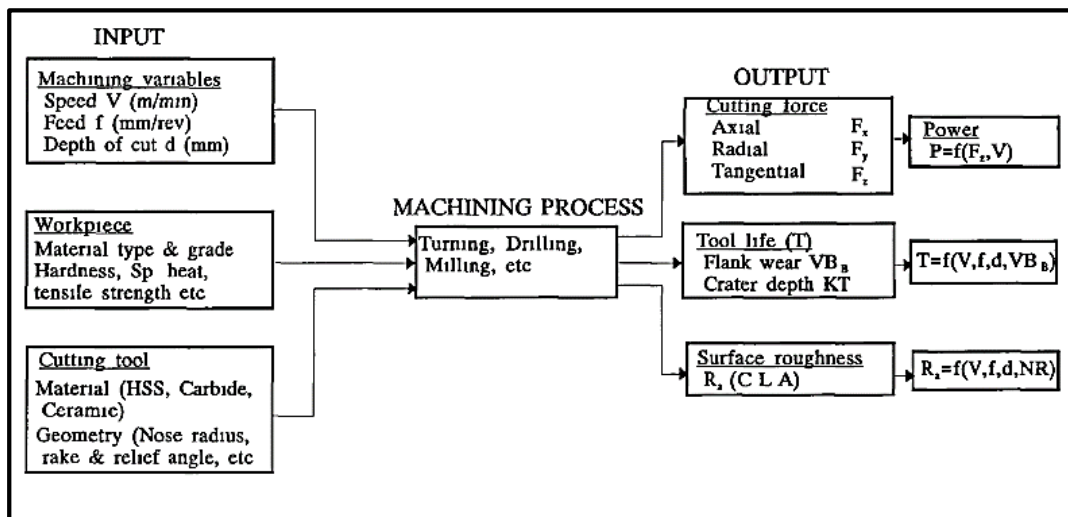
machinability dari material A mungkin lebih baik daripada B sehubungan dengan permukaan akhir di bawah satu set kondisi pemotongan sementara kemampuan mesin dari bahan B mungkin lebih baik daripada A dengan mengamati umur pahat di bawah kondisi pemotongan yang berbeda.

Secara umum *machinability* suatu material dapat dianggap sebagai kombinasi kecil gaya potong, tingkat pelepasan logam tinggi, umur pahat lebih lama, permukaan yang lebih baik selesai / integritas, chip yang rusak, dan akurasi dimensi seragam. faktor-faktor yang mempengaruhi sifat pemesinan suatu material adalah (i) operasi pemesinan, (ii) kondisi pemotongan, (iii) properti benda kerja, (iv) properti alat, dan (v) dinamika alat atau benda kerja yang berputar.

Parameter *machinability* adalah kecepatan potong, umpan, kedalaman potong, dan fluida pemotongan. Semakin tinggi kecepatan potong, semakin rendah umur pahat. Ini juga berlaku untuk pemakanan. Selain itu, saat pemakanan meningkat, daya yang dikonsumsi selama pemotongan juga meningkat. Semakin tinggi kedalaman potong, semakin besar persyaratan daya properti benda kerja yang memiliki pengaruh nyata

pada kemampuan mesin adalah struktur mikro, komposisi kimia, dan sifat fisik. Perubahan kecil pada struktur mikro suatu material dapat sangat memengaruhi kemampuan mesinnya. Komposisi kimia suatu bahan juga mempengaruhi sifat *machinability*-nya. Belerang, timbal, dan fosfor meningkatkan kemampuan mesin suatu bahan sementara kromium, vanadium, nikel, dan molibdenum menghambat kemampuan mesin dari karbida abrasif yang keras pada struktur mikro dapat memiliki efek yang merugikan sifat mampu mesin. Sifat fisik material yang mempengaruhi *machinability* adalah kekerasan dan sifat pengerjaan kekerasan.

Berbagai tes *machinability* telah dikembangkan, seringkali untuk menilai kondisi pemotongan tertentu, sementara yang lain digunakan untuk penilaian permesinan yang lebih umum. Namun demikian, tiga parameter penilaian dari *machinability* adalah i) *cutting force*, ii) *tool life*, dan iii) *surface finishing*. Gambar 2.5 menunjukkan tes mampu mesin yang berbeda.

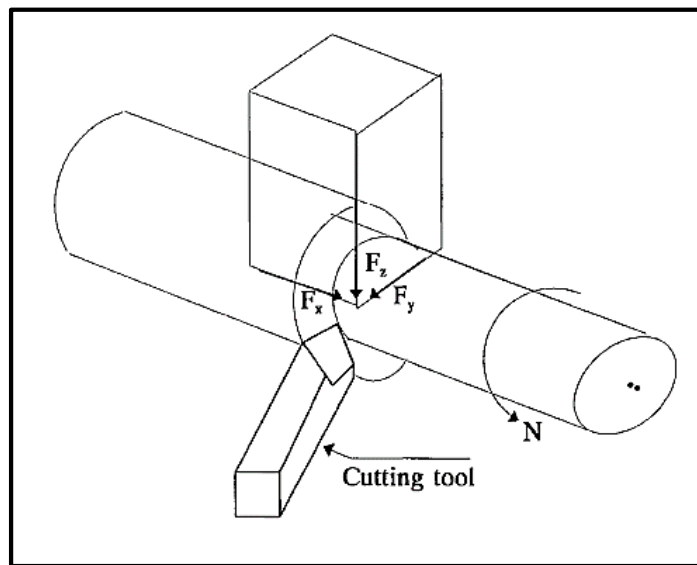


Gambar 2.5. Berbagai variabel *machinability* pada proses permesinan
 Sumber : *Machinability Studies of High Strength Materials and the Development of A Data Base System* (Choudhury,1995)

2.1.4.1. Cutting Force

Pemahaman tentang kekuatan dan kecepatan yang terjadi selama proses pemotongan adalah dasar penting untuk menentukan ukuran dan

maternal beban yang ditransmisikan elemen-elemennya bersama dengan tenaga penggerak yang dibutuhkan. Proses pemesinan dapat diklasifikasikan ke dalam (i) proses pemotongan ortogonal dan (ii) proses pemotongan miring. Dalam pemotongan ortogonal, ujung pahat tegak lurus terhadap kecepatan relatif antara alat dan benda kerja dan melibatkan dua kekuatan Miring pemotongan, di sisi lain, melibatkan situasi tiga kekuatan di mana ujung pahat condong ke kecepatan potong.



Gambar 2.6. Tiga komponen *cutting force* yang bekerja pada satu titik
Sumber : *Machinability Studies of High Strength Materials and the Development of A Data Base System* (Choudhury,1995)

Dalam operasi turning, gerakan memotong utama berputar dengan pemakanan pahat sejajar dengan sumbu rotasi. Gaya potong resultan F yang bertindak atas alat pemotong diselesaikan menjadi tiga komponen dalam tiga arah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 gaya tangensial F_z bekerja di sepanjang arah kecepatan potong ini adalah tangensial untuk permukaan yang dibalik. Ini adalah komponen utama pemotongan kekuatan, yang bersama-sama dengan kecepatan potong menentukan daya bersih yang dibutuhkan untuk *drive spindle* utama. Gaya tangensial menyumbang hampir 99% dari daya diperlukan oleh proses gaya umpan F_x bekerja sepanjang arah umpan alat gaya ini biasanya sekitar 15% -50% dari gaya tangensial F_z tetapi hanya memperhitungkan persentase kecil dari daya

yang dibutuhkan. Daya yang diperlukan untuk umpan adalah ditentukan oleh gaya umpan bersama dengan kecepatan umpan Radial atau dorong force F_y bertindak tegak lurus terhadap permukaan yang berubah. Gaya ini sekitar 30% -50% dari kekuatan umpan F_x dan berkontribusi sangat sedikit untuk kebutuhan daya karena kecepatan dalam arah radial dapat diabaikan. (Choudhury,1995),Gaya resultan total F menjadi:

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

2.1.4.2. Tool Life

Umur pahat dapat didefinisikan sebagai lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai batas keausan yang ditetapkan. Saat proses permesinan berlangsung bahwa pahat telah mencapai batas keausan yang telah ditetapkan (umurnya) dari kriteria berikut :

- Adanya kenaikan gaya potong,
- Terjadinya getaran/ *chatter*,
- Penurunan kehalusan permukaan hasil permesinan, dan/atau
- Perubahan dimensi/ geometri produk.

Dengan menentukan kriteria saat habisnya umur pahat seperti di atas, maka umur pahat dapat ditentukan yaitu mulai dengan pahat baru (setelah diasah atau *insert* telah diganti) sampai pahat yang bersangkutan dianggap tidak bisa digunakan lagi. Dimensi umur dapat merupakan besaran waktu, yang dapat dihitung secara langsung maupun secara tidak langsung dengan mengkorelasikan terhadap besaran lain. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah prosedur perhitungan sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan. (Budiman dan Richard, 2007)

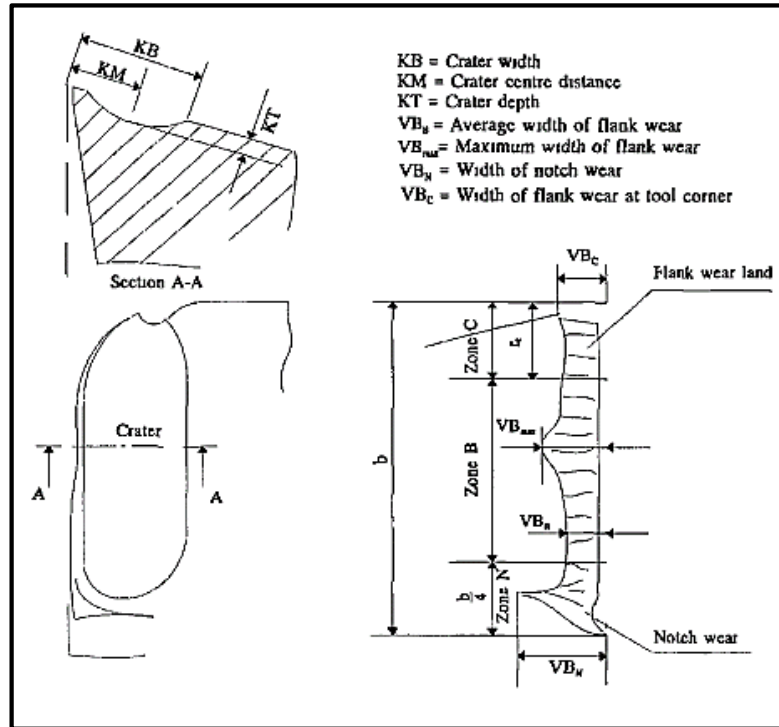
Dalam operasi pemotongan logam, umur pahat adalah salah satu yang paling penting secara ekonomi. Pertimbangan Setiap pahat atau perbaikan materi kerja yang adalah untuk meningkatkan masa pakai pahat. Pahat pemotong yang diinginkan adalah kontak logam ke logam dengan chip dan benda kerja dalam kondisi stress yang sangat tinggi pada suhu tinggi. Adanya gradien tegangan dan suhu yang ekstrim di dekat permukaan alat semakin memperburuk situasi.

Istilah keausan pahat mengacu pada degradasi permukaan pemotongan dan / atau pembersihan alat, fraktur, dan pengurangan sifat mekanik alat karena tinggi suhu. Keausan pahat adalah produk dari kombinasi empat faktor beban yang terus-menerus berusaha mengubah geometri ujung pahat. Empat faktor adalah mekanis, termal, kimia, dan abrasif yang menghasilkan lima mekanisme keausan dasar seperti (i) keausan perekat, (ii) keausan abrasif, (iii) difusi aus, (iv) keausan kelelahan, dan (v) keausan oksidasi Bertindak dalam isolasi atau dalam kombinasi, mekanisme ini menyebabkan dua mode keausan yang berbeda.

Jenis pertama yang dikenal sebagai keausan tidak teratur, termasuk retak, patah, terkelupas, dan deformasi plastik sisipan. Tipe kedua didefinisikan sebagai keausan biasa terdiri dari keausan sisi hidung dan ujung pahat utama, dan kawah aus permukaan rake dari insert pahat Flank wear biasanya adalah tipe normal pahat wear dan bertanggung jawab untuk meningkatkan gaya potong dan suhu antar muka. Memakai kawah, di sisi lain, biasanya diamati saat pemesinan baja dan lainnya logam dengan titik leleh tinggi dengan kecepatan potong yang relatif tinggi. Kawah terbentuk agak jauh dari ujung tombak di wilayah di mana pahat ini mengalami suhu terpanas.

Kriteria umur pahat didefinisikan sebagai nilai ambang batas yang telah ditentukan dari keausan pahat terukur yang menunjukkan bahwa alat harus ditolak untuk digunakan setelah nilai ambang dicapai. Dalam operasi pemotongan logam, sayangnya keausan permukaan dan sayap. Alat pemotong tidak seragam sepanjang ujung pahat utama oleh karena itu perlu untuk menentukan lokasi dan tingkat keausan saat menentukan jumlah keausan diizinkan sebelum mengganti alat. Gambar 2.7 menunjukkan pola keausan alat titik tunggal Seperti yang ditunjukkan pada gambar, KT kedalaman kawah diukur pada titik terdalam dari kawah dan itu kadarnya sepanjang ujung tombak utama Memakai panggul umumnya terbesar di ujung kaki utama *cutting edge*. Karena rumitnya aliran chip di daerah ujung pahat , kondisinya lebih parah di sudut lebar lahan aus mengapit di alat C

corner ditunjuk oleh VB_c sementara yang sebaliknya ditunjuk oleh VB_n yang dikenal sebagai takik atau lekukan aus. (Choudhury, 1995)



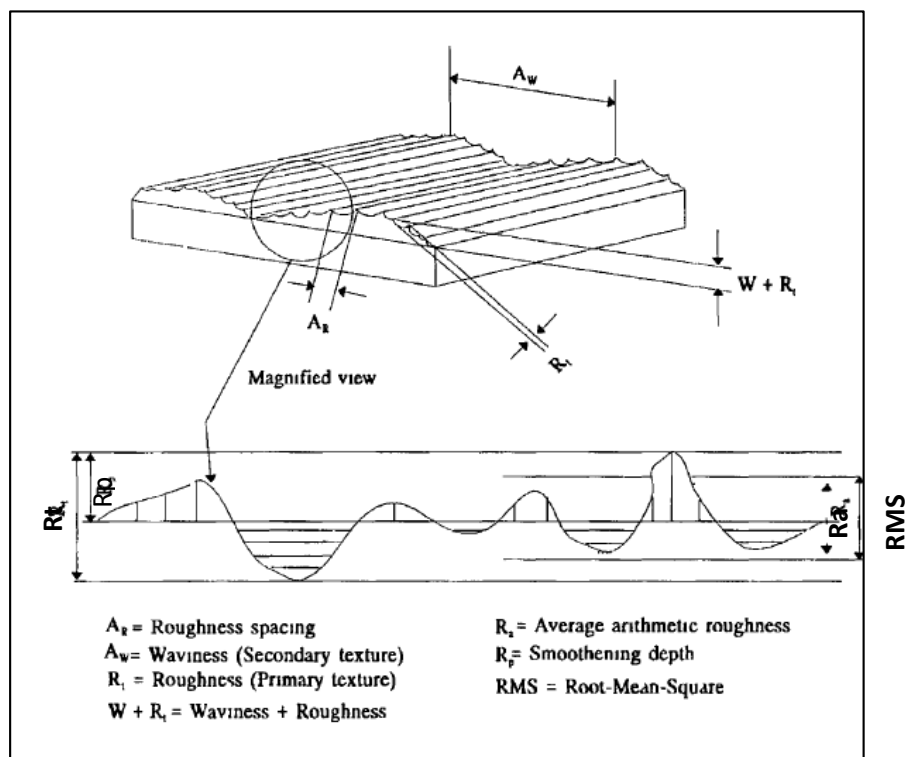
Gambar 2.7. Fitur pada single poin pahat
 Sumber : *Machinability Studies of High Strength Materials and the Development of A Data Base System* (Choudhury, 1995)

Umur pahat merupakan seluruh waktu pemotongan (t_c) sehingga dicapai batas keausan yang telah ditetapkan ($VB_{maks} = 0,2 \text{ mm}$). Pertumbuhan keausan pahat pada kecepatan potong yang berbeda sampai batas kritis keausan pahat Karbida.

Pada kecepatan potong rendah terbentuk BUE (*Built Up Edge*) yakni penumpuk logam pada mata potong. BUE merupakan struktur yang dinamik yang dapat terkelupas seluruhnya bila ada beban kejut sehingga membawa sebagian lapisan terluar pahat. Pada kecepatan potong rendah juga terjadi proses abrasif yang menggesek permukaan bidang utama namun tidak begitu mencolok. (Budiman dan Richard, 2007)

2.1.4.3. Surface Roughness

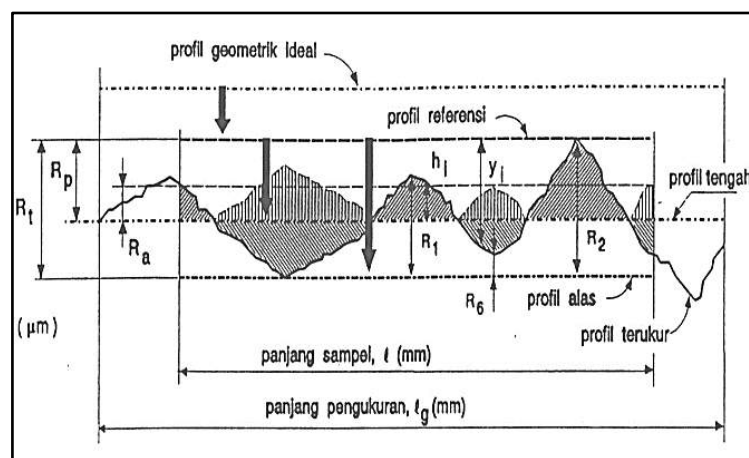
Di permukaan permesinan apa pun, istilah yang digunakan untuk menggambarkan kualitas geometrisnya diketahui sebagai kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan mengacu pada properti permukaan mesin. Kekasaran permukaan adalah bagian dari permukaan akhir (tekstur permukaan) yang bisa didefinisikan sebagai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



Gambar 2.8. Variasi komponen dan parameter dari kekasaran permukaan permesinan. Sumber : *Machinability Studies of High Strength Materials and the Development of A Data Base System* (Choudhury,1995)

Dengan pengecualian RMS, berbagai indeks ini (R_a , R_p , R_t) biasa digunakan. Indeks yang paling umum digunakan adalah tinggi kekasaran aritmatika R_a tekstur sekunder adalah bagian dari tekstur permukaan yang mendasari kekasaran. Semua jenis getaran mesin, terjadinya *built-up-edge*, ketidakakuratan dalam pergerakan alat mesin dapat berkontribusi pada tekstur sekunder. Gambar 2.10 menunjukkan berbagai komponen dan parameter permukaan mesin. Kekasaran aritmatika rata-rata R_a juga dikenal sebagai CLA rata-rata garis tengah (Inggris) dan rata-rata aritmatika AA (Amerika) R_a dikutip dalam mikron mewakili nilai rata-rata kekasaran CLA atau kekasaran AA R_a diperoleh dengan mengukur penyimpangan rata-rata puncak dari garis tengah jejak, garis tengah ditetapkan sebagai garis di atas dan di bawah, area yang sama antara garis tengah dan jejak permukaan

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



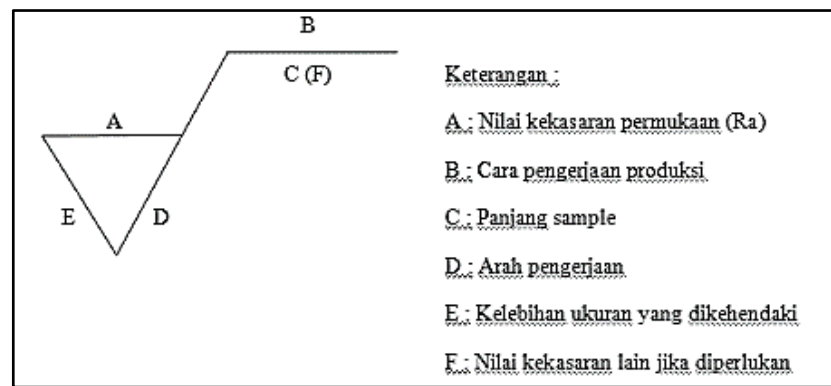
Gambar 2.9. Tekstur permukaan benda kerja

Sumber : Teori Dan Teknologi Proses Pemesinan (Rochim,1993)

Kedalaman kehalusan R_p adalah jarak antara titik tertinggi dan rata-rata garis R_p biasanya hasil dari kondisi alat pemotong puncak maksimum

ke ketinggian lembah dalam jejak jejak profil permukaan dikenal sebagai R_t RMS adalah kekasaran geometris rata-rata dan merupakan standar Amerika numerik nilainya sekitar 11% lebih tinggi dari R_a . (Choudhury, 1995)

Pada gambar teknik kekasaran permukaan biasanya dilambangkan dengan simbol yang berupa segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan. Pada segitiga ini juga terdapat beberapa angka dan symbol yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.10. Lambang kekasaran permukaan
 Sumber : Analisa Kekasaran Permukaan Benda Kerja dengan Variasi Jenis Material dan Pahat Potong (Azhar, 2014)

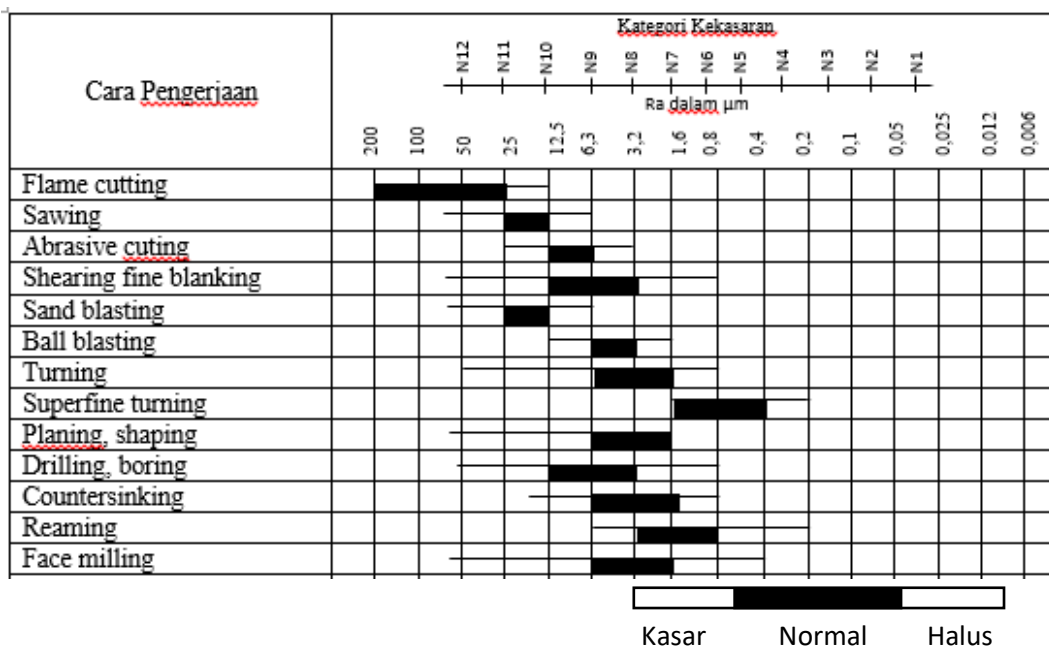
Angka yang ada pada symbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (R_a). Nilai R_a telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada Tabel 2.1 dibawah ini. (Azhar, 2014)

Tabel 2.2. Angka Kekasaran permukaan (Azhar, 2014)

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

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

Tabel 2.3. Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan (Adzkari, 2017)



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)

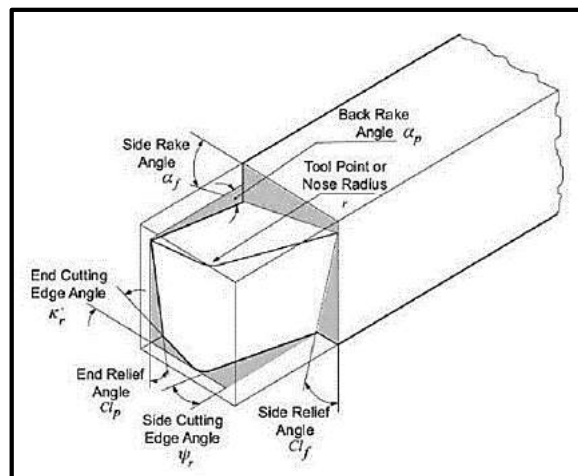
Kekerasan dan tahan terhadap gesekan yang rendah tidak diinginkan pada material pahat, sebab akan menyebabkan keausan pada material pahat tersebut. Keuletan yang rendah dan ketahanan *thermal* yang rendah akan mengakibatkan rusaknya pahat terhadap mata potong maupun retak mikro pada pahat yang mengakibatkan 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 Baron 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 2.13. Parameter ini adalah sisi *cutting edge angle*, *end cutting edge angle*, *cutting edge inclination* dan *nose radius*.



Gambar 2.10. 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 :

- WC + Co + (WC-TiC-TaC-NiC) untuk digunakan dalam pemesinan baja.
- WC + Co untuk digunakan dalam permesinan besi cor dan logam non ferro.
- 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. Heat Treatment

Proses perlakuan panas adalah metode dimana logam dipanaskan dan didinginkan dalam serangkaian operasi spesifik yang tidak pernah memungkinkan logam untuk mencapai kondisi cair. Tujuan dari *heat treatment* adalah untuk membuat logam lebih bermanfaat dengan mengubah atau memulihkan sifat mekaniknya. Melalui perlakuan panas, kita bisa membuat logam lebih keras, lebih kuat, dan lebih tahan terhadap dampak guncangan. Juga, perlakuan panas dapat membuat logam lebih lembut dan lebih ulet. Satu kelemahannya adalah tidak ada perlakuan panas yang prosedurnya dapat menghasilkan semua karakteristik ini di satu operasi. Beberapa properti ditingkatkan mempengaruhi sifatnya yang lain; misalnya, pengerasan logam mungkin membuatnya rapuh.

Agar berhasil memanaskan logam, harus memiliki peralatan yang tepat dengan dekat kontrol atas semua faktor yang relevan dengan pemanasan dan pendinginan. Misalnya, tungku harus ukuran dan jenis yang tepat dengan suhu dikontrol dan disimpan di dalam batas yang ditentukan untuk setiap operasi, dan harus memiliki pendinginan yang sesuai media untuk mendinginkan logam pada tingkat yang benar. Atmosfer tungku itu sendiri mempengaruhi kondisi logam yang dipanaskan. Atmosfer ini terdiri dari gas-gas di ruang pemanas tungku yang bersirkulasi dan mengelilingi logam yang sedang dipanaskan.

Perlakuan panas dilakukan dalam tiga tahap utama :

- Tahap 1 Memanaskan logam secara perlahan untuk memastikan suhu yang seragam.

Tujuan utama dalam tahap pemanasan adalah untuk mempertahankan suhu yang seragam. Jika pemanasan yang tidak merata terjadi, satu bagian dari suatu bagian dapat mengembang lebih cepat dari yang lain dan menghasilkan

distorsi atau retak. Suhu seragam dicapai dengan pemanasan lambat. Tingkat pemanasan suatu bagian tergantung pada beberapa faktor. Salah satu faktor penting adalah konduktivitas panas logam. Logam dengan konduktivitas panas tinggi memanaskan pada laju yang lebih cepat daripada logam dengan konduktivitas rendah. Juga, kondisi logam menentukan laju pemanasannya. Laju pemanasan untuk perkakas dan bagian yang diperkeras harus lebih lambat daripada logam tanpa tekanan atau tanpa perlakuan. Akhirnya, ukuran dan angka penampang menjadi laju pemanasan. Bagian dengan penampang besar membutuhkan laju pemanasan yang lebih lambat untuk memungkinkan suhu interior tetap dekat dengan suhu permukaan yang mencegah melengkung atau retak. Bagian dengan penampang yang tidak rata mengalami pemanasan yang tidak merata; Namun, bagian-bagian tersebut kurang mudah retak atau melengkung berlebihan ketika laju pemanasan dijaga tetap lambat.

- Tahap 2 Merendam (menahan) logam pada suhu tertentu pada waktu tertentu.
Setelah logam dipanaskan sampai suhu yang tepat, itu ditahan pada suhu yang diinginkan sampai perubahan struktural bagian dalam terjadi. Proses ini disebut *soaking*. Lamanya waktu diadakan di temperatur yang tepat disebut *soaking periode*. *soaking periode* tergantung pada analisis kimia logam dan dimensinya. Ketika bagian baja tidak rata pada penampang, periode perendaman ditentukan oleh bagian terbesar.
- Tahap 3 = Mendinginkan logam hingga mencapai suhu kamar
Setelah logam ditahan pada suhu tertentu, itu harus dikembalikan ke suhu kamar untuk menyelesaikan proses perlakuan panas. Untuk mendinginkan logam, Anda dapat menempatkannya di kontak langsung dengan medium pendingin terdiri dari gas, cairan, padat, atau kombinasi dari ini. Tingkat di mana logam didinginkan tergantung pada logam dan sifat-sifatnya yang diinginkan. Laju pendinginan tergantung pada mediumnya; Oleh karena itu pilihan media pendingin memiliki pengaruh yang penting pada sifat-sifat yang diinginkan. Quenching adalah prosedur yang digunakan untuk mendinginkan logam cepat dalam minyak, air, air garam, atau media lainnya. Karena kebanyakan logam didinginkan dengan cepat selama pengerasan proses,

pendinginan biasanya dikaitkan dengan pengerasan; Namun, pendinginan tidak selalu menghasilkan dalam peningkatan kekerasan; misalnya, untuk tembaga anil, biasa direndam dalam air. Logam lainnya, seperti sebagai baja yang dikeraskan dengan udara, didinginkan pada laju yang relatif lambat untuk pengerasan. Beberapa logam mudah retak atau melengkung saat pendinginan, dan yang lain tidak menderita efek buruk; Oleh karena itu, pendinginan media harus dipilih agar sesuai dengan logam. (Steelworker.Vol 1, 1996)

Suhu rekristalisasi logam menentukan batas antara pengerjaan panas dan dingin. Pengerjaan panas logam dilakukan di atas suhu rekristalisasi atau di atas daerah pengerasan kerja. Pengerjaan dingin dilakukan di bawah suhu rekristalisasi dan kadang-kadang berlangsung pada suhu ruang. Suhu rekristalisasi baja berkisar antara 500°C dan 700°C. Tidak ada gejala pengerasan kerja di atas suhu rekristalisasi. Pengerasan kerja baru mulai terjadi ketika limit bawah daerah rekristalisasi dicapai. Selama operasi pengerjaan panas, logam berada dalam keadaan plastik dan muda dibentuk oleh tekanan . pengerjaan panas mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

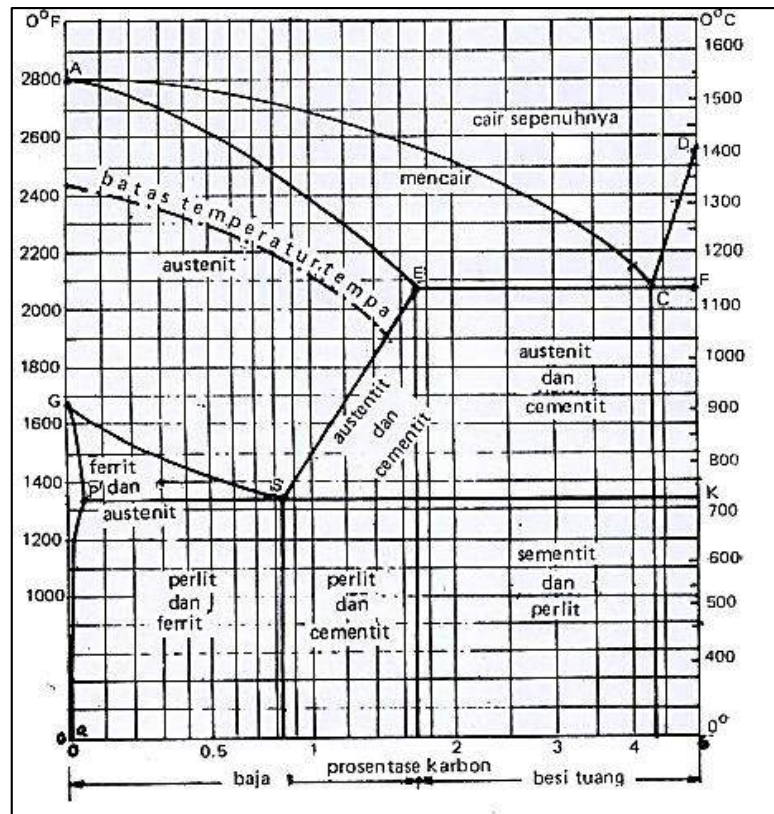
1. Porositas dalam logam dapat dikurangi. Batangan [ingot] setelah dicor umumnya mengandung banyak lubang-lubang tersebut tertekan dan dapat hilang oleh karena pengaruh tekanan kerja yang tinggi
2. Ketidakmurnianan dalam bentuk inklusi terpecah-pecah dan tersebar dalam logam.
3. Butir yang kasar dan butir berbentuk kolom diperhalus. Hal ini berlangsung di daerah rekristalisasi.
4. Sifat-sifat fisik meningkat, disebabkan oleh karena penghalusan butir.
5. Keuletan dalam logam meningkat.
6. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk baja dalam keadaan panas jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk pengerjaan dingin.

Segi negatif proses pengerjaan panas tidak dapat diabaikan. Pada suhu yang tinggi terjadi oksidasi dan pembentukan kerak pada permukaan logam sehingga penyelesaian permukaan tidak bagus. Alat peralatan pengerjaan panas dan

biaya pemeliharannya tinggi, namun prosesnya masih jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan pengerjaan logam pada suhu rendah

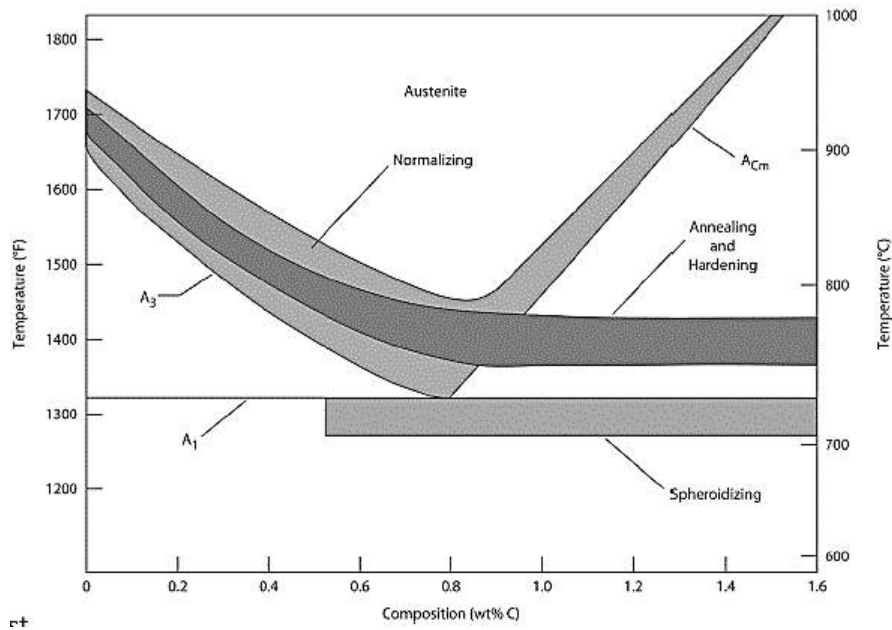
Pada dasarnya untuk benda-benda dari baja proses pemanasan akan membawa akibat perubahan struktur, seperti diketahui baja adalah besi yang mengandung 0,2%–1,8% C. pada suhu dibawah 723°C baja hiper eutektoid (baja dengan kadar carbon sampai 0,8%) terdiri dari ferrit dan perlit. Bila baja ini dipanaskan, maka pada daerah transisi struktur perlit berubah menjadi austenit, sehingga susunan di daerah itu adalah ferrit dan austenit. Baja hiper eutektoid, ialah baja dengan kadar carbon 0,8% di bawah suhu 723°C terdiri dari perlit dan cementit sekunder. Pada pemanasan, perlit dari baja ini akan berubah pula menjadi austenit hingga susunannya di daerah SKE adalah austenit dan cementit sekunder. Hal ini berarti bahwa bila baja dipanaskan terus susunan strukturnya diatas garis GSE akan berubah menjadi austenit seluruhnya. Struktur austenitis ini mempunyai sifat paramagnetis dan lunak. Kekasarannya berada antara 170-200 hb. Struktur austenit yang mempunyai titik dan pencatatan temperatur yang berbeda-beda sesuai dengan kadar karbonnya memberikan pedoman pengertian pemanasan untuk berbagai macam baja karbon.

Bila baja tersebut dipanaskan terus, akan sampai pada garis AE yang menunjukkan batas temperatur dimana baja itu mulai mencair (melebur). Garis AC menunjukkan batas temperatur dimana baja tersebut akan mencair seluruhnya. Baja terdiri dari carbon 0,3% dengan garis vertikal (A, B, C, D, E), dipanaskan dari 200°C sampai 720°C (A – B) terdiri dari daerah ferrit dan perlit. dari garis temperatur 720°C (B) keatas sampai perlit berubah menjadi austenit sedangkan ferrit masih terdapat. Pemanasan dari $\pm 840^{\circ}\text{C}$ (titik C ke titik D), ferrit akan dapat melarutkan diri hingga seluruhnya akan menjadi austenit, sebab titik 840°C merupakan batas terakhir ferrit masih dapat memisahkan diri. Pada temperatur 1470°C baja akan menjadi cair (lebur) dan pada titik C dengan temperatur 1515°C proses melebur akan selesai sehingga baja tersebut akan mencair seluruhnya.



Gambar 2.14. Grafik hubungan suhu pemanasan dan struktur baja

Sumber : Handout Teori Pembentukan Bahan (Ardian)



Gambar 2.15. Range perlakuan panas baja

Sumber : *Heat Treating* (ASM International, 2015)

2.3.1. Annealing

Secara umum, *annealing* adalah kebalikan dari pengerasan, logam di anil untuk menghilangkan tekanan internal, melunakkan, membuatnya lebih ulet, dan menghaluskan struktur gandum pada logam. *Annealing* terdiri dari memanaskan logam ke suhu spesifik, ditahan pada suhu tersebut untuk waktu tertentu, dan kemudian mendinginkan logam pada suhu tungku hingga mencapai suhu ruang. Metode pendinginan tergantung pada logam dan sifat-sifat yang diinginkan. Beberapa logam didinginkan oleh tungku, dan yang lain didinginkan dengan menguburnya dalam abu, kapur, atau bahan isolasi lainnya. (Steelworker.Vol 1, 1996)

Sultana, Hasan, dan Islam (2014) menyatakan bahwa sifat mekanik baja sangat tergantung pada berbagai bentuk operasi perlakuan panas dan laju pendinginan. Oleh karena itu perlakuan tergantung pada sifat dan aplikasi yang mungkin diperlukan untuk tujuan desain apa pun, bentuk perlakuan panas yang sesuai harus diterapkan. Untuk ketangguhan tinggi dan kekerasan yang rendah, baja ringan hasil *annealing* akan memberikan hasil yang memuaskan.

Tabel 2.4. Perkiraan Periode Penahanan untuk Pengerasan, Annealing, dan Normalisasi Baja (Steelworker.Vol 1, 1996)

| Ketebalan logam (inchi) | Waktu pemanasan untuk mencapai temperatur (jam) | Waktu penahanan (jam) |
|----------------------------|---|--------------------------|
| Mencapai 1 | 3/4 | 1/2 |
| 1 – 2 | 1 1/4 | 1/2 |
| 2 – 3 | 1 3/4 | 3/4 |
| 3 – 4 | 2 1/4 | 1 |
| 4 – 5 | 2 3/4 | 1 |
| 5 – 8 | 3 1/2 | 1 1/2 |

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:

| | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Low-Carbon Steel | 0.05% to 0.30% carbon |
| Medium-Carbon Steel | 0.30% to 0.45% carbon |
| High-Carbon Steel | 0.45% to 0.75% carbon |
| Very High-Carbon Steel | 0.75% to 1.70% carbon |

(Steelworker.Vol 1. 1996).

Secara umum baja ST 60 merupakan baja karbon sedang dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,59% C dengan titik didih 1550°C dan titik lebur 2900°C, disebut juga baja keras, banyak sekali digunakan untuk tangki, perkapalan, jembatan, dan dalam permesinan. Baja karbon sedang kekuatannya lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong (Furqon dkk, 2016).

Pada penelitian Junaidi (2016) menunjukkan nilai kekerasan pada baja dengan perlakuan panas dengan pendinginan didalam tungku dalam hal ini proses *annealing* pada suhu 950°C dengan waktu tahan 10 menit dan pendinginan di dalam tungku selama 24 jam dapat menurunkan nilai kekerasan baja ST 60 dari nilai kekerasan rata-rata sebelum di *annealing* sebesar 185 menjadi 133,6 setelah di *annealing*.

2.5. Metode Taguchi

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

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

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

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

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

1. Tahap Perencanaan

Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut.

a. Perumusan Masalah

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

b. Penentuan Tujuan Eksperimen

Tujuan eksperimen yang ditentukan harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan.

c. Penentuan Respon

Respon memiliki nilai yang tergantung pada faktor-faktor lain yang disebut variabel bebas.

d. Pengidentifikasian Faktor/Variabel Bebas

Faktor adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada langkah ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam suatu eksperimen, tidak semua faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian, eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

e. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor yang diamati dapat dibagi menjadi faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam desain eksperimen Taguchi, keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan

sedangkan factor 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. Dalam matriks ortogonal, elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom pada matriks tersebut berisi faktor-faktor atau kondisi-kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris berisikan keadaan (level) dari faktor yang terdapat pada kolom. Matriks disebut orthogonal karena level-level dari faktor-faktor berimbang jumlahnya. Penggunaan matriks ortogonal bertujuan untuk mengefisienkan dan meminimalkan biaya eksperimen serta memperhatikan faktor gangguan (sehingga disebut Robust Design). Hal ini sangat bermanfaat dalam penelitian khususnya penelitian industri, karena dalam penelitian tersebut banyak faktor yang saling berpengaruh dan berinteraksi, serta adanya factor gangguan yang sangat mahal untuk dikendalikan.

Penentuan matriks ortogonal digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Matriks ortogonal yang tepat dapat ditentukan apabila jumlah derajat kebebasan eksperimen telah dihitung. Derajat kebebasan dapat didefinisikan sebagai jumlah perbandingan antara faktor atau parameter yang dibuat untuk menentukan level mana yang lebih baik dan seberapa jauh parameter tersebut lebih baik. 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}). Jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada Tabel 2.6. Matriks ortogonal L_4 (2^3) berarti jumlah eksperimen yang akan dilakukan adalah empat, jumlah derajat kebebasan dari matriks orthogonal (v_{mo}) maksimal adalah tiga, serta matriks tersebut dapat digunakan untuk jumlah faktor maksimal 3 dengan masing-masing memiliki 2 level.

Tabel 2.5 Level 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. 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, pengumpulan dan pengolahan data dilakukan. Selain itu, juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik pada data hasil eksperimen.

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

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:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_{ijk}^2}{n} \right] \quad \text{pers.(2.1)}$$

2) Tertuju pada nilai tertentu

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:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_{ijk} - \bar{y})^2}{n} \right] \quad \text{pers.(2.2)}$$

3) Semakin besar semakin baik

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

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1/y_{ijk^2}}{n} \right] \quad \text{pers. (2.3)}$$

2.6. Analisis Variansi (ANOVA)

Analisis variansi digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik. Analisis ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variansi 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. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk melakukan analisis varian.

1. Derajat bebas total

$$v_T = N - 1 \quad \text{pers. (2.4)}$$

2. Derajat bebas faktor A (suhu anil)

$$v_A = k_A - 1 \quad \text{pers. (2.5)}$$

3. Derajat bebas faktor B (kecepatan putaran spindel)

$$v_B = k_B - 1 \quad \text{pers. (2.6)}$$

4. Derajat bebas faktor C (gerak makan)

$$v_C = k_C - 1 \quad \text{pers. (2.7)}$$

5. Derajat bebas faktor D (kedalaman pemakanan)

$$v_D = k_D - 1 \quad \text{pers. (2.8)}$$

6. Derajat bebas error

$$v_{error} = v_T - v_A - v_B - v_C - v_D \quad \text{pers. (2.9)}$$

7. Jumlah keseluruhan

$$T = \sum_{i=1}^N y_i \quad \text{pers. (2.10)}$$

8. Faktor koreksi

$$CF = \frac{T^2}{N} \quad \text{pers. (2.11)}$$

9. Jumlah kuadrat total

$$JK_T = \sum_{i=1}^N y_i^2 - CF \quad \text{pers. (2.12)}$$

10. Jumlah kuadrat faktor A

$$JK_A = \left[\sum_{i=1}^{kA} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - CF \quad \text{pers. (2.13)}$$

11. Jumlah kuadrat faktor B

$$JK_B = \left[\sum_{i=1}^{kB} \left(\frac{B_i^2}{n_{B_i}} \right) \right] - CF \quad \text{pers. (2.14)}$$

12. Jumlah kuadrat faktor C

$$JK_C = \left[\sum_{i=1}^{kC} \left(\frac{C_i^2}{n_{C_i}} \right) \right] - CF \quad \text{pers. (2.15)}$$

13. Jumlah kuadrat faktor D

$$JK_D = \left[\sum_{i=1}^{kD} \left(\frac{D_i^2}{n_{D_i}} \right) \right] - CF \quad \text{pers. (2.16)}$$

14. Jumlah kuadrat error

$$JK_{error} = JK_T - JK_A - JK_B - JK_C - JK_D \quad \text{pers. (2.17)}$$

15. Kuadrat tengah faktor A

$$KT_A = JK_A / \nu_A \quad \text{pers. (2.18)}$$

16. Kuadrat tengah faktor B

$$KT_B = JK_B / \nu_B \quad \text{pers. (2.19)}$$

17. Kuadrat tengah faktor C

$$KT_C = JK_C / \nu_C \quad \text{pers. (2.20)}$$

18. Kuadrat tengah faktor D

$$KT_D = JK_D / \nu_D \quad \text{pers. (2.21)}$$

19. Kuadrat tengah error

$$KT_{error} = JK_{error}/v_{error} \quad \text{pers.(2.22)}$$

20. F_{hitung} faktor A

$$F_{hitung} = KT_A/KT \quad \text{pers.(2.23)}$$

21. F_{hitung} faktor B

$$F_{hitung} = KT_B/KT \quad \text{pers.(2.24)}$$

22. F_{hitung} faktor C

$$F_{hitung} = KT_C/KT \quad \text{pers.(2.25)}$$

23. F_{hitung} faktor D

$$F_{hitung} = KT_D/KT \quad \text{pers.(2.26)}$$

24. Persen Kontribusi A

$$PK_A = (JK_A/JK) \times 100\% \quad \text{pers.(2.27)}$$

25. Persen Kontribusi B

$$PK_B = (JK_B/JK) \times 100\% \quad \text{pers.(2.28)}$$

26. Persen Kontribusi C

$$PK_C = (JK_C/JK) \times 100\% \quad \text{pers.(2.29)}$$

27. Persen Kontribusi D

$$PK_D = (JK_D/JK) \times 100\% \quad \text{pers.(2.30)}$$