

SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK PERMESINAN MATERIAL BAJA ST 60
AKIBAT PROSES ANNEALING**

Oleh:

FADIL HIDAYAT

D211 15 520



**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR**

2021

SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK PERMESINAN MATERIAL BAJA ST 60 AKIBAT
PROSES *ANNEALING***

OLEH :

FADIL HIDAYAT

D211 15 520

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENYERAHAN

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 :

**STUDI KARAKTERISTIK PERMESINAN MATERIAL BAJA ST 60 AKIBAT
PROSES ANNEALING**

FADIL HIDAYAT
D211 15 520

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



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



Fauzan, ST., MT., Ph.D
NIP. 19770103 20080 1 009

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 di bawah ini:

NAMA : Fadil Hidayat

NIM : D211 15 520

JUDUL SKRIPSI : Studi karakteristik permesinan material baja st 60 akibat proses *annealing*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Makassar, 2 Maret 2021


Yang membua: 

Fadil Hidayat

ABSTRACT

Fadil hidayat (D2115520). Study of Machining Characteristics of ST 60 Steel Material Due to the Annealing Process. (Supervised by Dr.Ir. Yusran Aminy, MT and Fauzan, ST., MT., Ph.D). This study aims to (1) Comparison of the roughness of ST 60 steel before and after experiencing the annealing process (2) Knowing the effect of machining variables on the hardness of ST 60 steel material after experiencing the annealing process. (3) Determine the optimization of process rigidity of steel turning ST 60 using the taguchi method. The results obtained from this study are surface The surface roughness of the material that has undergone the annealing process is smoother than the surface roughness of the turning material on normal ST 60 material or without annealing process. The spindle rotation speed affects the surface roughness of the ST 60 Steel Material before experiencing the annealing process and ST 60 after experiencing the annealing process, where the greater the rotation speed used, the greater the surface roughness results, the rotational speed affects the surface roughness value, the greater the rotational speed. then the greater the roughness value (Ra) obtained, then the feed motion greatly affects the surface roughness results, the greater the feeding speed used, the greater the surface roughness results and vice versa the smaller the feeding speed used. then the result of surface roughness is also getting smaller or better. The depth of cut affects the surface roughness results where the higher the infeed depth value, the higher the surface roughness value obtained under the same material and cutting conditions. Optimization using the taguchi method The optimal roughness value in this study occurred at annealing temperature of 900, spindle rotation speed of 1000 rpm with a feeding motion of 0.45 with an infeed depth of 0,5 mm.

Keywords: ST60 carbon steel, Annealing, Lathe Machining, Machining variables, spindle rotation speed, feed, Taguchi method

ABSTRAK

Fadil hidayat (D2115520). Studi Karakteristik Permesinan Material Baja ST 60 Akibat Proses *Annealing*. (Dibimbing oleh Dr.Ir. Yusran aminy, MT dan Fauzan, ST., MT., Ph.D). Penelitian ini bertujuan untuk (1) Perbandingan kekasaran baja ST 60 sebelum dan setelah mengalami proses *annealing* (2) Mengetahui pengaruh variabel pemesinan terhadap kekasaran material baja ST 60 setelah mengalami proses *annealing* (3) Menentukan Optimasi kekasaran proses pembubutan baja ST 60 menggunakan metode taguchi. Hasil yang di peroleh dari penelitian ini yaitu permukaan kekasaran permukaan hasil pembubutan material yang telah mengalami proses *annealing* hasilnya lebih halus dibandingkan dengan kekasaran permukaan hasil pembubutan pada material ST 60 normal atau tanpa mengalami proses *annealing*. kecepatan putaran *spindle* mempengaruhi kekasaran permukaan material baja ST 60 sebelum mengalami proses *annealing* dan ST 60 setelah mengalami proses *annealing*, yang dimana semakin besar kecepatan putaran yang digunakan maka hasil kekasaran permukaan yang di dapatkan juga semakin besar, kecepatan putar mempengaruhi nilai kekasaran permukaan, semakin besar kecepatan putar maka semakin besar pula nilai kekasaran (Ra) yang diperoleh, Kemudian juga gerak makan (*feed*) sangat mempengaruhi hasil kekasaran permukaan semakin besar kecepatan gerak makan yang digunakan, maka hasil dari kekasaran permukaan juga semakin besar demikian pula sebaliknya semakin kecil kecepatan gerak makan yang digunakan maka hasil dari kekasaran permukaan juga semakin kecil atau semakin baik. kedalaman pemakanan (*depth of cut*) mempengaruhi hasil kekasaran permukaan dimana semakin tinggi nilai kedalaman pemakanan maka semakin tinggi pula nilai kekasaran permukaan yang diperoleh pada kondisi material dan pemotongan yang sama begitu pula sebaliknya. Optimasi menggunakan metode taguchi nilai kekasaran yang paling optimal pada penelitian ini terjadi pada suhu *annealing* 900 kecepatan putaran spindle 1000 rpm dengan gerak makan 0,45 dengan kedalaman pemakanan 0,5 mm.

Kata kunci: Baja karbon ST60 *Annealing*, Permesinan Bubut, Variabel permesinan, Kecepatan putaran *spindel*, gerak makan (*feed*), Metode taguchi.

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 “**Studi karakteristik permesinan material baja st 60 akibat proses *annealing***” sudah ada dihadapan pembaca dan dapat dijadikan referensi 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 Drs.H.Ismail & H. Asniati S.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 Fauzan ST.,MT.,PhD 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. HYDRAULIC 2015 dan Teman-teman ZONAZI 2015 yang selalu ada dalam suka maupun duka.
7. Pengurus HMM FT-UH Periode 2018 atas pengalaman dan kisahnya selama kepengurusan.
8. Saudara seperjuangan TEKNIK 2015 atas pengalaman dan kisah berkesannya.
9. Elsa reza sari, S.Si yang telah menemani penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.

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 Desember 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENYERAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRACT	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Proses Permesinan.....	4
2.1.1. Mesin Bubut (<i>Turning</i>).....	6
2.1.2. Variable Permesinan.....	9
2.1.3. Jenis Pengerjaan pada Mesin Bubut.....	11
2.1.4. Machinability/Mampu Mesin.....	12
2.1.5. Cutting Force.....	13
2.2. Surface Roughness.....	15
2.3. Metode Taguchi.....	18
2.3.1 Tahap Perencanaan.....	19
2.3.2 Tahap Pelaksanaan.....	21
2.3.3 Tahap Analisis.....	22
2.4. Pahat Karbida.....	25
2.5. Heat Treatment.....	27
2.5.1 Annealing.....	32
2.6. Baja ST 60.....	32

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat	35
3.2. Alat dan bahan	35
3.3. Metode Pengambilan Data	38
3.4. Pelaksanaan Penelitian	38
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perbandingan kekasaran baja ST 60 sebelum dan setelah mengalami proses annealing	40
4.1.1. Anealing a = 0,5 mm	40
4.1.2. Anealing a = 1 mm	42
4.1.3. Anealing a = 1,5 mm	44
4.2. Pengaruh variabel pemesinan terhadap kekasara material baja ST 60 setelah mengalami proses <i>annealing</i>	47
4.2.1. Pengaruh Putaran spindel n (rpm) Terhadap Kekasaran Permukaan.....	47
4.2.2. Pengaruh Gerak makan (<i>feed</i>) Terhadap Kekasaran Permukaan 51	
4.2.3. Pengaruh kedalaman pemakanan (mm) Terhadap Kekasaran Permukaan.....	54
4.3. Optimasi kekasaran permukaan proses pembubutan baja ST 60 dengan menggunakan metode Taguchi.....	56

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran.....	62

DAFTAR PUSATAKA	63
------------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	64
----------------------	-----------

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 machinability pada proses permesinan	13
Gambar 2. 6 Tiga komponen cutting force yang bekerja pada satu titik	14
Gambar 2. 7 Variasi komponen dan parameter dari kekasaran	15
Gambar 2. 8 Tekstur permukaan benda kerja	16
Gambar 2. 9 Lambang kekasaran permukaan	17
Gambar 2. 10 Grafik hubungan suhu pemanasan dan struktur baja	31
Gambar 2. 11 Range perlakuan panas baja	31
Gambar 3. 1 Mesin bubut.....	35
Gambar 3. 2 Holder MTENN2020K16.....	35
Gambar 3. 3 Tungku Pembakaran.....	36
Gambar 3. 4 Stopwatch	36
Gambar 3. 5 Alat ukur kekasaran.....	36
Gambar 3. 6 Pahat sisipann karbida.....	37
Gambar 3. 7 Material Baja ST 60	37
Grafik 4. 1 Hubungan Antara f & Ra Material Normal Terhadap Ra Anil pada $a=0,5$ mm, $n=800$ rpm, $n=900$ rpm.....	41
Grafik 4. 2 Hubungan Antara f & Ra Material Normal Terhadap Ra Anil pada $a=0,5$ mm, $n=1000$ rpm	42
Grafik 4. 3 Hubungan Antara f & Ra Material Normal Terhadap Ra Anil pada $a=1$ mm, $n=800$ rpm, $n=900$ rpm.....	43
Grafik 4. 4 Hubungan Antara f & Ra Material Normal Terhadap Ra Anil pada $a=1$ mm, $n=1000$ rpm	44
Grafik 4. 5 Hubungan Antara f & Ra Material Normal Terhadap Ra Anil pada $a=1,5$ mm, $n=800$ rpm, $n=900$ rpm.....	45
Grafik 4. 6 Hubungan Antara f & Ra Material Normal Terhadap Ra Anil pada $a=1,5$ mm, $n=1000$ rpm	46

Grafik 4. 7 Hubungan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60	
Anil terhadap kecepatan putaran spindel ($a = 0,5$ mm)	47
Grafik 4. 8 Hubungan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60	
Anil terhadap kecepatan putaran spindel ($a = 1$ mm)	48
Grafik 4. 9 Hubungan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60	
Anil terhadap kecepatan putaran spindel ($a = 1,5$ mm)	49
Grafik 4. 10 Hubungan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60	
Anil terhadap Gerak Makan (<i>feed</i>) ($a = 0,5$ mm).....	51
Grafik 4. 11 Hubungan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60	
Anil terhadap Gerak Makan (<i>feed</i>) ($a = 1$ mm).....	52
Grafik 4. 12 Hubungan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60	
Anil terhadap Gerak Makan (<i>feed</i>) ($a = 1,5$ mm).....	53
Grafik 4. 13 Hubungan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST 60	
terhadap kedalaman pemakanan $n = 800$ rpm.....	54
Grafik 4. 14 Hubungan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST 60	
terhadap kedalaman pemakanan $n = 900$ rpm, $n = 1000$ rpm	55
Gambar 4. 1 Grafik plot rata-rata untuk respon kekasaran (small is better)	
Menggunakan aplikasi minitab 17	59
Gambar 4. 2 Nilai hasil perhitungan Analisis Varian Rata-rata Menggunakan	
aplikasi minitab 17	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Angka Kekasaran permukaan.	17
Tabel 2. 2 Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan.....	18
Tabel 2. 3 Matriks Ortogonal.....	21
Tabel 2. 4 Tabel Analisis Variansi (ANAVA).....	23
Tabel 2. 5 Perkiraan Periode Penahanan untuk Pengerasan, <i>Annealing</i> , dan Baja (Steelworker.Vol 1, 1996)	32
Tabel 3. 1 Komposisi kimia Baja karbon ST60.....	37
Tabel 3. 2 Sifat mekanik Baja karbon ST60	38
Tabel 4. 1 Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Normal Terhadap ST60 Anil pada $a= 0,5$ mm	41
Tabel 4. 2 . Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Normal Terhadap ST60 Anil pada $a= 1$ mm	41
Tabel 4. 3 Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Normal Terhadap ST60 Anil pada $a= 1,5$ mm	43
Tabel 4. 4 Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil pada $a = 0,5$ mm.....	45
Tabel 4. 5 Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil pada $a = 1$ mm.....	47
Tabel 4. 6 Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST60 Anil pada $a = 1,5$ mm.....	49
Tabel 4. 7 Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan ST 60.....	54
Tabel 4. 8 Variabel bebas penelitian	56
Tabel 4. 9 Desain of experiment (DOE) Matriks Ortogonal Array Minitab 17....	57
Tabel 4. 10 Hasil perhitungan rasio S/N (signal to noise Rasio) <i>Small is better</i> Minitab 17	58

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

1.1 Latar Belakang

Proses pemesinan adalah salah satu proses utama dalam industri manufaktur logam. Pada Proses pemesinan memegang peranan penting seiring dengan kemajuan teknologi pada dunia industri otomotif, konstruksi mesin dan komponen khususnya. Mesin perkakas yang digunakan dalam proses pemesinan meliputi mesin bubut, sekrup, drilling, milling serta mesin perkakas lainnya (Amstead, 1970).

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. 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)

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan mengambil judul: **“Studi Karakteristik Permesinan Material Baja ST 60 Akibat Proses *Annealing*”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat diambil pokok permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan kekasaran baja ST 60 sebelum dan setelah mengalami proses *annealing*?
2. Bagaimana pengaruh variabel pemesinan terhadap kekasaran material baja ST 60 setelah mengalami proses *annealing*?
3. Bagaimana optimasi kekasaran permukaan proses pembubutan baja ST60 dengan metode taguchi menggunakan aplikasi Minitab 17?

1.3 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 suhu 900°C dengan waktu penahanan 30 menit.
3. Variabel pemesinan yang divariasikan yaitu putaran spindle (800 rpm, 900, 1000 rpm,), gerak makan (*feed*) (0.45 mm/put, 0.545 mm/put, 0.63 mm/put) dengan kedalaman pemotongan 0,5 mm, 1 mm 1,5 mm.
4. Proses pemesinan yang dilakukan adalah pembubutan rata tanpa pendinginan.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian yang akan dicapai adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perbandingan kekasaran baja ST 60 sebelum dan setelah mengalami proses *annealing*.
2. Mengetahui pengaruh variabel pemesinan terhadap kekasaran material baja ST 60 setelah mengalami proses *annealing*.
3. Mengetahui Optimasi kekasaran proses pembubutan baja ST 60 dengan metode taguchi menggunakan aplikasi Minitab 17.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi sebagai referensi tambahan yang ingin melakukan riset secara khusus di bidang manufaktur.
2. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh proses *annealing* terhadap sifat mampu mesin pada proses pembubutan baja ST60.
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 permesinan, 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 pemesanan seringkali lebih mahal.

Sebagian besar aplikasi industri permesinan adalah logam. Meskipun proses pemotongan logam telah menolak analisis teoritis karena kerumitannya, penerapan proses ini di dunia industri tersebar luas. Proses pemesanan 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, mesin pelacak roda, atau mesin sekrup otomatis. Setiap proses 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 pres, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional . Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (shearing), pengepresan (pressing) dan penarikan (drawing, elongating). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (turning), proses frais (milling), sekrup (shaping). Proses pemotongan logam ini biasanya dinamakan proses pemesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi geram (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 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.
- Generasi permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja

4. Berdasarkan Mesin yang Digunakan

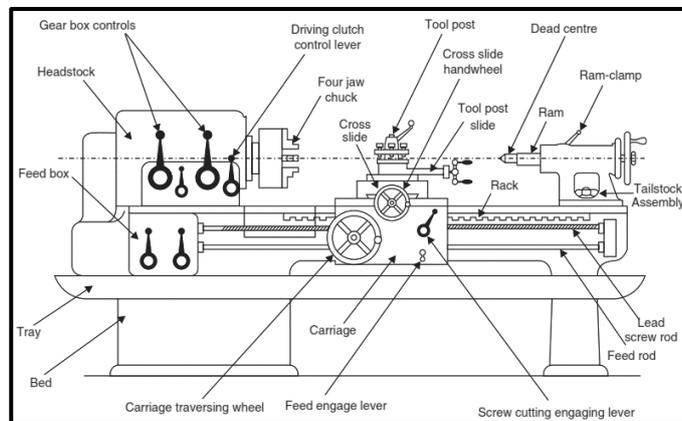
Dalam proses pemesinan jika kita ingin melakukan suatu pekerjaan, maka perlu kita ketahui terlebih dahulu dengan mesin apa yang semestinya kita gunakan sehingga produk yang kita buat sesuai dengan yang diinginkan. Beberapa jenis proses mungkin dapat dilakukan pada satu mesin perkakas. Misalnya, mesin 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 mengefrais, menggerinda atau mengasah halus asal 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 salah satu 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.



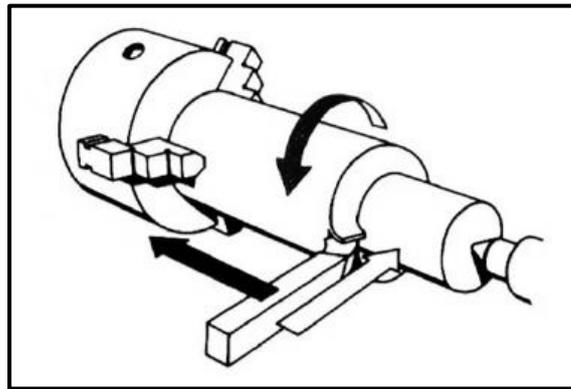
Gambar 2. 1 Komponen Mesin Bubut

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 lambat sekali 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. (Upara.2009)



Gambar 2. 2 Gerakan Pada Proses Pembubutan

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

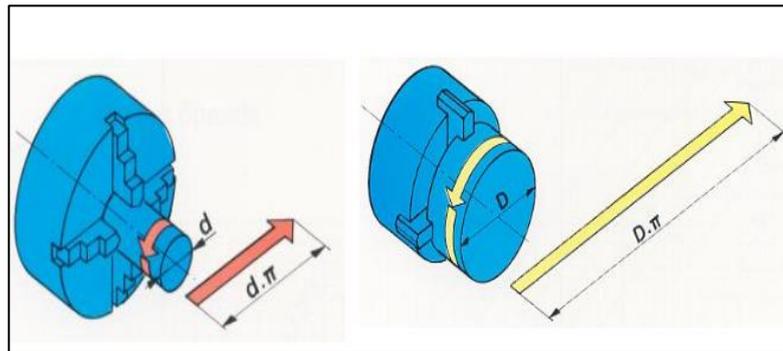
Mesin bubut merupakan salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar, tempat benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram.

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 muka alat potong bergerak bersudut terhadap sumbu utama disebut pembubutan konis atau pembubutan tirus.

2.1.2. Variable Permesinan

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



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 kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling benda kerja (lihat gambar 2.3). Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

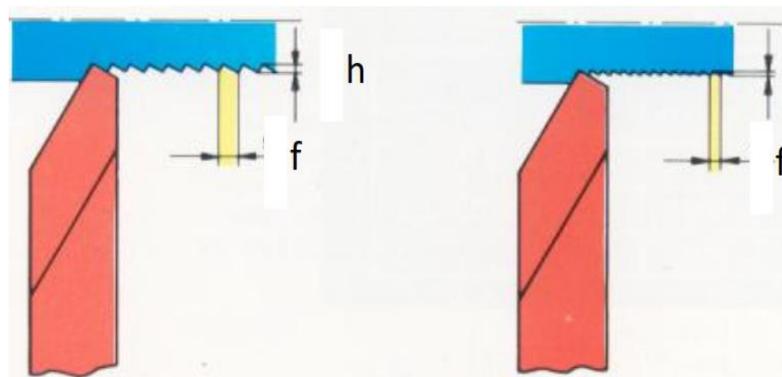
Dimana :

V_c = kecepatan potong; m/menit

d = diameter benda kerja ;mm

n = putaran benda kerja; putaran/menit

Dengan demikian kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja. Selain kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja faktor bahan benda kerja dan bahan pahat sangat menentukan harga kecepatan potong. Pada dasarnya pada waktu proses bubut kecepatan potong ditentukan berdasarkan bahan benda kerja dan pahat. Harga kecepatan potong sudah tertentu tergantung jenis bahan/benda kerja, jenis alat potong, dan kekasaran pemakanan pahat bubut. Misalnya untuk benda kerja *Mild Steel* dengan pahat dari HSS, kecepatan potongnya antara 20 sampai 30 m/menit.



Gambar 2. 4 Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h)

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

Gerak makan (*feed*), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali (lihat gambar 2.4), sehingga satuan f adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong h . Gerak makan tersebut berharga sekitar $1/3$ sampai $1/20$ h , atau sesuai dengan kehalusan permukaan yang dikehendaki.

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

Secara sederhana variabel pemesinan merupakan segala variabel yang mempengaruhi proses maupun hasil pemesinan. Variabel pemesinan ini terdiri atas variabel yang bergantung pada mesin dan variabel yang bergantung pada benda kerja. Adapun variabel pemesinan yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Benda Kerja :

d_o = diameter mula (mm)

d_f = diameter akhir (mm)

l_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. Jenis Pengerjaan pada Mesin Bubut

Jenis pengerjaan yang dapat dilakukan mesin bubut diantaranya:

1. Pembubutan Muka (*Facing*), yaitu proses pembubutan yang dilakukan pada tepi penampangnya atau gerak lurus terhadap sumbu benda kerja, sehingga diperoleh permukaan yang halus dan rata.
2. Pembubutan Rata (pembubutan silindris), yaitu pengerjaan benda yang dilakukan sepanjang garis sumbunya. Membubut silindris dapat dilakukan sekali atau dengan permulaan kasar yang kemudian dilanjutkan dengan pemakanan halus atau *finishing*.
3. Pembubutan ulir (*threading*), adalah pembuatan ulir dengan menggunakan pahat ulir.
4. Pembubutan tirus (*Taper*), yaitu proses pembuatan benda kerja berbentuk konis. Dalam pelaksanaan pembubutan tirus dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu memutar eretan atas (perletakan majemuk), pergerseran kepala lepas (*tail stock*), dan menggunakan perlengkapan tirus (*tapper attachment*).

5. Pembubutan *drilling*, yaitu pembubutan dengan menggunakan mata bor (*drill*), sehingga akan diperoleh lubang pada benda kerja. Pekerjaan ini merupakan pekerjaan awal dari pekerjaan *boring* (bubut dalam).

2.1.4. Machinability/Mampu Mesin

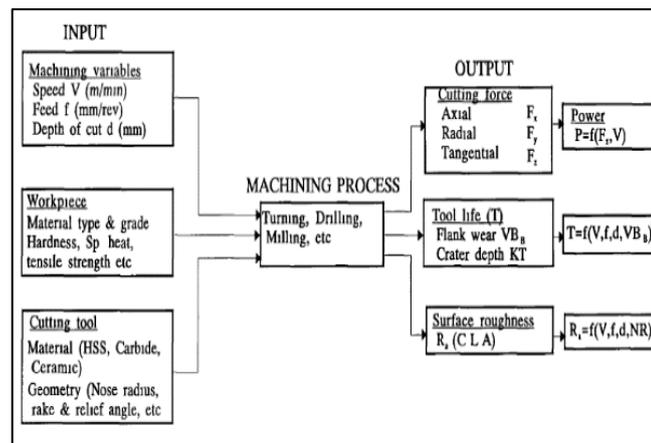
Istilah *machinability* digunakan untuk merujuk pada kemudahan material kerja di kerjakan di bawah serangkaian kondisi pemotongan tertentu. Pengetahuan tentang suatu pekerjaan bahan penting bagi insinyur produksi sehingga ia dapat merencanakan pemrosesan secara efisien. Jika bahan A lebih mampu mesin 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 mungkin lebih baik daripada B sehubungan dengan permukaan akhir di bawah satu set pemotongan kondisi 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, chip yang rusak, dan akurasi dimensi seragam. Yang berbeda faktor-faktor yang mempengaruhi sifat permesinan suatu material adalah (i) operasi pemesinan, (ii) kondisi pemotongan, (iii) properti benda kerja, (iv) properti alat, dan (v) mesin dinamika alat-alat benda kerja 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.



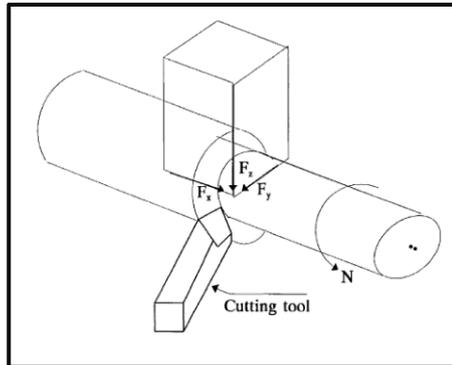
Gambar 2. 5 Berbagai variabel machinability pada proses permesinan

Sumber : *Machinability Studies of High Strength Materials and the Development of A Data Base System* (Choudhury,1995)

2.1.5. Cutting Force

Pemahaman tentang kekuatan dan kecepatan yang terjadi selama proses pemotongan adalah dasar penting untuk menentukan ukuran dan material beban yang ditransmisikan elemen-elemennya bersama dengan tenaga penggerak yang dibutuhkan. Proses pemesian 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

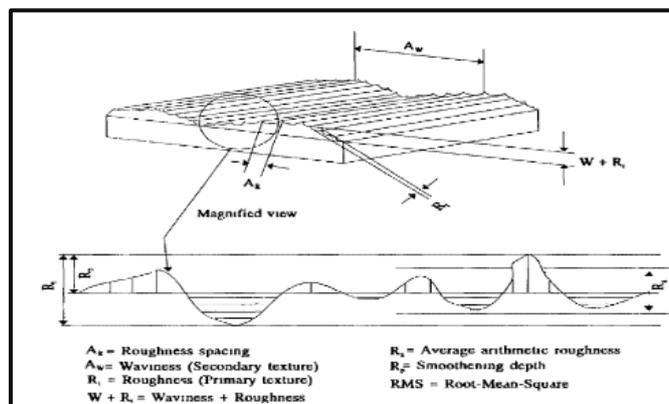
Sumber : *Machinability Studies of High Strength Materials and the Development of A Data Base System* (Choudhury,1995)

Dalam operasi turning, gerakan memotong utama berputar dengan pemakanan pahat sejajar dengan sumbu rotasi. Gaya potong resultan F alat pemotong menjadi tiga komponen dalam tiga arah seperti yang ditunjukkan pada gambar gaya tangensial F_z bekerja di sepanjang arah kecepatan potong ini adalah tangensial untuk permukaan yang dibalik. 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:

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2 \quad (2.2)$$

2.2. 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. 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. Ini diukur dengan ketinggian penyimpangan sehubungan dengan garis referensi. Tekstur permukaan mesin terdiri dari tekstur primer (kekasaran) dan tekstur sekunder. Tekstur primer dapat diukur dengan berbagai indeks seperti itu sebagai rata-rata tinggi kekasaran aritmatika R_a , kedalaman smoothing R_p , maksimal kekasaran R_z , dan tinggi RMS *root-mean-square*.



Gambar 2. 7 Variasi komponen dan parameter dari kekasaran

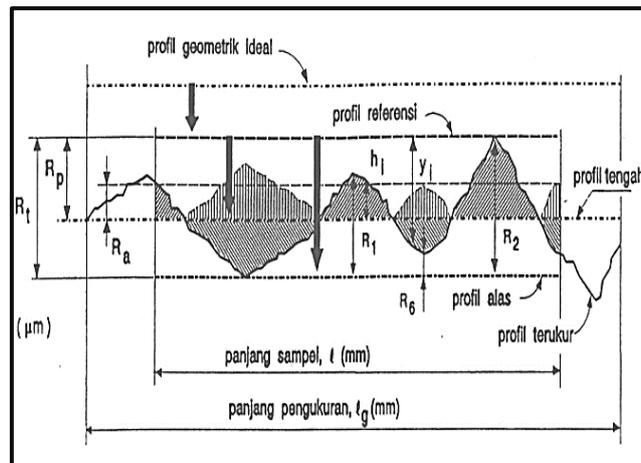
Permukaan permesinan. Sumber : *Machinability Studies of High Strength Materials and the Development of A Data Base System*

(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 2.8. 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.

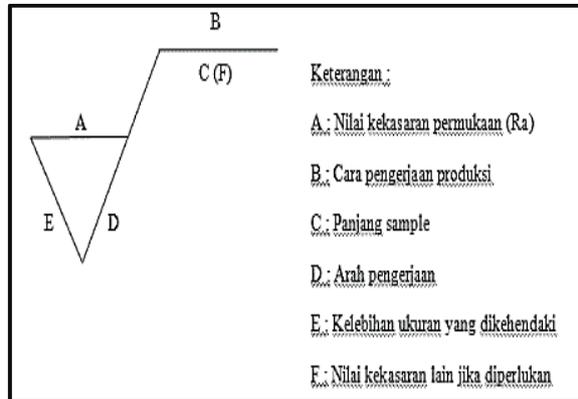


Gambar 2. 8 Tekstur permukaan benda kerja

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 simbol yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 9 Lambang kekasaran permukaan

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

Angka yang ada pada simbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (Ra). Nilai Ra telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

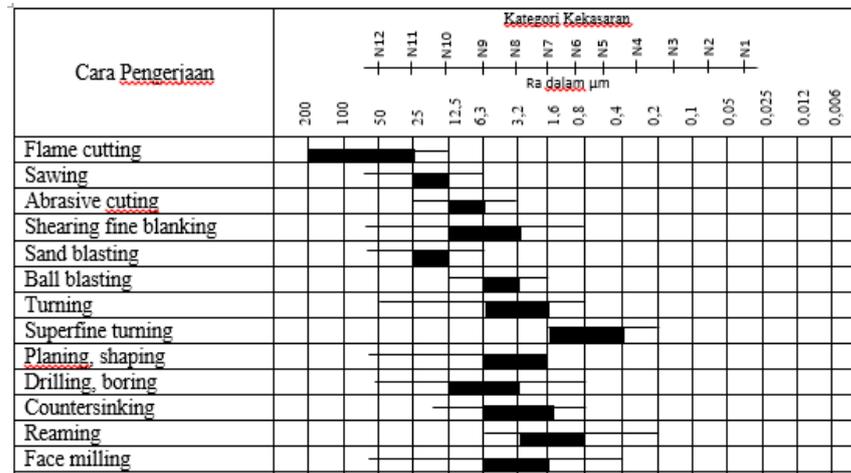
Tabel 2. 1 Angka Kekasaran permukaan.

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 – 0,03	
N5	0,4	0,03 – 0,06	0,8
N6	0,8	0,6 – 1,2	
N7	1,6	1,2 – 2,4	
N8	3,2	2,4 – 4,8	
N9	6,3	4,8 – 9,6	2,5
N10	12,5	9,6 – 18,75	
N11	25	18,5 – 37,5	8
N12	50	37,5 – 75,0	

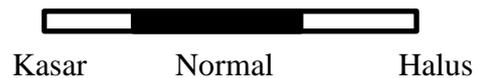
sumber : (Azhar,2014)

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

Tabel 2. 2 Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan



sumber : (Adzkari, 2017)



2.3. 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:

2.3.1 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 kondisi-kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris berisikan keadaan (level) dari faktor yang terdapat pada kolom. Matriks disebut ortogonal karena level-level dari faktor-faktor berimbang jumlahnya.

Penggunaan matriks ortogonal bertujuan untuk 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 jumlah eksperimen yang akan dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Matriks ortogonal yang tepat dapat ditentukan apabila jumlah derajat kebebasan eksperimen telah dihitung. Derajat kebebasan dapat didefinisikan sebagai jumlah perbandingan antara faktor atau parameter yang dibuat untuk menentukan level mana yang lebih baik dan seberapa jauh parameter tersebut lebih baik (Lin, 2002).

Jadi langkah awal dalam penentuan matriks ortogonal adalah penentuan jumlah faktor dan levelnya agar jumlah derajat kebebasan dapat ditentukan. Derajat kebebasan dari matriks ortogonal (ν_{mo}) dapat ditentukan dengan menjumlahkan derajat kebebasan dari faktor dan level (ν_{fl}).

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

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

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

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

Jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada Tabel 2.4. Matriks ortogonal $L_4 (2^3)$ berarti jumlah eksperimen yang dilakukan adalah empat, jumlah derajat kebebasan dari matriks ortogonal (ν_{mo}) maksimal adalah tiga, serta matriks tersebut dapat digunakan untuk jumlah faktor maksimal 3 dengan masing-masing memiliki 2 level.

Tabel 2. 3 Matriks Ortogonal

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

2.3.2 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.

2.3.3 Tahap Analisis

Pada tahap ini, pengolahan data dilakukan. Selain itu, juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik pada data hasil eksperimen. Analisis Variasi (ANAVA) digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik. Analisis ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variasi atas bagian-bagian yang diteliti. ANAVA 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 ANAVA 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. 4 Tabel Analisis Variansi (ANAVA)

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

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

Dimana :

N = jumlah total percobaan.

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

Dimana :

k_A = Jumlah level faktor A.

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

Dimana :

k_B = Jumlah level faktor B.

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

Dimana :

k_C = Jumlah level faktor C.

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

$$T = \text{Jumlah keseluruhan.}$$

$$= \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.10)$$

CF = Faktor koreksi.

$$= \frac{T^2}{N} \quad (2.11)$$

SS_T = Jumlah kuadrat total.

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

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

SS_A = Jumlah kuadrat faktor A.

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

SS_B = Jumlah kuadrat faktor B.

$$= \left[\sum_{i=0}^{k_B} \binom{B_1^2}{n_{B_1}} \right] - CF \quad (2.15)$$

SS_C = Jumlah kuadrat faktor C.

$$= \left[\sum_{i=0}^{k_C} \binom{C_1^2}{n_{C_1}} \right] - CF \quad (2.16)$$

SS_E = Jumlah kuadrat error.

$$= SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D - SS_E - SS_F \quad (2.17)$$

MS_A = Kuadrat tengah faktor A.

$$= SS_A / \nu_A \quad (2.18)$$

MS_B = Kuadrat tengah faktor B.

$$= SS_B / \nu_B \quad (2.19)$$

MS_C = Kuadrat tengah interaksi.

$$= SS_C / \nu_C \quad (2.20)$$

MS_E = Kuadrat tengah error.

$$= SS_E / \nu_E \quad (2.21)$$

2.3.1 Rasio S/N

Rasio S/N (Signal to Noise Ratio) digunakan untuk memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Penggunaan Rasio S/N dilakukan untuk meminimalkan karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan. Perhitungan rasio S/N (Soejanto, 2009) tergantung dari jenis karakteristik kualitas, yaitu:

1. Semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non-negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

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

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

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

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

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

2.4. 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 pemesinan 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. digunakan untuk pemotongan kasar, pemotongan terputus dan untuk penggilingan. Varietas kobalt rendah digunakan untuk operasi seperti berputar dengan penampang chip yang halus dan pemotongan kontinu. Disarankan untuk menjaga *braze metal* setipis mungkin.(Singh, 2006).

2.5. 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 perawatan panas 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. 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 disatu operasi. Beberapa properti ditingkatkan dibiaya bagi 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.

Dalam tungku listrik, atmosfer adalah udara atau campuran gas yang dikendalikan. Dalam tungku berbahan bakar, atmosfer merupakan campuran gas dan udara. Udara berpadu dengan gas yang dilepaskan oleh pembakaran bahan bakar menghasilkan berbagai proporsi karbon monoksida (CO), karbon dioksida (2 CO), hidrogen (H), nitrogen (N), oksigen (O), air uap (H_2), dan berbagai hidrokarbon lainnya ($n\text{ n C H}_2$). Ketika Anda memvariasikan proporsi udara dan bahan bakar dalam tungku berbahan bakar, dapat diberikan tiga atmosfer berbeda: pengoksidasi, reduksi, dan netral. (Steelworker. Vol 1.1996)

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 untuk waktu tertentu dan mendinginkan logam pada suhu kamar

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 massa bagian. 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, 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, Anda biasanya memadamkannya 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. 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. Ketidakhomogenan 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.

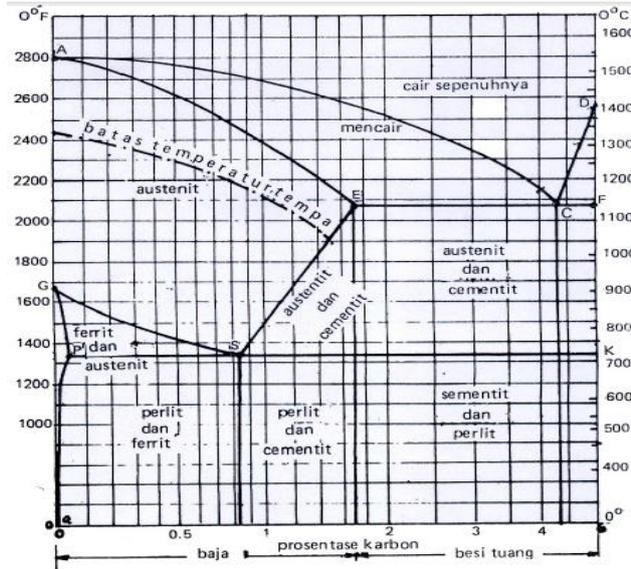
5. Keuletan dalam logam meningkat.
6. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk baja dalam keadaan panas jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk pengerjaan dingin.

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 pemeliharaannya 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 ektoid (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 atektoid, ialah baja dengan kadar carbon 0,8% di bawah suhu 723°C terdiri dari perlit dan cementit skunder. 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.

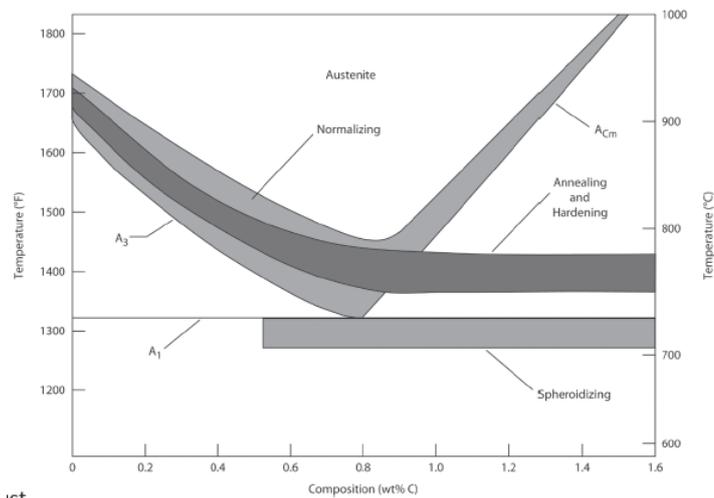
Bila baja tersebut dipanaskan terus, akan sampai pada garis AE yang menunjukkan batas temperatur dimana baja itu mulai mencair (melebur). Garis AC menunjukkan batas temperatur dimana baja tersebut akan mencair seluruhnya. Baja terdiri dari carbon 0,3% dengan garis vertikal (A, B, C, D, E), dipanaskan 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. 10 Grafik hubungan suhu pemanasan dan struktur baja

Sumber : Handout Teori Pembentukan Bahan (Ardian)



IST

Gambar 2. 11 Range perlakuan panas baja

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

2.5.1 Annealing

Secara umum, *annealing* adalah kebalikan dari pengerasan, logam di anil untuk menghilangkan tekanan internal, melunakkan, dan menghaluskan struktur logam. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sugita (2017) membuktikan bahwa terjadi peningkatan persentase perpanjangan specimen hasil uji tarik setelah di *annealing*. Makin tinggi persentase perpanjangan, maka makin ulet bahan uji tersebut. Annealing terdiri dari memanaskan logam ke suhu spesifik, tahan pada suhu tersebut untuk mengatur waktu, dan kemudian mendinginkan logam ke suhu kamar. 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. 5 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)
Up to 1	3/4	1/2
1 to 2	1 1/4	1/2
2 to 3	1 3/4	3/4
3 to 4	2 1/4	1
4 to 5	2 3/4	1
5 to 8	3 1/2	1 1/2

2.6. 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).

Baja dibuat dari besi kasar dengan mengurangi jumlahnya karbon 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 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, dipotong (Firman dkk, 2016).

Selain itu, hasil penelitian Widodo Surya (2014) menunjukkan bahwa setelah dipanaskan, ketangguhan baja ST 60 akan meningkat. Serta pada

struktur mikro patahan baja ST 60 terjadi fenomena *ductile to brittle transition*, salah satu penyebab fenomena ini adalah laju regangan tinggi yang awalnya merupakan material ulet tetapi mengalami patah getas. Ketika diamati dari permukaan patahan, transisinya akan tampak serabut-serabut pada patahan yang benar-benar bersifat ulet, dan tampak butiran-butiran kecil yang terlihat mengkilap pada patahan yang benar-benar bersifat getas.