

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH ANNEALING TERHADAP KEKASARAN
BAJA ST42 DAN BAJA ST60 PADA
PERMESINAN FRAIS**

OLEH :

WAHYU PRACIPTO

D211 14 515



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH ANNEALING TERHADAP KEKASARAN
BAJA ST42 DAN BAJA ST60 PADA
PERMESINAN FRAIS**

OLEH :

WAHYU PRACIPTO

D211 14 515

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 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 :

**STUDI PENGARUH ANNEALING TERHADAP KEKASARAN
BAJA ST 42 DAN BAJA ST 60 PADA PERMESINAN FRAIS**

WAHYU PRACIPTO

D211 14 515

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II




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



Azwar Hayat, M.Sc., Ph.D
NIP. 19810126 2012121 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama Lengkap : Wahyu Pracipto
Tempat Tanggal Lahir : Palu 08, Januari 1996
Jenis Kelamin : Laki- Laki
Alamat : Jln. Cambahawaiya no 14 e, Kota Makassar
HP : 085342651743
Email : wpracipto@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- SD NEGERI 2 SILANCA (2002-2008)
- SMP NEGERI 1 LAGE (2008-2011)
- SMK GKST POSO (2011-2014)
- UNIVERSITAS HASANUDDIN (2014-2021)

RIWAYAT ORGANISASI

- HMM FT UH
- KMKO FT-UH
- HMM FT-UH

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : Wahyu Pracipto
NIM : D211 14 515
JENJANG : S1
JUDUL SKRIPSI : Studi Pengaruh *Annealing* Terhadap Kekasaran Baja ST42 dan Baja S T60 Pada Permesinan Frais

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

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 03 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



Wahyu Pracipto

KATA PENGANTAR

Puji syukur Ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul. **“Studi Pengaruh *Annealing* Terhadap Kekasaran Baja ST42 dan Baja ST60 Pada Permesinan Frais”** yang mana merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S-1 Di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada orang tua 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 tugasakhir.
2. Bapak Azwar Hayat, M.Sc.,Ph.D selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan serta masukan selama penyusunan tugas akhir.
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 TeknikMesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak dan ibu dosen serta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Kepada saudara-saudari seperjuangan, RADIATOR 2014 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada Saudara Sulaiman, Ari Hamdana Syam , Erwin Sastria, Anis, dan Kifli 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, dan KMKO FT-UH.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan walaupun telah menerima bantuan dari pihak. Apabila terdapat kesalahan baik dalam penulisan maupun dalam pengambilan data sepenuhnya adalah tanggung jawab penulis. Karena itu, penulis memohon saran dan kritikan yang sifatnya membangun demi menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, 26 Juli 2021

Penulis

ABSTRAK

Wahyu Pracipto (D211 14 515). Studi Pengaruh *Annealing* Terhadap Kekasaran Baja ST42 dan Baja ST60 Pada Permesinan Frais. (Dibimbing oleh Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT dan Azwar Hayat, M.Sc.,Ph.D)

Penelitian ini bertujuan untuk (1) Menentukan nilai kekasaran permukaan material normal dan material *annealing* pada baja st 42 dan baja st 60 (2) Mengetahui struktur mikro pada baja ST 42 dan baja ST 60

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu kekasaran permukaan hasil pelubangan pada proses permesinan frais terhadap material baja ST42 dan ST60 yang telah di *annealing* lebih halus atau lebih baik daripada permukaan hasil pelubangan pada material baja ST42 dan ST60 normal. Maka semakin tinggi nilai *feed* atau kecepatan pemakanan pada proses permesinan frais terhadap material baja ST 42 dan ST60 yang telah di *annealing* maka semakin tinggi pula nilai kekasaran permukaan yang diperoleh. Sebaliknya semakin tinggi putaran spindel pada material baja ST42 dan ST60 yang telah di *annealing* maka semakin rendah nilai kekasaran permukaan yang diperoleh. Dan semakin tinggi temperatur *annealing* maka semakin rendah nilai kekasaran permukaan yang diperoleh.

Nilai kekasaran hasil pelubangan pada proses permesina frais yang terbaik atau terhalus terjadi pada ST42 dan ST60 yang telah di *annealing* dengan suhu 950°C pada kecepatan pemakanan 100 mm/menit dan kecepatan putaran spindel 2500 rpm yaitu sebesar 0.23 μm pada material ST42 dan 0.52 μm pada material ST60.

Kata Kunci: Baja Karbon ST42 Dan ST60, *Annealing*, Permesinan Frais, Variabel Permesinan, Kecepatan Pemakanan, Kecepatan putaran Spindel.

ABSTRACT

Wahyu Pracipto (D211 14 515). Study of the Effect of Annealing on Roughness of ST42 Steel and ST60 Steel in Milling Machines. (Supervised by Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT and Azwar Hayat, M.Sc.,Ph.D)

This study aims to (1) determine the value of surface roughness of normal materials and annealing materials on st 42 steel and st 60 steel (2) determine the microstructure of ST 42 steel and ST 60 steel.

The results obtained from this study are the surface roughness of the perforated machining process on the annealed ST42 and ST60 steel material that is smoother or better than the surface of the perforated steel material ST42 and ST60 normal. Then the higher the feed value or the feeding speed in the milling process of the annealed ST 42 and ST60 steel material, the higher the surface roughness value obtained. On the other hand, the higher the spindle rotation on the annealed ST42 and ST60 steel material, the lower the surface roughness value obtained. And the higher the annealing temperature, the lower the surface roughness value obtained.

The best or smoothest value for the roughness of the perforated machining process occurs in ST42 and ST60 which have been annealed at a temperature of 950oC at a feed speed of 100 mm/min and a spindle rotation speed of 2500 rpm, which is 0.23 μm on the ST42 material and 0.52 μm on the ST60 material.

Keywords: ST42 And ST60 Carbon Steel, Annealing, Milling Machining, Machining Variables, Feeding Speed, Spindle Rotation Speed.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR GRAFIK.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Proses permesinan.....	4
2.1.1 Proses Frais.....	6

2.2	Mesin frais CNC.....	8
2.3	Bagian-bagian Utama Mesin Frais CNC	10
2.3.1.	Motor Utama.....	11
2.3.2.	Motor Steper	11
2.2.3.	Meja Mesin	12
2.3.4.	Spindel Mesin	12
2.3.5.	Eretan (Support)	13
2.3.6.	Rumah Alat Potong (Milling Taper Spindle)	13
2.3.7	Coolen House	14
2.3.8.	Bagian Pengendali/ kontrol.....	14
2.3.9.	Magazine Tools	14
2.3.10.	Ragum	15
2.4	Kecepatan Potong dan Kecepatan Spindel.....	16
2.5	Kekasaran Permukaan	17
2.6	Anneling.....	22
2.7	Baja Karbon	24
2.7.1.	Baja St 42 dan Baja ST 60	25
2.8	Diagram Fasa Fe-C	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		32
3.1	Waktu dan Tempat.....	32
3.2	Alat dan Bahan.....	32
3.2.1.	Alat	32

3.2.2. Bahan.....	36
3.3 Metode Pengambilan Data.....	37
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	37
3.4.1 Proses Annealing Baja ST 42 dan Baja ST 60.....	38
3.4.2 Proses permesinan Frais	38
3.4.3 Pengujian Kekasaran Permukaan Benda Kerja.....	38
3.4.4 Pengujian Struktur Mikro	39
3.5 Diagram Alir Penelitian (<i>Flow Chart</i>).....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Nilai kekasaran permukaan material normal dan material	
<i>annealing</i> pada baja st 42	41
4.1.1 Pada Putaran 1500 rpm	41
4.1.2 Pada Putaran 2000 rpm	43
4.1.3 Pada Putaran 2500 rpm	46
4.1.4 Hubungan kekasaran permukaan, kecepatan pemakanan untuk	
material baja ST42 yang diannealing dan tanpa annealing.....	48
4.2 Nilai kekasaran permukaan material normal dan material <i>annealing</i> pada	
baja ST60.....	48
4.2.1 Pada Putaran 1500 rpm.....	49

4.2.2 Pada Putaran 2000 rpm.....	51
4.2.3 Pada Putaran 2500 rpm.....	53
4.1.4 Hubungan kekasaran permukaan, kecepatan pemakanan untuk material baja ST60 yang diannealing dan tanpa annealing.....	55
4.3 Nilai kekasaran permukaan material normal dan material <i>annealing</i> pada baja ST42 terhadap kecepatan pemakanan konstan.....	55
4.3.1 Pada Kecepatan Pemakanan 100 mm/menit.....	55
4.3.2 Pada Kecepatan Pemakanan 120 mm/menit.....	57
4.3.3 Pada Kecepatan Pemakanan 140 mm/menit.....	59
4.3.4 Hubungan kekasaran permukaan, putaran spindle untuk material baja ST42 yang diannealing dan tanpa annealing.....	61
4.4 Nilai kekasaran permukaan material normal dan material <i>annealing</i> pada baja ST60 terhadap kecepatan pemakanan konstan.....	62
4.4.1 Pada Kecepatan Pemakanan 100 mm/menit.....	62
4.4.2 Pada Kecepatan Pemakanan 120 mm/menit.....	64
4.4.3 Pada Kecepatan Pemakanan 140 mm/menit.....	66
4.4.4 Hubungan kekasaran permukaan, putaran spindle untuk material baja ST60 yang diannealing dan tanpa annealing.....	68
4.5 Pengaruh Annealing Terhadap Material Baja ST42 dan ST60.....	69

4.6 Hasil pengujian Struktur Mikro Baja ST42 dan ST60	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi proses permesinan menurut gerakan relatif pahat/perkakas potong terhadap benda kerja.....	5
Tabel 2. Angka Kekasaran permukaan.....	22
Tabel 3. Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan.....	23
Tabel 4. Perkiraan Periode Penahanan untuk Pengerasan, Annealing, dan Normalisasi Baja	23
Tabel 5. Hubungan nilai kekasaran permukaan, kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan untuk material baja ST 42 yang diannealing dan tanpa annealing pada putaran 1500 rpm.....	41
Tabel 6 Hubungan nilai kekasaran permukaan, kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan untuk material baja ST 42 yang diannealing dan tanpa annealing pada putaran 2000 rpm.....	44
Tabel 7. Hubungan nilai kekasaran permukaan, kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan untuk material baja ST 42 yang diannealing dan tanpa annealing pada putaran 2500 rpm.....	46
Tabel 8. Hubungan nilai kekasaran permukaan, kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan untuk material baja ST 60 yang diannealing dan tanpa annealing pada putaran 1500 rpm.....	49
Tabel 9. Hubungan nilai kekasaran permukaan, kecepatan spindle dan	

kecepatan pemakanan untuk material baja ST 60 yang diannealing dan tanpa annealing pada putaran 2000 rpm.....	51
Tabel 10. Hubungan nilai kekasaran permukaan, kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan untuk material baja ST 60 yang diannealing dan tanpa annealing pada putaran 2500 rpm.....	53
Tabel 11. Hubungan nilai kekasaran permukaan material baja St42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada kecepatan pemakanan 100 mm/men	56
Tabel 12. Hubungan nilai kekasaran permukaan material baja St42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada kecepatan pemakanan 120 mm/men	58
Tabel 13. Hubungan nilai kekasaran permukaan material baja St42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada kecepatan pemakanan 140 mm/men	60
Tabel 14. Hubungan nilai kekasaran permukaan material baja St60 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada kecepatan pemakanan 100 mm/men	62
Tabel 15. Hubungan nilai kekasaran permukaan material baja St60 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada kecepatan pemakanan 120 mm/men	64
Tabel 16. Hubungan nilai kekasaran permukaan material baja St60 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada kecepatan pemakanan 140 mm/men	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar.1	Proses Frais	6
Gambar.2	Macam-Macam mata pahat Berdasarkan Jumlah Mata.....	8
Gambar.3	Mesin CNC Milling ecoMill 600	11
Gambar.4	Motor Utama.....	11
Gambar.5	Motor Stepper	11
Gambar.6	Rumah Alat Potong.....	13
Gambar.7	Magazine Tools.....	15
Gambar.8	Ragum	15
Gambar.9	Variasi komponen dan parameter dari kekasaran permukaan	18
Gambar.10	Suatu Kekasaran Permukaan	20
Gambar.11	Lambang kekasaran permukaan.....	21
Gambar.12	Diagram Fasa Fe ₃ C.....	26
Gambar.13	Struktur mikro fasa <i>ferit</i>	28
Gambar.14	Struktur mikro fasa austenit.....	29
Gambar.15	Struktur mikro fasa <i>perlit</i>	30
Gambar.16	Struktur mikro fasasementit.....	30
Gambar.17	Struktur mikro fasa <i>martensit</i>	31
Gambar.18	Mesin Frais CNC Ecomill 600 V.....	32
Gambar.19	Elektrik <i>Furnace</i>	33
Gambar.20	<i>Surface Roughness Teste</i>	34
Gambar.21	Mikroskop <i>optic</i> LEXT OLYMPUS-OLS4100.....	34
Gambar.22	Carbide Drill diameter 12 mm.....	35

Gambar.23 <i>Stopwatch</i>	35
Gambar.24 Baja ST 42 dan Baja ST 60	36
Gambar.25 Kertas amplas.....	37
Gambar 26 Struktur mikro pembesaran 1000X pada Baja ST 42.....	70
Gambar 27 Struktur mikro pembesaran 1000X pada baja ST 60.....	71

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1. Nilai kekasaran permukaan material baja St 42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada putaran 1500 rpm.....	42
Grafik 2. Nilai kekasaran permukaan material baja St 42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada putaran 2000 rpm.....	44
Grafik 3. Nilai kekasaran permukaan material baja St 42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada putaran 2500 rpm.....	46
Grafik 4. Nilai kekasaran permukaan material baja St 60 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada putaran 1500 rpm.....	49
Grafik 5. Nilai kekasaran permukaan material baja St 60 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada putaran 2000 rpm.....	51
Grafik 6. Nilai kekasaran permukaan material baja St 42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada putaran 2000 rpm.....	53
Grafik 7. Nilai kekasaran permukaan material baja St42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada kecepatan pemakanan 100 mm/menit	56
Grafik 8. Nilai kekasaran permukaan material baja St42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada kecepatan pemakanan 120 mm/menit	58
Grafik 9. Nilai kekasaran permukaan material baja St42 normal dan material yang di <i>annealing</i> pada kecepatan pemakanan 140 mm/menit	60
Grafik 10. Nilai kekasaran permukaan material baja St60 normal dan material	

yang di *annealing* pada kecepatan pemakanan 100 mm/menit 63

Grafik 11. Nilai kekasaran permukaan material baja St60 normal dan material

yang di *annealing* pada kecepatan pemakanan 120 mm/menit 65

Grafik 12. Nilai kekasaran permukaan material baja St60 normal dan material

yang di *annealing* pada kecepatan pemakanan 140 mm/menit 67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses permesinan merupakan proses yang sangat dibutuhkan pada era globalisasi sekarang ini, perkembangan teknologi semakin maju dan canggih, terutama dalam dunia industri manufaktur pembentukan logam (Farisi, 2016). Proses dalam pembentukan logam dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai cara seperti menggunakan mesin perkakas. Proses permesinan merupakan proses untuk mengubah bentuk bahan baku menjadi benda kerja dengan menghasilkan geram (chip). Salah satu proses pemesinan yang banyak dilakukan dalam pembentukan komponen logam adalah proses pengefraisan (milling) (Suteja, 2008).

Terutama untuk material yang menuntut harus memiliki nilai kekasaran permukaan yang rendah, maka hal ini akan sangat penting untuk diperhatikan. Karena parameter proses pemesinan frais seperti kecepatan putaran spindel, kecepatan potong, kedalaman potong, kecepatan pemakanan, sudut pemotongan, gerak makan per gigi, jenis bahan material, dan pahat yang digunakan sangat mempengaruhi kualitas yang dihasilkan. Karena kekasaran permukaan merupakan faktor utama untuk evaluasi produk pemesinan dapat diterima atau tidak (Hernadewita et al., 2006).

Kualitas produk mesin frais tergantung dengan nilai kekasaran. Jika kekasaran sesuai dengan yang diinginkan maka kualitas semakin baik begitu pula

sebaliknya, sehingga perlu diperhatikan dan butuh solusi dalam proses pengefraisan untuk mendapatkan tingkat kekasaran permukaan agar sesuai dengan yang diinginkan. Ada beberapa faktor/parameter yang mempengaruhi kekasaran permukaan dalam proses pengefraisan antara lain kecepatan putaran spindle (spindel speed), kedalaman pemakanan (depth of cut), kecepatan potong (cutting speed), kondisi mesin, bahan benda kerja, bentuk pahat potong dan operator (Yanuar, 2014)

Material baja dapat diperbaiki dengan berbagai cara salah satunya adalah dengan proses perlakuan panas (heat treatment). Pada proses perlakuan panas salah satu faktor yang mempengaruhi sifat material adalah temperatur. Perlakuan panas yang sesuai untuk meningkatkan keuletan pada material adalah dengan menggunakan metode annealing. Annealing adalah proses yang melibatkan pemanasan dan pendinginan, 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. Dengan metode annealing juga dapat menurunkan nilai kekerasan bahan dan bahkan merusak bahan jika nilai kekerasan baja menjadi sangat rendah dan tidak lagi sesuai untuk penggunaannya. (Suteja, 2008)

Berdasarkan paparan diatas, penulis tertarik untuk mengambil judul penelitian **“STUDI PENGARUH ANNEALING TERHADAP KEKASARAN BAJA ST 42 DAN BAJA ST 60 PADA PERMESINAN FRAIS”**

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang dikemukakan diatas dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti adalah bagaimana pengaruh proses *annealing* terhadap kekaasaran baja ST 42 dan baja ST 60 pada proses permesinan frais.

1.3. Batasan Masalah

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

1. Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin frais CNC
2. Benda kerja menggunakan baja ST 42 dan Baja ST 60.
3. Benda kerja akan di *annealing* sebelum dilakukan proses permesinan frais.
4. Menggunakan pahat karbide dengan ukuran diameter pahat 12 mm
5. Benda kerja yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 3,2 cm dan panjang 30 cm

1.4. Tujuan Penelitian

1. Menentukan nilai kekasaran permukaan akibat pengaruh *annealing* pada baja ST42 dan ST 60
2. Mengetahui struktur mikro pada baja ST 42 dan baja ST 60 setelah melalui proses *annealing*

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh proses *annealing* terhadap kekasaran baja ST 42 dan baja ST 60 pada permesinan frais.
2. Dapat memberikan informasi sebagai referensi tambahan di bidang manufaktur.
3. Untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Permesinan

Pemesinan adalah suatu proses produksi dengan menggunakan mesin perkakas dengan memanfaatkan gerakan relatif antara pahat dengan benda kerja sehingga menghasilkan suatu produk sesuai dengan hasil geometri yang diinginkan. Pada proses ini tentu terdapat sisa dari pengerjaan produk yang biasa disebut geram (Widarto, 2008).

Dalam proses pemesinan, untuk membuat suatu komponen atau benda kerja yang diinginkan tidak langsung dalam satu kali proses, melainkan dilakukan beberapa tahapan proses pengerjaan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Operasi pemesinan biasanya dibagi menjadi dua kategori, yaitu penyayatan kasar (*roughing cuts*) dan penyayatan akhir (*finishing cuts*). Penyayatan kasar (*roughing cuts*) adalah penyayatan awal untuk mengurangi ukuran benda kerja sehingga mendekati bentuk yang diinginkan, namun menyisakan bagian untuk dilakukan proses penyayatan akhir, sedangkan penyayatan akhir (*finishing cuts*) adalah penyayatan untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan, toleransi, serta kekasaran yang diinginkan.

Klasifikasi proses permesinan dibagi menjadi tiga, yaitu menurut jenis gerakan relatif pahat/perkakas potong terhadap benda kerja, jenis mesin perkakas yang digunakan, dan pembentukan permukaan (Rochim, 1993). Gerak relatif pahat terhadap benda kerja dapat dipisahkan menjadi dua macam komponen

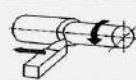


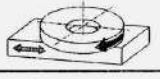



gerakan yaitu gerak potong (*cutting movement*) dan gerak makan (*feeding movement*). Berdasarkan jenis kombinasi dari gerak potong dan gerak makan tersebut, maka proses permesinan dapat dikelompokkan menjadi tujuh macam proses yang berlainan sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 1.

Selain ditinjau dari segi gerakan dan segi mesin yang digunakan proses permesinan dapat diklasifikasikan berdasarkan proses terbentuknya permukaan.

Dalam hal ini proses tersebut dikelompokkan menjadi dua proses, yaitu:

1. Pembentukan permukaan silindrik atau konis.
2. Pembentukan permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja.

Tabel 1. Klasifikasi proses permesinan menurut gerakan relatif pahat/perkakas potong terhadap benda kerja. (Rochim, 1993)

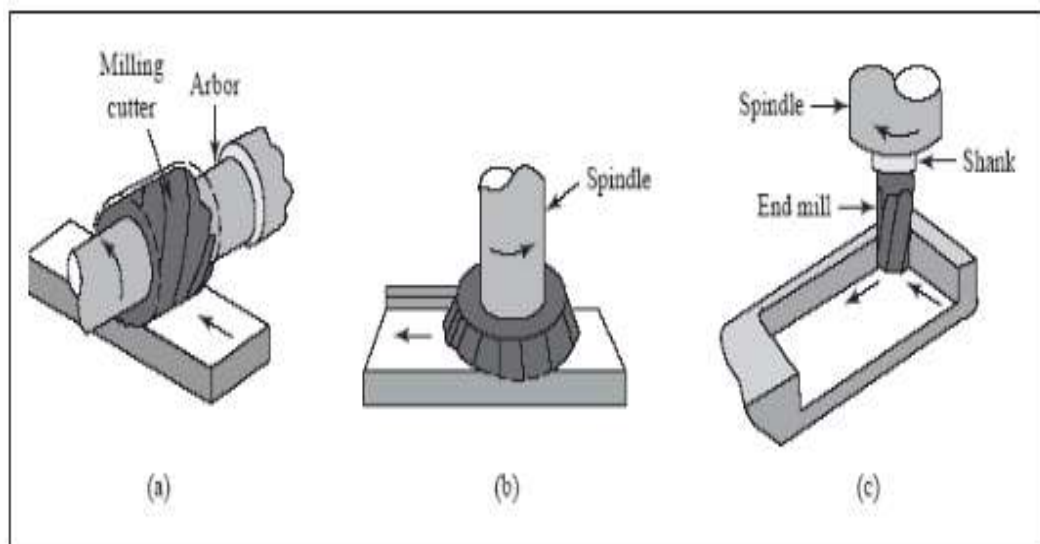
Jenis proses		Gerak potong	Gerak makan
		→	→
Bubut		benda kerja m/min	pahat mm/min
Gurdi		↑ putar ↓	pahat m/min
Frais			benda kerja mm/min
Gerinda rata			pahat m/s
Gerinda silindrik		pahat m/s	benda kerja 1&2
Sekrap meja (a) Sekrap (b)		↑ lurus ↓	a benda kerja b pahat m/min
Parut dan Gergaji			pahat m/min

Pembentukan permukaan silindrik atau konis meliputi proses bubut dan variasi proses yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, mesin gurdi (*drilling machine*), mesin frais (*milling machine*), mesin gerinda (*grinding*

machine). Sedangkan pembentukan permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja meliputi proses sekrap (*shaping planing*), proses slot (*slotting*), proses menggergaji (*sawing*), dan proses pemotongan roda gigi (*gear cutting*) (Widarto, 2008).

2.1.1. Proses Frais (*Milling*)

Pengerjaan proses pemesinan dengan mesin frais merupakan proses pemotongan benda kerja yang sangat efektif, karena pisau frais memiliki sisi potong jamak. Jika dibandingkan dengan pisau bubut, maka pisau frais analog dengan beberapa buah pisau bubut lebih efisien. Proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, dan posisi relatif pahat terhadap benda kerja.



Gambar 1. Proses Frais (a) Proses slab milling (b) Proses face milling (c) Proses end milling (Mujiono, 2016)

Proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pisau dan posisi relatif pisau terhadap benda kerja (Widarto, 2008).

Klasifikasi proses frais tersebut antara lain:

1. Frais Periperal (*slab milling*)

Proses frais ini disebut juga slab milling, permukaan yang difrais dihasilkan oleh gigi pisau yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pisau biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat. Proses periperhal (slab milling) menggunakan mesin frais horizontal atau mendatar.

2. Frais muka (*face milling*)

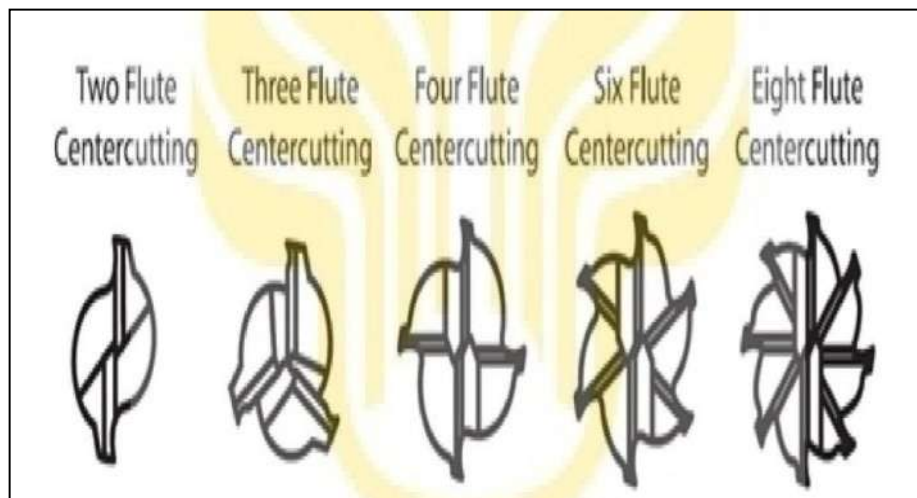
Pada frais muka, pisau dipasang pada spindel yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses frais dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pisau. Proses frais muka (*face milling*) menggunakan mesin frais vertikal dimana pisau dipasangkan dengan adaptor yang dipasang dengan posisi tegak.

3. Frais Jari (*end milling*)

Pisau pada proses frais jari biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pada proses jari (*end milling*) pisau yang digunakan adalah end mill cutter. Gerakan pisau dapat menyayat permukaan (*surface*) dan menyayat sisi samping (*side*). Pisau dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pisau terletak pada selubung pisau dan ujung badan pisau.

Proses end milling menggunakan pisau jari (*end mill*) dimana pisau ini merupakan salah satu pisau yang paling banyak digunakan dalam proses milling. Biasanya pisau ini terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida, dan memiliki satu atau lebih alur (*flute*). Pisau ini digunakan untuk menyayat

permukaan (*surface*), membuat alur, atau digunakan untuk menyayat posisi miring. Menurut Rachmanta (Daryanto, 2007) mengatakan bahwa pisau end mill memiliki berbagai macam bentuk berdasarkan jumlah mata potong atau alur (*flute*). Pahat end mill biasanya terdiri dari dua mata potong, tiga, empat, enam, dan delapan mata potong.



Gambar 2. Macam-Macam mata pahat Berdasarkan Jumlah Mata Potong (Daryanto, 2007)

2.2. Mesin frais CNC

Mesin frais *CNC* adalah suatu mesin yang menggunakan sistem pengendali program secara numerik dengan komputer. Secara numerik dikarenakan program yang digunakan adalah kode-kode alfanumerik (huruf dan angka). Secara umum cara mengoperasikan mesin *CNC* adalah dengan memasukkan perintah numerik melalui tombol-tombol yang tersedia pada panel instrumen mesin dan dapat dilakukan dengan dua macam cara, yaitu sistem absolut dan sistem incremental.

Adanya mesin *CNC*, pembuatan komponen mesin akan semakin efisien dan dengan ketelitian yang tinggi namun suatu hasil produksi harus diimbangi

dengan peningkatan kualitas hasil produksi tersebut. Pada dasarnya setiap pekerjaan mesin mempunyai persyaratan kualitas permukaan (kekasaran permukaan) yang berbeda-beda, tergantung dari fungsinya. Kualitas permukaan hasil pembubutan dapat dilihat dari kekasaran permukaannya. Makin halus permukaannya makin baik pula kualitasnya, sehingga cukup beralasan juga apabila kekasaran permukaan hasil pembubutan diperhatikan dan dicari solusi untuk mendapatkan yang sehalus mungkin. Sudah dilakukan beberapa penelitian tentang apa saja yang mempengaruhi kekasaran penelitian, antara lain dari penelitian mengenai parameter permesinan optimum pada operasi *CNC End Milling*. (Retyawan, 2017)

Prinsip kerja mesin *CNC milling* adalah gerak utama berputar dilakukan oleh alat potong atau cutter, sedangkan gerak makannya dilakukan oleh benda kerja yang terpasang pada meja kerja. Arah gerakan persumbuan mesin *CNC milling* yaitu sumbu X untuk arah memanjang meja, sumbu Y untuk arah melintang meja, dan sumbu Z untuk vertikal spindle.

Pengoperasian mesin CNC dilaksanakan dengan layanan CNC, dimana proses dikontrol komputer dengan memasukkan data numerik. Sistem ini beroperasi secara otomatis dan dapat menginterpretasikan kode-kode numerik yang berupa huruf, angka dan simbol untuk membuat suatu bentuk dari kerja benda. Program NC adalah suatu urutan perintah yang disusun secara terperinci setiap blok per blok untuk memberitahu mesin CNC tentang apa yang harus dilakukan.



Gambar 3 . Mesin Frais CNC ecoMill 600 V
Sumber : Journal DMG Mori, 2016

Merupakan mesin yang digunakan untuk mengerjakan benda kerja dengan bentukan – bentukan yang lebih kompleks. Secara garis besar mesin CNC *milling* digolongkan menjadi dua, yaitu CNC *milling* TU (*Training Unit*) dan PU (*Production Unit*). Prinsip kerja mesin *milling* TU-3A ini adalah pisau yang berputar menyayat benda kerja yang terpasang pada meja yang bergerak secara vertikal dan horizontal atau melintang. Semua kontrol menggunakan sistem elektronik yang kompleks (rumit) dan dibutuhkan operator yang ahli dalam menjalankan mesin ini. Untuk arah pergerakan persumbuan mesin tersebut diberi lambang sebagai berikut :

- Sumbu X bergerak ke arah horizontal
- Sumbu Y bergerak ke arah melintang
- Sumbu Z bergerak ke arah vertikal

2.3. Bagian-bagian Utama Mesin *Frais* CNC

2.3.1. Motor Utama



Gambar 4. Motor Utama
Sumber : Dwi Rahdiyanta, 2015

Motor utama adalah motor penggerak dari spindel mesin (rumah alat potong) untuk memutar pisau. Motor ini adalah motor jenis arus searah (DC) dengan kecepatan yang variabel, identifikasi dari motor adalah:

- Jentang putaran 600-4000 put/menit
- Tenaga masukan in-put 500 watt
- Tenaga pengeluaran out-put 300 watt

2.3.2. Motor Stepper



Gambar 5. Motor Stepper **Sumber :** Zoro Zulfikar, 2017

Step motor adalah motor penggerak eretan untuk masing-masing persumbuan yaitu sumbu: X, Y, dan Z. Jenis dan ukuran masing-masing step motor baik untuk eretan pada sumbu X, Y, maupun Z adalah sama. 3 Identifikasi dari step motor adalah:

- Jumlah 1 putaran 72 langkah.
- Momen putar sebesar: 0.5 Nm.
- Kecepatan gerakan:
 - Gerakan cepat maksimum 700 mm/menit.
 - Gerakan pengoperasian manual 5 - 400 mm/menit.
 - Gerakan pengoperasian CNC terprogram 2 - 499 mm/menit.

2.3.3. Meja Mesin

Meja mesin CNC milling bisa bergerak dalam dua sumbu yaitu sumbu X dan sumbu Y yang dilengkapi dengan motor penggerak, *ball screw plus bearing* dan *guide way slider* untuk akurasi pergerakannya, meja mesin ini juga bisa digerakkan secara manual menggunakan handle.

2.3.4. Spindel Mesin

Spindel mesin merupakan bagian dari mesin yang menjadi rumah cutter. Spindel inilah yang mengatur putaran dan pergerakan cutter pada sumbu z. Spindel inipun digerakkan oleh motor yang dilengkapi oleh transmisi berupa belting atau kopling. Seperti halnya meja mesin, spindel ini juga bisa digerakkan oleh handel eretan yang sama. Spindel inilah yang memegang arbor cutter dengan bantuan udara bertekanan.

2.3.5. Eretan (*Support*)

Eretan adalah gerak persumbuhan jalannya mesin. Pada jenis mesin 3 axis ini, rumah alat potong dapat bekerja pada posisi vertikal dan posisi horisontal yang masing-masing mempunyai area kerja gerakan sebagai berikut: Posisi rumah alat potong vertikal adalah :

- Eretan memanjang sumbu X 0 - 199,99 mm
- Eretan melintang sumbu Y 0 - 99,99 mm
- Eretan tegak sumbu Z 0 - 199,99 mm

Posisi rumah alat potong horisontal adalah:

- Eretan melintang sumbu X 0 - 99,99 mm
- Eretan memanjang sumbu Y 0 - 199,99 mm
- Eretan tegak sumbu Z 0 - 199,99 mm

2.3.6. Rumah Alat Potong (*Milling Taper Spindle*)



Gambar 6. Rumah Alat Potong
Sumber : Dwi Rahdiyanta, 2015

Rumah alat potong pada mesin milling digunakan untuk menjepit penjepit alat potong (*tool holder*) pada waktu proses pengerjaan benda kerja. Adapun sumber putaran dihasilkan dari putaran motor utama yang mempunyai kecepatan putar antara 300-2000 putaran/menit. Pada *CNC milling* hanya memungkinkan menjepit satu alat potong.

2.3.7. Coolant Hose

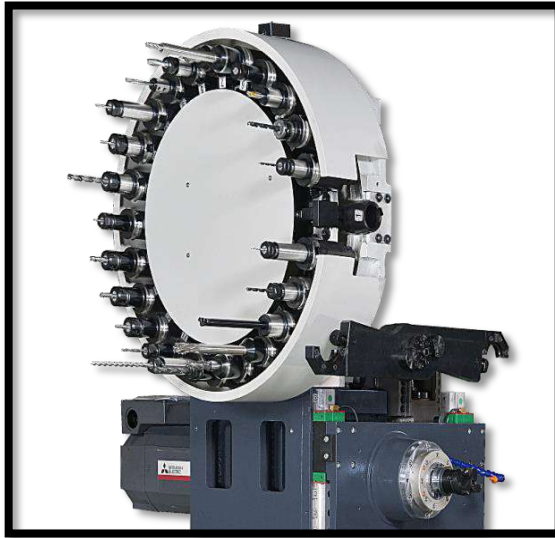
Setiap mesin dilengkapi dengan sistem pendinginan untuk *cutter* dan benda kerja. Pendingin yang paling umum digunakan yaitu *coolant* dan udara bertekanan melalui selang yang dipasang pada *block spindle*.

2.3.8. Bagian Pengendali/Kontrol

Bagian pengendali merupakan panel kontrol mesin yang dilengkapi dengan monitor. Panel kontrol adalah kumpulan tombol-tombol panel pada bagian depan mesin dan berfungsi untuk memberikan perintah-perintah khusus pada mesin, seperti memutar spindel, menggerakkan meja, dan mengubah pengaturan parameter.

2.3.9. Magazine Tools

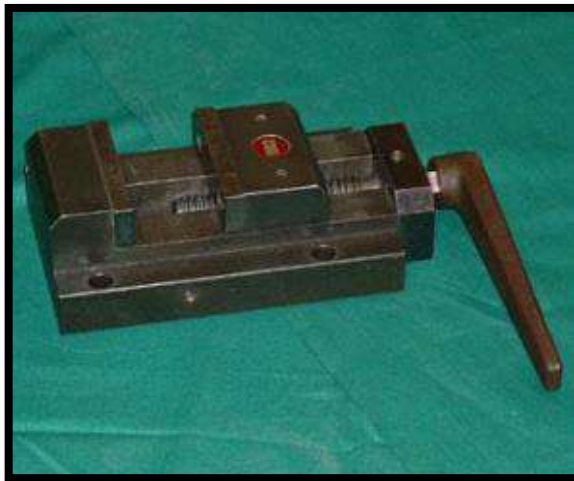
Program NC (*Numerical Control*) biasanya menggunakan banyak tool cutter dalam satu operasi permesinan, pergantian cutter ini digerakkan oleh program NC yang dibuat. Magasin tool ini merupakan tempat menyimpan atau peletakan tool cutter standby yang akan digunakan pada pengoperasian permesinan, magasin memiliki banyak slot antara 8 sampai dengan 24 tergantung dengan apa yang akan digunakan.



Gambar 7. Magazine Tools

Sumber : http://www.macocnc.com/maco_QH400A_E.html

2.3.10. Ragum



Gambar 8. Ragum

Sumber : Dwi Rahdiyanta, 2015

Ragum pada mesin CNC milling digunakan untuk menjepit benda kerja, dilengkapi dengan stopper untuk batas pegangan benda kerja yang berlangsung.

2.4. Kecepatan Potong dan Kecepatan Spindel

Kecepatan putaran spindel (*spindle speed*) ditentukan berdasarkan kecepatan potong (Rahdiyanta, 2010). Dalam menentukan kecepatan potong beberapa faktor yang dipertimbangkan antara lain jenis bahan yang akan dikerjakan, jenis pahat, diameter pisau, dan hasil kehalusan permukaan yang diinginkan. Kecepatan potong (V_c) adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik dalam satuan meter pada selubung pisau dalam waktu satu menit (Widarto, 2008).

Besarnya kecepatan putar sumbu utama tergantung pada kecepatan potong yang diijinkan dan diameter alat potong (*Cutter*).

Parameter – parameter dari mesin milling diantaranya :

a) Kecepatan Potong.

Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada proses penyayatan atau pemotongan benda kerja (Suhardi, 1999 : 74).

$$V_s = \frac{\pi \times d \times S}{1000} \text{ m/menit} \quad (1)$$

Keterangan: V_s = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter *cutter* (mm)

S = putaran spindel (rpm)

b) Putaran Spindel.

Kecepatan potong digunakan untuk menentukan kecepatan putaran spindel. Putaran spindel utama mesin merupakan putaran *cutter* dalam satuan rpm.

$$S = \frac{V_s \times 1000}{\pi \times d} \text{ rpm} \quad (2)$$

Keterangan: S = putaran spindel (rpm)

d = diameter cutter (mm)

V_s = kecepatan potong (m/menit)

c) Pemakanan (*Feedrate*).

Pemakanan adalah kecepatan gerak dari cutter dalam satuan mm/rev. Kecepatan pemakanan berhubungan dengan ketebalan geram yang dihasilkan. Dalam penelitian ini penentuan *feedrate* menggunakan mm/rev dengan rumus sebagai berikut:

$$f = \frac{V_s}{n} \quad (3)$$

Keterangan: f = *feedrate* (mm/rev)

n = jumlah putaran (rpm)

V_c = kecepatan potong (mm/menit)

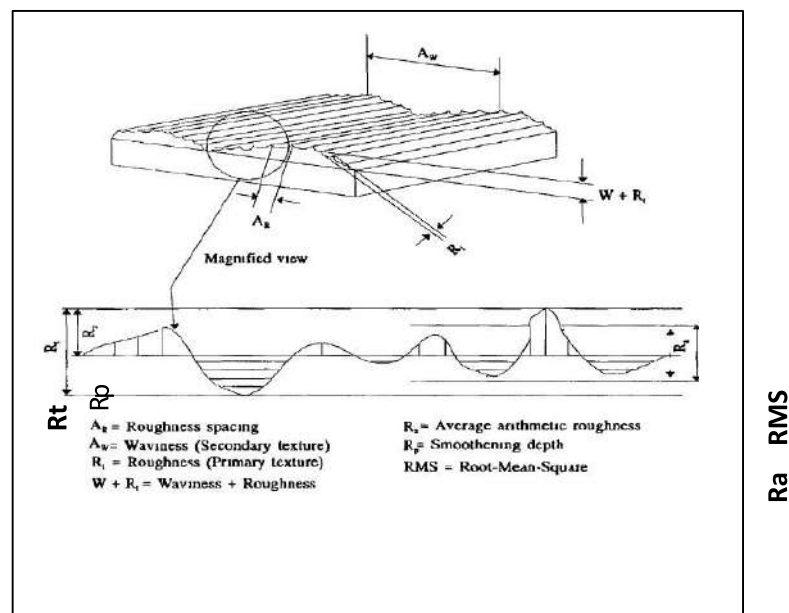
2.5. Kekasaran Permukaan

Tekstur permukaan berpengaruh atas kekasaran permukaan dimana pada dasarnya adalah suatu ukuran topografi permukaan. Semua permukaan mempunyai karakteristiknya sendiri dikenal sebagai tekstur permukaan. Uraian tentang tekstur permukaan antara lain meliputi kekasaran, keberarahan, gelombang dan kecacatan (Kalpakjian, 1995).

Dowson dan Kurfess (2004) melaporkan korelasi antara kekasaran permukaan, radius ujung pahat (nose radius) dan pemakanan seperti diberikan dengan rumus empiris berikut ini :

$$Ra = \frac{0,0321 \cdot f^2}{rc} (\mu m) \quad (4)$$

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 *smoothennng* R_p , maksimal kekasaran R_z , dan tinggi RMS *root-mean-square*.



Gambar 9. 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 (Ra, Rp, Rt) biasa digunakan. Indeks yang paling umum digunakan adalah tinggi kekasaran aritmatika Ra. 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. Kekasaran aritmatika rata-rata Ra juga dikenal sebagai CLA rata-rata garis tengah (Inggris) dan rata-rata aritmatika AA (Amerika). Ra dikutip dalam mikron mewakili nilai rata-rata kekasaran CLA atau kekasaran AA. Ra 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.

Ra ini juga dikenal sebagai nilai rata-rata aritmatik dari kekasaran permukaan, atau rata-rata aritmatik atau rata-rata garis tengah. Secara universal Ra dikenal sebagai simbol kekasaran yang paling umum dengan satuan μm atau μinch . Pada gambar berikut menunjukkan parameter yang disebutkan. Referensi garis horizontal, yang biasanya disebut garis tengah, terletak di mana jumlah area di atas adalah sama dengan jumlah area di bawahnya. (Tetelepta, 2012)

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) dibedakan menjadi dua, yaitu:

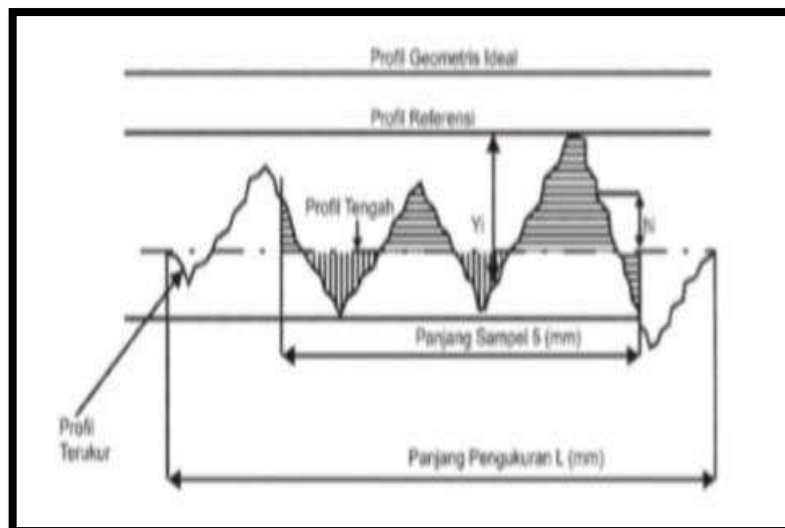
a). *Ideal Surface Roughness*.

Kekasaran ideal (terbaik) yang bisa dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran ideal di antaranya:

- Getaran yang terjadi pada mesin.
- Ketidak tepatan gerakan bagian bagian mesin.
- Ketidakteraturan *feed mechanism*.
- Adanya cacat pada material.
- Gesekan antara chip dan material

b). *Natural Surface Roughness*.

Natural surface roughness adalah kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya berbagai faktor yang mempengaruhi proses permesinan tersebut. Parameter kekasaran permukaan sebelum jauh melangkah ke parameter kekasaran perlu diketahui terlebih dahulu tentang profil yang penting seperti yang terlihat pada Gambar 5 berikut ini :

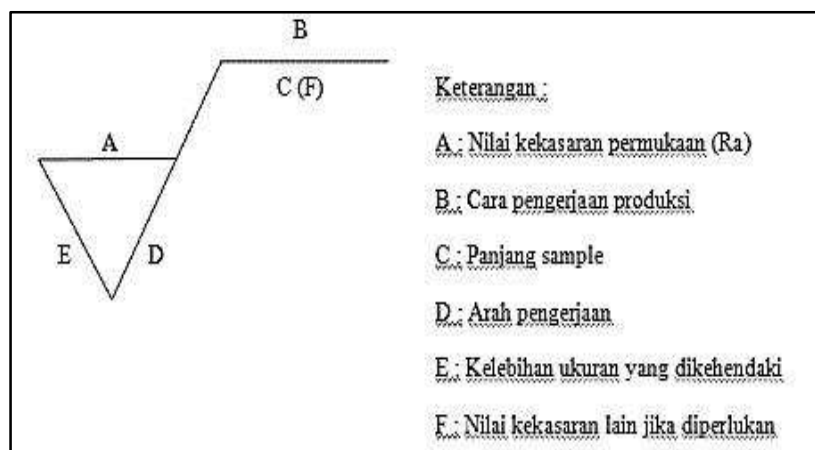


Gambar 10. Suatu Kekasaran Permukaan

Sumber : Sugiyanto, 2018

Setiap permukaan dari benda kerja yang telah mengalami proses pemesinan, baik itu proses bubut, sekrup, milling, akan mengalami perubahan

pada bentuk pada permukaannya walaupun hal tersebut terkadang tidak dapat hanya dilihat dengan kasat mata, namun apabila diperhatikan dengan seksama menggunakan alat bantu, maka akan terlihat perubahan yang terjadi pada permukaan tersebut setelah mengalami proses pemesinan. Yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis rata-rata permukaan. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga rata-rata dari kekasaran permukaan. berikut yang menerangkan simbol-simbol kekasaran permukaan :



Gambar 11. 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. 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	0,3 – 0,6	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	

2.6. Annealing

Annealing adalah suatu proses laku panas yang sering dilakukan terhadap logam atau paduan dalam proses pembuatan suatu produk. Tahapan dari proses Anneling ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan) sampai temperature tertentu, menahan pada temperature tertentu tadi selama beberapa waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam atau paduan tadi dengan laju pendinginan yang cukup lambat. Tujuan utama proses annealing ialah melunakan, menghaluskan butir kristal, menghilangkan internal stress, memperbaiki sifat kelistrikan / kemagnetan.

Secara umum, *annealing* adalah kebalikan dari pengerasan, logam di anil untuk menghilangkan tekanan internal, melunakkan mereka, membuat mereka lebih ulet, dan menghaluskan struktur gandum mereka. 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)

Pada baja, dengan naikknya waktu anil, kekuatan tarik baja semula naik, kemudian menurun. Kekuatan tarik maksimum juga sama pada besi, hanya bedanya kekuatan tarik maksimum pada baja di atas waktu anil 30 menit penurunannya lebih terjal. Ini dapat dijelaskan karena baja yang mengalami pemanasan lama akan menjadi getas atau mudah patah. 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. (Istiyono.2006)

Tabel 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

2.7. Baja Karbon

Baja karbon 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. 2016).

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 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 diklasifikasikan sebagai berikut :

- Baja Karbon Rendah: (0.05 -0.30)% Carbon
- Baja Karbon Sedang: (0.30 -0.45)% Carbon
- Baja Karbon Tinggi: (0.45 -0.75)% Carbon

- Baja Karbon Sangat Tinggi (. 0.75% to 1.70%) Carbon. (Steelworker.Vol 1. 1996).

2.7.1. Baja ST 42 Dan Baja ST 60

Baja karbon ST 42 memiliki sifat mekanis terutama kekerasan dan keuletan kurang sesuai dengan kebutuhan yang ada. Baja ST 42 adalah jenis baja konstruksi yang mempunyai kandungan 0,10–0,35 % C. Banyak sekali digunakan untuk tangki, dan permesinan. (K Suarsana, 2018)

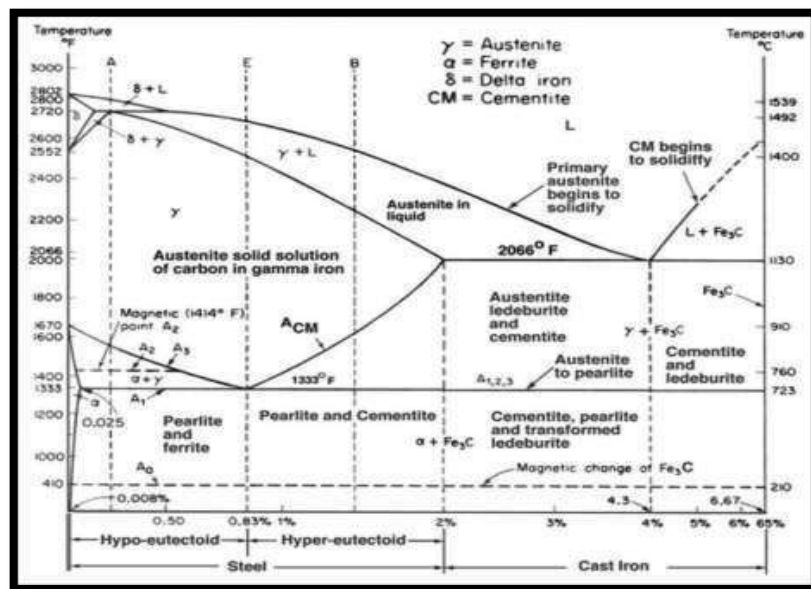
Baja ST 60 merupakan baja karbon sedang dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0.30 C - 0,59% C, disebut juga baja karbon tinggi banyak sekali digunakan untuk tangki, perkapalan, jembatan, dan dalam permesinan. Baja karbon sedang kekuatannya lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong (Furqon. 2016). Pada penelitian Junaidi (2016) menunjukkan nilai kekerasan pada baja dengan perlakuan panas dengan pendinginan didalam tungku dalam hal ini proses *annealing* dapat menurunkan nilai kekerasan baja ST 60.

2.8. Diagram Fasa Fe-C

Fasa didefinisikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi tersendiri. Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja dengan segala perlakuannya. Konsep dasar dari diagram fasa adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang. Hubungan ini

dinyatakan dalam suhu dan komposisi, setiap perubahan komposisi dan perubahan suhu akan mempengaruhi strukturmikro.

Pada diagram fasa Fe-C yang ditampilkan muncul larutan padat (α , γ) atau disebut besi delta (δ), austenit (γ) dan ferit (α). Ferit mempunyai struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*) dan austenit mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) sedangkan besi delta (δ) mempunyai struktur kristal FCC pada suhu tinggi. Apabila kandungan karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi atau sementit. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe₃C yang sifatnya keras dan getas. Peningkatan kadar karbon pada baja karbon akan meningkatkan sifat mekanik baja tersebut, terutama kekerasan karena sifat yang dimiliki oleh endapan sementit yang keras. Pada gambar di bawah ini merupakan gambar diagram fasa Fe₃C.



Gambar 12. Diagram Fasa Fe₃C

Sumber: (ASMHandbook Vol.4:4, 1991)

Pada gambar 12 menunjukkan bahwa pada temperatur sekitar 727°C terjadi temperatur transformasi *austenit* menjadi fasa *perlit* (gabungan fasa *ferit* dan *sementit*). Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi *eutektoid* dan merupakan dasar proses perlakuan panas pada baja. Kemudian pada temperatur antara 912°C dan 1394°C merupakan daerah besi *gamma* (γ) atau disebut *austenit*. Pada kondisi tersebut biasanya austenit bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk dan memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Besi *gamma* tersebut dapat melarutkan karbon dalam jumlah besar yaitu sekitar 2,11% maksimum pada temperatur sekitar 1148°C. Besi BCC dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat rendah, yaitu sekitar 0,77% maksimum pada temperatur 727°C

Beberapa istilah dalam diagram kesetimbangan Fe-C dan fasa-fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut ini adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-C yang ditampilkan pada Gambar (AnonimC, 2015).

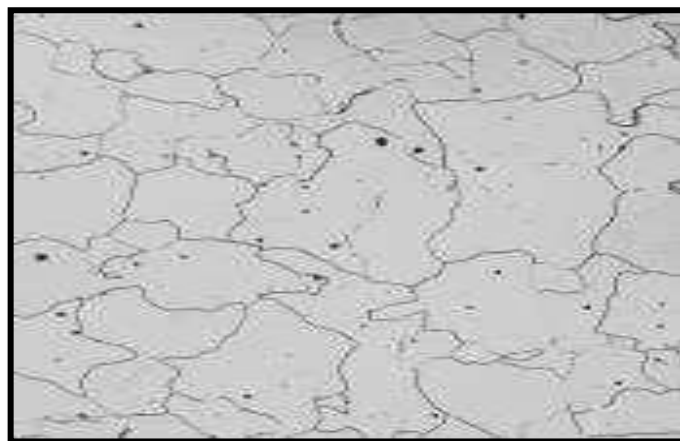
1. A1 adalah reaksi *eutektoid* yaitu perubahan fasa γ menjadi $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (*perlit*) untuk baja *hypoeutectoid*.
2. A2 adalah titik *Currie* (pada temperatur 769°C), dimana sifat magnetik besi berubah dari *feromagnetik* menjadi *paramagnetic*.
3. A3 adalah temperatur *transformasi* dari fasa γ menjadi α (*ferit*) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

4. Acmn adalah temperatur *transformasi* dari fasa γ menjadi Fe_3C (*sementit*) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan di dalam diagram fasa Fe-C yaitu perubahan fasa *ferit* atau besi *alfa* (α), austenit atau besi *gamma* (γ), *sementit* atau karbida besi, *perlit* dan *martensit*. Berikut ini uraiannya:

1. Ferit atau besi alfa (α)

Ferit merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur BCC dengan sifat lunak dan ulet. Karena ferit memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*), maka ruang antar atom-atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom karbon yang dapat tertampung hanya sedikit sekali sekitar 0,02% C. Fasa ferit mulai terbentuk pada temperatur 300°C. Struktur mikro fasa *ferit* dapat dilihat pada gambar.

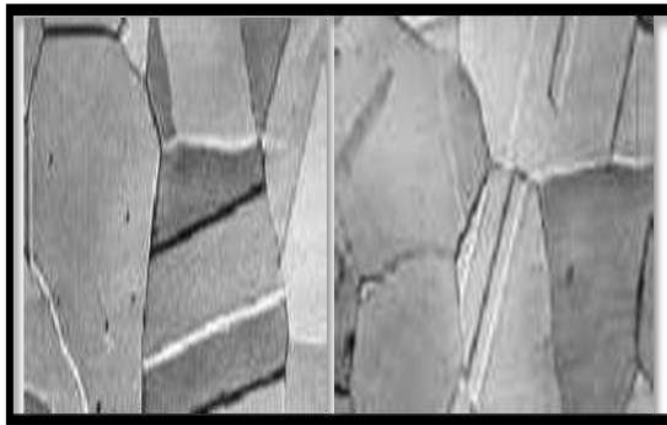


Gambar 13. Struktur mikro fasa *ferit*

(Sumber :Callister, 2007)

2. Austenit atau besi gamma

Austenit adalah modifikasi struktur besi murni dengan struktur FCC yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan dengan *ferit*. Meskipun demikian, rongga-rongga pada struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon dan penyisipan atom karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi, dengan kata lain daya larutnya menjadi terbatas sekali. Struktur mikro fasa austenit dapat dilihat pada gambar.



Gambar 14. Struktur mikro fasa austenit

(Sumber :Callister, 2007).

3. Perlit

Perlit merupakan campuran antara *ferit* dan *sementit* yang berbentuk seperti pelat-pelat yang disusun secara bergantian antara *sementit* dan *ferit*. Fasa *perlit* ini terbentuk pada saat kandungan karbon mencapai 0,76% C, besi pada fase *perlit* akan memiliki sifat keras, ulet dan kuat. Struktur mikro fasa *perlit* dapat dilihat pada gambar.



Gambar 15. Struktur mikro fasa *perlit*

(Sumber: Callister, 2007).

4. Karbida besi atau *sementit*

Karbida besi adalah paduan besi karbon, dimana pada kondisi tersebut karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau karbida besi yang memiliki komposisi Fe_3C . Karbida pada *ferit* akan meningkatkan kekerasan pada baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan. Struktur mikro fasa *sementit* dapat dilihat pada gambar.

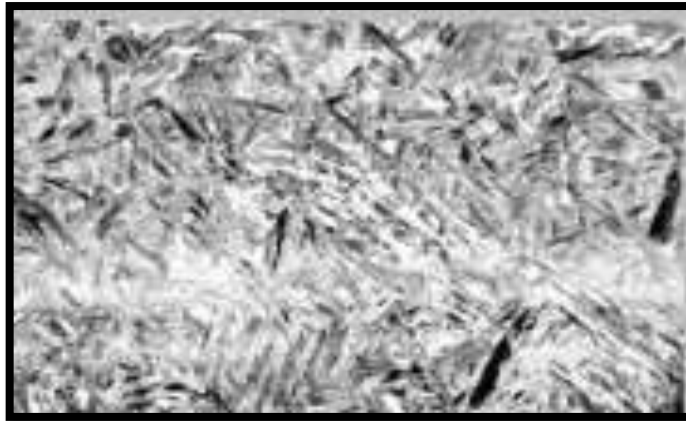


Gambar 16. Struktur mikro fasasementit

(Sumber: Callister, 2007)

5. *Martensit*

Martensit adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat. Jenis fasa *martensit* tergolong kedalam bentuk struktur kristal BCT. Pada fasa ini terjadi proses difusi hal ini dikarenakan terjadinya pergerakan atom secara serentak dalam waktu yang sangat cepat sehingga atom yang tertinggal pada saat terjadi pergeseran akan tetap berada pada larutan padat. Besi yang berada pada fase *martensit* akan memiliki sifat yang kuat dan keras, akan tetapi besi ini juga bersifat getas dan rapuh. . Struktur mikro fasa *martensit* dapat dilihat pada gambar.



Gambar 17. Struktur mikro fasa *martensit*

(Sumber: Callister, 2007)