



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL184834

**STUDI KARAKTERISTIK STRUKTUR MIKRO DAN DISTRIBUSI
KEKERASAN HASIL PROSES Pengerasan AISI 4340, AISI
4140, DAN AISI 1045 DENGAN VARIASI MEDIA QUENCH**

**DESI SA'PANG
NRP. 0251124000094**

**Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR – TL 184834

**STUDI KARAKTERISTIK STRUKTUR MIKRO DAN
DISTRIBUSI KEKERASAN HASIL PROSES
PENGKERASAN AISI 4340, AISI 4140, DAN AISI 1045
DENGAN VARIASI MEDIA QUENCH**

DESI SA'PANG
NRP. 0251124000094

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 184834

**STUDY OF MICROSTRUCTURE CHARACTERISTICS AND
HARDNESS DISTRIBUTION FROM HARDENING RESULTS OF
AISI 4340, AISI 4140, AND AISI 1045 WITH QUENCH
MEDIA VARIATIONS**

DESI SA'PANG
NRP. 0251124000094

Supervisor
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**STUDI KARAKTERISTIK STRUKTUR MIKRO DAN
DISTRIBUSI KEKERASAN HASIL PROSES
PENGKERASAN AISI 4340, AISI 4140, DAN AISI 1045
DENGAN VARIASI MEDIA QUENCH**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan
Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa
Sistem



Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DESI SA'PANG

NRP 0251124000094

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.  (Pembimbing I)
2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T  (Pembimbing II)



SURABAYA
Agustus 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI KARAKTERISTIK STRUKTUR MIKRO DAN
DISTRIBUSI KEKERASAN HASIL PROSES
PENGKERASAN AISI 4340, AISI 4140, DAN AISI 1045
DENGAN VARIASI MEDIA QUENCH**

Nama : Desi Sa'pang
NRP : 0251124000094
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Pembimbing II : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstrak

Kemajuan industri baja di masa sekarang sangat pesat meskipun penggunaan material logam pada berbagai komponen semakin berkurang karena adanya material pengganti tetapi kebutuhan akan baja masih sangat mendominasi dan belum tergantikan. Kebutuhan akan baja ini mendorong pertumbuhan pabrikan lokal baja. Akan tetapi adanya kasus yang dilaporkan oleh Pabrik Gula Gending dimana terjadi kegagalan setelah pemakaian kurang dari setahun pada komponen poros roda gigi pompa yang mereka gunakan setelah dipasok oleh pabrikan lokal padahal sebelumnya pada saat dipasok oleh komponen originil komponen tersebut mampu mencapai umur pakai 4 tahun. Penurunan umur pakai yang signifikan ini disebabkan komponen yang digunakan tidak sesuai spesifikasi pompa tersebut. Maka perlu dilakukan pengembangan dan optimalisasi sifat mekanik khususnya sifat tahan aus yang dipengaruhi oleh nilai kekerasan komponen tersebut dengan cara perlakuan panas. Oleh karena itu dilakukan penelitian tentang studi karakteristik struktur mikro dan distribusi kekerasan hasil proses pengerasan baja AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045 dengan variasi media quench. Perlakuan panas yang dilakukan adalah hardening pada temperatur 855°C dengan waktu tahan selama 30 menit kemudian didinginkan dengan media quench air, oli SAE 40, dan brine (garam 5%wt). Hasil proses pengerasan tersebut dilakukan pengujian metalografi

dan pengujian kekerasan rockwell C. Uji metalografi menunjukkan bahwa makin cepat laju pendinginan maka semakin banyak struktur martensit yang terbentuk dan uji kekerasan rockwell menunjukkan bahwa makin cepat laju pendinginan maka semakin tinggi nilai distribusi kekerasan. Media quench dengan laju pendinginan tertinggi adalah brine dengan nilai kekesasan berturut-turut untuk AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045 sebesar 65 HRC, 56 HRC, dan 49 HRC. kemudian air berturut-turut sebesar 63 HRC, 54 HRC, dan 43,5 HRC. Dan terendah adalah oli SAE 40 berturut-turut sebesar 61 HRC, 51,5 HRC, dan 42,5 HRC. Nilai distribusi kekerasan hasil proses hardening tertinggi adalah baja AISI 4340 dengan media quench brine mempunyai nilai kekerasan sebesar 65 HRC dan struktur mikro yang terbentuk adalah martensit seluruhnya.

Kata Kunci: *Perlakuan panas, AISI 1045, AISI 4140, AISI 1045, Kekerasan, Struktur mikro, Proses pengerasan, Media quench.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDY OF MICROSTRUCTURE CHARACTERISTICS AND HARDNESS DISTRIBUTION FROM HARDENING RESULTS OF AISI 4340, AISI 4140, AND AISI 1045 WITH QUENCH MEDIA VARIATIONS

Student Name : Desi Sa'pang
NRP : 0251124000094
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Co-Supervisor : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstract

The industry of steel were moved very fast nowadays, although the metal materials in various components were decreased by the replacement materials but needed of steel irreplaceable and still dominate. The local steel manufacturers grew by this reason. There were cases reported by Gending Sugar Factory that there was a pump gear shaft component by steel local manufacturer was failed less than a year. Previously when the component was supplied by the original manufacturer it was used until 4 years. Then it was necessary to developed and optimized the mechanical properties, especially strength, hardness distribution, and wear-resistant by heat treatment. Therefore, this research was about studied of microstructure characteristics and hardness distribution from hardening results of AISI 4340, AISI 4140, and 1045 with quench media variations. The heat treatment was hardening, heated to 855°C temperature with 30 minutes of held time and quenched on water quench, oil SAE 40 quench, and brine quench (5%wt of salt). The results of hardening were tested by the metallographic test and the hardness rockwell C test. The metallographic test was showed that the faster cooling rate will form more martensite structure and the hardness distribution test was showed that the faster the cooling rate the higher the value of

hardness distribution. The fastest cooling rate was brine quenched. And the longest was oil SAE 40 quenched. The highest value of hardness distribution was 65 HRC on AISI 4340 with brine quenched and the microstructure was formed by entire martensite. And the lower was 42,5 HRC on AISI 1045 with oil SAE 40 quenched and the microstructure was formed by martensite, pearlite, and retained austenite.

Keywords: *Heat treatment, AISI 1045, AISI 4140, AISI 4340, Hardness, Microstructure, Hardening, Quench media.*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan dan berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknik Industri dan Sistem Rekayasa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Karakteristik Struktur Mikro dan Distribusi Kekerasan Hasil Proses Pengerasan AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045 dengan Variasi Media Quench”**.

Penulis menyadari bahwa tanpa dukungan, bimbingan dan bantuan baik secara moril maupun materiel kepada penulis, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc., Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T., dan Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingannya selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
2. N. Sala’bi’ dan Keluarga besar Sala’bi’ Kombo’ yang selalu mendukung, dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan perkuliahan di ITS.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembacanya.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

Desi Sa’pang

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	vii
Abstract	x
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Baja.....	5
2.1.1 Baja AISI 1045.....	7
2.1.2 Baja AISI 4140.....	9
2.1.3 Baja AISI 4340.....	11
2.2 Perlakuan Panas.....	13
2.2.1 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	14
2.2.2 Diagram Transformasi.....	17
2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan.....	19
2.3 Hardening.....	23
2.4 Quenching.....	25
2.5 Struktur Mikro Hasil Trasformasi.....	27
2.6 Metode Pengujian.....	31
2.6.1 Pengujian Metalografi.....	31
2.6.2 Pengujian Kekerasan.....	32
2.7 Pompa Sentrifugal <i>Multistage</i> Horizontal.....	35
2.8 Kajian Penelitian Sebelumnya.....	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
3.1 Diagram Alir.....	40

3.2	Metode Penelitian	41
3.3	Alat Dan Bahan Penelitian.....	42
3.3.1	Peralatan Penelitian.....	42
3.3.2	Bahan Penelitian.....	44
3.4	Prosedur Penelitian	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		47
1	47	
4.1	Analisa Data.....	47
4.1.1	Hasil Pengujian Metalografi.....	47
4.1.2	Hasil Pengujian Kekerasan.....	56
4.2	Pembahasan	64
4.2.1	Hasil Pengujian Metalografi dan Pengujian Kekerasan AISI 1045	64
4.2.2	Hasil Pengujian Metalografi dan Pengujian Kekerasan AISI 4140	67
4.2.3	Hasil Pengujian Metalografi dan Pengujian Kekerasan AISI 4340	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN.....		81
UCAPAN TERIMA KASIH.....		87
BIODATA PENULIS.....		89

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengelompokan Baja Karbon, Struktur Mikro, Sifat Mekanik, dan Beberapa Contoh Penggunaan.....	7
Gambar 2.2	Struktur Mikro AISI 1045 Tanpa Perlakuan Panas (a) Perbesaran 50x (b) Perbesaran 100x	8
Gambar 2.3	Struktur Mikro Baja AISI 4140 Perbesaran 200x	10
Gambar 2.4	Struktur Mikro Baja AISI 4340 Perbesaran 200x	11
Gambar 2.5	Diagram Pendinginan Besi murni	14
Gambar 2.6	Diagram Fasa Fe – Fe ₃ C	16
Gambar 2.7	Diagram Transformasi Isothermal Untuk Baja Paduan Rendah	17
Gambar 2.8	Diagram Continuous Cooling Transformation Untuk Baja Karbon.....	18
Gambar 2.9	Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Temperatur Eutektoid Baja	19
Gambar 2.10	Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Kadar Karbon Eutektoid Baja	20
Gambar 2.11	Diagram Fasa Fe-Ni.....	21
Gambar 2.12	Diagram Fasa Fe-Cr.....	21
Gambar 2.13	Diagram Fasa Fe-Mo	22
Gambar 2.14	Rentang Temperatur Austenisasi dan Struktur Mikro	23
Gambar 2.15	Tiga Tahapan Quenching.....	26
Gambar 2.16	Struktur Mikro Baja UNS G10150 Terdiri dari Ferrit (Terang) dan Perlit (Gelap)	27
Gambar 2.17	Struktur Mikro Martensit Lath (Kiri) dan Martensit Plate (Kanan) Dari Proses Quenching.....	28
Gambar 2.18	Struktur Mikro Upper Bainit (B ₁) dan Lower Bainit (B ₂) Pada Pendingan Kontinyu	29

Gambar 2.19	Struktur Mikro Granular Bainit (B ₃) Pada Pendingan Kontinyu	30
Gambar 2.20	Skala Kekerasan Rockwell.....	33
Gambar 2.21	Skema Pengujian Kekerasan Rockwell.....	33
Gambar 2.22	Pompa Sentrifugal Multistage Horizontal.....	34
Gambar 3.1	Diagram Alir Percobaan.....	40
Gambar 3.2	Furnace.....	42
Gambar 3.3	Gerinda Mesin dan Gergaji Mesin	42
Gambar 3.4	Mikroskop Optik	43
Gambar 3.5	Mesin Uji Kekerasan Rockwell Tipe C.....	43
Gambar 3.6	Dimesin Spesimen Pengujian.....	44
Gambar 3.7	Spesimen Hasil Pemotong.....	45
Gambar 3.8	Rancangan Perlakuan Panas dan Quenching	45
Gambar 4.1	Baja AISI 1045 Media Pendingin Air. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.....	47
Gambar 4.2	Baja AISI 1045 Media Pendingin Brine (Garam 5%wt). Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.....	48
Gambar 4.3	Baja AISI 1045 Media Pendingin Oli SAE 40. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.....	49
Gambar 4.4	Baja AISI 4140 Media Pendingin Air. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.....	50
Gambar 4.5	Baja AISI 4140 Media Pendingin Brine (Garam 5%wt). Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.....	51
Gambar 4.6	Baja AISI 4140 Media Pendingin Oli SAE 40. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.....	52
Gambar 4.7	Baja AISI 4340 Media Pendingin Air. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.....	53
Gambar 4.8	Baja AISI 4340 Media Pendingin Brine (Garam 5%wt). Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.....	54
Gambar 4.9	Baja AISI 4340 Media Pendingin Oli SAE 40. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.....	55

Gambar 4.10	Hubungan Antara Nilai Kekerasan Terhadap Jarak Indentasi Pada Baja AISI 1045	57
Gambar 4.11	Hubungan Antara Nilai Kekerasan Terhadap Jarak Indentasi Pada Baja AISI 4140	59
Gambar 4.12	Hubungan Antara Nilai Kekerasan Terhadap Jarak Indentasi Pada Baja AISI 4340	60
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, Dan AISI 4340 Menggunakan Media Quench Air	61
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, Dan AISI 4340 Menggunakan Media Quench Brine (Garam 5%wt)	62
Gambar 4.15	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, Dan AISI 4340 Menggunakan Media Quench Oli SAE 40	63

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Baja AISI 1045.....	8
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja AISI 1045	9
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja AISI 4140.....	9
Tabel 2.4 Sifat Mekanik Baja AISI 4140.....	10
Tabel 2.5 Komposisi Kimia Baja AISI 4340.....	11
Tabel 2.6 Sifat Mekanik Baja AISI 4340	12
Tabel 3.1 Desain Eksperimen.....	41
Tabel 4.1 Nilai Uji Kekerasan Rockwell C Baja AISI 1045 Hasil Quenching.....	56
Tabel 4.2 Nilai Uji Kekerasan Rockwell C Baja AISI 4140 Hasil Quenching.....	58
Tabel 4.3 Nilai Uji Kekerasan Rockwell C Baja AISI 4340 Hasil Quenching.....	59

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan industri baja di masa sekarang sangat pesat meskipun penggunaan material logam pada berbagai komponen semakin berkurang karena adanya material pengganti tetapi kebutuhan akan baja masih sangat mendominasi dan belum tergantikan. Kebutuhan akan baja ini mendorong pertumbuhan pabrikan lokal baja. Akan tetapi adanya kasus yang dilaporkan oleh Pabrik Gula Gending dimana terjadi kegagalan setelah pemakaian kurang dari setahun pada komponen poros roda gigi pompa yang mereka gunakan setelah dipasok oleh pabrikan lokal padahal sebelumnya pada saat dipasok oleh komponen originil komponen tersebut mampu mencapai umur pakai 4 tahun. Penurunan umur pakai yang signifikan ini disebabkan komponen yang digunakan tidak sesuai spesifikasi pompa tersebut. Maka perlu dilakukan pengembangan dan optimalisasi sifat mekanik khususnya sifat tahan aus yang dipengaruhi oleh nilai kekerasan komponen tersebut dengan cara perlakuan panas.

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah salah satu proses produksi untuk mengubah struktur mikro dengan jalan memanaskan logam atau paduan pada dapur elektrik pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendinginan seperti udara, air, *brine*, dan minyak. Selain komposisi kimia, perlakuan panas pada logam atau paduan akan mempengaruhi sifat fisik dan sifat mekanik tertentu. Logam atau paduan yang memiliki komposisi kimia yang sama jika dirubah struktur mikronya (dilakukan pengerjaan panas) akan merubah sifat logam atau paduan tersebut.

Pada penelitian ini material yang digunakan sebagai spesimen uji adalah AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045 yang akan dilakukan proses perlakuan panas yaitu *hardening* dan didinginkan dengan tiga jenis varian media *quench* berupa air, oli SAE 40 dan *brine* (garam 5%wt). dan selanjutnya akan dianalisa dan diamati

pengaruhnya terhadap struktur mikro dan distribusi kekerasan yang terbentuk dengan metode pengujian metalografi dan pengujian kekerasan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan, maka permasalahan yang menjadi pembahasan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh media *quench* terhadap struktur mikro dari hasil proses pengerasan AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045?
2. Bagaimana pengaruh media *quench* terhadap distribusi kekerasan dari hasil proses pengerasan baja AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045?

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Komposisi kimia semua spesimen uji dianggap sesuai dengan standar AISI dan bebas cacat
2. Penelitian difokuskan pada pengaruh media *quench* terhadap struktur mikro dan distribusi pengerasan baja AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045.
3. Selama penelitian pengaruh lingkungan diabaikan

1.4 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan perumusan masalah tersebut, maka tujuan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh media *quench* terhadap struktur mikro dari hasil proses pengerasan baja AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045.

2. Menganalisa pengaruh media *quench* terhadap distribusi kekerasan dari proses pengerasan baja AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini didapatkan sejumlah data hasil perlakuan panas dan diharapkan mampu memberikan manfaat kepada semua pihak yang berkaitan, antara lain:

1. Mahasiswa sebagai pelaksana penelitian agar memahami dan mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi
2. Referensi yang valid tentang hasil pengerasan pada baja AISI 4340, AISI, 4140, dan AISI 1045 untuk bahan riset dan penelitian selanjutnya
3. Rekomendasi baja hasil pengerasan untuk pemilihan material sesuai kebutuhan sifat mekanik yang dibutuhkan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja adalah paduan yang pada dasarnya terdiri dari besi (Fe) dan Karbon (C) 0,2% - 2,1%, selain itu juga mengandung unsur lain seperti Belerang (S) dan Fosfor (P) yang berasal dari pengotor bijih besi dengan kadar ditekan serendah mungkin, dan Sebagian lagi unsur Silikon (Si) dan Mangan (Mn) yang ditambahkan pada proses pembuatan besi/baja. Di samping unsur-unsur tersebut untuk memperoleh suatu sifat tertentu seringkali ditambahkan sejumlah unsur paduan. Sehingga banyak sekali jenis baja yang diproduksi di dunia.

Jenis dan bentuk baja sangat beragam dan merupakan paduan yang paling banyak digunakan oleh manusia diberbagai sektor kehidupan, maka baja pun diklasifikasikan dengan beberapa cara menurut keperluannya masing-masing, antara lain:

1. Pembuatan; baja Bessemer, baja Siemens-Martin (*open-hearth*), baja listrik, dan lain-lain.
2. Penggunaan; baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja perkakas, dan lain-lain.
3. Kekuatan; baja lunak, baja kekuatan tinggi.
4. Struktur mikro; baja eutektoid, baja hypoeutektoid, baja hypereutektoid, baja austenitik, baja ferritik, baja martensitik, dan lain-lain.
5. Komposisi kimia; baja karbon, baja paduan, dan lain-lain.

(Suherman,1999)

Klasifikasi baja tidak hanya berpegang pada salah satu cara saja tetapi merupakan gabungan dari beberapa cara di atas. Untuk mempelajari lebih dalam mengenai baja, maka lebih baik baja diklasifikasikan menurut komposisi kimia dan struktur mikro. Komposisi kimia (terutama presentasi karbon dan unsur paduan) dan struktur mikro pada baja sangat mempengaruhi sifat mekanik dari baja yang terbentuk. Struktur mikro pada baja dipengaruhi

oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Unsur paduan utama baja adalah karbon, sehingga baja dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu:

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3%C. Struktur mikro terdiri dari ferrit dan sedikit perlit, memiliki kekuatan yang relatif rendah, lunak, tetapi keuletan tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit kecuali dengan pengerasan permukaan.
2. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*) mengandung karbon 0,3% - 0,6%C. Struktur mikro terdiri dari ferrit dan cukup banyak perlit, memiliki kekuatan cukup tinggi, keras, tetapi getas. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai.
3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*) mengandung karbon 0,6% - 1,2%C. Struktur mikro terdiri dari perlit seluruhnya dan untuk kadar karbon diatas 1,0% terdiri dari sementit dan perlit, memiliki kekuatan sangat tinggi, sangat keras tetapi keuletan dan ketangguhan rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah pengerasan dengan perlakuan panas baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyak martensit, sehingga membuat baja menjadi getas.

Sedangkan untuk baja paduan, baja digolongkan menjadi tiga, yaitu:

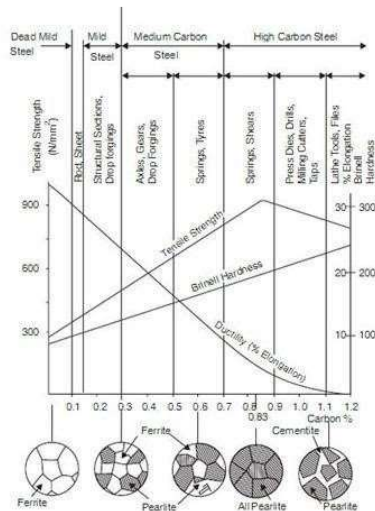
1. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*) merupakan baja paduan yang unsur paduannya kurang dari 2,5%wt, contohnya Kromium (Cr), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Belerang (S), Silikon (Si), Fosfor (P) dan lain-lain.
 2. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*) merupakan baja paduan yang unsur paduannya antara 2,5% - 10%wt,
-

contohnya Kromium (Cr), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Belerang (S), Silikon (Si), Fosfor (P) dan lain-lain.

3. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*) merupakan baja paduan yang unsur paduannya lebih dari 10%wt, contohnya Kromium (Cr), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Belerang (S), Silikon (Si), Fosfor (P) dan lain-lain.

(Amanto,1999)

Berikut adalah **Gambar 2.1** menunjukkan pengelompokan baja karbon, berdasarkan kadar karbon, hubungan dengan struktur mikro dan sifat mekanik, serta penggunaannya.



Gambar 2.1 Pengelompokan Baja Karbon, Struktur Mikro, Sifat Mekanik, dan Beberapa Contoh Penggunaan (Suherman, 1999).

2.1.1 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon menengah yang mempunyai kandungan karbon 0,43 – 0,50%. Penamaan baja AISI 1045 adalah standarisasi pengkodean dari *American Iron and Steel*

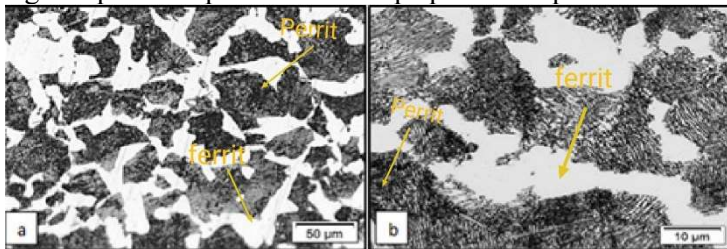
Institute. AISI 1045 artinya pada angka pertama yaitu 1 adalah kode untuk baja karbon, pada angka kedua yaitu 0 adalah kode untuk kadar unsur paduan dari baja paduan sederhana, dan pada angka dua terakhir yaitu 45 adalah kode untuk kadar karbon dalam per seratus persen. Berikut adalah **Tabel 2.1** komposisi kimia dari baja AISI 1045:

Tabel 2.1 Komposisi Baja AISI 1045

Kode	Unsur (%)				
	C	Si	Mn	P	S
AISI 1045	0,43 - 0,50	0,10 - 0,35	0,60 - 0,90	≤0,040	≤0,040

(Nugraheni, 2014)

Berikut adalah **Gambar 2.2** struktur mikro dari baja AISI 1045 yang didapatkan dipasaran atau tanpa perlakuan panas:



Gambar 2.2 Struktur Mikro AISI 1045 Tanpa Perlakuan Panas
(a) Perbesaran 50x (b) Perbesaran 100x (Perez, 2018).

Baja AISI 1045 dengan spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Sesuai dengan kegunaan tersebut baja AISI 1045 harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Pada umumnya ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan. Ketahanan aus adalah kemampuan benda untuk menahan abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat gesekan. Berikut adalah **Tabel 2.2** yang menunjukkan sifat mekanik dari baja AISI 1045:

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja AISI 1045

Produ k	Kekuata n Luluh (MPa)	Kekuata n Tarik (Mpa)	Elongatio n (%)	Hardness (HB)
Cold Drawn	500 – 650	640 – 850	8 min	190 – 270
Smooth Turned	300 – 450	570 – 700	14 – 30	170 – 210
Hot Rolled/ Forged	300 – 450	570 – 700	14 - 40	170 – 210

(Atlas, 2005)

2.1.2 Baja AISI 4140

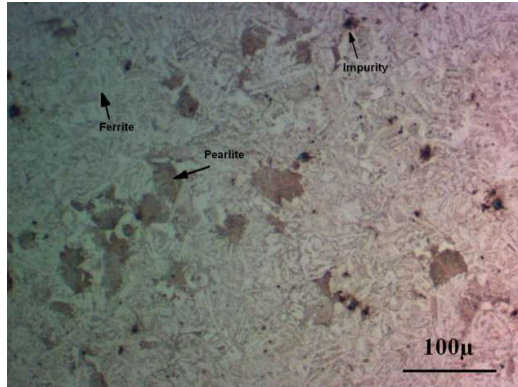
Baja AISI 4140 merupakan baja paduan rendah yang mempunyai kandungan karbon 0,37 - 0,44%, dalam dunia material metalurgi disebut sebagai Baja Kromium-Molibdenum. Penamaan AISI 4140 sesuai standarisasi *pengkodean American Iron and Institute*, yang artinya pada angka pertama yaitu 4 menunjukkan jenis unsur paduan Kromium dan Molibdenum, pada angka kedua yaitu 1 menunjukkan presentasi unsur paduan $\pm 1,00\%$ (hal ini berlaku hanya untuk baja paduan sederhana), dan dua angka terakhir yaitu 40 menunjukkan presentasi kadar karbon dalam per seratus persen. Berikut **Tabel 2.3** komposisi kimia dari baja AISI 4140:

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja AISI 4140

Kode	Unsur (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
AISI 4140	0,37- 0,44	0.10- 0,35	0,65- 1,10	$\leq 0,040$	$\leq 0,040$	0,75- 1,20	0,15- 0,30

(Darmawi, 2009)

Berikut adalah **Gambar 2.3** struktur mikro dari baja AISI 4140 yang didapatkan dipasaran atau tanpa perlakuan panas



Gambar 2.3 Struktur Mikro Baja AISI 4140 Perbesaran 200x (Mizhar, 2011)

Baja AISI 4140 dengan spesifikasi ini banyak digunakan sebagai sambungan *rods*, poros engkol, as roda, batang piston, *collet*, kunci pas, dan *sprockets*. Sesuai dengan kegunaan tersebut baja AISI 4140 harus mampu dioperasikan pada mesin kekuatan tinggi dan memiliki kekuatan relatif Tangguh terutama kekerasan, kekuatan dan ketahanan terhadap aus. Berikut adalah **Tabel 2.4** yang menunjukkan sifat mekanik baja AISI 4140:

Tabel 2.4 Sifat Mekanik Baja AISI 4140

Ukuran Produk (mm)	Kekuatan Luluh (MPa)	Kekuatan Tarik (Mpa)	Elongation (%)	Hardness (HB)
Up to 63	680 min	850 – 1000	14 min	248 – 302
Up to 100	665 min	850 – 1000	15 min	248 – 302

(Atlas, 2005)

2.1.3 Baja AISI 4340

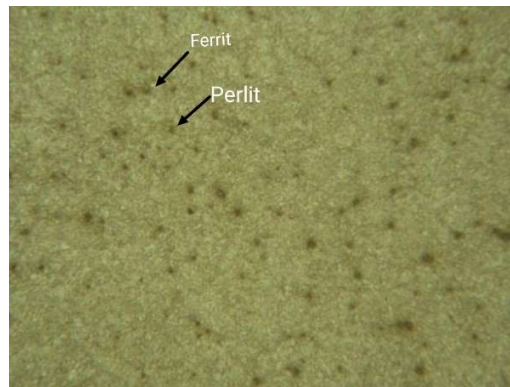
Baja AISI 4340 merupakan baja karbon menengah yang mempunyai kandungan karbon 0,37 - 0,44% yang dalam dunia material metalurgi disebut Baja Nikel-Kromium-Molibdenum. Penamaan baja AISI 4340 sesuai standarisasi pengkodean oleh *American Iron and Steel Institute*, yang artinya dua angka pertama yaitu 43 menunjukkan jenis baja paduan Nikel, Kromium, dan Molibdenum dan dua angka terakhir yaitu 40 menunjukkan kadar karbon dalam per seratus persen. Berikut adalah **Tabel 2.5** komposisi kimia dari baja AISI 4340:

Tabel 2.5 Komposisi Kimia Baja AISI 4340

Kode	Unsur (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
AISI 4340	0,37- 0,44	0,10- 0,35	0,55- 0,90	≤0,040	≤0,040	1,55- 2,00	0,65- 0,95	0,20- 0,35

(Daryus,2007)

Berikut adalah **Gambar 2.4** struktur mikro dari baja AISI 4340 yang didapatkan dipasaran atau tanpa perlakuan:



Gambar 2.4 Struktur Mikro Baja AISI 4340 Perbesaran 200x
(Rusjdi, 2016).

Baja AISI 4340 digunakan sebagai bahan komponen mesin seperti poros baling-baling, sambungan *rods*, poros roda gigi, poros engkol, komponen roda pendaratan, *heavy forgings*, *shafts dan disch*. Karena kegunaan tersebut maka baja AISI 4340 harus mampu dirancang untuk kekuatan optimal serta dapat juga ditingkatkan sifat-sifatnya dengan perlakuan panas. Berikut adalah **Tabel 2.6** yang menunjukkan sifat mekanik dari baja AISI 4340:

Tabel 2.6 Sifat Mekanik Baja AISI 4340

Ukuran Produk (mm)	Kekuatan Luluh (MPa)	Kekuatan Tarik (Mpa)	Elongation (%)	Hardness (HB)
Up to 63	755 min	930 – 1080	9 min	269 – 331
Up to 100	740 min	930 – 1080	12 min	269 – 331

(Atlas, 2005)

2.2 Perlakuan Panas

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah serangkaian proses pemanasan pada temperatur yang terkontrol dan pendinginan menurut cara tertentu pada material logam atau paduan dalam bentuk padat untuk mencapai sifat yang lebih baik dari sifat awal material tersebut. Adanya proses perlakuan panas didasari untuk memperbaiki hasil dari proses penempaan konvensional yang tidak merata dan juga untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan, keuletan, tegangan tarik, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, dan lain sebagainya. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengerjaan panas adalah temperature pemanasan, waktu tahan (*Holding Time*), dan media pendingin (*Quench*).

(Rubijanto, 2006)

Perlakuan panas pada material logam/paduan dapat mengubah sifat mekanik dengan cara terjadinya beberapa perubahan struktur mikro berupa transformasi fasa, ukuran dan bentuk butir kristal, dan juga unsur pelarut dalam jumlah yang kecil. Struktur mikro material menentukan sifat mekanik material, struktur mikro yang terjadi pada hasil akhir proses perlakuan panas ditentukan oleh komposisi kimia dan kondisi atau struktur awal material. Untuk menghasilkan sifat suatu material logam/paduan yang diinginkan melalui perlakuan panas perlu diketahui tentang transformasi yang dialami selama proses pemanasan dan pendinginan oleh struktur mikro. Adapun pedoman atau landasan dalam melakukan perlakuan panas untuk baja mengacu pada diagram fasa Fe-Fe₃C dan diagram transformasi pemanasan dan pendinginan serta pengaruh unsur paduan.

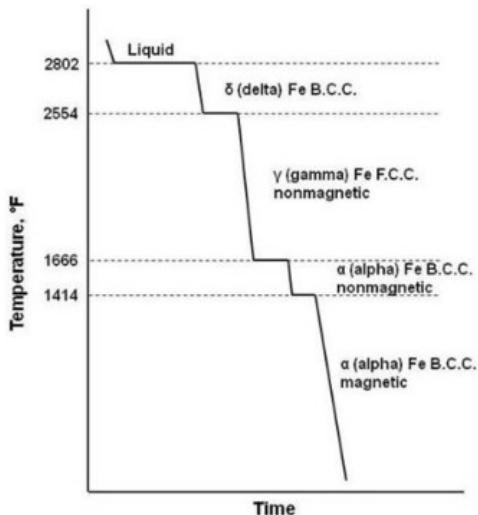
(Abimanyu, 1971)

2.2.1 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Besi murni setelah pemanasan mengalami dua perubahan dalam struktur kristal sebelum meleleh. Bentuk stabil pada temperatur kamar disebut ferit atau besi alpha (α), memiliki struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC). Ferit mengalami transformasi polimorfik menjadi austenit atau besi gamma (γ) memiliki struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC) pada temperatur 912°C. Austenit ini berlanjut hingga temperatur 1394°C, pada temperatur ini austenit FCC kembali ke struktur BCC yang dikenal sebagai besi delta (δ), yang akhirnya meleleh pada temperatur 1538°C.

(Callister, 2007)

Semua perubahan ini terlihat pada **Gambar 2.5** diagram pendinginan besi murni berikut:



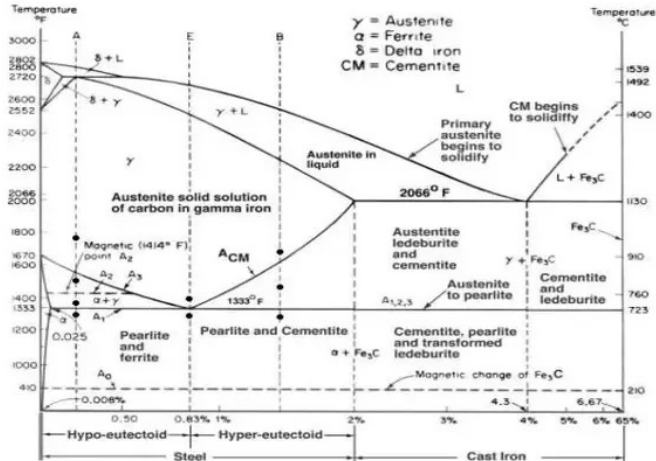
Gambar 2.5 Diagram Pendinginan Besi murni (Avner, 1974).

Diagram keseimbangan besi-karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstitial-nya, karbida

besi (Fe_3C), yang mengandung 6,67 %C. Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fasa besi - karbon ada 2 macam, diagram fasa besi - karbida besi dan diagram fasa besi - grafit. dan diagram fasa yang banyak digunakan adalah diagram fasa besi - karbida besi (Diagram Fe- Fe_3C). Pada keadaan yang betul-betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan-perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan membutuhkan waktu bertahun-tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil.

(Avner, 1974)

Berikut adalah **Gambar 2.6** yang memperlihatkan diagram fasa Fe- Fe_3C :



Gambar 2.6 Diagram Fasa Fe – Fe₃C (Callister, 2007).

- Pada temperatur 723°C, kadar karbon antara 0,025% - 6,67 % akan berlangsung reaksi eutektoid $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$ (Perlit)
- Pada temperatur 1130°C kadar karbon antara 2,0%– 6,67% akan berlangsung reaksi eutektik $L \rightarrow \gamma + Fe_3C$ (Ledeburit)
- Pada temperatur 1496°C kadar karbon antara 0,10– 0,50% akan berlangsung, $L + \delta \rightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)

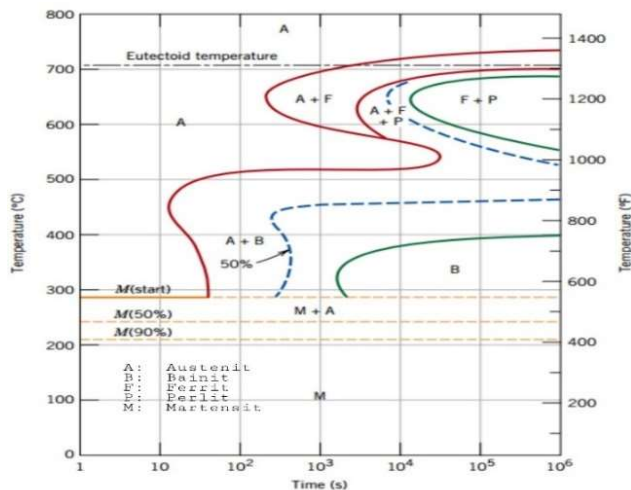
(Avner, 1974)

2.2.2 Diagram Transformasi

Untuk mengetahui proses perubahan apa saja yang terjadi pada struktur mikro baja/paduan selama perlakuan panas dapat menggunakan diagram transformasi. Diagram Transformasi adalah diagram yang menunjukkan perkembangan transformasi struktur mikro yang terbentuk terhadap waktu dan temperatur. Ada dua macam diagram transformasi yang sering menjadi acuan yaitu Diagram Transformasi Isothermal dan Transformasi Pendinginan Kontinyu (*Cotinuuous Cooling Transformation*).

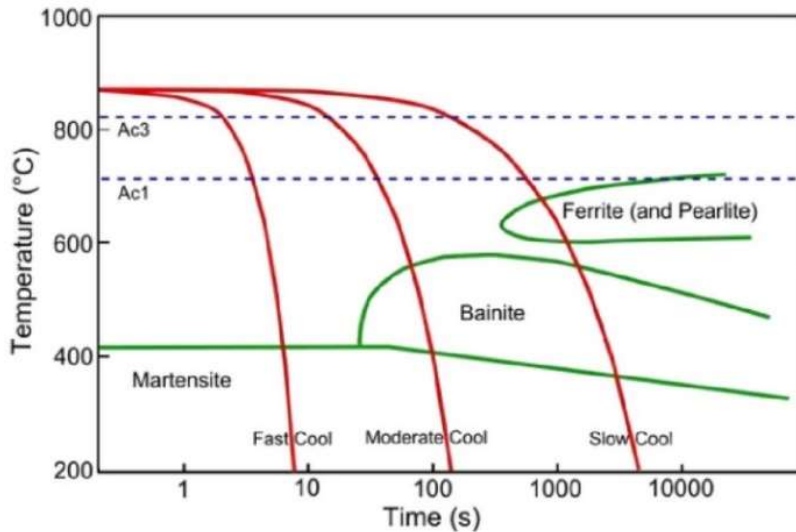
(Brunhuber,1988)

Diagram Transformasi Isothermal menunjukkan transformasi struktur mikro baja pada kondisi temperatur konstan, di mana baja dipanaskan secara cepat menuju temperatur tertentu kemudian temperatur ditahan dalam suatu periode waktu sehingga transformasi fasa dapat berlangsung isothermal seperti martempering dan austempering. Berikut adalah **Gambar 2.7** diagram transformasi isothermal untuk baja paduan rendah dengan perubahan fasa:



Gambar 2.7 Diagram Transformasi Isothermal Untuk Baja Paduan Rendah (Lawrence, 2004).

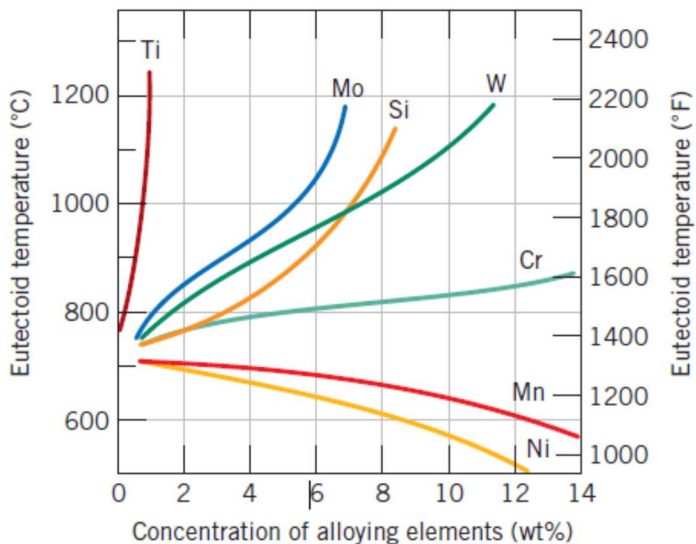
Sedangkan Diagram Pendinginan Kontinyu (*Continuous Cooling Temperature*) atau disebut Diagram CCT menunjukkan transformasi struktur mikro baja pada pendinginan kontinyu seperti *quenching*. Berikut adalah **Gambar 2.8** diagram CCT untuk Baja Karbon tanpa paduan:



Gambar 2.8 Diagram Continuous Cooling Transformation Untuk Baja Karbon (Lawrence, 2004).

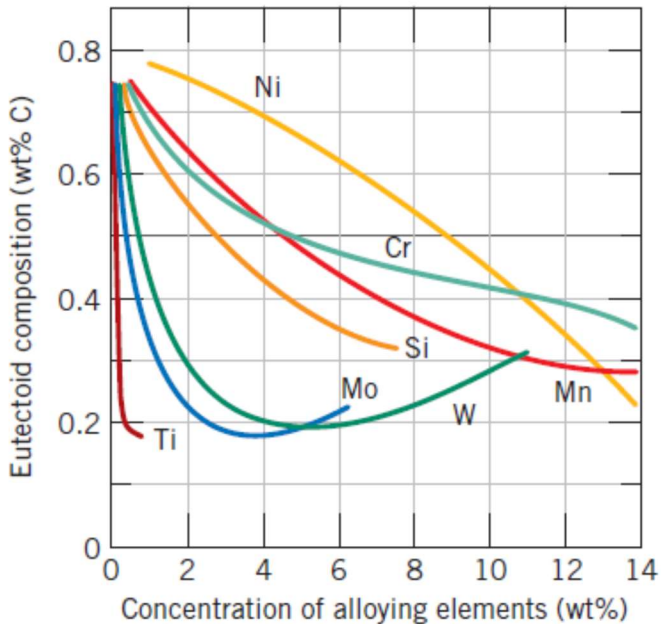
2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan

Baja karbon memang memiliki harga yang murah dan lebih mudah saat perlakuan panas, tetapi memiliki keterbatasan seperti hardenability rendah, ketahanan oksidasi dan korosi rendah, kekuatan rendah khususnya pada temperatur tinggi. Disisi lain baja paduan banyak digunakan karena memiliki sifat-sifat yang tidak bisa diperoleh dari baja karbon. Unsur paduan akan merubah diagram fasa baja sehingga akan sangat mempengaruhi proses perlakuan panas dan hasilnya. Misalnya unsur paduan yang berada dalam larutan padat akan menstabilkan larutan padat tersebut dan jika unsur paduan membentuk suatu senyawa karbida akan membuat karbida lebih stabil. Berikut adalah **Gambar. 2.9** pengaruh penambahan unsur-unsur paduan pada temperatur eutektoid baja:



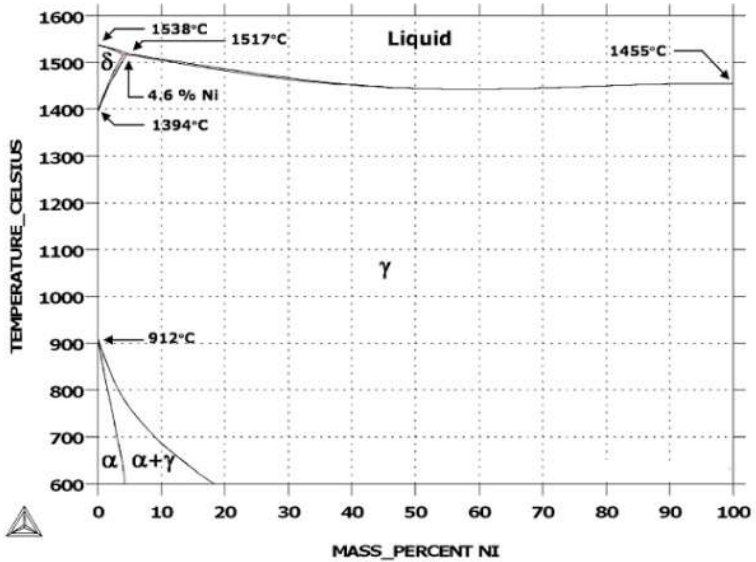
Gambar 2.9 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Temperatur Eutektoid Baja (Callister, 2009).

Dan untuk pengaruh penambahan unsur paduan terhadap kadar karbon terlihat pada **Gambar 2.10** berikut ini:

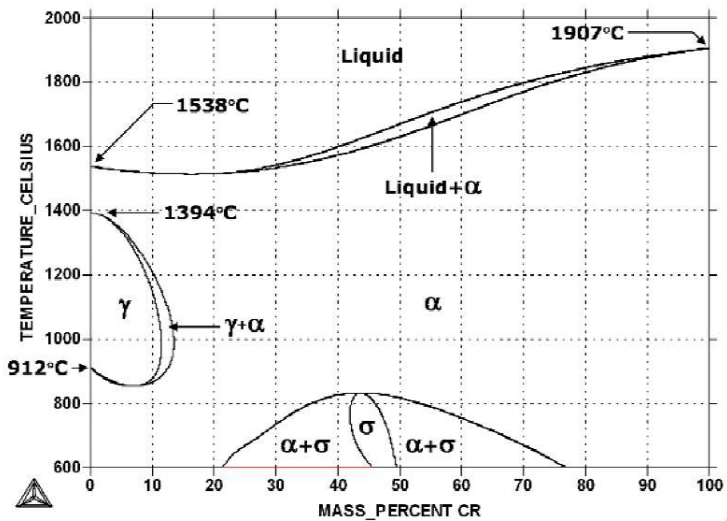


Gambar 2.10 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Kadar Karbon Eutektoid Baja (Callister, 2009).

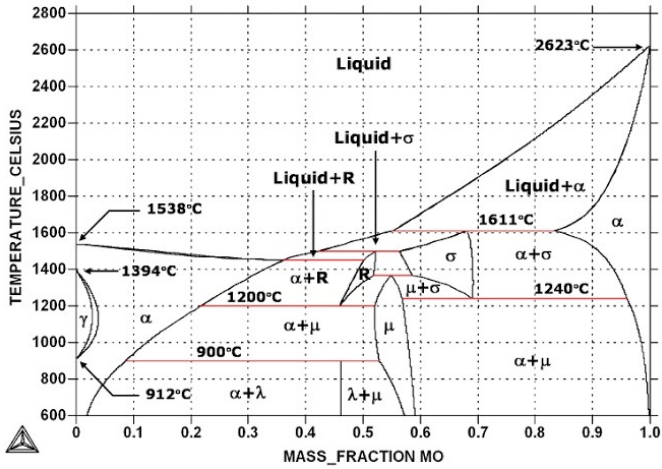
Unsur Nikel dan Mangan adalah unsur pembentuk austenit yang akan menurunkan temperatur eutektoid sedangkan unsur Kromium, Silikon, Molibdenum, Tungsten, dan Aluminium adalah unsur pembentuk ferrit yang akan menaikkan temperatur eutektoid. Berikut ini **Gambar 2.11** yang menunjukkan diagram fasa Fe-Ni, **Gambar 2.12** yang menunjukkan diagram fasa Fe-Cr, dan **Gambar 2.13** menunjukkan diagram fasa Fe-Mo:



Gambar 2.11 Diagram Fasa Fe-Ni (Kubaschewski, 1982).



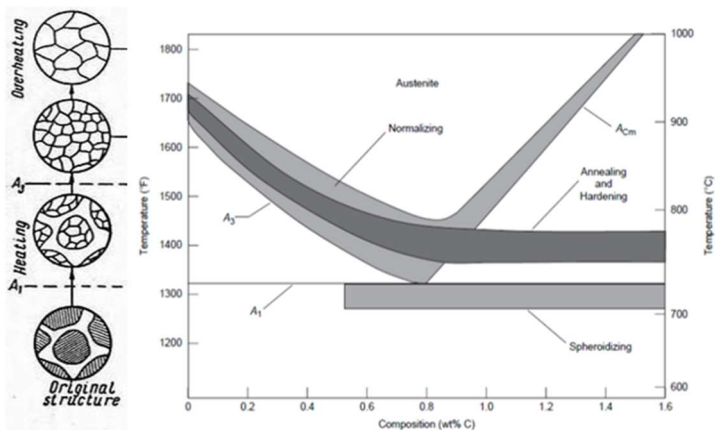
Gambar 2.12 Diagram Fasa Fe-Cr (Dubiel, 2010).



Gambar 2.13 Diagram Fasa Fe-Mo (Chang, 2012)

2.3 Hardening

Proses Pengerasan (*Hardening*) merupakan suatu proses perlakuan panas dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kekerasan (*Hardness*) pada baja atau paduan. Adapun tahapan dari proses hardening yang pertama adalah pemanasan baja menuju temperatur 30°C- 50°C diatas temperatur kritis A_3 untuk baja hypoeutektoid dan 30°C- 50°C diatas temperatur kritis A_1 untuk baja hypereutektoid. Kedua setelah mencapai temperatur tersebut dipertahankan selama periode waktu tertentu agar struktur baja menjadi homogen, dan ketiga dilakukan pendinginan secara cepat (*Quenching*) menggunakan media pendinginan yang memiliki laju pendinginan tinggi. Untuk lebih memahami proses *hardening* berikut **Gambar 2.14** rentang temperatur austenisasi serta struktur mikro yang terjadi:



Gambar 2.14 Rentang Temperatur Austenisasi dan Struktur Mikro (Campbell, 2008).

Proses hardening sangat dipengaruhi oleh hardenability suatu baja atau paduan, perlu dipahami juga bahwa *hardness* dan *hardenability* tidak sama. *Hardness* (Kekerasan) adalah kemampuan material untuk menahan beban penetrasi sedangkan

Hardenability adalah kemampuan suatu material untuk dapat dikeraskan membentuk martensit pada proses quenching. Sifat *hardenability* sangat dipengaruhi oleh hal-hal berikut:

1. Kecepatan pendinginan; semakin cepat pendinginan maka semakin tinggi nilai kekerasan
2. Komposisi kimia; semakin banyak unsur kimia yang terdapat pada baja maka semakin tinggi nilai kekerasan
3. Kandungan karbon; semakin banyak kandungan karbon dalam baja maka semakin tinggi *hardenability*
4. Ukuran butir; semakin besar ukuran butir maka semakin rendah tingkat *hardenability*
5. Temperatur pemanasan; *hardenability* lebih tinggi jika pemanasan dilakukan pada temperatur austenisasi.

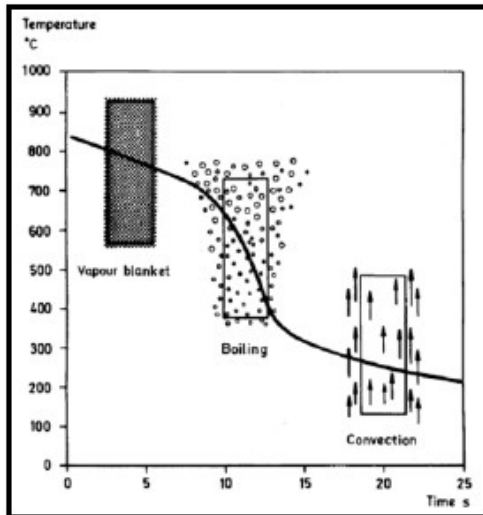
(Rajan, 1997)

2.4 Quenching

Quenching merupakan proses pendinginan suatu baja/paduan setelah melalui proses pemanasan menggunakan suatu media *quench* atau media pendinginan yang memiliki laju pendinginan tinggi. Akibat dari laju pendinginan yang tinggi ini akan menyebabkan atom-atom karbon yang seharusnya berdifusi keluar dari larutan austenit terperangkap membentuk martensit. Struktur martensit didapatkan karena mencapai laju pendinginan kritis sehingga austenit bertransformasi menjadi martensit.

(Edmonds, 2006)

Proses quenching terdiri dari tiga tahapan yaitu *Vapour Blanket Stage*, *Boiling Stage*, dan *Convection Stage*. Tahapan *vapour blanket* adalah tahapan dimana panas baja yang dimasukkan dalam media quench membentuk uap dan film tipis disekitar baja. Selanjutnya tahapan *boiling* dimana temperatur media *quench* yang menyelimuti baja mencapai titik didih dan membentuk gelembung uap, energi pembentuk gelembung uap diambil dari panas baja yang akan menyebabkan temperatur baja menurun. Semakin banyak gelembung uap terbentuk semakin banyak *blanket* yang terlepas. Laju pendinginan tahap *boiling* ini cukup tinggi. Dan selanjutnya tahapan *convection* adalah tahapan dimana gelembung berangsur-angsur mulai hilang dan terjadi perpindahan panas dari baja ke media *quench* secara konveksi. Berikut ini adalah **Gambar 2.15** yang memperlihatkan tahapan yang terjadi pada proses *quenching*:



Gambar 2.15 Tiga Tahapan Quenching (Thelning, 1984).

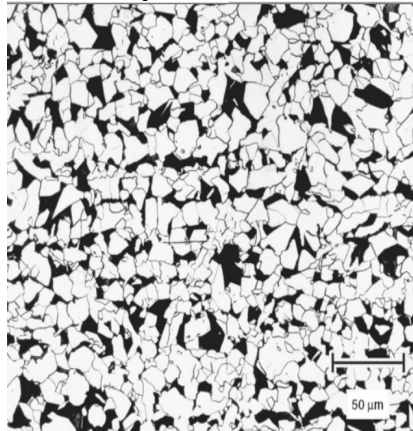
Media quench yang bisanya digunakan dalam proses *quenching* adalah air, minyak, dan brine. Air adalah media pendinginan paling umum dan memiliki kapasitas pendinginan yang tinggi, namun tahapan *vapour blanket*-nya cukup lama mengakibatkan laju pendinginan akan memotong kurva pada baja dengan *hardenability* rendah. Minyak memiliki laju pendinginan lebih lambat dari air, jenis minyak sangat beragam mulai dari minyak pelumas hingga minyak khusus *quenching*. Idealnya minyak yang digunakan untuk *quenching* adalah yang memiliki viskositas rendah. *Brine* adalah cairan larutan garam yang memiliki laju pendinginan tinggi. Untuk meningkatkan laju pendinginan dapat diberikan agitasi yang akan mengalirkan panas yang diambil media quench ke tempat lain.

(Glyn, 1974)

2.5 Struktur Mikro Hasil Transformasi

Proses perlakuan panas pada baja atau paduan menghasilkan beberapa jenis fasa yang membentuk struktur mikro. Fasa yang dihasilkan dipengaruhi oleh banyak hal seperti komposisi kimia, temperatur transformasi, dan laju pendinginan.

Pada temperatur ruangan besi memiliki fasa stabil yang disebut ferrit (besi α) dengan struktur kristal BCC, ferrit memiliki ukuran butir yang relatif besar, berbentuk polygonal dan berwarna putih atau terang. Berikut adalah **Gambar 2.16** struktur mikro baja yang memperlihatkan adanya ferrit:

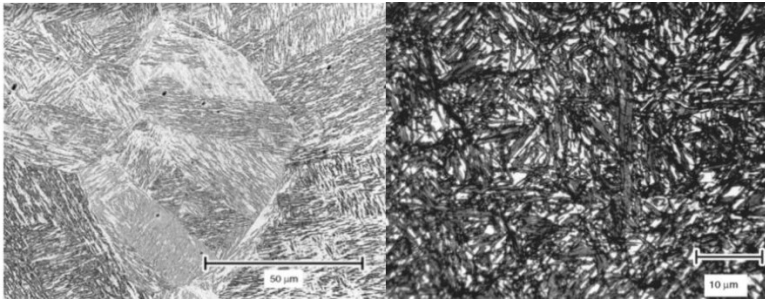


Gambar 2.16 Struktur Mikro Baja UNS G10150 Terdiri dari Ferrit (Terang) dan Perlit (Gelap). (ASM Internasional, 2004).

Perlit adalah gabungan dari dua fasa ferrit dan sementit (karbida besi Fe_3C), perlit berwarna gelap berbentuk *lamellar* dari lapisan ferrit dan sementit. Perlit muncul seiring dengan kenaikan temperatur sampai temperatur 723°C . Ketika dipanaskan mencapai temperatur di atas 723°C akan mengalami transformasi polimorfik menjadi FCC, struktur ini disebut austenit (besi γ). Pada temperatur lebih tinggi lagi yaitu di atas 1400°C akan menjadi besi δ dan bertransformasi kembali menjadi BCC lalu mencair pada temperatur 1535°C .

(Callister, 2014)

Pada temperatur terbentuknya austenit ini yang penting dalam proses perlakuan panas sekitar 723°C - 1400°C . Pada pendinginan secara cepat austenit yang berstruktur FCC akan bertransformasi menjadi BCT, struktur ini disebut martensit. Ada dua bentuk martensit yaitu berbentuk *lath* dan *plate* perbedaan ini disebabkan kadar karbon pada baja. Martensit *Lath* memiliki kadar karbon $<0,6\text{wt}\%$ sedangkan Martensit *Plate* memiliki kadar karbon $>1,0\text{wt}\%$ dan untuk kadar karbon $0,6 - 1,0\text{wt}\%$ terbentuk campuran keduanya. Berikut adalah **Gambar 2.17** struktur mikro martensit *lath* dan matensit *plate*:



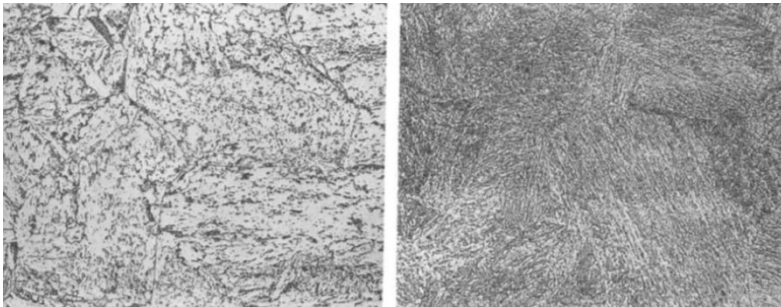
Gambar 2.17 Struktur Mikro Martensit *Lath* (Kiri) dan Martensit *Plate* (Kanan) Dari Proses *Quenching* (ASM Internasional, 2004).

Pada pendinginan yang tidak terlalu cepat yaitu pada temperatur dibawah terbentuknya perlit (pendinginan sangat lambat) dan diatas temperatur terbentuknya martensit (pendinginan sangat cepat) maka austenit akan bertransformasi menjadi bainit. Bainit adalah struktur yang terbentuk dari ferrit dan sementit. Pada pendinginan isothermal bainit berbentuk menyerupai bulu disebut bainit atas pada temperatur transformasi yang tinggi dan bainit bawah berbentuk menyerupai jarum pada temperatur transformasi yang rendah.

(Callister, 2004)

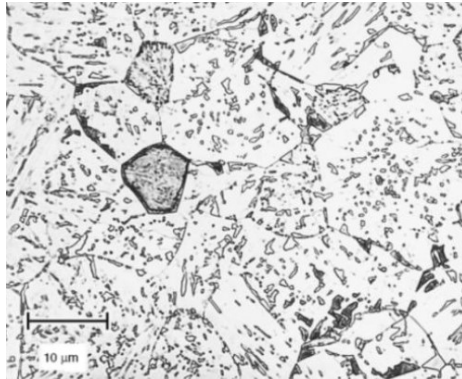
Hal ini tidak relevan dengan pendinginan secara kontinyu. Sehingga pada pendinginan kontinyu bainit dibedakan menjadi tiga

kelas yaitu B_1 atau bainit atas (*upper bainit*), B_2 atau *lower* bainit (bainit bawah), dan B_3 atau *granular* bainit. Bainit atas menjadi berbentuk *matrix* bilah ferrit disertai dengan sementit yang berada didalam ferrit (*accicular*) dan bainit bawah berbentuk *matrix* bilah ferrit serta sementit yang berada di batas butir antar bilah ferrit (*grain boundary*). Berikut adalah **Gambar 2.18** struktur mikro bainit atas dan bainit bawah pada pendinginan kontinyu:



Gambar 2.18 Struktur Mikro *Upper* Bainit (B_1) dan *Lower* Bainit (B_2) Pada Pendinginan Kontinyu (Bramfit, 1988).

Dan *granular* bainit (B_3) berbentuk matriks ferrit dengan partikel-partikel yang terdiri dari martensit ataupun austenit sisa. **Gambar 2.19** menunjukkan struktur mikro *granular* bainit sebagai berikut:



Gambar 2.19 Struktur Mikro Granular Bainit (B_3) Pada Pendingan Kontinyu (ASM Internasional, 2004).

2.6 Metode Pengujian

2.6.1 Pengujian Metalografi

Metalografi adalah suatu disiplin ilmu yang mempelajari metode pengamatan dan pengujian spesimen logam atau paduan dengan tujuan untuk menganalisa dan menentukan hubungan struktur mikro dengan sifat dan karakter spesimen tersebut. Pengujian metalografi merupakan suatu tahapan untuk menganalisa struktur mikro dari sebuah spesimen logam atau paduan, struktur mikro berhubungan langsung dengan sifat makroskopik dan sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan, ketangguhan, elongasi, sifat tahan panas, dan sifat kelistrikan. Sehingga hasil pengujian metalografi mempunyai peran penting dalam pengembangan material baik pembuatan bahkan analisa kegagalan material. Berikut adalah tahapan pengujian metalografi:

- a) *Cutting*; Pemotongan spesimen dengan ukuran sesuai kebutuhan menggunakan gergaji mesin atau manual,
- b) *Mounting*; Membuat cetakan *mounting* menggunakan resin khususnya untuk spesimen berukuran kecil,
- c) *Grinding*; Meratakan dan menghaluskan permukaan spesimen menggunakan amplas silikon karbida,
- d) *Polishing*; Memastikan tidak ada goresan pada permukaan spesimen dengan menggunakan pasta alumina,
- e) *Etching*; Untuk menampakkan struktur mikro pada spesimen dengan mencelupkan larutan etsa nitral atau pikral pada permukaan spesimen,
- f) *Observation*; Mengamati struktur mikro yang terlihat menggunakan mikroskop optik.

(Jutta, 2000)

2.6.2 Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan material untuk menahan goresan, pantulan maupun penekanan sampai material mengalami deformasi. Besarnya deformasi yang terjadi tergantung pada jenis material tersebut. Pengukuran nilai kekerasan dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu uji kekerasan gores, pengujian terhadap kemampuan material untuk menahan deformasi akibat goresan material lain. Uji kekerasan pantul adalah pengujian kemampuan material untuk menyerap energi impak akibat beban dinamis berupa penekanan jatuh suatu beban. Dan uji kekerasan indentasi adalah pengujian kemampuan material untuk menahan penekanan dari indentor pada permukaan.

(Rokhman, 2015)

Pengujian kekerasan indentasi adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan suatu material dengan melakukan indentasi di beberapa titik. Dalam pengujian kekerasan menggunakan indentasi terdapat tiga metode yaitu uji kekerasan Brinell, uji kekerasan Rockwell, dan uji kekerasan Vickers. Pengujian Kekerasan Rockwell sangat umum digunakan dalam uji kekerasan. Untuk material uji baja atau paduan menggunakan rockwell tipe c yaitu menggunakan indentor intan (*diamond*) dan beban tekan 150 kg.f atau 147 N. Hal ini berdasarkan ASTM E18-15 berikut adalah **Gambar 2.20** menunjukkan jenis-jenis indentor berdasarkan jenis material benda uji:

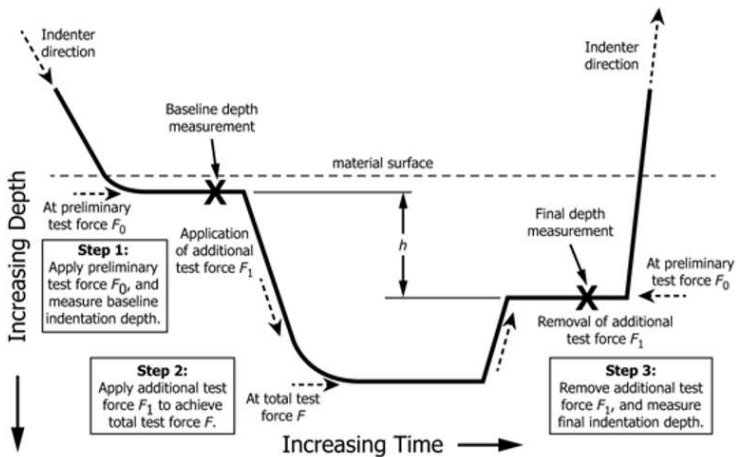
 E18 - 15

TABLE 1 Rockwell Hardness Scales

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/4-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc. Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than B100.
C	diamond	150	black	
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	
E	1/2-in. (3.175-mm) ball	100	red	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
F	1/4-in. (1.588-mm) ball	60	red	
G	1/4-in. (1.588-mm) ball	150	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals. Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
H	1/4-in. (3.175-mm) ball	60	red	
K	1/4-in. (3.175-mm) ball	150	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball.
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	Aluminum, zinc, lead.
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
T	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

Gambar 2.20 Skala Kekerasan Rockwell (ASTM E18-15, 1999).

Adapun diagram skema pengujian rockwell dapat dilihat pada **Gambar 2.21** sebagai berikut:



Gambar 2.21 Skema Pengujian Kekerasan Rockwell (ASTM E18-15, 1999).

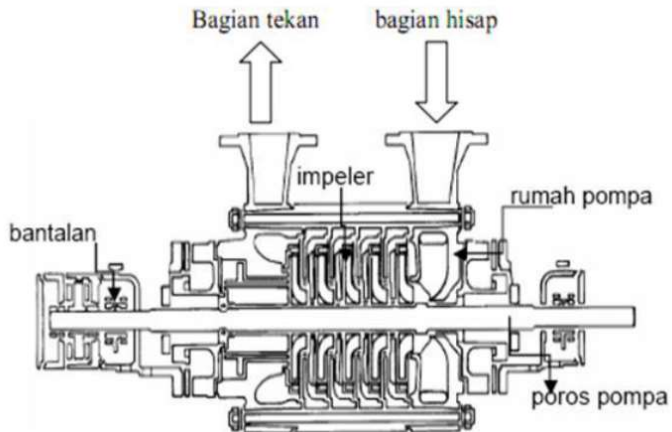
Pengujian kekerasan rockwell dilakukan dengan cara menekan permukaan spesimen uji menggunakan suatu indenter dengan beban pendahulu (beban minor). Selanjutnya menambahkan penekanan indenter ke dalam spesimen uji dengan beban utama

(beban mayor), kemudian melepaskan beban utama tetapi beban minor masih dipertahankan dan terakhir mesin uji kekerasan akan menunjukkan nilai kekerasan pada jam ukur (*dial gage*).

(ASTM E18-15, 1999)

2.7 Pompa Sentrifugal *Multistage Horizontal*

Pompa merupakan salah satu jenis mesin konversi energi yang berfungsi sebagai pemindah zat cair dari suatu tempat ke tempat tertentu yang diinginkan. Bagian-bagian pada pompa sentrifugal dapat dilihat pada **Gambar 2.22** sebagai berikut:



Gambar 2.22 Pompa Sentrifugal *Multistage Horizontal* (Dietzel, 1996).

Impeller terpasang secara seri pada poros pompa yang bersinggungan langsung dengan motor penggerak. Sudut-sudut *impeller* berfungsi sebagai tempat terjadinya proses konversi energi mekanik putaran menjadi energi kinetis fluida. Poros pompa akan berputar disaat motor penggerak berputar yang akan menyebabkan *impeller* berputar sehingga zat cair didalamnya ikut berputar juga. Zat cair akan melewati *impeller* pertama menuju *impeller* kedua dan seterusnya hingga *impeller* terakhir. Pompa ini mampu untuk meningkatkan tekanan tinggi dan memiliki kapasitas menengah.

(Dietzel, 1996)

Poros pompa berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari motor penggerak ke tempat *impeller* dan bagian-bagian yang berputar lainnya. Pada pompa sentrifugal material pembuatnya biasanya dari baja dengan spesifikasi berikut pada unsur Fe

89,9%wt, karbon 1,561%wt, silikon 0,603%wt dan Kromium 4,761%wt dan lain-lain. Untuk standar nilai kekerasan adalah 629 HVN.

(Minardi, 2012)

2.8 Kajian Penelitian Sebelumnya

Penelitian yang dilakukan ini dilandasi beberapa kajian penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya, sebagai berikut:

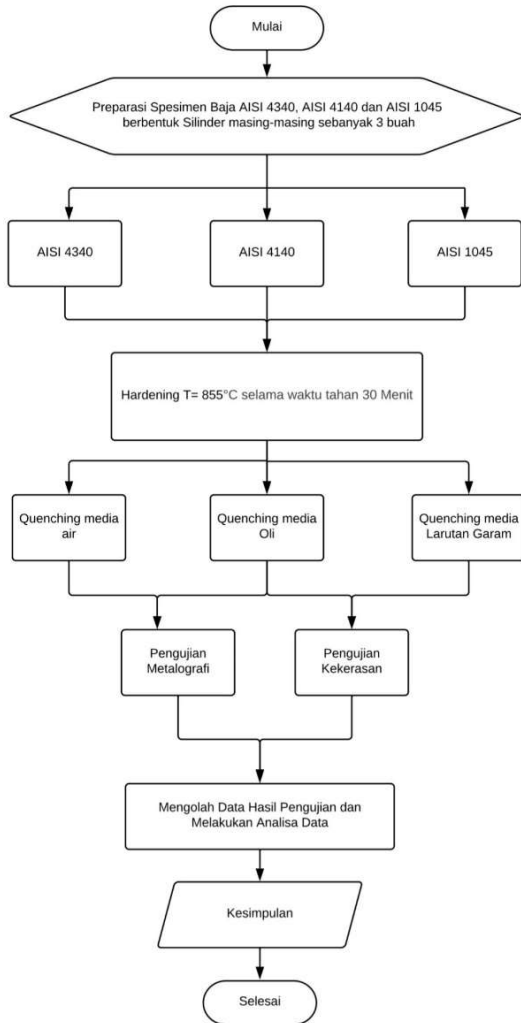
1. Penelitian yang dilakukan oleh D. N Adnyana (2016) menyatakan hasil pengujian terhadap *gearbox* poros *intermediate* yang gigi porosnya terbuat dari baja permesinan dengan spesifikasi AISI 4340. Pada saat komponen tersebut masih dipasok oleh komponen orisinil poros tersebut mengalami kerusakan setelah tiga tahun pemakaian, tetapi setelah menggunakan komponen yang dipasok dari pabrikan lokal umur pakainya turun secara signifikan yaitu rata-rata pemakaian kurang dari satu tahun atau bahkan beberapa bulan saja. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa *gearbox* mengalami patah lelah yang disebabkan oleh tegangan nominal tinggi akibat kombinasi tegangan geser, tegangan lentur, dan tegangan torsi. Adanya struktur perlit dan ferrit pada material tersebut menurunkan sifat mekanik hal ini karena ketidaksesuaian proses manufaktur dan atau perlakuan panas yang diterima, disamping itu juga tidak ada korosi ditemukan pada komponen yang patah tersebut.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Budi Syahri (2017) menyatakan proses pengerasan baja ASSAB 705 dengan media pendingin yang berbeda oli, air, dan larutan garam. Hasil uji kekerasan metode Brinell menunjukkan bahwa peningkatan nilai kekerasan dari yang tertinggi adalah larutan garam sebesar 20,30%, untuk oli sebesar 15,62% dan untuk air 17,28%. Nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan adalah 327,21 BHN.
3. Penelitian yang dilakukan oleh M. J. Azizi menyatakan hasil penelitian terhadap poros pompa *multistage* milik Pabrik Gula Gending dilaporkan mengalami kegagalan yang baru digunakan beberapa bulan. Jenis kegagalan adalah patah dan aus pada ulirnya. Material ulir tersebut

adalah baja permesinan menurut standar ASSAB 705 akan tetapi komposisi kimia dan sifat mekanik tidak memenuhi syarat aplikasi sebagai komponen poros pompa *multistage* tersebut. Perlakuan panas yang dilakukan pada Baja ASSAB 705 dengan tujuan memperbaiki sifat tahan aus dan kekuatannya, yaitu Hardening pada temperatur 815°C dengan waktu tahan 30 menit kemudian di *quenched* menggunakan air. Setelah itu distempering lagi dengan temperatur 300°C, 350°C, dan 400°C dengan waktu tahan 60 menit dan 120 menit. Hasil pengujian metalografi dari hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi waktu tahan dan temperatur tempering, maka semakin sedikit struktur martensit akibat terdekomposisi menjadi bainit dan ferrit. Pengujian XRD memberikan hasil sejalan dengan hasil metalografi yang berdampak pada kekerasan dan ketahanan aus. Spesimen dengan nilai kekerasan dan ketahanan aus tertinggi adalah spesimen hasil tempering dengan temperatur 300°C dan waktu tahan 60 menit, sedangkan spesimen paling rendah adalah spesimen hasil tempering pada temperatur 400°C dan waktu tahan 120 menit.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan

3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian Metode yang dilakukan pada penelitian ini antara lain:

1. Studi Literatur pada buku-buku, jurnal-jurnal, dan penelitian-penelitian tentang perlakuan panas terhadap Baja AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045 terutama proses pengerasan dan *quenching* dalam rangka mempelajari dan menganalisa pengaruhnya terhadap struktur mikro dan distribusi kekerasan.
2. Melakukan penelitian dan pengujian langsung sesuai prosedur dan metode yang ada. Metode penelitian berdasarkan diagram alir yang telah dibuat dapat dilihat pada **Tabel 3.1** Metode Penelitian berikut ini:

Tabel 3.1 Desain Eksperimen

Material	Perlakuan	Media <i>Quenching</i>	Uji Metalografi	Uji kekerasan
Baja AISI 4340	<i>Hardening</i>	Water (Air)	√	√
		Brine (garam 5%wt)	√	√
		Oli SAE 40	√	√
Baja AISI 4140	<i>Hardening</i>	Water (Air)	√	√
		Brine (garam 5%wt)	√	√
		Oli SAE 40	√	√
Baja AISI 1045	<i>Hardening</i>	Air	√	√
		Brine (garam 5%wt)	√	√
		Oli SAE 40	√	√

3.3 Alat Dan Bahan Penelitian

3.3.1 Peralatan Penelitian

Berikut adalah peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Furnace*

Digunakan untuk melakukan perlakuan panas pada material pengujian.



Gambar 3.2 Furnace

2. Gerinda Mesin dan Gergaji Mesin

Digunakan untuk memotong dan meratakan pada material pengujian.



Gambar 3.3 Gerinda Mesin dan Gergaji Mesin

3. Kertas Amplas
4. Kertas amplas *grade* 100 sampai 2000. Digunakan untuk menghaluskan permukaan pada material pengujian.
5. Mikroskop Optik
Digunakan untuk mengamati struktur mikro pada material pengujian.



Gambar 3.4 Mikroskop Optik

6. Mesin Pengujian Kekerasan Rockwell
Digunakan untuk melakukan pengujian kekerasan pada material pengujian dengan indenter Rockwell tipe C.

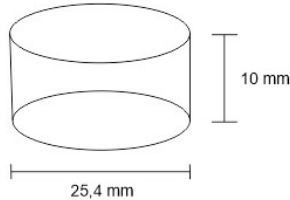


Gambar 3.5 Mesin Uji Kekerasan Rockwell Tipe C

3.3.2 Bahan Penelitian

Berikut adalah bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Baja AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045 dengan ukuran diameter 25,4mm dan ketebalan 10mm



Gambar 3.6 Dimesin Spesimen Pengujian

Berikut adalah **tabel 3.2** Komposisi material baja yang digunakan:

Tabel 3.2 Tabel Komposisi Kimia Baja AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045.

Material	Unsur (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
AISI 1045	0,43-0,50	0,10-0,35	0,60-0,90	≤0,040	≤0,040	--	--	--
AISI 4140	0,37-0,44	0,10-0,35	0,65-1,10	≤0,040	≤0,040	0,75-1,20	0,15-0,30	--
AISI 4340	0,37-0,44	0,10-0,35	0,55-0,90	≤0,040	≤0,040	0,65-0,95	0,20-0,35	1,55-2,00

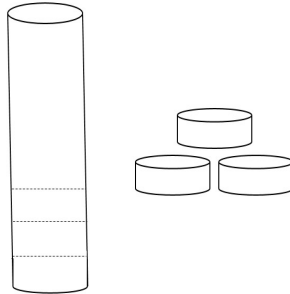
2. Media pendingan Air
3. Media pendingin Oli SAE
4. Media pendingin *Brine* 5 liter (garam 5%wt)
5. Larutan Etsa Nital (4 ml HNO₃ dan 96 ml ethanol 98%)
6. Pasta Alumina

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun Prosedur Penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

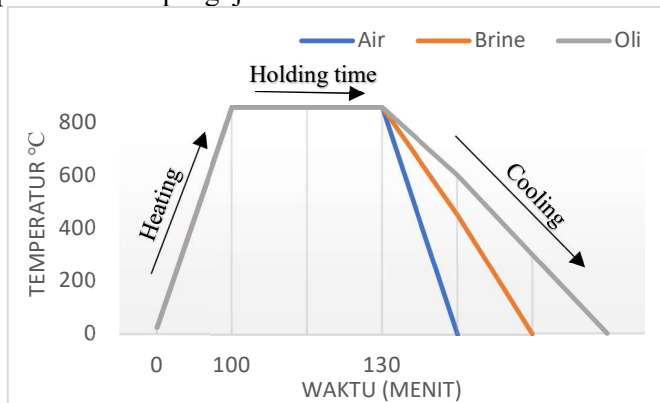
1. Melakukan preparasi material spesimen dengan memotong spesimen Baja AISI 4340, AISI 4140, dan AISI 1045

dengan ketebalan 10 mm sebanyak 6 buah untuk masing-masing material pengujian.



Gambar 3.7 Spesimen Hasil Pemotong

2. Memanaskan material pada *furnace* dengan temperatur pemanasan 855°C dengan *holding time* 30 menit. Berikut adalah rancangan perlakuan panas dan *quenching* pada material pengujian:



Gambar 3.8 Rancangan Perlakuan Panas dan *Quenching*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

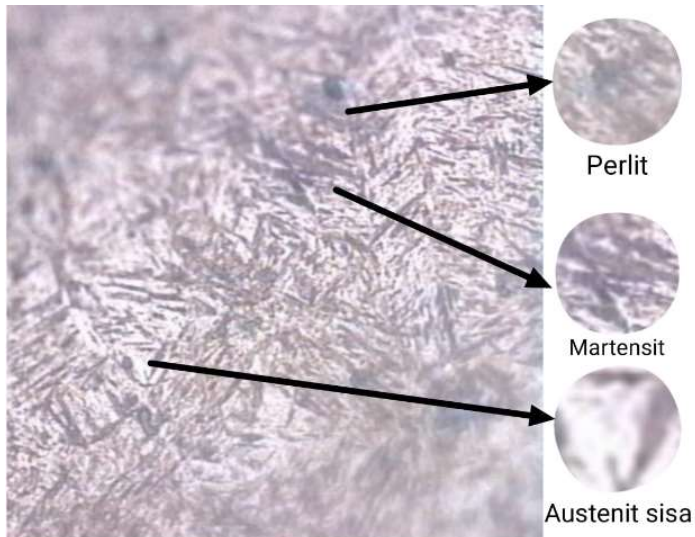
4.1 Analisa Data

4.1.1 Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian Metalografi dilakukan untuk memperoleh gambar struktur mikro dan fasa-fasa yang terbentuk dari baja AISI 1045, AISI 4140, dan AISI 4340 dengan variasi media *quench* yang direaksikan menggunakan larutan etsa nital (4 ml HNO₃ dan 96 ml etanol 98%).

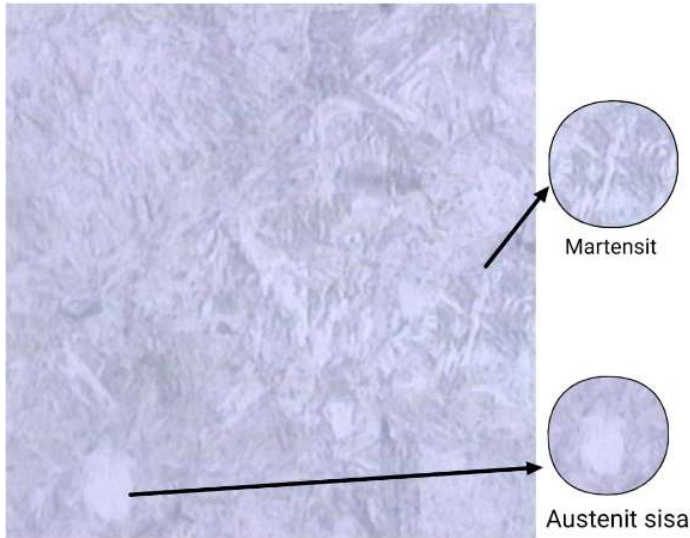
4.1.1.1 Hasil Metalografi Baja AISI 1045

Hasil pengujian metalografi untuk baja AISI 1045 menggunakan media pendingin air dapat dilihat pada **Gambar 4.1** berikut ini:



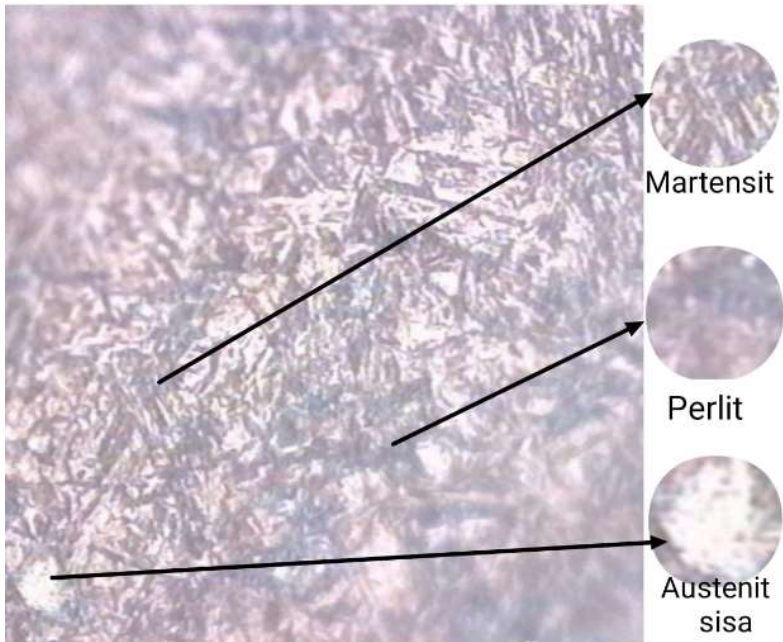
Gambar 4.1 Baja AISI 1045 Media Pendingin Air. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.

Hasil pengujian metalografi untuk baja AISI 1045 menggunakan media pendingin *brine* dapat dilihat pada **Gambar 4.2** berikut ini:



Gambar 4.2 Baja AISI 1045 Media Pendingin *Brine* (Garam 5%wt). Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.

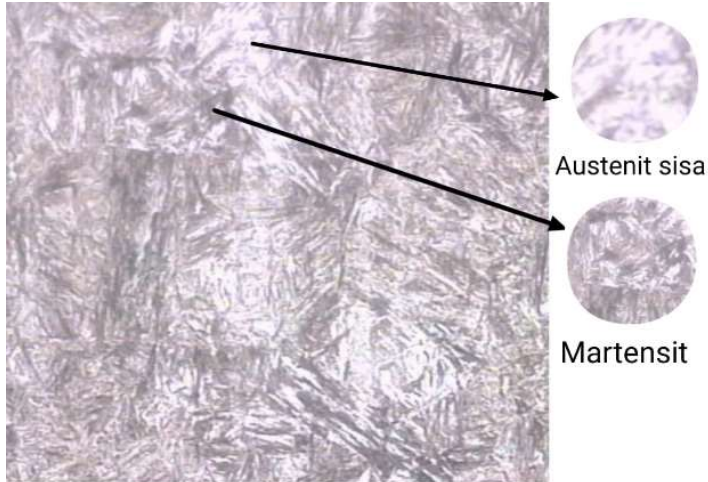
Hasil pengujian metalografi untuk baja AISI 1045 menggunakan media pendingin oli SAE 40 dapat dilihat pada **Gambar 4.3** berikut ini:



Gambar 4.3 Baja AISI 1045 Media Pendingin Oli SAE 40.
Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.

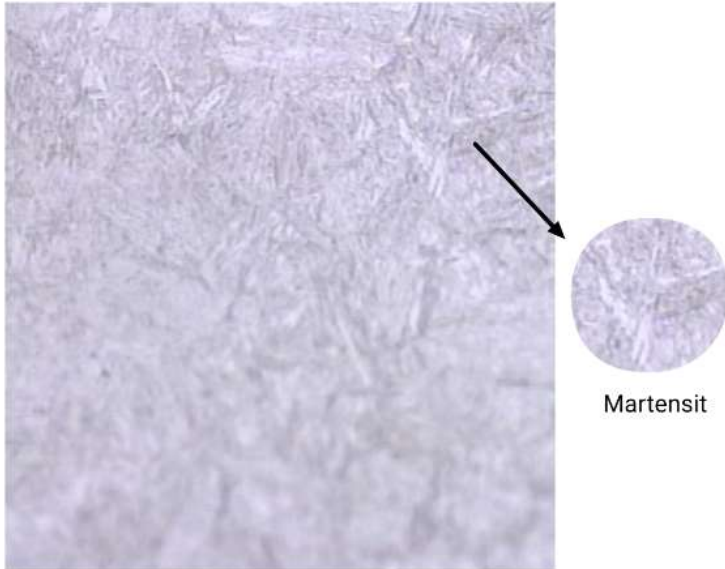
4.1.1.2 Hasil Metalografi Baja AISI 4140

Hasil pengujian metalografi untuk baja AISI 4140 menggunakan media pendingin air dapat dilihat pada **Gambar 4.4** berikut ini:



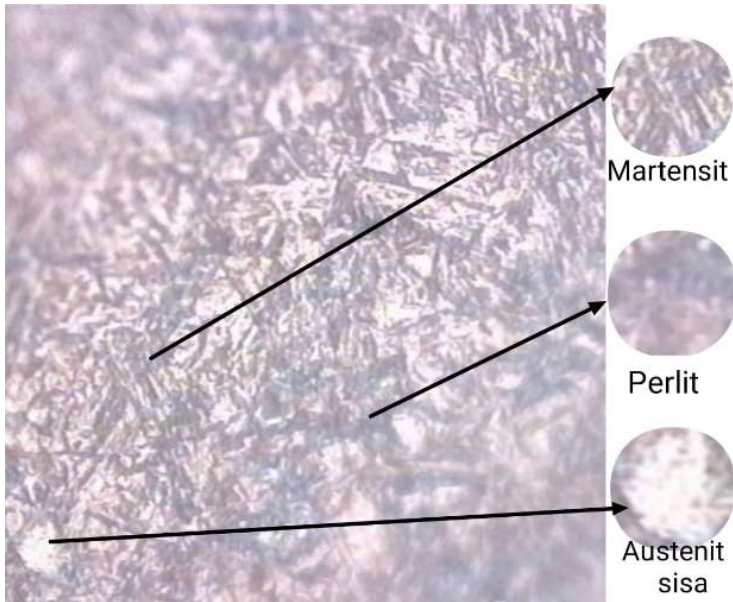
Gambar 4.4 Baja AISI 4140 Media Pendingin Air. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.

Hasil pengujian metalografi untuk baja AISI 4140 menggunakan media pendingin *brine* dapat dilihat pada **Gambar 4.5** berikut ini:



Gambar 4.5 Baja AISI 4140 Media Pendingin *Brine* (Garam 5%wt). Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.

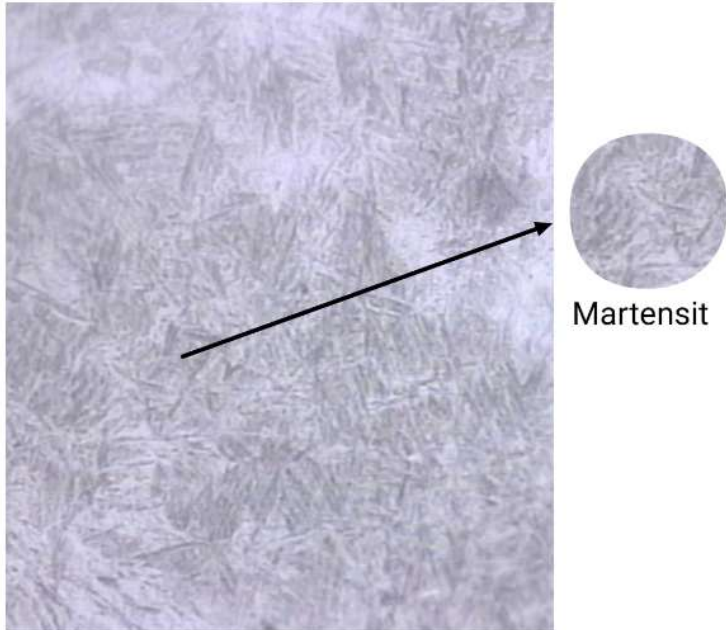
Hasil pengujian metalografi untuk baja AISI 4140 menggunakan media pendingin oli SAE 40 dapat dilihat pada **Gambar 4.6** berikut ini:



Gambar 4.6 Baja AISI 4140 Media Pendingin Oli SAE 40. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.

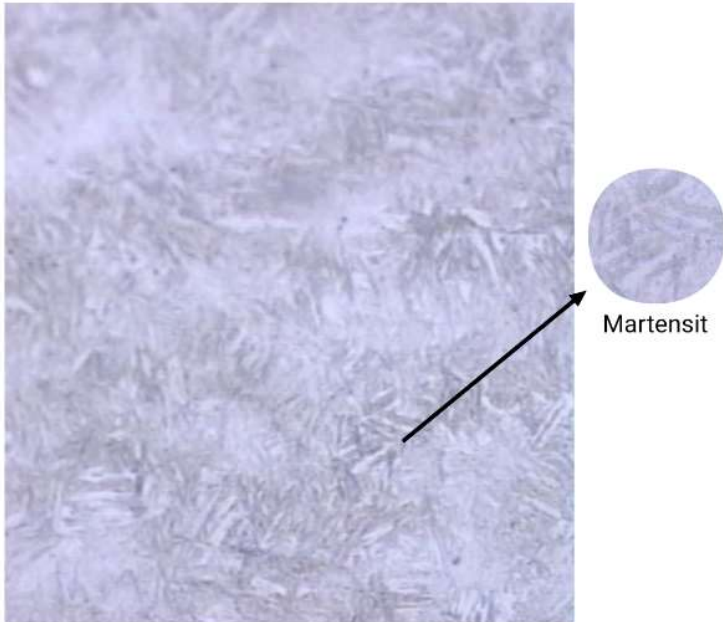
4.1.1.3 Hasil Metalografi Baja AISI 4340

Hasil pengujian metalografi untuk baja AISI 4340 menggunakan media pendingin air dapat dilihat pada **Gambar 4.7** berikut ini:



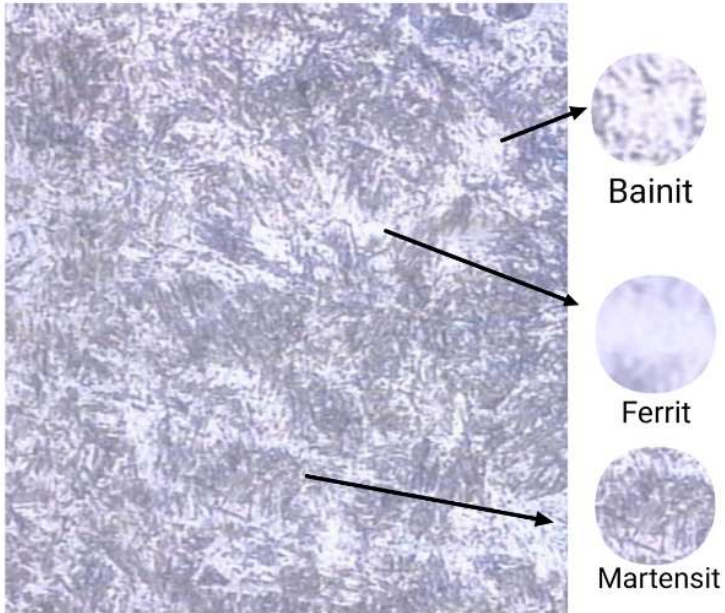
Gambar 4.7 Baja AISI 4340 Media Pendingin Air. Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.

Hasil pengujian metalografi untuk baja AISI 4340 menggunakan media pendingin *brine* dapat dilihat pada **Gambar 4.8** berikut ini:



Gambar 4.8 Baja AISI 4340 Media Pendingin *Brine* (Garam 5%wt). Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.

Hasil pengujian metalografi untuk baja AISI 4340 menggunakan media pendingin oli SAE 40 dapat dilihat pada **Gambar 4.9** berikut ini:



Gambar 4.9 Baja AISI 4340 Media Pendingin Oli SAE 40.
Perbesaran 50X. Etsa Nital 4%.

4.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian Kekerasan dilakukan untuk memperoleh nilai kekerasan dari baja AISI 1045, AISI 4140, dan AISI 4340 variasi media *quench* menggunakan mesin uji kekerasan yang memiliki indenter berbentuk kerucut terbuat dari intan.

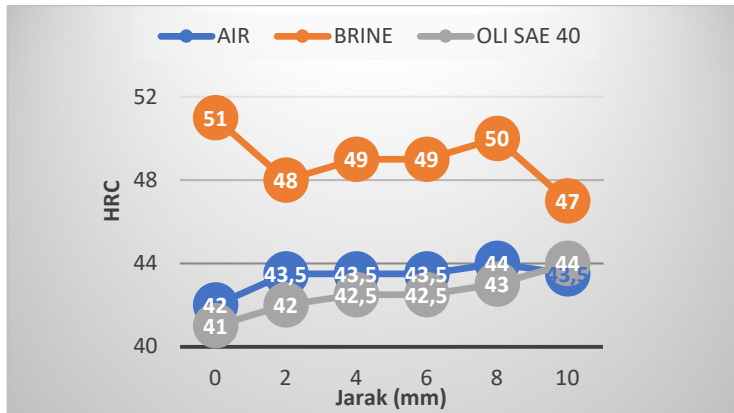
4.1.2.1 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045

Berdasarkan pengujian Kekerasan Rockwell C terhadap baja AISI 1045, didapatkan data nilai kekerasan seperti terlihat pada **Tabel 4.1** dan dapat dibuatkan kurva hubungan antara nilai kekerasan terhadap jarak indentasi pada baja AISI 1045 seperti pada **Gambar 4.10** sebagai berikut:

Tabel 4.1 Nilai Uji Kekerasan Rockwell C Baja AISI 1045 Hasil Quenching

Media	Nilai Kekerasan (HRC)	Rata-rata (HRC)
Air	42	43.5
	43.5	
	43.5	
	43.5	
	44	
	43.5	
<i>Brine</i> (Garam 5%wt)	51	49
	48	
	49	
	49	
	50	
	47	
Oli SAE 40	41	42.5
	42	
	42.5	
	42.5	

Media	Nilai Kekerasan (HRC)	Rata-rata (HRC)
	43	
	44	



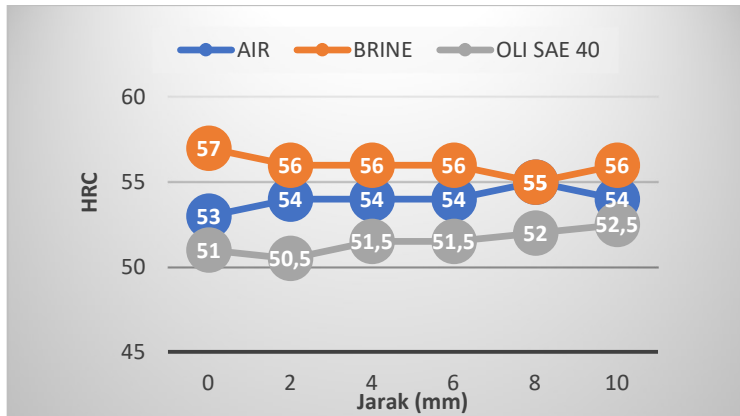
Gambar 4.10 Hubungan Antara Nilai Kekerasan Terhadap Jarak Indentasi Pada Baja AISI 1045

4.1.2.2 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 4140

Berdasarkan pengujian Kekerasan Rockwell C terhadap baja AISI 4140, didapatkan data nilai kekerasan seperti terlihat pada **Tabel 4.2** dan dapat dibuatkan kurva hubungan antara nilai kekerasan terhadap jarak indentasi pada baja AISI 4140 seperti pada **Gambar 4.11** sebagai berikut:

Tabel 4.2 Nilai Uji Kekerasan Rockwell C Baja AISI 4140 Hasil Quenching

Media	Nilai Kekerasan (HRC)	Rata-rata (HRC)
Air	53	54
	54	
	54	
	54	
	55	
	54	
<i>Brine</i> (Garam 5%wt)	57	56
	56	
	56	
	56	
	55	
	56	
Oli SAE 40	51	51.5
	50.5	
	51.5	
	51.5	
	52	
	52.5	



Gambar 4.11 Hubungan Antara Nilai Kekerasan Terhadap Jarak Indentasi Pada Baja AISI 4140

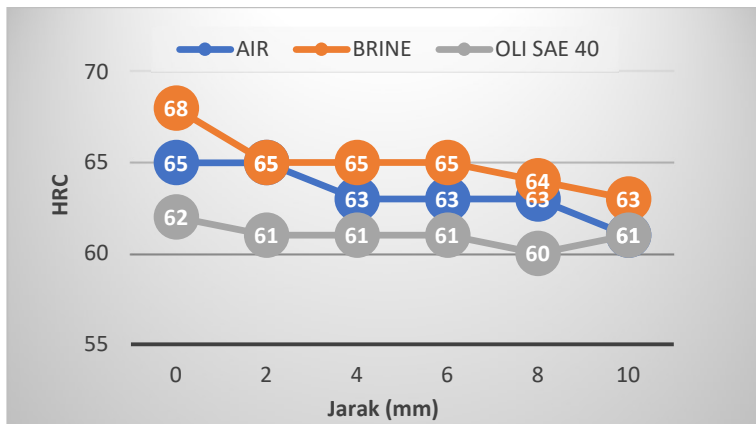
4.1.2.3 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 4340

Berdasarkan pengujian Kekerasan Rockwell C terhadap baja AISI 4340, didapatkan nilai kekerasan seperti terlihat pada **Tabel 4.3** dan dapat dibuatkan kurva hubungan antara nilai kekerasan terhadap jarak indentasi pada baja AISI 4340 seperti pada **Gambar 4.12** sebagai berikut:

Tabel 4.3 Nilai Uji Kekerasan Rockwell C Baja AISI 4340 Hasil Quenching

Media	Nilai Kekerasan (HRC)	Rata-rata (HRC)
Air	65	63
	64	
	63	
	63	
	62	
	61	

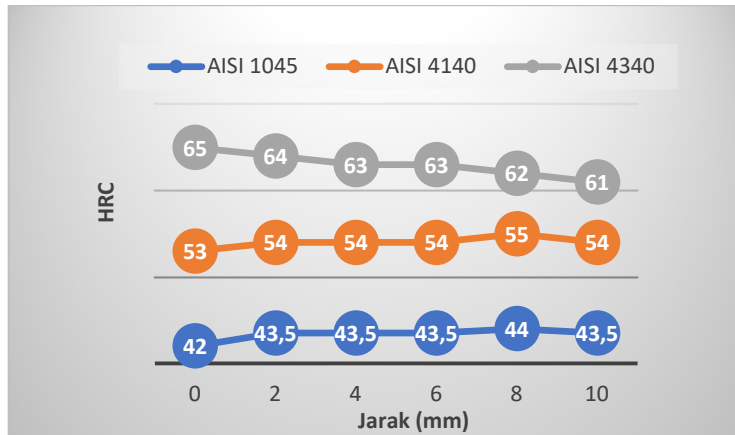
<i>Brine</i> (Garam 5%wt)	68	65
	65	
	65	
	65	
	64	
	63	
Oli SAE 40	62	61
	61	
	61	
	61	
	60	
	61	



Gambar 4.12 Hubungan Antara Nilai Kekerasan Terhadap Jarak Indentasi Pada Baja AISI 4340

4.1.2.4 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, Dan AISI 4340 Menggunakan Media *Quench* Air

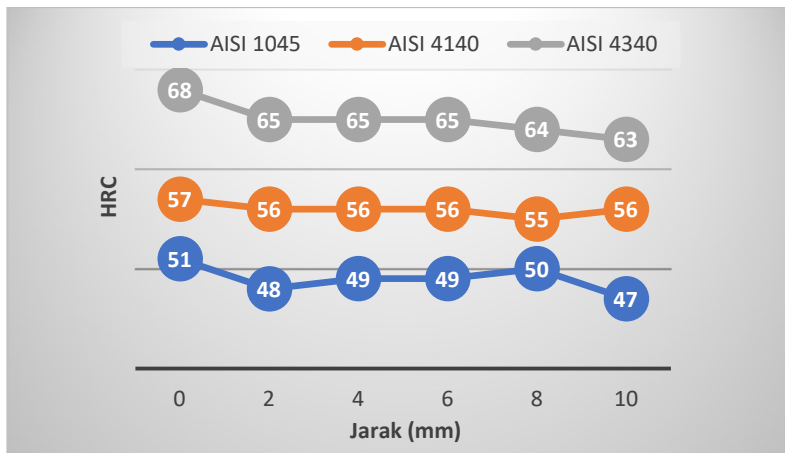
Berikut adalah **Gambar 4.13** grafik perbandingan nilai kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, dan AISI 4340 menggunakan media *quench* air:



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, Dan AISI 4340 Menggunakan Media *Quench* Air

4.1.2.5 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, Dan AISI 4340 Menggunakan Media *Quench Brine* (Garam 5%wt)

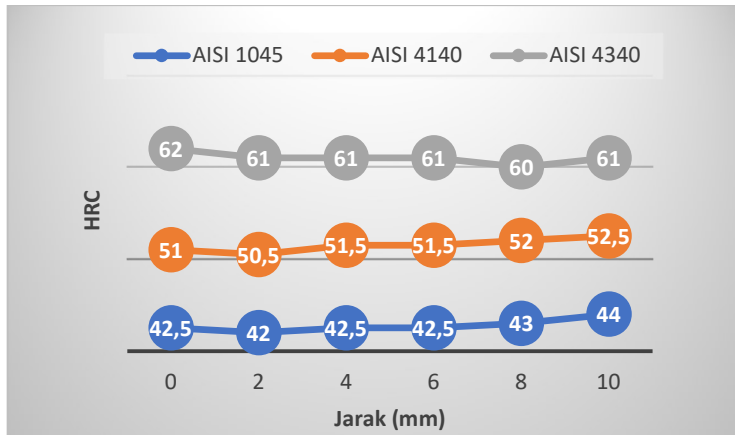
Berikut adalah **Gambar 4.14** grafik perbandingan nilai kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, dan AISI 4340 menggunakan media *quench brine* (Garam 5%wt):



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, Dan AISI 4340 Menggunakan Media *Quench Brine* (Garam 5%wt)

4.1.2.6 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, Dan AISI 4340 Menggunakan Media *Quench Oli SAE 40*

Berikut adalah **Gambar 4.15** grafik perbandingan nilai kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, dan AISI 4340 menggunakan media *quench Oli SAE 40*:



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Baja AISI 1045, AISI 4140, Dan AISI 4340 Menggunakan Media *Quench Oli SAE 40*

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hasil Pengujian Metalografi dan Pengujian Kekerasan AISI 1045

Pada penelitian ini digunakan baja AISI 1045 yang merupakan baja karbon menengah (*Medium carbon steel*) dengan kandungan 0,45% Karbon. Baja AISI 1045 diberi perlakuan panas (*Heat treatment*) yaitu *Hardening* dengan memanaskan logam hingga temperatur austenisasi. Setelah mencapai temperatur austenisasi, temperatur pemanas ditahan (*Holding time*) selama periode waktu tertentu dan kemudian didinginkan dengan cepat (*Quenching*) menggunakan media *quench* air, *brine* (garam 5%wt) dan oli SAE 40. *Holding time* dilakukan untuk mendapatkan pemanasan yang homogen dan proses *quenching* untuk mendapatkan nilai kekerasan tinggi. Kecepatan pendinginan media *quench* dipengaruhi oleh temperatur, viskositas, densitas dan bahan dasar serta proses quench itu sendiri. *Brine* (garam 5%wt) memiliki viskositas lebih rendah dari Oli SAE 40 tetapi sedikit lebih tinggi dari air. (Abidin,2005)

Baja AISI 1045 dipotong menjadi 6 buah berdiameter 25,4 mm dan tebal 10 mm. Keenam spesimen dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan hingga temperatur 855°C setelah mencapai temperatur tersebut, temperatur pemanasan ditahan selama 30 menit dan kemudian didinginkan secara cepat (*Quenching*) masing-masing 2 spesimen dengan media quench berupa air, Oli SAE 40, dan *Brine* (garam 5%wt). Berdasarkan diagram fasa Fe-Fe₃C pada temperatur 855°C fasa yang terbentuk adalah 100% austenit, temperatur ditahan selama 30 menit untuk mendapatkan temperatur yang homogen pada spesimen pengujian dan kemudian didinginkan secara cepat dari temperature 855°C (austenit) menuju temperatur ruangan (25°C) mengakibatkan terjadinya transformasi fasa. Peristiwa transformasi fasa terjadi akibat atom-atom karbon tidak mampu atau tidak memiliki waktu berdifusi keluar dari austenit, dan atom-atom yang membesar tidak memiliki waktu untuk mengecil sehingga terjadi pergeseran atom-atom akibat gaya *shear* yang menyebabkan struktur *Face Centered Cubid* (FCC) tidak dapat mencapai struktur *Body Centered Cubid* (BCC) dan akhirnya menjadi *Body Centered Tetragonal* (BCT). Struktur BCT yang terbentuk ini sangat tegang oleh karena itu memiliki sifat keras dan getas. Dibawah mikroskop struktur BCT dinamakan Martensit.

Proses pembentukan martensit dipengaruhi banyak faktor salah satunya media *quench* yang digunakan, semakin cepat proses pendinginan

suatu logam maka semakin keras dan getas sifat logam yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena tingginya kadar karbon dalam austenit. Secara teori nilai viskositas berbanding terbalik dengan laju pendinginan. Pada spesimen baja AISI 1045 yang dicelupkan ke dalam media *quench* air, mula-mula terjadi pendinginan yang cepat tetapi temperatur spesimen baja AISI 1045 yang terlalu tinggi segera membentuk uap air yang menempel di permukaan spesimen menghalangi perpindahan panas dari benda ke air, selama tahapan ini pendinginan menjadi lambat, laju pendinginan kembali cepat saat uap air yang menempel di permukaan spesimen terlepas. Pada spesimen baja AISI 1045 yang dicelupkan ke dalam media *quench brine* (garam 5%wt), mula-mula terjadi pendinginan yang cepat tetapi temperatur spesimen baja AISI 1045 yang terlalu tinggi segera membentuk uap air garam (*brine*) yang menempel di permukaan spesimen menghalangi perpindahan panas dari benda ke *brine*, akibat kandungan garam dalam air mempercepat tahapan ini berakhir, sehingga laju pendinginan kembali cepat dan lebih cepat dari media *quench* air. Dan pada spesimen AISI 1045 yang dicelupkan pada media *quench* oli SAE 40, laju pendinginan lebih lambat dibandingkan media *quench* air dan *brine* (garam 5%wt). Hal ini disebabkan karena nilai viskositas oli SAE 40 lebih tinggi dan memiliki densitas (massa jenis) lebih rendah dari media *quench* air dan *brine* (garam 5%wt).

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan mikroskop optik struktur mikro dengan media *quench* air memiliki struktur yang terbentuk yaitu martensit (berbentuk jarum-jarum berwarna hitam), dan sedikit perlit (berwarna hitam) dan austenit sisa (berwarna putih). Pada struktur mikro dengan media *quench brine* (garam 5%wt) memiliki struktur yang terbentuk yaitu martensit lebih banyak dari media *quench* air dan terdapat juga austenit sisa. Dan pada struktur mikro media *quench* oli SAE 40 memiliki struktur yang terbentuk yaitu martensit yang jauh lebih sedikit dan perlit serta austenit sisa lebih banyak dibandingkan media *quench* air dan *brine*.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan rockwell C dengan indenter berbentuk kerucut terbuat dari intan didapatkan nilai kekerasan untuk Baja AISI 1045 media *quench* air sebesar 43,5 HRC, media *quench brine* (garam 5%wt) sebesar 49 HRC, dan media *quench* oli SAE 40 sebesar 42,5 HRC. Nilai kekerasan ini lebih rendah dari nilai kekerasan hasil proses pengerasan spesimen lainnya hal ini disebabkan oleh tidak terdapatnya unsur paduan pada AISI 1045 dan kenaikan nilai kekerasan yang sangat signifikan yaitu 235% pada media

quench air, 277% pada media *quench brine* (garam 5%wt) dan 227% media *quench* oli SAE 40 disebabkan oleh laju pendinginan yang cepat dan unsur karbon yang terdapat dalam AISI 1045 relatif tinggi. Dari hasil nilai kekerasan AISI 1045 setelah mengalami proses pengerasan pada semua media *quench* belum ada yang memenuhi standar nilai kekerasan untuk aplikasi poros pompa yang dibutuhkan yaitu 629 HV atau 55 HRC.

4.2.2 Hasil Pengujian Metalografi dan Pengujian Kekerasan AISI 4140

Pada penelitian ini digunakan baja AISI 4140 yang merupakan baja paduan rendah (*Low alloy steel*) dengan kandungan Kromium (Cr) 0,75-1,20%, Molibdenum (Mo) 0,15-0,30 %, dan Karbon (C) 0,45%. Baja AISI 4140 diberi perlakuan panas (*Heat treatment*) yaitu *Hardening* dengan memanaskan logam hingga temperatur austenisasi. Setelah mencapai temperatur austenisasi, temperatur pemanas ditahan (*Holding time*) selama periode waktu tertentu dan kemudian didinginkan dengan cepat (*Quenching*) menggunakan media *quench* air, *brine* (garam 5%wt) dan oli SAE 40. *Holding time* dilakukan untuk mendapatkan pemanasan yang homogen dan proses *quenching* untuk mendapatkan nilai kekerasan tinggi. Kecepatan pendinginan media *quench* dipengaruhi oleh temperatur, viskositas, densitas dan bahan dasar serta proses *quench* itu sendiri. *Brine* (garam 5%wt) memiliki viskositas lebih rendah dari Oli SAE 40 tetapi sedikit lebih tinggi dari air. (Abidin,2005)

Baja AISI 4140 dipotong menjadi 6 buah berdiameter 25,4 mm dan tebal 10 mm. Keenam spesimen dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan hingga temperatur 855°C setelah mencapai temperatur tersebut, temperatur pemanasan ditahan selama 30 menit dan kemudian didinginkan secara cepat (*Quenching*) masing-masing 2 spesimen dengan media *quench* berupa air, Oli SAE 40, dan *Brine* (garam 5%wt). Berdasarkan diagram fasa Fe-Fe₃C pada temperatur 855°C fasa yang terbentuk adalah 100% austenit, temperatur ditahan selama 30 menit untuk mendapatkan temperatur yang homogen pada spesimen pengujian dan kemudian didinginkan secara cepat dari temperature 855°C (austenit) menuju temperatur ruangan (25°C) mengakibatkan terjadinya transformasi fasa. Peristiwa transformasi fasa terjadi akibat atom-atom karbon, kromium dan molibdenum tidak mampu atau tidak memiliki waktu berdifusi keluar dari austenit, dan atom-atom yang membesar tidak memiliki waktu untuk mengecil sehingga terjadi pergeseran atom-atom akibat gaya *shear* yang menyebabkan struktur *Face Centered Cubid* (FCC) tidak dapat mencapai struktur *Body Centered Cubid* (BCC) dan akhirnya menjadi *Body Centered Tetragonal* (BCT). Struktur BCT yang terbentuk ini sangat tegang oleh karena itu memiliki sifat keras dan getas. Dibawah mikroskop struktur BCT dinamakan Martensit.

Proses pembentukan martensit dipengaruhi banyak faktor salah satunya media *quench* yang digunakan, semakin cepat proses pendinginan suatu logam maka semakin keras dan getas sifat logam yang terbentuk.

Hal ini disebabkan karena tingginya kadar karbon, kromium dan molibdenum dalam austenit. Secara teori nilai viskositas berbanding terbalik dengan laju pendinginan. Pada spesimen baja AISI 4140 yang dicelupkan ke dalam media *quench* air, mula-mula terjadi pendinginan yang cepat tetapi temperatur spesimen baja AISI 4140 yang terlalu tinggi segera membentuk uap air yang menempel di permukaan spesimen menghalangi perpindahan panas dari benda ke air, selama tahapan ini pendinginan menjadi lambat, laju pendinginan kembali cepat saat uap air yang menempel di permukaan spesimen terlepas. Pada spesimen baja AISI 4140 yang dicelupkan ke dalam media *quench brine* (garam 5%wt), mula-mula terjadi pendinginan yang cepat tetapi temperatur spesimen baja AISI 4140 yang terlalu tinggi segera membentuk uap air garam (*brine*) yang menempel di permukaan spesimen menghalangi perpindahan panas dari benda ke *brine*, akibat kandungan garam dalam air mempercepat tahapan ini berakhir, sehingga laju pendinginan kembali cepat dan lebih cepat dari media *quench* air. Dan pada spesimen AISI 4140 yang dicelupkan pada media *quench* oli SAE 40, laju pendinginan lebih lambat dibandingkan media *quench* air dan *brine* (garam 5%wt). Hal ini disebabkan karena nilai viskositas oli SAE 40 lebih tinggi dan memiliki densitas (massa jenis) lebih rendah dari media *quench* air dan *brine* (garam 5%wt).

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan mikroskop optik struktur mikro dengan media *quench* air memiliki struktur yang terbentuk yaitu martensit (berbentuk jarum-jarum berwarna hitam) dan terdapat banyak austenit sisa (berwarna putih). Pada struktur mikro dengan media *quench brine* (garam 5%wt) memiliki struktur yang terbentuk yaitu martensit seluruhnya. Dan pada struktur mikro media *quench* oli SAE 40 memiliki struktur yang terbentuk yaitu sangat sedikit martensit, ferrit (berwarna putih) dan perlit (berwarna hitam) yang mendominasi, adanya ferrit dan perlit menunjukkan bahwa masih banyak unsur karbon, kromium dan molibdenum yang belum larut akibat pendinginan yang cukup lambat.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan rockwell C dengan indenter berbentuk kerucut terbuat dari intan didapatkan nilai kekerasan untuk Baja AISI 4140 media *quench* air sebesar 54 HRC, media *quench brine* (garam 5%wt) sebesar 56 HRC, dan media *quench* oli SAE 40 sebesar 51,5 HRC. Nilai kekerasan ini lebih tinggi dari AISI 1045 hasil proses pengerasan disebabkan oleh terdapatnya unsur paduan pada AISI 4140 yaitu kromium dan

molibdenum, unsur paduan tersebut akan larut bersama dengan karbon didalam austenit pada saat proses pemanasan dan ketika didinginkan dengan cepat unsur-unsur tersebut tidak memiliki waktu untuk berdifusi keluar dari austenit sehingga terbentuk martensit. Atom-atom unsur karbon, kromium dan molibdenum yang terdapat dalam struktur martensit akan menimbulkan tegangan dalam sehingga menyebabkan nilai kekerasan martensit yang terbentuk meningkat. AISI 4140 hasil proses pengerasan mengalami kenaikan nilai kekerasan yang signifikan yaitu 92% pada media *quench* air, 100% pada media *quench brine* (garam 5%wt) dan 84% media *quench* oli SAE 40 disebabkan oleh laju pendinginan yang cepat. Dari hasil nilai kekerasan AISI 4140 setelah mengalami proses pengerasan pada semua media *quench* hanya AISI 4140 media *quench brine* (garam 5%wt) yang memenuhi standar nilai kekerasan untuk aplikasi poros pompa yang dibutuhkan yaitu 56 HRC (Standar nilai kekerasan aplikasi poros pompa 55 HRC).

4.2.3 Hasil Pengujian Metalografi dan Pengujian Kekerasan AISI 4340

Pada penelitian ini digunakan baja AISI 4340 yang merupakan baja paduan rendah (*Low alloy steel*) dengan kandungan Nikel 1,55-2,00%, Kromium (Cr) 0,75-1,20%, Molibdenum (Mo) 0,15-0,30 %, dan Karbon (C) 0,45%. Baja AISI 4340 diberi perlakuan panas (*Heat treatment*) yaitu *Hardening* dengan memanaskan logam hingga temperatur austenisasi. Setelah mencapai temperatur austenisasi, temperatur pemanas ditahan (*Holding time*) selama periode waktu tertentu dan kemudian didinginkan dengan cepat (*Quenching*) menggunakan media *quench* air, *brine* (garam 5%wt) dan oli SAE 40. *holding time* dilakukan untuk mendapatkan pemanasan yang homogen dan proses *quenching* untuk mendapatkan nilai kekerasan tinggi. Kecepatan pendinginan media *quench* dipengaruhi oleh temperatur, viskositas, densitas dan bahan dasar serta proses *quench* itu sendiri. *Brine* (garam 5%wt) memiliki viskositas lebih rendah dari Oli SAE 40 tetapi sedikit lebih tinggi dari air. (Abidin,2005)

Baja AISI 4340 dipotong menjadi 6 buah berdiameter 25,4 mm dan tebal 10 mm. Keenam spesimen dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan hingga temperatur 855°C setelah mencapai temperatur tersebut, temperatur pemanasan ditahan selama 30 menit dan kemudian didinginkan secara cepat (*Quenching*) masing-masing 2 spesimen dengan media *quench* berupa air, Oli SAE 40, dan *Brine* (garam 5%wt). Berdasarkan diagram fasa Fe-Fe₃C pada temperatur 855°C fasa yang terbentuk adalah 100% austenit, temperatur ditahan selama 30 menit untuk mendapatkan temperatur yang homogen pada spesimen pengujian dan kemudian didinginkan secara cepat dari temperature 855°C (austenit) menuju temperatur ruangan (25°C) mengakibatkan terjadinya transformasi fasa. Peristiwa transformasi fasa terjadi akibat atom-atom karbon, kromium, molibdenum, dan nikel tidak mampu atau tidak memiliki waktu berdifusi keluar dari austenit, dan atom-atom yang membesar tidak memiliki waktu untuk mengecil sehingga terjadi pergeseran atom-atom akibat gaya *shear* yang menyebabkan struktur *Face Centered Cubid* (FCC) tidak dapat mencapai *struktur Body Centered Cubid* (BCC) dan akhirnya menjadi *Body Centered Tetragonal* (BCT). Struktur BCT yang terbentuk ini sangat tegang oleh karena itu memiliki sifat keras dan getas. Dibawah mikroskop struktur BCT dinamakan Martensit.

Proses pembentukan martensit dipengaruhi banyak faktor salah satunya media *quench* yang digunakan, semakin cepat proses pendinginan suatu logam maka semakin keras dan getas sifat logam yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena tingginya kadar karbon, kromium, molibdenum, dan nikel dalam austenit. Secara teori nilai viskositas berbanding terbalik dengan laju pendinginan. Pada spesimen baja AISI 4340 yang dicelupkan ke dalam media *quench* air, mula-mula terjadi pendinginan yang cepat tetapi temperatur spesimen baja AISI 4340 yang terlalu tinggi segera membentuk uap air yang menempel di permukaan spesimen menghalangi perpindahan panas dari benda ke air, selama tahapan ini pendinginan menjadi lambat, laju pendinginan kembali cepat saat uap air yang menempel di permukaan spesimen terlepas. Pada spesimen baja AISI 4340 yang dicelupkan ke dalam media *quench brine* (garam 5%wt), mula-mula terjadi pendinginan yang cepat tetapi temperatur spesimen baja AISI 4340 yang terlalu tinggi segera membentuk uap air garam (*brine*) yang menempel di permukaan spesimen menghalangi perpindahan panas dari benda ke *brine*, akibat kandungan garam dalam air mempercepat tahapan ini berakhir, sehingga laju pendinginan kembali cepat dan lebih cepat dari media *quench* air. Dan pada spesimen AISI 4340 yang dicelupkan pada media *quench* oli SAE 40, laju pendinginan lebih lambat dibandingkan media *quench* air dan *brine* (garam 5%wt). Yang ini disebabkan karena nilai viskositas oli SAE 40 lebih tinggi dan memiliki densitas (massa jenis) lebih rendah dari media *quench* air dan *brine* (garam 5%wt).

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan mikroskop optik struktur mikro dengan media *quench* air memiliki struktur yang terbentuk yaitu martensit (berbentuk jarum-jarum berwarna hitam) dan terdapat sedikit austenit sisa (berwarna putih). Pada struktur mikro dengan media *quench brine* (garam 5%wt) memiliki struktur yang terbentuk yaitu martensit seluruhnya. Dan pada struktur mikro media *quench* oli SAE 40 memiliki struktur yang terbentuk yaitu tidak terlalu banyak martensit, ferlit (berwarna putih) dan bainit (berwarna putih yang tersebar bintik-bintik hitam) dan austenit sisa.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan rockwell C dengan indenter berbentuk kerucut terbuat dari intan didapatkan nilai kekerasan untuk Baja AISI 4340 media *quench* air sebesar 63 HRC, media *quench brine* (garam 5%wt) sebesar 65 HRC, dan media *quench* oli SAE 40 sebesar 61 HRC. Nilai kekerasan ini lebih tinggi dari nilai kekerasan hasil proses pengerasan spesimen lainnya hal ini

disebabkan oleh terdapatnya unsur paduan pada AISI 4340 yaitu kromium, molibdenum, dan nikel, unsur paduan tersebut akan larut bersama dengan karbon didalam austenit pada saat proses pemanasan dan ketika didinginkan dengan cepat unsur-unsur tersebut tidak memiliki waktu untuk berdifusi keluar dari austenit sehingga terbentuk martensit. Atom-atom unsur karbon, kromium, molybdenum, dan nikel yang terdapat dalam struktur martensit akan menimbulkan tegangan dalam sehingga menyebabkan nilai kekerasan martensit meningkat. AISI 4340 hasil proses pengerasan mengalami kenaikan nilai kekerasan yang signifikan yaitu 97% pada media *quench* air, 103% pada media *quench brine* (garam 5%wt) dan 90% media *quench* oli SAE 40 disebabkan oleh laju pendinginan yang cepat. Dari hasil nilai kekerasan AISI 4340 setelah mengalami proses pengerasan pada semua media *quench* memenuhi standar nilai kekerasan untuk aplikasi poros pompa yang dibutuhkan yaitu 55 HRC.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin cepat laju pendinginan suatu media *quench*, maka semakin banyak struktur martensit yang terbentuk. Struktur martensit yang banyak terbentuk pada material AISI 4340 hasil proses *hardening* dengan media *quench brine*.
2. Semakin cepat laju pendinginan suatu media *quench*, maka semakin tinggi distribusi kekerasan yang terbentuk. Distribusi kekerasan tertinggi terdapat pada material AISI 4340 hasil proses *hardening* dengan media *quench brine*.

5.2 Saran

1. Pada saat melakukan penelitian perlu ditambahkan pengujian metalografi dan pengujian kekerasan pada material pengujian sebelum perlakuan panas agar data awal material menjadi akurat sesuai keadaan sebenarnya.
2. Perlu dilakukan tempering pada material hasil penelitian yang sesuai dengan sifat mekanik yang diperlukan agar memperbaiki sifat getas hasil *quenching*.
3. Sebaiknya dilakukan Non Destructive Test (NDT) pada material hasil penelitian yang sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan agar terhindar dari terbentuknya crack akibat *quenching*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, D. N. 2016. *Metallurgical Assesment of A Broken Gearbox Intermediate Shaft of A Reciprocating Compressor*. Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- Alexander, Sriatie Djaprie. 1990. *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*. Jakarta: Gramedia.
- Alexander, Sriatie Djaprie. 1990. *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*. Jakarta: Gramedia
- Amanto, Hari. 1999. *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- ASM Handbook. 1991. *ASM Handbook Volume 4: Heat Treatment*. USA: ASM International.
- ASTM A29. 2015. *Standard Specification for General Requirements for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought*. USA: ASM International.
- ASTM E18-15. 2016. *Standard Test Methds for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. West Conshohocken: ASTM International.
- Atlas Steel. 2006. *Medium Tensile Carbon Steel Bar 1045*. Melbourne: Atlas Specialty Metals.
- . 2006. *Through-Hardening Low Allow Steel Bar 4140*. Melbourne: Atlas Specialty Metals.
- . 2006. *Through-Hardening Low Allow Steel Bar 4340*. Melbourne: Atlas Specialty Metals.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Bhadhesia, H., et al. 2006. *Stell Microstructure and Properties*. Oxford: Elsevier.
- Brunhuber, Ernst. 1988. *Giesserei Lexikon*. Berlin: Fachverlag Schele & Schoen.
- Callister Jr, William D. 2009. *Materials Science And Engineering An Introduction, 8th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.

-
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering*. New York: ASM International.
- Chadwick, G.A. 1989. *Metallography of Phase Transformation – fifth edition*. London: Butterworths.
- Charre, Madeleine D. 2004. *Microstructure of Steels and Cast Irons*. Jerman: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Darmawi dan M. Amin Indra Putra. 2009. *Perbedaan Struktur Mikro, Kekerasan, dan Ketangguhan Baja Hq 705 Bila Diquench dan Ditemper pada Media Es, Air, dan Oli*. Ogan Ilir: Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 9.
- Daryus, Asyari. 2007. *Anneling dan Normalizing Penguatan Dispersi Baja*. Jakarta: Universitas Persada.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga. n.d.
- Djaprie, Sriatie, 1990. *Teknologi Mekanik*. Jakarta: Erlangga. n.d.
- Doloksaribu, Martin dkk. 2018. Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Proses Perlakuan Panas Temper Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Permukaan Rim Roda Kereta Api Prototipe Hasil Pengerasan Induksi. Bandung: Metal Indonesia.
- Edmonds, D.V, et al. 2006. *Quenching and Partitioning Martensite A Novel Steel Heat Treatment*. United Kingdom: Materials Science and Engineering A438-440.
- Glyn, Y LAI, et al. 1974. *The Effect of Austenitizing Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of As-Quenched 4340 Steel*. California: Metallurgical Transactions Volume 5.
- Haryadi, Dwi. 2006. *Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Haryadi, Gunawan Dwi. 2006. *Pengaruh Suhu Tempering terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro pada Baja K-460*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Jutta, Rode and Anders Jeppsson. 2000. *Literature Review of Heat Treatment Simulations With Respect to Phase*
-

-
- Transformation, Residual Stresses and Distortion*. Denmark: Scandinavian Journal of Metallurgy 29:47-62.
- Mizhar, Susri dan Suherman. 2011. *Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja AISI 4140*. Medan: Jurnal Dinamis Volume II No. 8.
- Nugraheni, Novi Tri, dkk. 2014. *Uji Kekerasan Material Dengan Metode Rockwell*. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Perez, E.A, et al . 2018. *Effect of Machining Fluid Like Quenching Media on the The Friction and Wear Behavior of AISI 1045 Steel*. Santa Clara: IJMET.
- Rajan, T. V., and Ashok Sharma. 1997. *Heat Treatmet Principle and Technique* . New Delhi.
- Ratia, V. 2015. *Behavior of Martensitic Wear Resistant Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions*. Tampere: University of Technology.
- Rokhman, Taufiqur. 2015. *Perancangan Alat Uji Kemampukerasan Jominy Test Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam 45 Bekasi*. Bekasi: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol. 3 No. 1.
- Rosa L.S.O, et al. 2014. *Quench Factor Characterization of Steel Hardening*. Brazil: International Journal of Mechanical Engineering and Automation Vol 1 No.3 .
- Rubijanto. 2006. *Pengaruh Proses Pendinginan Paska Perlakuan Panas Terhadap Uji Kekerasan (Vickers) dan Uji Tarik Pada Baja Tahan Karat 304 Produksi Pengecoran Logam di Klaten*. Semarang: Traksi Vol. 4 No. 1.
- Rusjdi, Halim dkk. 2016. *Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 4340*. Jakarta: Jurnal Power Plant Vol. 4 No.2.
- Sadat Hamzah, Muhammad. 2008. *Peningkatan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah dengan Metode Carburizing*. Palu: Universitas Tadulako.
- Suherman, Wahid. 1999. *Ilmu Logam II*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
-

-
- , 2011. *Perlakuan Panas*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Syahri, Budi. 2017. Analisis Kekerasan Baja Assab 705 yang Diberi Perlakuan Panas Hardening dan Media Pendingin. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Thelning, Karl-Erik. 2000. *Steel and Its Heat Treatment*. Delhi: Replika Press Pvt Ltd.
- Totten, GE, Bates, CE, Clinton. 1993. *Handbook of Quenchant and Quenching Technology*. USA: ASM International.
- Yogantoro, Anom. 2010. *Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klater Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness)*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah.
- Yogantoro, Anom. 2010. *Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klater Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness)*. n.d. Universitas Muhammadiyah, Surakarta.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. ATLAS 1045

Medium Tensile Carbon Steel Bar 1045

Colour code: Jade Green

Introduction

Atlas 1045 is a fully killed plain carbon steel product containing nominally 0.45% carbon. This grade was formerly designated as K1045. Atlas 1045 is supplied based on it meeting specified chemical composition requirements only.

Related Specifications

Bar in grade 1045 is supplied in accordance with the requirements of JIS J4051 grade S45C and/or AS1442 grade 1045 in the case of black bar, and AS1443 grade 1045 in the case of bright (cold finished) bar.

Chemical Composition

Specification values in %

C	Si	Mn	P	S
0.43-0.50	0.10 - 0.35	0.60-0.90	≤ 0.040	≤ 0.040

Conditions of Supply – Typical Mechanical Properties

Atlas 1045 is not guaranteed to meet any specified minimum mechanical properties and the values in the table below reflect typical properties only. These values reflect grade D6 (AS 1443) for cold drawn sections, grade T6 (AS 1443) for turned and polished and grade 6 (AS 1442) for rolled (black) sections. Brinell Hardness (HB) is not specified in these standards.

Condition	Diameter (mm)	Tensile Strength (MPa)	Yield Stress (MPa)	Elongation (% in 50mm)	Hardness (HB)
Cold Drawn	Up to 16mm inclusive	690 min	540 min	8 min	207 min
	>16mm to 38mm incl	650 min	510 min	8 min	195 min
	>38mm to 80mm incl	640 min	500 min	9 min	190 min
As rolled / Turned and Polished	All sizes to 260mm	600 min	300 min	14 min	179 min

Atlas 1045 Bright Bar can be supplied as D6 or T6 (or equivalent) with guaranteed mechanical properties on special order request. Atlas 1045 Black Bar can be supplied in the normalised condition with guaranteed mechanical properties on special order request.

Revised April 2006

1 of 4

W www.atlasmetals.com.au | Technical Assistance | E tech@atlasmetals.com.au

2. ATLAS 4140

Through-Hardening Low Allow Steel Bar 4140

Colour code: Jade (Band) – Bluebell

Introduction

Atlas 4140 is a Chromium-Molybdenum through-hardening steel of medium hardenability. It is a general purpose high-tensile steel with medium strength level and good impact properties.

Related Specifications

Material stocked by Atlas complies with grade AS1444 Grade 4140 and/or ASTM A434 (A29) Grade 4140 and/or Euronorm EN 10083 grade 42CrMo4 (Material Number 1.7225/17227).

Chemical Composition

Specification values in %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0.37-0.44	0.10-0.35	0.65-1.10	≤ 0.040	≤ 0.040	0.75-1.20	0.15-0.30	--

Conditions of Supply – Mechanical Properties

Atlas 4140 is supplied in the hardened and tempered condition. The level of hardness is selected to give useful strength while still maintaining the ability to machine the material into finished components.

Diameter (mm)	Heat Treated Condition	Tensile Strength (MPa)	0.2% Proof Stress (MPa)	Elongation (% in 50mm)	Impact		Hardness (HB)
					Izod or Charpy (J)	Charpy (J)	
up to 180 incl	AS1444 Condition U	930 – 1080	740 min	12 min	47 min	42 min	269 – 331
>180 to 250 incl	AS1444 Condition T	850 – 1000	665 min	13 min	54 min	50 min	248 – 302
>250 to 450 incl	AS1444 Condition T	850 – 1000	665 min	13 min	not guaranteed		248 – 302

Atlas 4140 can be re-heat-treated to higher strength or tempered back to lower strength levels than those supplied as standard. Assistance with heat treatment should be sought from reputable heat treatment companies.

Conditions of Supply – Surface Finish and Machining Allowance

Atlas 4140 Black is supplied with +/- tolerances according to DIN 1013 or better. Atlas 4140 Bright is supplied cold drawn with h10 tolerance for bar diameters up to 25mm; bars with diameters 25 to 75mm are supplied as cold drawn with h10 tolerance or peeled with k12 tolerance, diameters 75-220mm are supplied peeled to k12, sizes 220mm are supplied peeled to -0/+2mm.

Revised April 2006

1 of 3

W www.atlasmaterials.com.au | Technical Assistance | E tech@atlasmaterials.com.au

3. ATLAS 4340

Through-Hardening Low Alloy Steel Bar 4340

Colour code: Jade (Band) - Marigold

Introduction

Atlas 4340 is a nominally 1.8 percent Nickel Chromium Molybdenum low alloy steel of high hardenability, with high strength and toughness in relatively large sections achieved with a "quench-and-temper" heat treatment. A contemporary alternative to 4340 is Atlas 6582 through-hardening steel that has improved through-hardening characteristics and offers superior impact properties to 4340 at equivalent strength levels.

Related Specifications

Atlas 4340 low-alloy steel bar complies with grade AS1444, Grade 4340 and/or ASTM A434(A29) Grade 4340. Atlas 4340 is an alternative to Atlas 6582 through-hardening steel and to JIS SCNM447.

Chemical Composition

							Specification values in %	
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	NI	
0.37-0.44	0.10-0.35	0.55-0.90	≤ 0.040	≤ 0.040	0.65-0.95	0.20-0.35	1.55-2.00	

Conditions of Supply – Mechanical Properties

Atlas 4340 is supplied in the hardened and tempered condition. The level of hardness is selected to give useful strength while still maintaining the ability to machine the material into finished components.

Diameter (mm)	Tensile Strength (MPa)	Approx. Mechanical condition	0.2% Proof Stress (MPa)	Elongation (A %)	Impact value Charpy (J)
≤ 60	1000 – 1150	V	835 min	12 min	42 min
> 60 ≤ 100	930 – 1080	U	740 min	12 min	42 min
> 100 ≤ 178	930 – 1080	U	720 min	14 min	50 min
> 178 ≤ 240	900 – 1000	T	690 min	14 min	35 min

Conditions of Supply – Surface finish and Machining Allowance

Atlas 4340 Black is supplied with +/- tolerance according to DIN 1013 or better. Atlas 4340 Bright is supplied cold drawn with h10 tolerance for bars up to 25mm diameter. Bars with diameters 25 to 75mm are supplied cold drawn to h10 or peeled to k12. Bars 75 to 210 mm are supplied peeled to k12 and sizes 210mm and over are peeled to a -0/+2mm tolerance.

Revised April 2006

1 of 3

W www.atlasmetals.com.au | Technical Assistance | E tech@atlasmetals.com.au

4. ASTM E18-15

TABLE 1 Rockwell Hardness Scales

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, Kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/4-in. (1.588-mm) ball	100	red	<p>Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.</p> <p>Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other hardened steels</p> <p>Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.</p> <p>Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.</p> <p>Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball.</p> <p>Aluminum, zinc, lead.</p> <p>Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give any effect.</p>
C	diamond	150	black	
A	diamond	60	black	
D	diamond	100	black	
E	1/4-in. (3.175-mm) ball	100	red	
F	1/4-in. (1.588-mm) ball	60	red	
G	1/4-in. (1.588-mm) ball	150	red	
H	1/4-in. (3.175-mm) ball	60	red	
K	1/4-in. (3.175-mm) ball	150	red	
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
N	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/4-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/4-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/4-in. (12.70-mm) ball	150	red	

TABLE 2 Rockwell Superficial Hardness Scales

Total Test Force, kgf (N)	Scale Symbols				
	N Scale, Diamond Indenter	T Scale, 1/4-in. (1.588-mm) Ball	W Scale, 1/4-in. (3.175-mm) Ball	X Scale, 1/4-in. (6.350-mm) Ball	Y Scale, 1/4-in. (12.70-mm) Ball
15 (147)	15N	15T	15W	15X	15Y
30 (294)	30N	30T	30W	30X	30Y
45 (441)	45N	45T	45W	45X	45Y

Rockwell Superficial Hardness Scales
Go to Settings to activate

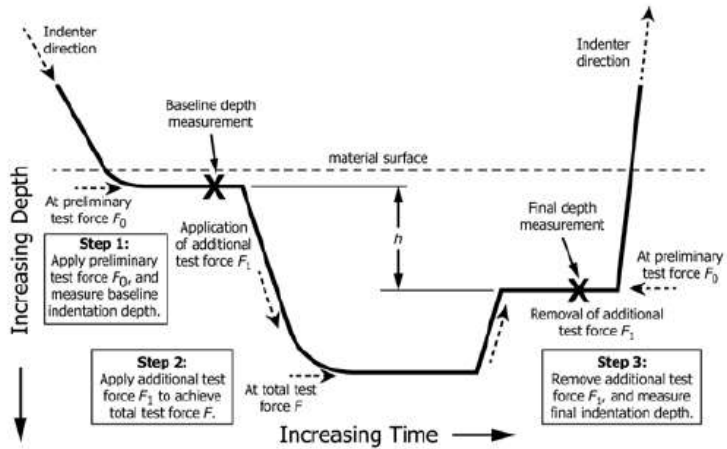


FIG. 1 Rockwell Hardness Test Method (Schematic Diagram)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang menjadi sumber segala sesuatu dan tidak pernah meninggalkan penulis yang adalah ciptaan tangan-Nya.
2. N. Sala'bi' dan Keluarga besar Sala'bi' Kombo' yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan perkuliahan di ITS.
3. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. selaku dosen wali dan orangtua penulis selamanya masa perkuliahan di ITS.
4. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc., Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T., dan Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingannya selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah membantu dan memberi ilmu selama perkuliahan.
6. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan Beasiswa Bidikmisi dan PT. Taspem selaku sumber pedanaan selama berkuliah.
7. Seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan selama ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pare-pare pada tanggal 03 Desember 1993 dari pasangan Rusdin B. Sa'pang dan Agustina Kombo'. Penulis sejak balita diasuh dan dibesarkan oleh N. Sala'bi' yang adalah nenek dari penulis. Penulis menyelesaikan studi di SMA Kristen Barana' dan pada tahun yang sama lulus seleksi masuk Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur Seleksi Nasional Masuk

Perguruan Tinggi Negeri di Program Studi Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknik Industri. Selama menjadi mahasiswa di ITS, penulis aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa Sepakbola ITS cabang Futsal Putri dan sebagai bendahara Badan Semi Otonom Minat Bakat Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Teknik Metalurgi (BSO Minat Bakat HMMT FTI-ITS) periode 2014/2015. Selain itu, penulis juga aktif sebagai wakil ketua organisasi Keluarga Mahasiswa Sang Torayan Surabaya 2014/2015.