



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - 184834

ANALISIS PENGARUH VARIASI HOLDING TIME DAN TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN BAJA AISI 4340 UNTUK KOMPONEN POROS POMPA SENTRIFUGAL MULTISTAGE HORIZONTAL DENGAN METODE KANG DAN LEE EQUATION

GHAZI LABIB NAUFAL INSAN
NRP. 0251154000029

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Alvian Toto Wibisono, ST.,MT

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - 184834

**ANALISIS PENGARUH VARIASI HOLDING TIME
DAN TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP
KEKERASAN BAJA AISI 4340 UNTUK
KOMPONEN POROS POMPA SENTRIFUGAL
MULTISTAGE HORIZONTAL DENGAN METODE
KANG DAN LEE EQUATION**

**GHAZI LABIB NAUFAL INSAN
NRP. 0251154000029**

**Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF HOLDING TIME
VARIATIONS AND TEMPERING
TEMPERATURES ON AISI 4340 STEELS
HARDNESS FOR COMPONENTS OF
HORIZONTAL MULTISTAGE CENTRIFUGAL
PUMP WITH KANG AND LEE EQUATION
METHOD**

**GHAZI LABIB NAUFAL INSAN
NRP. 0251154000029**

**Advisor
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

(This page left intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH VARIASI HOLDING TIME DAN
TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN
BAJA AISI 4340 UNTUK KOMPONEN POROS POMPA
SENTRIFUGAL MULTISTAGE HORIZONTAL DENGAN
METODE KANG DAN LEE EQUATION**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

GHAZI LABIB NAUFAL INSAN
0251154000029

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc..... (Pembimbing 1)
2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T..... (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH VARIASI HOLDING TIME DAN
TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN
BAJA AISI 4340 UNTUK KOMPONEN POROS POMPA
SENTRIFUGAL MULTISTAGE HORIZONTAL DENGAN
METODE KANG DAN LEE EQUATION**

Nama : Ghazi Labib Naufal Insan
NRP : 025 1 15 40000 029
Jurusan : Departemen Teknik Material
Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

Abstrak

Pompa merupakan salah satu jenis mesin konversi energi yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang diinginkan. Pada pompa multistage, terdapat poros yang dipasang impeler dimana umur pakai poros pompa setrifugal multistage horizontal di PG.Gending seharusnya adalah 4 tahun, tetapi ditemui kegagalan pada poros pompa buatan lokal ketika baru beroperasi selama 4 bulan. Material poros pompa multistage yang gagal tersebut tidak memenuhi standar yang ditentukan yaitu ASSAB 705. Maka optimalisasi sifat mekanik material tersebut perlu dilakukan yaitu menggunakan perlakuan panas pada material yang memiliki komposisi setara dengan ASSAB 705 yaitu baja AISI 4340. Proses perlakuan panas yang dilakukan meliputi proses hardening dengan temperatur 830°C dan holding time 30 menit. Setelah melakukan proses hardening, spesimen diberi perlakuan panas tempering dengan variabel holding time dan temperatur tempering berdasarkan perhitungan Kang dan Lee equation, yaitu 60 menit dan 120 menit dengan masing-masing terdapat tiga variabel temperatur, yaitu 535°C, 575°C dan 615°C. Pengujian kekerasan dan keausan dilakukan dan didapatkan hasil spesimen dengan kekerasan dan ketahanan

aus tertinggi adalah yang diberikan tempering dengan temperatur 535°C dengan holding time 60 menit. Sedangkan yang paling rendah adalah yang diberikan tempering dengan temperatur 615°C dengan holding time 120 menit. Dimana semakin lama waktu tahan dan semakin tinggi temperatur, nilai kekerasan dan nilai tahan aus material semakin menurun.

Kata Kunci: Poros Pompa Sentrifugal Multistage Horizontal, Baja AISI 4340, Perlakuan Panas, Kekerasan, Keausan.

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF HOLDING TIME
VARIATIONS AND TEMPERING TEMPERATURES ON
AISI 4340 STEELS HARDNESS FOR COMPONENTS OF
HORIZONTAL MULTISTAGE CENTRIFUGAL PUMP
WITH KANG AND LEE EQUATION**

Name : Ghazi Labib Naufal Insan
SRN : 0251154000029
Major : Materials Engineering
Advisor : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Co-Advisor : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

Abstract

Pump is one type of energy conversion machine that serves to move liquid from one place to the desired place. In a multistage pump, there is an impeller fitted shaft where the life span of a multistage centrifugal pump shaft is in PG. Gending should be 4 years, but a failure at a locally made pump shaft is encountered when it has only been operating for 4 months. The failed multistage pump shaft material does not meet the specified standard, namely ASSAB 705. So optimization of the mechanical properties of the material needs to be done that is using heat treatment on materials that have a composition equivalent to ASSAB 705, namely AISI 4340 steel. The heat treatment process includes hardening with a temperature of 830°C and a holding time of 30 minutes. After performing the hardening process, the specimens were given heat treatment tempering with holding time and tempering temperature based on Kang and Lee equation calculations, which were 60 minutes and 120 minutes with each of the three temperature variables, namely 535°C, 575°C and 615°C. Testing for hardness and wear is carried out and the results of the specimens with the highest hardness and wear resistance were obtained which were given tempering with a temperature of 535°C with a holding time of 60 minutes. While the lowest is given tempering with a

temperature of 615°C with a holding time of 120 minutes. Where the longer the holding time and the higher the temperature, the value of hardness and the value of wear-resistant material decreases.

Keywords: Shaft of Multistage Horizontal Centrifugal Pump, AISI 4340 Steel, Heat Treatment, Hardness, Wear.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Serta tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Pengaruh Variasi Holding Time dan Temperatur Tempering Terhadap Kekerasan Baja AISI 4340 untuk Komponen Poros Pompa Sentrifugal Multistage Horizontal dengan Metode Kang dan Lee Equation”**.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan kakak penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
4. Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing,

membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Kaprodi Departemen Teknik Material FTI ITS.
7. Sungging Pintowantoro ST., MT., Phd. selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, Juni 2019

Penulis,

Ghazi Labib Naufal Insan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pompa Sentrifugal <i>Multistage</i> Horizontal.....	5
2.2 Baja Paduan.....	6
2.3 Baja ASSAB 705	6
2.4 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	7
2.5 Perlakuan Panas	9
2.5.1 <i>Hardening</i>	10
2.5.2 <i>Annealing</i>	10
2.5.3 <i>Normalizing</i>	10
2.6 Pengerasan dan Penemperan	11
2.6.1 <i>Austenizing</i>	11
2.6.2 <i>Holding Time</i>	13
2.6.3 <i>Quenching</i>	14
2.6.4 <i>Tempering</i>	17
2.7 Fasa Hasil Transformasi.....	21
2.7.1 Ferrit dan Perlit	21
2.7.2 Martensit	22
2.7.3 Bainit.....	24
2.8 Pengujian.....	25

2.8.1 Pengujian Kekerasan	25
2.8.2 Pengujian Metalografi	26
2.8.3 Pengujian Keausan	26
2.9 Penelitian Sebelumnya	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	33
3.2 Metode Penelitian	34
3.3 Material yang Digunakan	35
3.4 Peralatan dan Bahan	36
3.5 Tahapan Penelitian	40
3.5.1 Review Dokumen Operasi	40
3.5.2 Preparasi Spesimen	40
3.5.3 Pengujian Komposisi	40
3.5.4 Pengujian Metalografi	41
3.5.5 Pengujian Kekerasan	41
3.5.6 Pengujian Keausan	42
3.5.7 Pengujian XRD	42
3.5.8 Perlakuan Panas	43
3.6 Rancangan Penelitian	44
3.7 Timeline Penelitian	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pengujian Komposisi	47
4.2 Hasil Pengujian XRD	48
4.3 Hasil Pengujian Metalografi	52
4.4 Hasil Pengujian Kekerasan	62
4.5 Hasil Pengujian Keausan	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	77
UCAPAN TERIMA KASIH	105
BIODATA PENULIS	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pompa Sentrifugal <i>Multistage</i> Poros Horizontal... 5
Gambar 2.2	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C 8
Gambar 2.3	Diagram Transformasi Fasa pada Kadar Karbon 0,4% 9
Gambar 2.4	Rentang Temperatur Austenitisasi pada Proses Perlakuan Panas 2
Gambar 2.5	Tiga Tahapan pada <i>Quenching</i> 15
Gambar 2.6	Pengaruh Kadar Kromium Terhadap Penurunan Kekerasan Setelah <i>Tempering</i> 18
Gambar 2.7	Struktur Mikro Ferrit dan Perlit 22
Gambar 2.8	Struktur Mikro <i>Lath</i> Martensit (kiri) dan <i>Plate</i> Martensit (kanan) 23
Gambar 2.9	Struktur Mikro Martensit <i>Temper</i> 23
Gambar 2.10	Perbedaan Struktur Mikro <i>Upper</i> Bainit (A) dan <i>Lower</i> Bainit(B). 24
Gambar 2.11	Skema Pengujian Ketahanan Aus dengan Metode <i>Pin on Disk</i> 27
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian 34
Gambar 3.2	Poros Pompa yang Patah dan Aus Tampak Depan (A) dan Tampak Samping (B) 35
Gambar 3.3	Spesimen Material Substitusi AISI 4340 36
Gambar 3.4	Mesin Potong 37
Gambar 3.5	Mesin <i>Polishing</i> 37
Gambar 3.6	Mesin Uji Kekerasan..... 38
Gambar 3.7	<i>Electric Furnace</i> 38
Gambar 3.8	Mikroskop Optik Olympus BX51 39
Gambar 3.9	Mesin <i>Pan Analytical XRD</i> 40
Gambar 3.10	Skema Identasi Pengujian Kekerasan Baja Sebelum Diuji (A), Kekerasan pada Permukaan (B), Kekerasan untuk Mengetahui Tingkat Hardenabiliti (C)..... 42
Gambar 3.11	Kurva Rancangan Perlakuan Panas..... 43

Gambar 4.1	Grafik XRD Material Poros Pompa Setelah diberi Perlakuan Panas <i>Hardening</i>	49
Gambar 4.2	Grafik XRD Material Poros Pompa Setelah diberi Perlakuan Panas <i>Tempering</i>	49
Gambar 4.3	Struktur Mikro Material Gagal.....	52
Gambar 4.4	Struktur Mikro Spesimen Tanpa Perlakuan	53
Gambar 4.5	Hasil Perlakuan Panas <i>Hardening pada Perbesaran 500x</i>	54
Gambar 4.6	Struktur Mikro Martensit <i>Temper</i> Hasil <i>Tempering</i> : (A) Bainit dan (B) Perlit.....	56
Gambar 4.7	Struktur Mikro Perbesaran 500x Spesimen Hasil Perlakuan Panas <i>Tempering</i> : Ht60t535 (A) dan Ht120t535 (B).....	58
Gambar 4.8	Struktur Mikro Perbesaran 500x Spesimen Hasil Perlakuan Panas <i>Tempering</i> : Ht60t575 (A) dan Ht120t575 (B).....	59
Gambar 4.9	Struktur Mikro Perbesaran 500x Spesimen Hasil Perlakuan Panas <i>Tempering</i> : Ht60t615 (A) dan Ht120t615 (B).....	61
Gambar 4.10	Skema Identasi Pengujian Kekerasan Baja Sebelum Diuji (A), Kekerasan pada Permukaan (B), Kekerasan untuk Mengetahui Tingkat Hardenabiliti (C).....	62
Gambar 4.11	Grafik Hasil Pengujian Kekerasan	65
Gambar 4.12	Grafik Distribusi Kekerasan pada Tiap Spesimen	67
Gambar 4.13	Grafik Hasil Pengujian Keausan	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Katalog ASSAB 705.....	6
Tabel 2.2	Standar Komposisi Kimia AISI 4340.....	7
Tabel 2.3	Spesifikasi Oli SAE10W-40.....	17
Tabel 2.4	Parameter k untuk Baja Paduan.....	20
Tabel 2.5	<i>Mechanical Properties</i> AISI 4340 Setelah Tempering Beberapa Variasi Temperatur dengan Holding Time 2 Jam.....	21
Tabel 3.1	Komposisi ASSAB 705.....	36
Tabel 3.2	Komposisi Material Substitusi Baja AISI 4340.....	36
Tabel 3.3	Parameter Pengujian Ketahanan Aus.....	42
Tabel 3.4	Rancangan Penelitian.....	44
Table 3.5	<i>Timeline</i> Penelitian.....	45
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Komposisi.....	47
Tabel 4.2	Daftar <i>Peak</i> pada Material Poros Pompa Setelah Proses Perlakuan Panas.....	50
Tabel 4.3	Perhitungan Nilai Regangan dan Tegangan Sisa.....	51
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan Tiap Spesimen.....	63
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Distribusi Kekerasan Tiap Spesimen.....	59
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Keausan.....	68

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pabrik Gula (PG) Gending adalah salah satu pabrik gula yang berada di Desa Sebaung, Gending, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur yang sejak tahun 1975 dinaungi oleh PT Perkebunan Nusantara XI. Pabrik ini memproduksi gula, yaitu kristal sakarosa yang diekstrak dari nira tebu. Untuk memperoleh nira tersebut, tebu harus digiling. Nira yang telah terperah tersebut kemudian dimurnikan dan dimasak untuk mengurangi kandungan air dalam nira sebelum menjalani proses kristalisasi. Proses pemurnian dan pemasakan tersebut dilakukan dengan memanfaatkan uap panas sisa penggerak turbin. Uap sisa pemanasan nira yang telah terkondensasi disalurkan ke *boiler* untuk dipanaskan kembali. Penyaluran tersebut menggunakan pompa listrik sentrifugal *multistage* horizontal. Pada poros sentrifugal *multistage* horizontal terdapat masalah pada poros pompa tersebut, dimana pada poros utama yang terpasang beberapa *impeller* yang berfungsi untuk memompa air secara bertahap tersebut mengalami patah dan aus pada ulirnya. Poros pompa tersebut merupakan buatan pabrik lokal dan mengalami kegagalan saat poros berumur 4 bulan. Berbeda dengan saat poros dipasang sebagai komponen orisinil yang mengalami kegagalan saat poros berumur 4 tahun. Material untuk komponen poros pompa *multistage* yang gagal tersebut adalah ASSAB 705. Nilai kekerasan material ini tidak memenuhi standar untuk aplikasi poros, yaitu 167 – 176 HV sedangkan menurut standar ASSAB seharusnya sebesar 309 – 372 HV (293 – 352 HB). Maka dari permasalahan tersebut, optimalisasi sifat mekanik material dari poros yang gagal tersebut perlu dilakukan, yaitu menggunakan perlakuan panas. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan Junda (2018), dimana pada penelitian yang dilakukan Junda (2018) didapatkan beberapa kekurangan antara lain metode perhitungan Hollomon-Jaffe yang digunakan untuk menghitung temperatur

tempering dengan kekerasan yang diinginkan memiliki tingkat keakuratan yang rendah pada baja paduan.

Penelitian dilakukan terhadap material yang komposisinya sesuai standar yaitu AISI 4340 (setara ASSAB 705) untuk diberi perlakuan panas dengan beberapa variabel dan kemudian diamati responnya dari segi struktur mikro dan sifat mekanik. Perlakuan panas yang diterapkan adalah *hardening*. Namun karena hasil dari proses *hardening* tersebut terlalu keras dan getas, maka dilakukan proses *tempering* untuk menurunkan kekerasannya menjadi sesuai dengan standar sekaligus meningkatkan ketangguhannya dengan menggunakan metode perhitungan *tempering* Kang dan Lee (2014), dimana memiliki tingkat keakuratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan metode perhitungan Hollomon-Jaffe (1947) yang tidak memperhitungkan komposisi dari setiap kadar karbon dan paduannya. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dari poros pompa *multistage* horizontal sehingga kegagalan dapat diminimalisir serta meminimalisir terjadinya *error* pada proses perlakuan panas khususnya *tempering* dengan metode perhitungan Kang dan Lee (2014).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh *holding time tempering* pada proses perlakuan panas *tempering* baja AISI 4340 terhadap kekerasan dan struktur mikro?
2. Bagaimana pengaruh temperatur *tempering* proses perlakuan panas *tempering* baja AISI 4340 terhadap kekerasan dan struktur mikro?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Desain poros memenuhi standar operasional.
2. Kondisi operasi sudah memenuhi standar operasi
3. Material dianggap homogen di semua sisi.

-
4. Pengaruh lingkungan diabaikan.
 5. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari *furnace* ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh *holding time tempering* pada proses perlakuan panas *tempering* baja AISI 4340 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen poros pompa sentrifugal *multistage* horizontal.
2. Menganalisa pengaruh temperatur *tempering* pada proses perlakuan panas *tempering* baja AISI 4340 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen poros pompa sentrifugal *multistage* horizontal.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi. Hasil dari penelitian ini adalah berupa *database* perlakuan panas terhadap baja AISI 4340 yang dapat digunakan untuk:

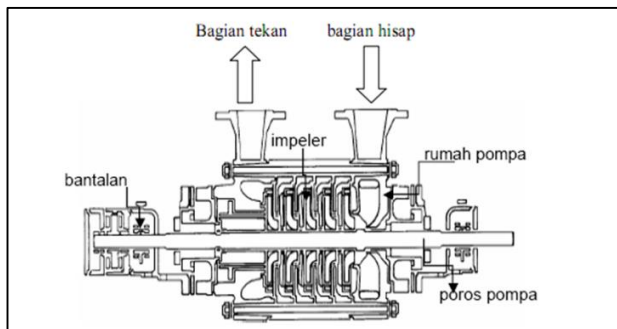
1. Rekomendasi untuk Pabrik Gula Gending terkait hal-hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada poros pompa sentrifugal *multistage* horizontal dapat ditanggulangi.
2. Referensi perlakuan panas terhadap baja AISI 4340 pada aplikasi poros pompa sentrifugal *multistage* horizontal untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pompa Sentrifugal *Multistage* Horizontal

Pompa merupakan salah satu jenis mesin yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang diinginkan. Pada pompa terdapat sudu-sudu *impeller* yang berfungsi sebagai tempat terjadi proses konversi energi dari energi mekanik putaran mejadi energi kinetis fluida. *Impeller* dipasang pada poros pompa yang berhubungan dengan motor penggerak, biasanya motor listrik atau motor bakar dan turbin uap. Poros pompa akan berputar apabila penggeraknya berputar. Karena poros pompa berputar impeler dengan sudu-sudu *impeller* berputar, zat cair yang ada di dalamnya akan ikut berputar sehingga tekanan dan kecepatannya naik dan terlempar dari tengah pompa ke saluran yang berbentuk volut atau spiral kemudian ke luar melalui diffuser. Salah satu jenis pompa adalah pompa sentrifugal *multistage* horizontal dengan bentuk seperti pada Gambar 2.1. Pompa ini menggunakan beberapa *impeller* yang dipasang secara seri pada satu poros. Zat cair yang keluar dari *impeller* pertama dimasukkan ke *impeller* berikutnya dan seterusnya hingga *impeller* terakhir. Pompa ini merupakan pompa yang mampu untuk meningkatkan tekanan tinggi dan memiliki kapasitas menengah (Fritz Dietzel, 1996).



Gambar 2.1 Pompa Sentrifugal *Multistage* Horizontal (Fritz Dietzel, 1996)

2.2 Baja Paduan

Baja merupakan logam paduan besi-karbon, dengan kadar karbon kurang dari 2%. Unsur paduan sering ditambahkan pada baja untuk mendapatkan sifat mekanik tertentu. Menurut komposisi kimianya baja dibagi menjadi dua yaitu baja karbon tanpa paduan (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*). Baja paduan dibagi menjadi dua jenis sesuai dengan kadar unsur paduannya, yaitu baja paduan rendah (*low alloy steel*) dengan kadar unsur kurang dari 10% dan baja paduan tinggi (*high alloy steel*) dengan kadar unsur lebih dari 10% (Avner, 1974).

2.3 Baja ASSAB 705

Baja ASSAB 705 adalah sebuah baja paduan rendah dengan dengan sifat *hardenability* yang baik dan banyak digunakan di dalam dunia industri, hal tersebut dikombinasikan dengan kekuatan tinggi dan ketangguhan yang sangat baik. Baja ASSAB 705 dapat digunakan secara langsung tanpa dilakukan perlakuan panas. Akan tetapi, dapat dilakukan perlakuan panas dengan media pendingin oli, air atau *polymer* untuk mendapatkan kekerasan yang lebih tinggi dan sifat mekanik yang lebih tinggi sesuai dengan dibutuhkan.

Aplikasi yang sering digunakan yaitu, bagian mesin dengan kekuatan tinggi, *gears*, *axle shaft*, *crankshafts*, *connecting rods*, dll. Berdasarkan katalog ASSAB pada Tabel 2.1, material ASSAB 705 setara dengan baja AISI 4340 (ASSAB 705 Handbook, 2018).

Tabel 2. 1 Katalog ASSAB 705 (ASSAB 705 Handbook,2018)

Komposisi (%)	C	Mn	Cr	Ni	Mo
	0,4	0,7	0,8	1,8	0,25
Standar Referensi	AISI 4340, DIN 34CrNiMo6, BS EN24,AFNOR 35NCD6				
Keadaan Pengiriman	Di- <i>Hardening</i> dan di- <i>Tempering</i> dengan kekerasan 309 HV – 372 HV				

Baja AISI 4340 adalah baja paduan yang memiliki temperatur austenisasi 815-845°C dengan standar komposisi seperti pada Tabel 2.2. Baja ini sangat baik untuk diberi perlakuan panas seperti *hardening* dan *tempering* (ASM Handbook, 1991).

Tabel 2.2 Standar Komposisi Kimia AISI 4340
(ASM Handbook, 1991)

Unsur	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
(%)	0.38- 0.43	0.6- 0.8	0.2- 0.35	0.7- 0.9	1.65- 2.0	0.2- 0.3	Bal.

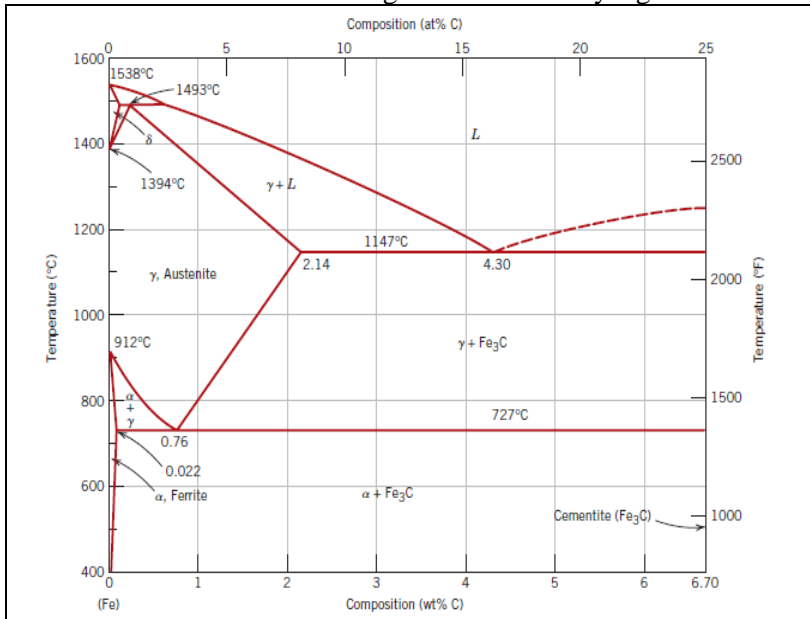
2.4 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram Fe-Fe₃C atau biasa disebut diagram kesetimbangan antara besi dan karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi didalam baja dan besi cor, serta untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang terjadi pada paduan baja dan besi cor dengan segala perlakuannya. Dalam keadaan besi cair, karbon dapat larut tetapi dalam keadaan padat, kelarutan karbon dalam besi akan terbatas larutan padat besi dan karbon dapat membentuk senyawa *interstisi*, eutektik dan eutektoid atau mungkin juga karbon akan terpisah menjadi grafit. Karena itu diagram fasa besi-karbon ada 2 macam, diagram fasa besi – karbida besi dan diagram fasa besi – grafit.

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 Fe₃C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fasa yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi (Diagram Fe – Fe₃C) yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.

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 makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal

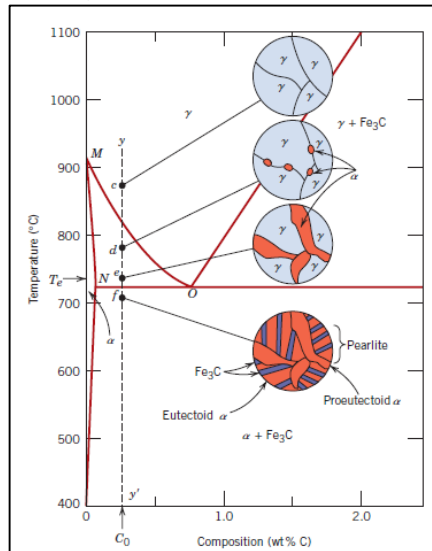
ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil.



Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Callister, 2009)

Transformasi *equilibrium* baja 0.4%C dapat dilihat pada Gambar 2.3. Pembekuan dimulai dengan terbentuknya ferit delta pada temperatur sekitar 1500°C. Pada temperatur sekitar 1496°C pembekuan dilanjutkan dengan terbentuknya austenit. Pembekuan selesai ditandai dengan seluruhnya telah menjadi austenit. Kemudian pada garis A₃ mulai terjadi transformasi *allotropi* dari austenit menjadi ferit. Transformasi dimulai dengan terbentuknya inti-inti ferit pada batas butir austenit. Karena austenit mengandung 0.4%C sedangkan ferit tidak mampu melarutkan karbon sebanyak itu, maka austenit yang akan berubah menjadi ferit harus mengeluarkan karbonnya. Makin rendah temperatur, makin banyak ferit. Pada saat mencapai garis A₁, transformasi menjadi ferit telah selesai. Selanjutnya sisa austenit yang belum bertransformasi akan mengalami reaksi eutektoid menjadi perlit.

Pada temperatur di bawah A1 , paduan akan terdiri dari ferit dan perlit (Callister, 2009).



Gambar 2.3 Diagram Transformasi Fasa pada Kadar Karbon 0,4% (Callister, 2009)

2.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas atau *heat treatment* dapat didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan pada temperatur tertentu dan pendinginan dengan laju pendinginan tertentu terhadap suatu logam/paduan dengan waktu tertentu untuk memperoleh sifat tertentu. Setiap perlakuan panas yang berbeda akan menghasilkan sifat mekanik yang berbeda juga. Secara umum perlakuan panas dibagi menjadi tiga tahapan yaitu :

1. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses *heat treatment* dan dengan kecepatan tertentu tergantung dari dimensi dan konduktivitas perpindahan panas benda kerja.
2. Mempertahankan temperatur untuk waktu tertentu, sehingga temperturnya merata pada seluruh bagian benda kerja.

3. Pendinginan dengan media pendingin yang bergantung pada proses *heat treatment* dan benda kerja.

(Suherman, 2001)

2.5.1 *Hardening*

Hardening atau pengerasan merupakan proses perlakuan panas pada baja dengan pemanasan sampai temperatur austenit (diatas garis A_3) kemudian ditahan dengan waktu tertentu hingga struktur baja homogen dan kemudian didinginkan cepat (*quenching*) dengan media pendingin baik air, oli, maupun polimer (Brunhubber, 1988).

Untuk temperatur *hardening* material AISI 4340 dapat dilakukan antara temperatur 800 – 845°C dan waktu tahan minimal selama 15 menit setiap ketebalan 25 mm (1 *inch*) . Kemudian dapat di *quenching* dalam media oli, larutan garam, serta air (ASM Handbook Vol IV, 1991).

2.5.2 *Annealing*

Merupakan proses memanaskan baja sampai temperatur tertentu kemudian sehingga didinginkan secara lambat melewati temperatur transformasinya didalam *furnace*. Tujuan proses ini untuk mengurangi kekerasan, meningkatkan keuletan, memperbaiki sifat *machinability* (Handoyo,2015).

Untuk temperatur *annealing* material AISI 4340 dapat dilakukan antara temperatur 830 – 860°C. Kemudian dapat didinginkan di dalam *furnace* dengan laju pendinginan 15°C/hour hingga temperatur 480°C lalu didinginkan di udara (ASM Handbook Vol IV, 1991).

2.5.3 *Normalizing*

Merupakan proses pemanasan 100°F diatas temperatur kritis A_3 untuk baja hypoeutectoid dan A_{cm} untuk baja hypereutectoid. Tujuan proses ini adalah untuk menghasilkan baja yang lebih kuat dan keras dibandingkan dengan baja hasil proses *full annealing* (Handoyo, 2015).

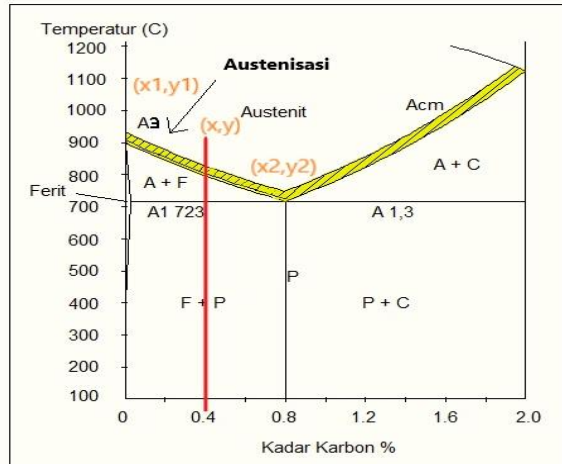
Untuk temperatur annealing material AISI 4340 dapat dilakukan antara temperatur 870 – 925°C dan waktu tahan minimum 1 jam. Kemudian dapat didinginkan di udara (ASM Handbook Vol IV, 1991).

2.6 Pengerasan dan Penemperan

Pengerasan adalah salah satu perlakuan panas dengan pendinginan cepat (*non-equilibrium*), sehingga diperoleh struktur martensit. Pengerasan dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenisasi, dipertahankan beberapa waktu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan secara cepat (*quenching*). Kekerasan baja tergantung pada komposisi kimianya, terutama kadar karbonnya. Semakin tinggi kadar karbon maka semakin keras. Biasanya setelah dilakukan proses pengerasan, dilakukan proses *tempering* untuk mengurangi tingkat kekerasan baja sehingga baja tidak terlalu getas (Thelning, 1984).

2.6.1 Austenizing

Pada proses austenitisasi, baja dipanaskan sampai daerah austenit (γ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat austenit. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan austenitisasi pada kadar karbon *hypoeutectoid* adalah sekitar 30-50°C diatas temperatur kritis A_3 . Diagram temperatur austenitisasi ditunjukkan seperti pada Gambar 2.4 (Campbell, 2008).



Gambar 2.4 Rentang Temperatur Austenitisasi pada Proses Perlakuan Panas (Campbell, 2008)

Gambar 2.4 menunjukkan rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas. Peningkatan kadar karbon diikuti dengan penurunan temperatur sepanjang garis A_3 sampai mencapai minimum pada A_1 , komposisi eutektoid (0,8%), dan kemudian meningkat sepanjang garis A_{cm} . Tahap pertama pada pembentukan austenit adalah nukleasi dan pertumbuhan austenit dari perlit (Ferit+ Fe_3C). Pembentukan *austenite* yang homogen dapat dipercepat dengan meningkatkan temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula-mula. Meskipun begitu, temperatur austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir (Campbell, 2008). Temperatur yang dibutuhkan untuk mencapai 100% austenit pada baja *hypereutektoid* cukup tinggi, meskipun begitu austenit untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C. Karbida yang tidak terlarut dalam jumlah kecil memiliki pengaruh yang kecil pada sifat mekanik akhir baja.

Metode perhitungan temperatur austenisasi dapat dilihat pada persamaan (2.1) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{y-y_1}{y_2-y_1} &= \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \dots\dots\dots 2.1 \\ \frac{y-910}{723-910} &= \frac{0,4-0}{0,8-0} \\ y &= 816,5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\text{Temperatur austenisasi} = 816,5 + 30 = 846,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur austenisasi dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1). Dari persamaan diketahui X merupakan kadar karbon pada baja dan Y adalah temperatur. Untuk baja 4340 merupakan jenis baja *hypoeutektoid* dimana kadar karbonnya adalah 0-0,8%C. Maka X₁ merupakan kadar karbon pada saat 0%C dan Y₁ adalah temperatur pada saat 0%C yaitu 910°C. Kemudian X₂ merupakan kadar karbon pada saat 0,8%C dan Y₂ adalah temperatur pada saat 0,8%C yaitu 723°C. Lalu X merupakan kadar karbon pada baja 4340 dan Y merupakan temperatur A₃. Setelah melakukan perhitungan dengan persamaan (2.1) maka didapatkan temperatur A₃ sebesar 816,5°C kemudian untuk temperatur austenisasi adalah 30-50°C diatas A₃, maka temperatur austenisasinya adalah 846,5°C (Campbell, 2008). Temperatur Austenisasi pada baja AISI 4340 menurut ASM Handbook adalah sebesar 815°C – 845°C (ASM Handbook Vol IV, 1991).

2.6.2 *Holding Time*

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen pada struktur austenitnya atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pedoman untuk menentukan *holding time* dari berbagai jenis baja:

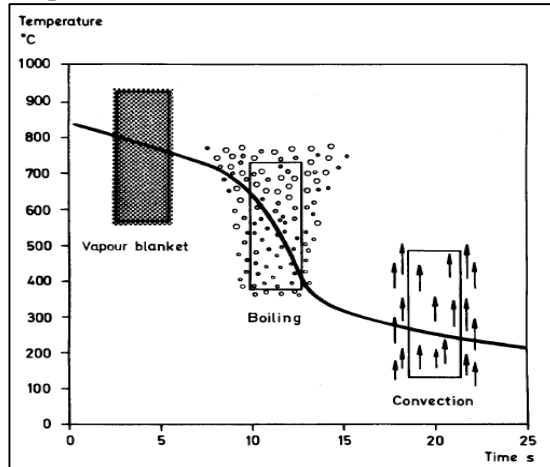
1. Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah, mengandung karbida yang mudah larut, diperlukan *holding time* singkat, 5-15 menit.
2. Baja konstruksi dari baja paduan menengah dianjurkan menggunakan *holding time* 15 – 25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
3. *Low alloy tool steel*, memerlukan *holding time* yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per millimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit.
4. *High alloy chrome steel*, membutuhkan *holding time* yang paling panjang di antara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya.
5. *Hot work tool steel*, mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada 1000°C. Pada temperatur ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu *holding time* dibatasi selama 15 – 30 menit.
6. *High speed steel*, memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi, 1200-1300°C. Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir *holding time* diambil hanya beberapa menit saja (Handoyo, 2015).

Waktu tahan minimal pada baja AISI 4340 menurut ASM Handbook pada proses pengerasan (*Hardening*) adalah selama 15 menit setiap ketebalan 25 mm (1 inch) (ASM Handbook Vol IV, 1991).

2.6.3 *Quenching*

Quenching adalah proses pendinginan cepat setelah mengalami pemanasan. Media *quenching* dapat berupa oli, air, air garam, dan lain-lain sesuai dengan material yang di-*quenching*. Dimana kondisi sangat mempengaruhi tingkat kekerasan. Pada *quenching* proses yang paling cepat akan menghasilkan kekerasan tertinggi.

Jika suatu benda kerja di-*quench* ke dalam media *pendingin*, lapisan cairan disekeliling benda kerja akan segera terpanasi sehingga mencapai titik didihnya dan berubah menjadi uap yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Tiga Tahapan pada *Quenching* (Thielning, 1984)

Gambar 2.5 menjelaskan tahapan pendinginan antara lain :

1. Tahap A (*Vapor – Blanket Stage*)

Pada tahap ini benda kerja akan segera dikelilingi oleh lapisan uap yang terbentuk dari cairan pendingin yang menyentuh permukaan benda. Uap yang terbentuk menghalangi cairan pendingin menyentuh permukaan benda kerja. Sebelum terbentuk lapisan uap, permukaan benda kerja mengalami pendinginan yang sangat intensif. Dengan adanya lapisan uap, akan menurunkan laju pendinginan karena lapisan terbentuk dan akan berfungsi sebagai isolator.

Pendinginan dalam hal ini terjadi efek radiasi melalui lapisan uap lama-kelamaan akan hilang oleh cairan pendingin yang mengelilinginya. Kecepatan menghilangkan lapisan uap makin besar jika viskositas

cairan makin rendah. Jika benda kerja didinginkan lebih lanjut, panas yang dikeluarkan oleh benda kerja tidak cukup untuk tetap menghasilkan lapisan uap, dengan demikian tahap B dimulai.

2. Tahap B (*Vapor – Blanket Cooling Stage*)

Pada tahap ini cairan pendingin dapat menyentuh permukaan benda kerja sehingga terbentuk gelembung – gelembung udara dan menyingkirkan lapisan uap sehingga laju pendinginan menjadi bertambah besar.

3. Tahap C (*Liquid Cooling Stage*)

Tahap C dimulai jika pendidihan cairan pendingin sudah berlalu sehingga cairan pendingin tersebut pada tahap ini sudah mulai bersentuhan dengan seluruh permukaan benda kerja. Pada tahap ini pula pendinginan berlangsung secara konveksi karena itu laju pendinginan menjadi rendah pada saat temperature benda kerja turun. Untuk mencapai struktur martensit yang keras dari baja karbon dan baja paduan, harus diciptakan kondisi sedemikian sehingga kecepatan pendinginan yang terjadi melampaui kecepatan pendinginan kritis dari benda kerja yang diquench, sehingga transformasi ke perlit atau bainit dapat dicegah (Thielning, 1984).

Media pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah Oli SAE10W-40 yang biasa digunakan sebagai pelumas kendaraan sepeda motor 4 tak dengan spesifikasi yang tertera pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Spesifikasi Oli SAE10W-40 (Pertamina Enduro 4T SAE10W-40 *Datasheet*)

Karakteristik	Metode Pengujian	Oli SAE 10-40
<i>Grade</i> Viskositas Oli	-	10W-40
Densitas Pada Temperatur 15°C	ASTM D-4052	0,8612 kg/l
Viskositas Pada Temperatur 40°C	ASTM D-7279	102,5 cSt
Viskositas Pada Temperatur 100°C	ASTM D-7279	15,8 cSt
<i>Flash Point</i>	ASTM D-92	234°C
<i>Pour Point</i>	ASTM D-5950	-33°C

2.6.4 *Tempering*

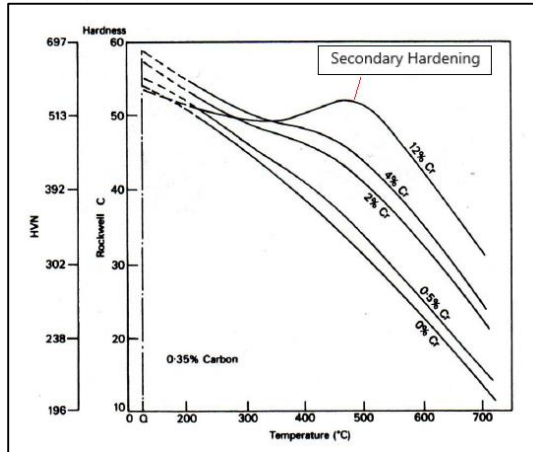
Proses *tempering* merupakan proses pemanasan kembali baja sampai temperatur yang diperlukan, biasanya antara 200-600°C tergantung pada keperluan dan dibawah temperatur kritis terendah (A_1). Proses *tempering* ini tak lepas dari proses *hardening* karena kedua proses ini saling berhubungan. Berbeda dengan *hardening*, pendinginan temper dilakukan dengan laju yang lambat dengan media pendingin udara (Alexander, 1990).

Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan keuletan atau ketangguhan baja, selain itu untuk mengurangi dan menghilangkan tegangan sisa pada baja. Namun pada proses ini kekerasan baja akan turun jika dibandingkan dengan baja setelah proses *hardening* sebelumnya (Clark, 1962).

Semakin tinggi temperatur *tempering* maka akan semakin banyak penurunan kekerasan yang terjadi. Semua unsur paduan akan menghambat laju penurunan kekerasan karena *tempering*, oleh karena itu baja paduan akan membutuhkan temperatur *tempering* yang lebih tinggi. Unsur-unsur yang mudah larut dalam ferrit, unsur yang tidak membentuk karbida seperti *nickel*, *silicon*, dan *manganese* pengaruhnya kecil sekali.

Unsur pembentuk karbida mempunyai pengaruh yang lebih kuat apalagi unsur pembentuk karbida kompleks seperti krom,

molibdenum, tungsten dan vanadium, pengaruhnya kuat sekali. Bukan saja akan menghambat penurunan kekerasan, bahkan bila terdapat dalam jumlah besar dapat menaikkan kekerasan pada *tempering* pada temperatur tinggi. Fenomena ini disebut sebagai *secondary hardening*.



Gambar 2.6 Pengaruh kadar Kromium Terhadap Penurunan Kekerasan Setelah *Tempering* (Avner, 1974)

Dari Gambar 2.6 dapat diketahui bahwa untuk temperatur yang sama dan dengan kadar krom yang berbeda akan menunjukkan perbedaan penurunan kekerasan. Hal ini membuktikan bahwa unsur paduan akan menghambat penurunan kekerasan pada saat *tempering*. Namun pengaruh unsur krom sebagai pembentuk karbida apabila ditambahkan pada persentase yang tinggi terlihat menghasilkan *secondary hardening* (Avner, 1974).

Kekerasan sesudah penemperan tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur tetapi juga waktu *temper* sehingga Hollomon dan Jaffe menyatakan hubungan ini dengan suatu parameter *tempering*. Kekerasan yang sama akan diperoleh bila penemperan dilakukan dengan parameter *temper* yang sama. Parameter *tempering* dinyatakan pada persamaan (2.1) sebagai berikut.

$$P = T(k + \log t) \dots \dots \dots 2.1$$

Dimana

P = Parameter *Temper*

T = Temperatur *Temper* (°K)

k = Konstanta (20 untuk Temperatur °K)

t = Waktu *Temper* (jam)

(Suherman, 2001)

Namun menurut Tamaki dan Suzuki (2009) menyatakan bahwasanya tidak hanya kandungan karbon melainkan juga juga unsur paduan juga berpengaruh terhadap energi aktivasi dan nilai dari konstanta. Tamura (2013) menyatakan bahwasanya nilai *k* dapat ditentukan berdasarkan data kekerasan eksperimental. Dengan demikian Kang dan Lee (2014) membuat rumus perhitungan parameter *tempering* yang dapat dilihat pada persamaan (2.2) dengan menggunakan nilai *k* yang bergantung pada komposisi dari setiap kadar karbon dan paduannya yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

$$TP = T(\log t + (k_0 + \sum_i k_i X_i)) \dots \dots \dots 2.2$$

Dimana

TP = Parameter *Temper*

T = Temperatur *Temper* (°K)

k₀, k_i = Konstanta

X_i = Kadar Paduan

t = Waktu *Temper* (Detik)

Tabel 2.4 Parameter k untuk Baja Paduan (Kang dan Lee, 2014)

Parameter	Nilai Parameter
k_o	17,396
k_C	-6,661
k_{Mn}	-1,604
k_{Si}	-3,412
k_{Ni}	-0,248
k_{Cr}	-1,112
k_{Mo}	-4,355

Untuk memperoleh kekerasan setelah *tempering* dengan menggunakan parameter *temper*, maka dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$TMH = \left(1542,97 - \frac{25,31}{Xc} \right) \cdot \exp(-1,23 \times 10^{-4}TP) \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana

TP = Parameter *Temper*

TMH = *Hardness after Tempering* (HV)

(Kang dan Lee, 2014)

Pada baja AISI 4340 temperatur *tempering* dapat dilakukan dari temperatur 455 °C - 650 °C dengan waktu tahan minimal 2 jam dan didinginkan di udara yang dapat dilihat pada Tabel 2.5. Temperatur dibawah 455°C tidak disarankan karena rentan terhadap terjadinya kegetasan (ASM Handbook Vol IV, 1991)

Tabel 2.5 *Mechanical Properties* AISI 4340 Setelah *Tempering* Beberapa Variasi Temperatur dengan *Holding Time* 2 Jam (ASM Handbook Vol IV, 1991)

<i>Tempering Temperature</i>		<i>Hardness</i>		
°C	°F	HB	HRC	HVN
480	900	390	42	412
540	1000	362	39	382
650	1200	294	31	310
705	1300	247	24	260

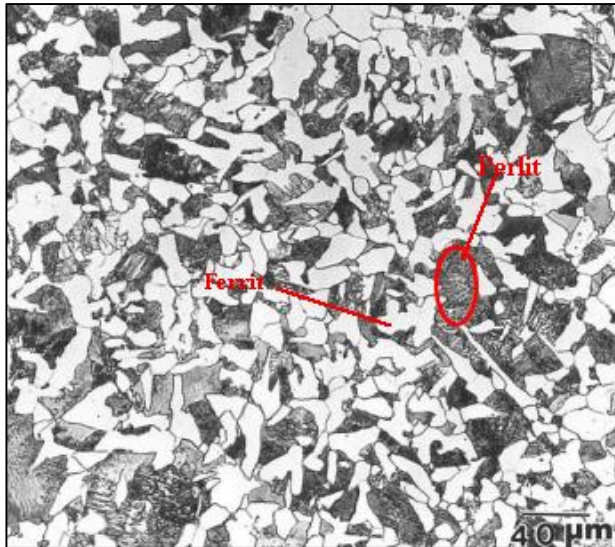
2.7 Fasa Hasil Transformasi

Proses perlakuan panas menghasilkan beberapa jenis fasa. Fasa yang terbentuk akan dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya komposisi kimia, temperatur transformasi, dan laju pendinginan. Jenis fasa yang tercipta pada baja adalah sebagai berikut:

2.7.1 Ferrit dan Perlit

Ferrit (α -iron) merupakan fasa yang stabil pada temperatur ruang, tercipta pada kondisi *equilibrium*. Ferrit mempunyai struktur BCC (*Body Centered Cubic*) dengan kekerasan yang relatif rendah. Ada juga jenis ferrite yang stabil pada temperatur tinggi yaitu delta ferrit (δ -iron).

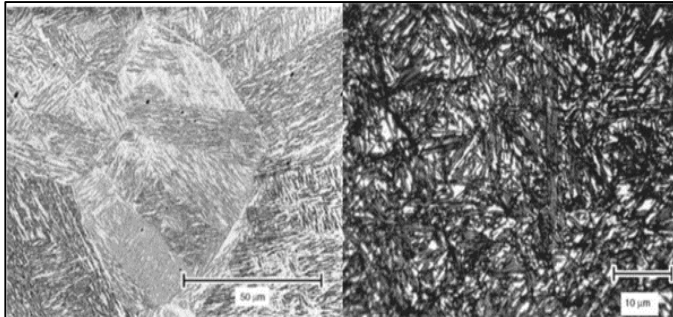
Perlit merupakan struktur yang bersifat metastabil, terdiri dari campuran ferrit dan sementit dengan bentuk lamellar. Bentuk struktur mikro fasa ferrit dan perlit dapat dilihat pada Gambar 2.7 (ASM Handbook Vol.IX, 2004)



Gambar 2.7 Struktur Mikro Ferrit dan Perlit (ASM Handbook Vol.IX, 2004)

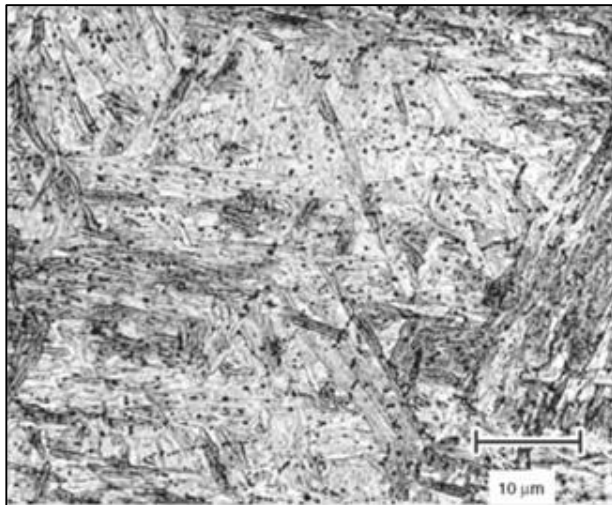
2.7.2 Martensit

Martensit memiliki struktur kristal BCT (*Body Centered Tetragonal*). Martensit mempunyai kandungan karbon yang sangat jenuh dalam ferritnya. Bersifat metastabil, dengan kekerasan yang tinggi. Morfologinya berbentuk *lath* saat kadar karbon besi $<0,6$ wt% dan berbentuk *plate* saat kadar karbon $>1,0$ wt%. Bentuk struktur mikro martensit dapat dilihat pada Gambar 2.8 (ASM Handbook Vol.IX, 2004).



Gambar 2.8 Struktur Mikro *Lath* Martensit (kiri) dan *Plate* Martensit (kanan) (ASM Handbook Vol.IX, 2004)

Saat martensit mengalami proses *tempering*, maka struktur yang terbentuk adalah martensit *temper* yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Struktur ini terdiri atas martensit dengan bilah yang lebih kasar dan butiran-butiran kecil karbida yang mengalami presipitasi. (ASM Handbook Vol.IX, 2004)

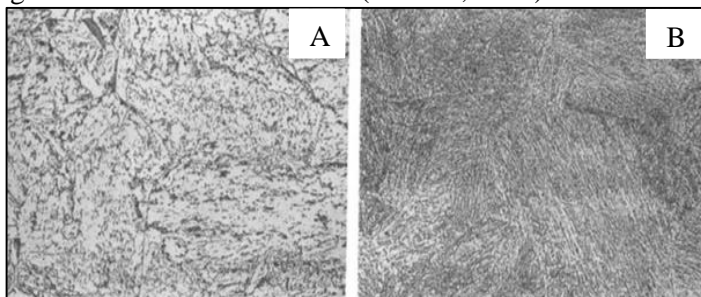


Gambar 2.9 Struktur Mikro Martensit Temper (ASM Handbook Vol.IX, 2004)

2.7.3 Bainit

Bainit adalah struktur yang terbentuk dari ferrit dan sementit dengan ukuran sangat halus. Namun tidak seperti perlit, strukturnya tidak berbentuk *lamellar*. Bainit dibagi menjadi dua, *upper* bainit dengan bentuk *feathery* (menyerupai bulu) dan *lower* bainit dengan bentuk *accicular* (menyerupai jarum). *Upper* bainit terbentuk pada temperatur transformasi yang cenderung tinggi, sementara *lower* bainit terbentuk pada temperatur yang lebih rendah, saat pendinginan berlangsung secara isothermal. Kekerasan pada bainit akan meningkat seiring dengan turunnya temperatur transformasinya (ASM Handbook Vol.IX, 2004)

Namun pada proses manufaktur, umumnya baja mengalami pendinginan secara kontinyu, bukan isothermal. Sehingga istilah *upper* bainite dan *lower* bainit tidak lagi relevan dalam proses pendinginan kontinyu. Bainit kemudian diidentifikasi berdasarkan morfologinya, dan dibedakan menjadi *upper* bainit yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 A dan *lower* bainit yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 B. *Upper* bainit terdiri dari matriks bilah ferrit disertai dengan sementit yang berada di batas butir antar bilah ferrit (*grain boundary*) dan platelet sementit di dalam bilah ferrit dengan arah hampir sejajar dengan sumbu pertumbuhan. *Lower* bainit mempunyai morfologi matriks ferrit yang berbentuk bilah (*accicular*) disertai dengan platelet sementit tidak sejajar yang berada di dalam bilah ferrit (Bramfit, 2002).



Gambar 2.10 Perbedaan Struktur Mikro *Upper* Bainit (A) dan *Lower* Bainit (B) (Bramfit, 2002)

2.8 Pengujian

2.8.1 Pengujian Kekerasan

Kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material. Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan. Hal ini tergantung metode pengujian, yaitu:

- a. Kekerasan goresan (*scratch hardness*)
- b. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)
- c. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standar terhadap indenter. Salah satu jenis pengujian kekerasan indentasi adalah metode Vickers. Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola indenter pada pengujian kekerasan Brinell. Angka kekerasan vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan.

Pada prakteknya pengujian vickers ini mengacu pada standar ASTM E92, Dengan menghitung luas dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak (d) sebagai pembagi beban indentasi (P). VHN dapat ditentukan dari Persamaan (2.4).

$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.8544 P}{d^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

P = Beban (kgf)

d = Panjang Diagonal Rata-Rata Indentasi (mm)

$\theta = 136^\circ$

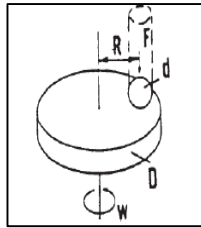
(Dieter, 1987)

2.8.2 Pengujian Metalografi

Metalografi menyangkup studi yang berhubungan dengan karakteristik struktur dari metal atau paduan. Dalam metalografi, penentuan ukuran butir, bentuk, dan distribusi dari berbagai macam struktur mikro dan inklusi dimana hal-hal tersebut memberikan dampak yang besar pada karakteristik mekanis dari material tersebut sangat memungkinkan. Preparasi material untuk studi mengacu pada standar ASTM E3 meliputi *cutting*, *grinding*, *mounting*, dan *polishing*. Preparasi tersebut diperlukan agar permukaan menjadi lebih jernih tanpa ada goresan yang mengganggu observasi struktur mikro nantinya. Setelah material selesai di preparasi, selanjutnya dilakukan pengetsaan atau *etching* sesuai dengan larutan yang ada pada standar. Selanjutnya, material akan diobservasi struktur mikronya dengan mikroskop optik dan dianalisis. (Avner, 1974)

2.8.3 Pengujian Keausan

Pengujian ini mengacu pada ASTM G99 mengenai metode pengujian standar untuk keausan dengan peralatan *pin-on-disk*. Pengujian ini mencakup prosedur laboratorium untuk menentukan dan memperkirakan keausan material akibat gesekan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Skema Pengujian Ketahanan Aus dengan Metode *Pin on Disk* (ASTM G99, 2003)

Gambar 2.11 menunjukkan gambar skema dari pengujian ketahanan aus menggunakan sistem *pin-on-disk*. Ada beberapa sistem yang biasa digunakan untuk sistem ini, antara lain poros yang bergerak dan penjepit untuk menahan *disk* yang berputar, tuas untuk menahan *pin*, serta alat tambahan untuk menempatkan beban yang diberikan pada *pin*.

Pengujian ini dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material, salah satu ketentuan yang dibutuhkan adalah spesimen memiliki dimensi tertentu yang dapat di persiapkan dan dapat menahan tekanan yang diberikan selama pengujian tanpa mengalami kegagalan. Bentuk pin secara khusus berbentuk silinder atau bola, dengan diameter antara 2-10 mm dan ukuran disk antara 30-100 mm, serta memiliki ketebalan dari 2-10 mm. Ada beberapa parameter dalam pengujian ini yang pertama adalah *load* atau nilai dari gaya yang diberikan pada pin terhadap *disk* dalam satuan Newton. *Speed*, yaitu kecepatan pergeseran dari permukaan dari *pin* dan *disk* yang bersentuhan dalam meter per detik. *Distance*, merupakan jarak yang di tempuh selama pengujian berlangsung dalam meter. Temperatur, yang spesifik pada lokasi dekat persentuhan antara *pin* dengan *disk*. Dan lingkungan yang dapat mempengaruhi pengujian ini.

Setelah melakukan pengujian, apabila dalam alat pengujian tidak terdapat suatu pencatat otomatis yang dapat langsung mengeluarkan hasil, maka harus dilakukan perhitungan. Hasil awal yang didapat dari pengujian adalah *mass loss* berdasarkan perhitungan selisih antara massa awal dan massa akhir. Agar data

yang diperoleh dapat berupa jumlah keausan per satuan waktu, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Mass loss per satuan waktu} = \frac{\text{massa awal} - \text{massa akhir}}{\text{waktu material terekspos}} \dots \dots (2.5)$$

(ASTM G99, 2003)

2.9 Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Tahun	Penelitian
Junda Azizi	2018	Melakukan penelitian terhadap pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan <i>tempering</i> terhadap kekerasan baja ASSAB 705 yang di- <i>hardening</i> untuk aplikasi poros pompa <i>multistage</i> . Perlakuan yang diberikan adalah <i>water quench hardening</i> dengan temperatur 815°C dan waktu tahan 30 menit. Kemudian dilakukan <i>tempering</i> dengan temperatur 300°C, 350°C dan 400°C dimana variasi waktu tahan tiap temperatur tersebut adalah 60 menit dan 120 menit. Dari penelitian ini didapatkan hasil spesimen dengan kekerasan dan ketahanan aus tertinggi adalah yang diberikan <i>tempering</i> dengan temperatur 300°C dan waktu tahan 60 menit. Sedangkan yang memiliki kekerasan dan ketahanan aus paling rendah adalah yang diberikan <i>tempering</i> dengan temperatur 400°C dan waktu tahan 120 menit.

Marlon Muniz, Dkk.	2018	Melakukan penelitian parameter <i>quenching</i> meliputi temperatur, waktu austenisasi, dan laju pendinginan pada baja AISI 4340 terhadap struktur mikro, kekerasan dan distorsi. Hasil dari penelitian ini antara lain kekerasan bertambah seiring bertambahnya temperatur austenisasi dan distorsi meningkat seiring bertambahnya temperatur austenisasi dan waktu tahan. Media pendingin oli baik digunakan untuk pendinginan AISI 4340 dengan memberikan kekerasan yang tinggi dengan presentase distorsi yang rendah.
Sathyashankara, Dkk	2018	Melakukan penelitian terhadap pengaruh konvensional perlakuan panas dan <i>hardening</i> khusus untuk membentuk struktur mikro <i>dual</i> fasa pada material baja AISI 4340. Penelitian dilakukan dengan cara memanaskan baja hingga temperatur 780°C lalu ditahan selama 2 jam dan di- <i>quench</i> pada larutan garam hingga temperatur 350°C lalu ditahan 30 menit dan didinginkan di temperatur ruang sehingga membentuk <i>dual</i> fasa ferrit-bainit. Selain itu, dilakukan juga pemanasan baja hingga temperatur 780°C lalu ditahan selama 2 jam dan di- <i>quench</i> pada larutan garam hingga temperatur 350°C lalu ditahan 10 detik dan

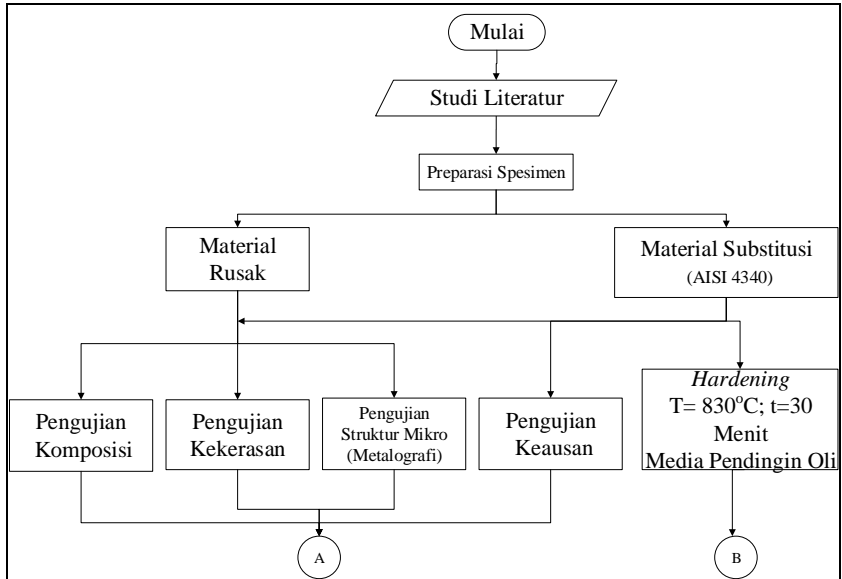
		<p>didingankan di temperatur ruang sehingga membentuk <i>dual</i> fasa ferrit-martensit. Dari hasil penelitian ini didapatkan kekerasan material dengan struktur mikro <i>dual</i> fasa ferrit-bainit lebih rendah daripada ferrit-martensit dan memiliki kekuatan impak yang lebih dari ferrit-martensit dan hampir menyamai kekuatan impak dari proses perlakuan panas <i>austempering</i>.</p>
Gurumurthy, Dkk.	2017	<p>Melakukan penelitian terhadap struktur mikro, kekerasan, kekuatan tarik, dan kekuatan impak material baja 4340 yang diberi perlakuan panas konvensional seperti <i>annealing</i> dan <i>normalizing</i> serta perlakuan panas modern seperti <i>austempering</i> dan <i>hardening</i>. Hasil dari penelitian ini antara lain baja anil memiliki kekerasan paling rendah yaitu sebesar 187HVN dan baja <i>hardening</i> memiliki kekerasan paling tinggi yaitu sebesar 354HVN. Kekuatan impak tertinggi terletak pada material yang diberi perlakuan <i>austempering</i> yaitu sebesar 69 Joule.</p>
Budi Syahri	2017	<p>Melakukan penelitian terhadap kekerasan baja ASSAB 705 hasil perlakuan panas <i>hardening</i> dengan variasi media pendingin. Media</p>

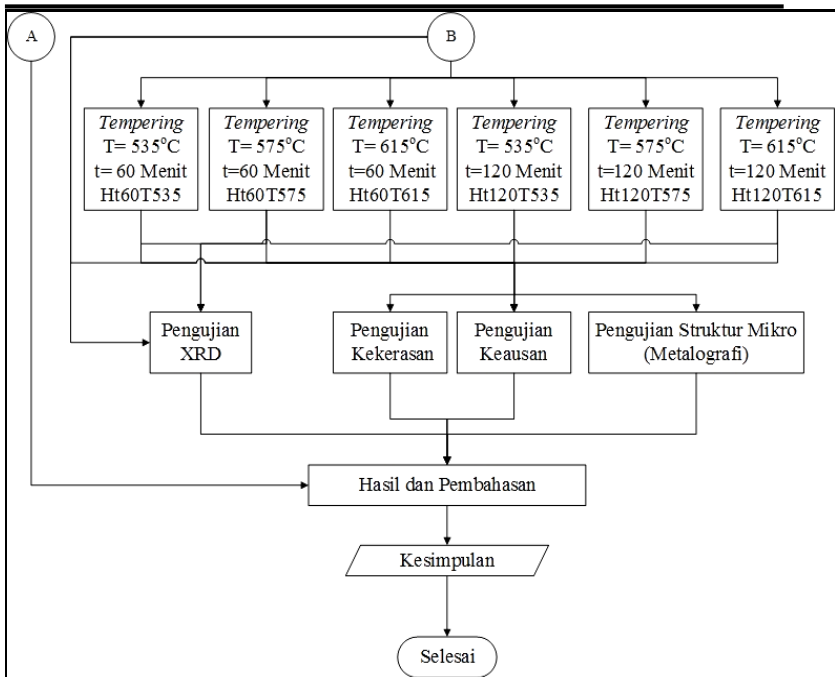
		<p>pendingin yang digunakan yaitu oli, air dan larutan garam. Hasil pengujian kekerasan dengan metode brinell menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan kekerasan pada spesimen yang di <i>quenching</i> dengan oli sebesar 15,62% sedangkan pada spesimen yang di <i>quenching</i> dengan air meningkat sebesar 17,28% dan pada spesimen yang di <i>quenching</i> dengan larutan garam meningkat sekitar 20,30%. Media pendingin yang memberikan dampak paling signifikan adalah larutan garam, dengan nilai 597,13BHN dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan yang memiliki kekerasan 327,21BHN.</p>
Ari Yulianto	2015	<p>Melakukan penelitian pengaruh perlakuan panas terhadap struktur mikro dan sifat mekanis baja ASSAB 705M yang digunakan pada komponen <i>stud pin winder</i>. Penelitian ini dilaksanakan dengan cara memanaskan hingga temperatur austenit 840° C dengan waktu penahanan 2 jam dan diquenching dengan media oli. Kemudian dilakukan <i>tempering</i> dengan variasi temperatur 200° C, 300° C, 500° C, 550° C, 600° C dengan waktu penahanan 1 jam. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan, impak (ketangguhan), dan pengujian struktur mikro. Hasil</p>

		<p>dari pengujian menunjukkan nilai kekerasan tertinggi ada pada sampel raw material baja ASSAB 705 M sebesar 60,7 HRC dan yang terendah ada pada baja ASSAB 705 M dengan variasi temperatur <i>tempering</i> 600° C dengan nilai kekerasan 46,3 HRC. Pada pengujian impak nilai ketangguhan tertinggi pada sampel material baja ASSAB 705 M dengan variasi temperatur <i>tempering</i> 600° C sebesar 1,40 J/mm² dan nilai ketangguhan terendah ada pada pada sampel material baja ASSAB 705M dengan variasi temperatur <i>tempering</i> 300°C sebesar 0,26 J/mm². Ini menunjukkan bahwa dengan variasi temperatur <i>tempering</i> 600° C dapat digunakan sebagai alternatif acuan pembuatan stud pin winder.</p>
--	--	---

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literatur. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang berkaitan dengan proses perlakuan panas pada poros pompa.

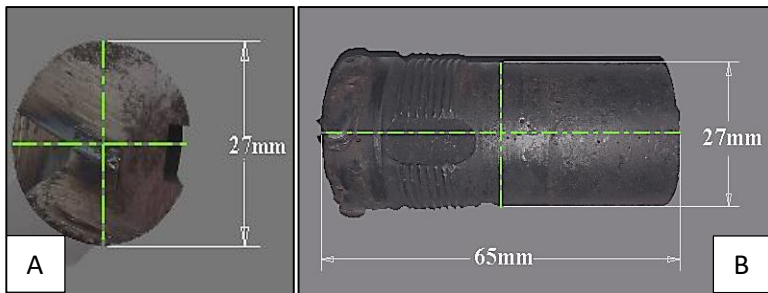
2. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu: pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik, uji

komposisi dengan menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*), pengujian keausan dengan mesin *pin on disc*, pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal dari fasa yang terbentuk dan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material poros pompa.

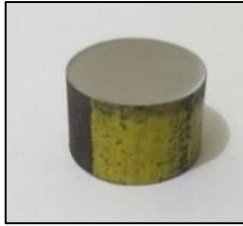
3.3 Material yang Digunakan

Pada awal pengoperasian pompa, saat poros pompa masih dipasang sebagai komponen orisinil, poros tersebut dilaporkan mengalami kerusakan setelah empat tahun operasi. Akan tetapi setelah poros tersebut dipasang oleh pabrikan lokal, umur pakainya turun secara signifikan. Rata-rata umur pakainya kurang dari satu tahun, bahkan hanya beberapa bulan saja. Kegagalan pada poros baru tersebut adalah patah dan aus pada ulir-ulirnya.



Gambar 3.2 Poros Pompa yang Patah dan Aus Tampak Depan (A) dan Tampak Samping (B)

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 4340 yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 dengan komposisi setara dengan baja ASSAB 705 yang digunakan untuk komponen poros pada pompa sentrifugal *multistage* horizontal di Pabrik Gula Gending Probolinggo. Material baja AISI 4340 ini dapat dibeli di PT. BHINNEKA BAJANAS Surabaya dengan komposisi seperti yang tertera pada Tabel 3.2.



Gambar 3.3 Spesimen Material Substitusi AISI 4340

Tabel 3.1 Komposisi ASSAB 705
(ASSAB 705 Handbook, 2018)

Unsur	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
(%)	0.4	0.7	0.2	0.8	1.8	0.25	Bal.

Tabel 3.2 Komposisi Material Substitusi Baja AISI 4340 (Hasil
Optical Emission Spectroscopy)

Unsur	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
(%)	0.377	0.568	0.253	1,49	1.5	0.164	Bal.

3.4 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

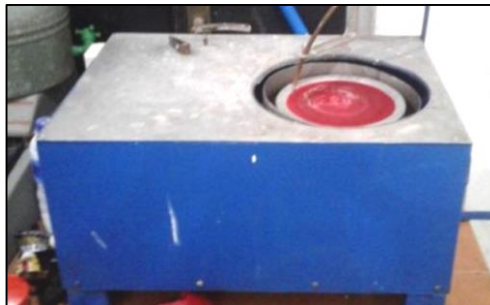
1. Penggaris
Digunakan untuk mengukur spesimen.
2. Mesin Pemotong.
Digunakan untuk memotong material sebagai sampel penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mesin Potong

3. Mesin *Grinding-Polishing*

Digunakan untuk preparasi specimen yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Mesin *Polishing*

4. OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

Digunakan untuk mengetahui komposisi material yang diteliti.

5. Mesin Uji Kekerasan

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan material yang dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mesin Uji Kekerasan

6. *Electric Furnace*

Digunakan untuk melakukan perlakuan panas terhadap material, khususnya pada proses pemanasan dan austenisasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Electric Furnace*

7. Larutan Etsa Nital

Digunakan untuk menampakkan struktur mikro dari material yang diuji metalografi. Etsa Nital terdiri dari 1-5 mL HNO_3 + 100 mL *ethanol* (95%) atau *methanol* (95%).

8. Media Pendingin Oli SAE 10W-40

Digunakan untuk mendinginkan material pada saat proses *quenching*.

9. Mikroskop Optik

Digunakan untuk mengobservasi fasa atau struktur mikro material yang diuji yang dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Mikroskop Optik Olympus BX51

10. Mesin Uji Keausan *Pin on Disc*

Digunakan untuk menguji tingkat keausan material.

11. Mesin XRD

Digunakan untuk mengetahui fasa pada material, baik secara kualitatif maupun kuantitatif yang dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Mesin *Pan Analytical XRD*

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Penelitian

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan poros pompa sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Data operasi
2. Spesifikasi material

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan/keausan poros pompa *multistage*. Persiapan ini berupa proses *cutting* dan *grinding* yang mengacu pada ASTM E3-11, termasuk untuk persiapan uji metalografi dan uji kekerasan.

3.5.3 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Identifikasi komposisi kimia material menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium PT.

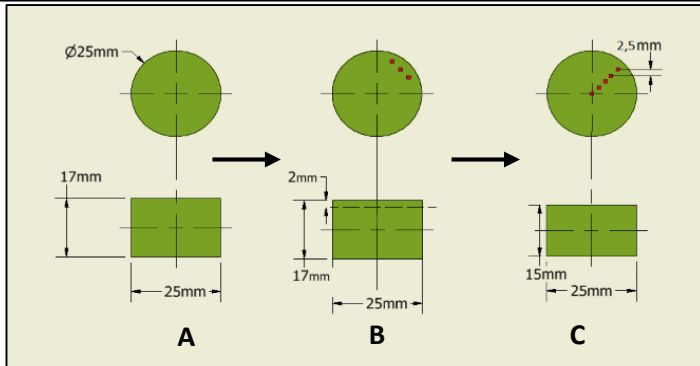
LOGAMINDO SARIMULIA Sidoarjo untuk mengetahui komposisi yang ada pada pompa sentrifugal *multistage* horizontal

3.5.4 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material sebelum dan setelah diberi perlakuan panas. Pengujian diawali dengan preparasi permukaan specimen yang mengacu pada ASTM E3-11, lalu dilakukan penetsaan yang mengacu pada ASTM E407 dan observasi struktur mikro menggunakan mikroskop optik Olympus BX51 di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS.

3.5.5 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di tiga titik pada sampel material setelah dipreparasi maupun setelah diberi perlakuan panas untuk mengetahui tingkat kekerasan di permukaan material tersebut, lalu dipotong sebesar dua milimeter pada material tersebut untuk melakukan indentasi lagi di lima titik untuk mengetahui tingkat hardenabiliti yang dapat dilihat pada Gambar 3.10. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter pyramid intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS. Pengujian ini mengacu pada ASTM E92.



Gambar 3.10 Skema Identasi Pengujian Kekerasan Baja Sebelum Diuji (A), Kekerasan pada Permukaan (B), Kekerasan untuk Mengetahui Tingkat Hardenabiliti(C)

3.5.6 Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan mesin *pin on disc* di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS dengan memberikan beban tertentu pada spesimen. Sebelum diuji, spesimen diukur massanya. Setelah itu dilakukan uji pengausan pada *wear track disc* dengan menetapkan rpm yang dibutuhkan. Tabel 3.3 berikut ini menunjukkan parameter pengujian ketahanan aus.

Tabel 3.3 Parameter Pengujian Ketahanan Aus

Beban	2 kg
Jumlah Putaran	1000 putaran
Temperatur	Temperatur kamar
Disk	Kertas <i>abrasive</i> grade 80

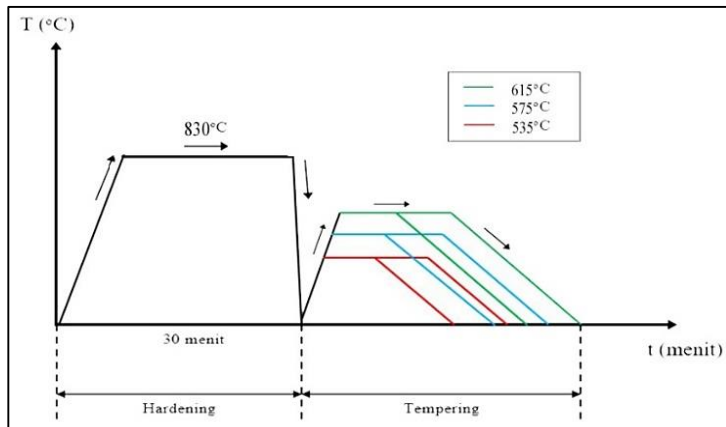
3.5.7 Pengujian XRD

Pengujian ini dilakukan dengan difraksi Sinar-X (XRD) menggunakan alat *Pan Analytical* XRD di Laboratorium Karakterisasi, Departemen Teknik Material ITS. Tujuan dilakukannya pengujian adalah mengetahui struktur Kristal dari

unsur penyusun untuk mengetahui fasa yang terbentuk, baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

3.5.8 Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas yang dilakukan terlebih dahulu adalah proses hardening dengan temperatur 830°C dengan *holding time* 30 menit dan media *quenching* berupa oli. Setelah melakukan proses *hardening*, spesimen diberi perlakuan *tempering* dengan dua variabel *holding time*, yaitu 60 dan 120 menit. Pada masing-masing variabel *holding time* tersebut diterapkan tiga variabel temperatur *tempering*, yaitu 535°C , 575°C dan 615°C . Kurva perlakuan panas yang diterapkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Kurva Rancangan Perlakuan Panas

3.6 Rancangan Penelitian

Rincian rancangan perlakuan yang diterapkan pada beberapa spesimen penelitian ini terdapat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Rancangan Penelitian

Spesimen	T (°C)	Holding Time (menit)	Media Pendingin	Pengujian				
				Komposisi	Metalografi	Kekerasan	Keausan	Uji XRD
TP	-	-	-	√	√	√	√	-
H	830	30	Oli	-	√	√	√	-
Ht60t535	535	60	Udara	-	√	√	√	√
Ht60t575	575	60	Udara	-	√	√	√	-
Ht60t615	615	60	Udara	-	√	√	√	-
Ht120t535	535	120	Udara	-	√	√	√	-
Ht120t575	575	120	Udara	-	√	√	√	-
Ht120t615	615	120	Udara	-	√	√	√	√

Keterangan :

- TP = Tanpa perlakuan
- H = Hardening
- Ht60t535 = H+Tempering 60 menit pada temperatur 535°C
- Ht60t575 = H+Tempering 60 menit pada temperatur 575°C
- Ht60t615 = H+Tempering 60 menit pada temperatur 615°C
- Ht120t515= H+Tempering 120 menit pada temperatur 535°C
- Ht120t575= H+Tempering 120 menit pada temperatur 575°C
- Ht120t615= H+Tempering 120 menit pada temperatur 615°C

3.7 *Timeline Penelitian*

Rancangan waktu penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.5

Table 3.5 *Timeline Penelitian*

No	Kegiatan	Januari	Februari	Maret	April	Mei
1	Pengambilan data					
2	Preparasi spesimen					
3	Pengujian spesimen (Pengujian komposisi, pengujian kekerasan, pengamatan makroskopik, pengamatan struktur mikro)					
4	Preparasi perlakuan panas					
5	Perlakuan panas					
6	Pengujian spesimen (Pengamatan struktur mikro, struktur mikro, pengujian kekerasan, uji XRD, dan pengujian keausan)					

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Komposisi

Hasil pengujian komposisi pada poros pompa yang mengalami *failure* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Komposisi

Unsur	Kadar (%)		
	Material Gagal	Standar ASSAB 705	Material Substitusi AISI 4340 (ASTM A29)
C	0.4	0.4	0.38-0.43
Mo	0.25	0.25	0.2-0.3
Cr	0.005	0.8	0.7-0.9
Ni	0.003	1.8	1.65-2.0
Mn	0.9	0.7	0.6-0.8
S	0.03	-	0.04 <i>max</i>
Si	0.002	-	0.15-0.35
P	0.03	-	0.035 <i>max</i>
Fe	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>

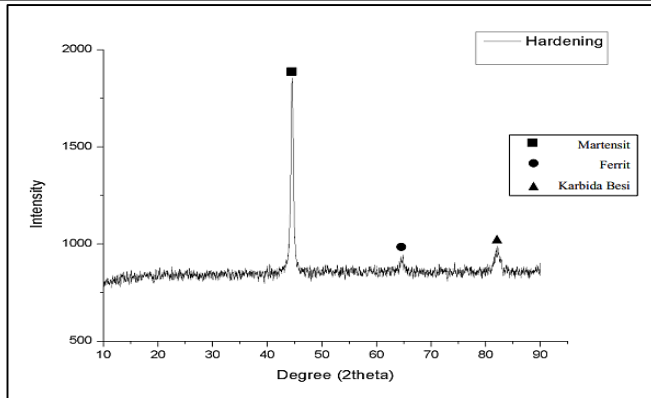
Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa komposisi material poros pompa tidak sesuai standar ASSAB 705 maupun AISI 4340. Kadar komposisi paduan yang sesuai dengan standar ASSAB 705 hanya karbon (C) dan molibdenum (Mo), dimana karbon merupakan unsur utama pembentuk kekerasan martensit dan bertambahnya kadar karbon hingga 0,8wt% meningkatkan pula kekerasan material (Kandpal,2011). Kromium dan molibdenum berguna sebagai penstabil ferit jika ditambahkan dalam jumlah yang banyak dan berfungsi sebagai pembentuk karbida serta menggeser diagram transformasi *non equilibrium* ke kanan jika ditambahkan dalam jumlah yang sedikit sehingga hardenabiliti, ketahanan aus dan kekuatan baja meningkat. Nikel adalah penstabil austenit yang kuat dimana berguna meningkatkan kekuatan, ketangguhan dan kekerasan serta meningkatkan sifat hardenabiliti

meskipun tidak signifikan. Unsur lain yang tidak sesuai adalah Mn, yaitu melebihi standar. Meski kadar Mn melebihi standar, peran unsur ini tidak memberikan dampak yang signifikan untuk kekerasan material, terlebih jika baja tersebut tidak mengalami perlakuan panas untuk mengubah struktur mikronya.

Menurut Avner (1974) Unsur-unsur yang mudah larut dalam ferrit, unsur yang tidak membentuk karbida seperti nikel, silikon, dan mangan pengaruhnya kecil sekali dan untuk pembentuk karbida mempunyai pengaruh yang lebih kuat apalagi unsur pembentuk karbida kompleks seperti krom, molibdenum, tungsten dan vanadium, pengaruhnya kuat sekali. Bukan saja akan menghambat penurunan kekerasan, bahkan bila terdapat dalam jumlah besar dapat menaikkan kekerasan pada *tempering* pada temperatur tinggi. Karena komposisi material untuk poros pompa tidak sesuai standar ASSAB maka digunakan material yang sesuai dengan standar yaitu AISI 4340, yang memiliki kesetaraan komposisi dengan ASSAB 705, untuk diberi perlakuan panas dan diteliti perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya.

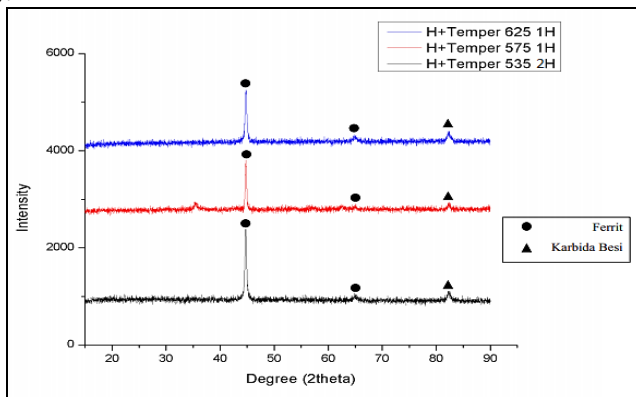
4.2 Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa apa saja yang terdapat dalam material setelah melalui proses perlakuan panas (analisa kualitatif) dan mengetahui regangan-tegangan sisa pada setiap material (analisa kuantitatif). Material hasil perlakuan panas yang diuji XRD adalah material *hardening*, material *tempering* ht60t535 (memiliki kekerasan tertinggi), ht60t575, dan ht120t615 (memiliki kekerasan terendah).



Gambar 4.1 Grafik XRD Material Poros Pompa Setelah diberi Perlakuan Panas *Hardening*

Gambar 4.1 menampilkan hasil analisa kualitatif XRD baja AISI 4340 yang telah diberi perlakuan panas *hardening* dimana setiap *peak* mewakili senyawa yang terkandung, antara lain ($2\theta = 44,5569$) merupakan senyawa martensit (ICDD 00-044-1290), ($2\theta = 64,5736$) merupakan senyawa ferrit (ICDD 00-006-0696), dan ($2\theta = 82,0856$) merupakan senyawa besi karbida (ICDD 01-089-2867).



Gambar 4.2 Grafik XRD Material Poros Pompa Setelah diberi Perlakuan Panas *Tempering*

Gambar 4.2 menampilkan hasil analisa kualitatif XRD baja AISI 4340 yang telah diberi perlakuan panas *tempering* dimana setiap *peak* mewakili senyawa yang terkandung, antara lain ($2\theta = 44,6887; 44,7476; 44,8121$) merupakan senyawa ferrit (ICDD 00-006-0696), ($2\theta = 64,9997; 65,0350; 65,0372$) merupakan senyawa ferrit (ICDD 00-006-0696), dan ($2\theta = 82,2239; 82,2846; 82,2959$) merupakan senyawa besi karbida (ICDD 01-089-2867). Besi karbida yang terbentuk adalah berupa sementit (Fe_3C) yang memiliki struktur kristal ortorombik yaitu struktur kristal yang mempunyai tiga buah sumbu yang tidak sama panjangnya dan saling tegak lurus.

Tabel 4.2 Daftar *Peak* pada Material Poros Pompa Setelah Proses Perlakuan Panas

Spesimen	Pos. [2 θ]	Height [cts]	Nama Senyawa	Nomor ICCD
<i>Hardening</i>	44,5569	971,74	Martensit	ICDD 00-044-1290
	64,5736	58,47	Ferrit	ICDD 00-006-0696
	82,0856	88,73	Besi Karbida	ICDD 01-089-2867
H+Temper 535 1H	44,6887	1397,07	Ferrit	ICDD 00-006-0696
	64,9997	80,97	Ferrit	ICDD 00-006-0696
	82,2239	168,51	Besi Karbida	ICDD 01-071-1174
H+Temper 575 1H	44,7476	911,12	Ferrit	ICDD 00-006-0696
	65,0350	45,17	Ferrit	ICDD 00-006-0696
	82,2846	118,56	Besi Karbida	ICDD 01-071-1174
H+Temper 615 2H	44,8121	1007,70	Ferrit	ICDD 00-006-0696
	65,0372	72,47	Ferrit	ICDD 00-006-0696
	82,2959	155,39	Besi Karbida	ICDD 01-071-1174

Tabel 4.2 menampilkan daftar *peak* hasil analisa kualitatif XRD baja AISI 4340 yang telah diberi perlakuan panas *hardening*

dan *tempering* dimana setiap *peak* mewakili senyawa yang terkandung, antara lain ($2\theta = 44,5569$) merupakan senyawa martensit (ICDD 00-044-1290), ($2\theta = 44,6887$; $44,7476$; $44,8121$) merupakan senyawa ferrit (ICDD 00-006-0696), ($2\theta = 64,5736$; $64,9997$; $65,0350$; $65,0372$;) merupakan senyawa ferrit (ICDD 00-006-0696), dan ($2\theta = 82,0856$; $82,2239$; $82,2846$; $82,2959$) merupakan senyawa besi karbida (ICDD 01-089-2867). Setiap *peak* yang ditampilkan pada mesin pengujian XRD diolah dengan aplikasi *highscore* dan dibandingkan dengan *database* ICDD (*International Centre of Diffraction Data*) sehingga dapat diketahui senyawa apa yang terkandung pada setiap *peak*.

Tabel 4.3 Perhitungan Nilai Regangan dan Tegangan Sisa

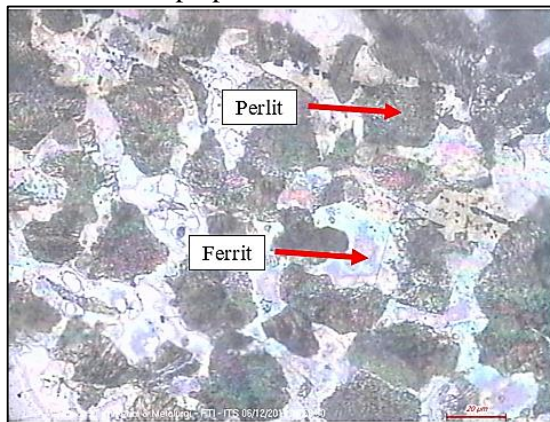
Spesimen	Pos. [2θ]	FWHM	Regangan	Tegangan
H	44,5569	0,2676	0,0028	569,7800
Ht60t535	44,6887	0,1836	0,0019	389,6000
Ht60t575	44,7476	0,1171	0,0012	248,1300
Ht120t615	44,8121	0,1004	0,0011	212,4000

Tabel 4.3 menampilkan hasil analisa kuantitatif XRD baja 4340 yaitu regangan dan tegangan sisa hasil perlakuan panas dimana menunjukkan bahwa urutan regangan dan tegangan sisa dari yang tertinggi adalah **H**, **Ht60t535**, **Ht60t575**, dan yang terakhir **Ht120t615**. Pada proses pendinginan cepat, permukaan akan mengalami pendinginan yang lebih cepat daripada didalam sehingga terdapat perbedaan temperatur didalam dan diluar yang besar, hal ini mengakibatkan distribusi regangan-tegangan menjadi tidak sama karena bagian luar akan mengalami penyusutan lebih banyak daripada bagian dalam. Bagian dalam akan mengalami tegangan tarik sedangkan bagian dalam akan mengalami tegangan tekan (karena penyusutan yang terjadi di permukaan ditahan oleh bagian dalam) Suherman (2001). Menurut Hou dkk (2011) dan Lu dkk (2008), peningkatan kekerasan juga dapat mengindikasikan adanya *residual stress*.meningkatnya *residual stress* berarti juga

meningkatkan *residual strain*. Proses *tempering* akan mengurangi tegangan sisa hasil dari proses *quenching*. Dari hasil pengujian XRD dapat dihitung nilai regangan dan tegangan sisa dengan menggunakan nilai sudut Bragg (θ), yaitu sudut antara sinar yang ditransmisikan dengan sinar pantulan dari XRD serta dengan menggunakan nilai FWHM (*Full Width at Half Maximum*).

4.3 Hasil Pengujian Metalografi

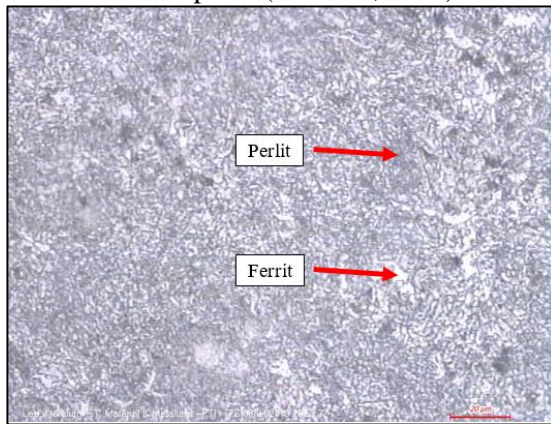
Pengujian metalografi telah dilakukan dengan preparasi permukaan spesimen (*grinding* dan *polishing*) yang sesuai dengan standar ASTM E3-11 lalu pengetsaan (*etching*) dengan pencelupan pada larutan etsa Nital 4% selama 10 detik yang sesuai dengan standar ASTM E407. Spesimen kemudian diobservasi menggunakan mikroskop optik.



Gambar 4.3 Struktur Mikro Material Gagal

Gambar 4.3 merupakan hasil metalografi material yang mengalami kegagalan dimana memiliki struktur mikro ferrit (bewarna terang) dan perlit (bewarna gelap lamellar). Spesimen dari material poros pompa tergolong jenis baja *hypoeutectoid* dengan kadar karbon sebesar 0,4%. Ferrit dan perlit terbentuk akibat pendinginan lambat dimana austenit bertransformasi secara *equilibrium*. Pembekuan dimulai pada garis A_3 dimana mulai

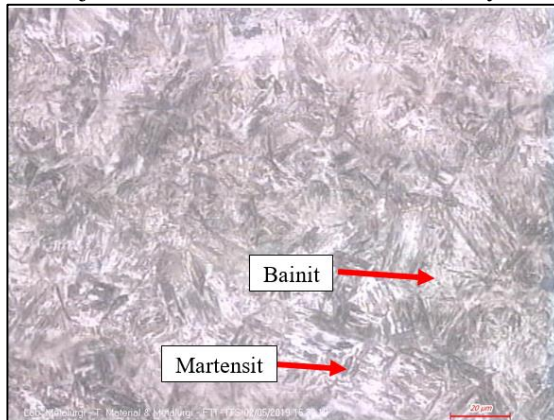
terjadi transformasi *allotropi* dari austenit menjadi ferit. Transformasi dimulai dengan terbentuknya inti-inti ferit pada batas butir austenit. Karena austenit mengandung 0.4% C sedangkan ferit tidak mampu melarutkan karbon sebanyak itu, maka austenit yang akan berubah menjadi ferit harus mengeluarkan karbonnya. Makin rendah temperatur, makin banyak ferit. Pada saat mencapai garis A_1 , transformasi menjadi ferit telah selesai. Selanjutnya sisa austenit yang belum bertransformasi akan mengalami reaksi eutektoid menjadi perlit. Pada temperatur di bawah A_1 , paduan akan terdiri dari ferit dan perlit (Callister, 2009).



Gambar 4.4 Struktur Mikro Spesimen Tanpa Perlakuan

Gambar 4.4 merupakan hasil metalografi material tanpa perlakuan (TP) dimana memiliki struktur mikro ferrit (bewarna terang) dan perlit (bewarna gelap lamellar). Spesimen dari material poros pompa tergolong jenis baja *hypoeutectoid*. Ferrit dan perlit terbentuk akibat pendinginan lambat dimana austenit bertransformasi secara *equilibrium*. Pembekuan dimulai pada garis A_3 dimana mulai terjadi transformasi *allotropi* dari austenit menjadi ferit. Transformasi dimulai dengan terbentuknya inti-inti ferit pada batas butir austenit. Karena austenit mengandung 0.4% C sedangkan ferit tidak mampu melarutkan karbon sebanyak itu, maka austenit yang akan berubah menjadi ferit harus

mengeluarkan karbonnya. Makin rendah temperatur, makin banyak ferit. Pada saat mencapai garis A_1 , transformasi menjadi ferit telah selesai. Selanjutnya sisa austenit yang belum bertransformasi akan mengalami reaksi eutektoid menjadi perlit. Pada temperatur di bawah A_1 , paduan akan terdiri dari ferit dan perlit (Callister, 2009). Pada mikrostruktur material tanpa perlakuan ini memiliki butir – butir yang halus dimana diterjadi akibat proses pengerjaan panas (*Hot Working*). Pengerjaan panas merupakan proses deformasi pada logam yang dilakukan pada temperatur rekristalisasi ($500^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$) dan laju regangan tertentu untuk mendapatkan bentuk deformasi dan *recovery* secara bersamaan. Proses deformasi membentuk struktur yang memanjang dan kasar, karena adanya temperatur tinggi, rekristalisasi terjadi dan butir halus terbentuk (Daryus,2008)

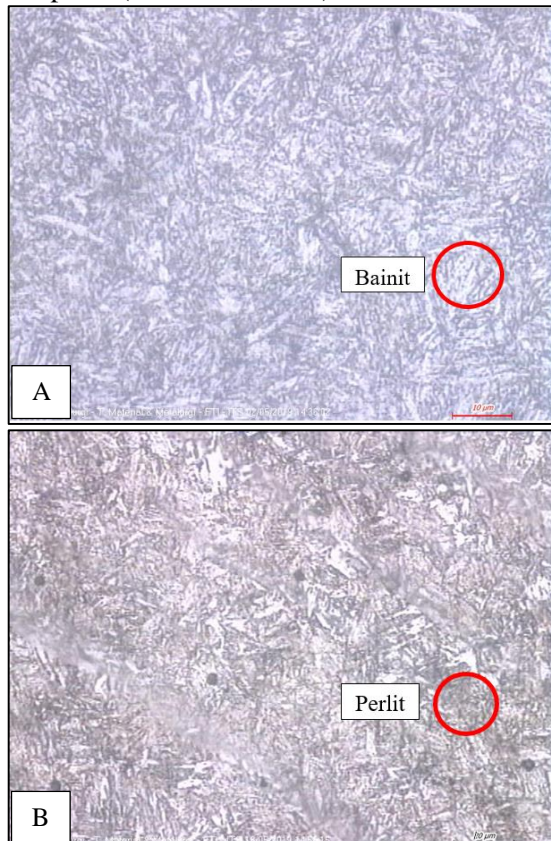


Gambar 4.5 Hasil Perlakuan Panas *Hardening* pada Perbesaran 500x

Gambar 4.5 merupakan hasil metalografi material *hardening* (*as-quench*) pada temperatur 830°C dengan *holding time* 30 menit, dimana memiliki struktur mikro martensit (berbentuk seperti jarum – jarum berwarna hitam) dan bainit (berwarna terang dengan platelet sementit). Jenis martensit terbagi menjadi dua yaitu *lath* martensit dan *plate martensit*. Umumnya *plate* martensit terbentuk pada baja

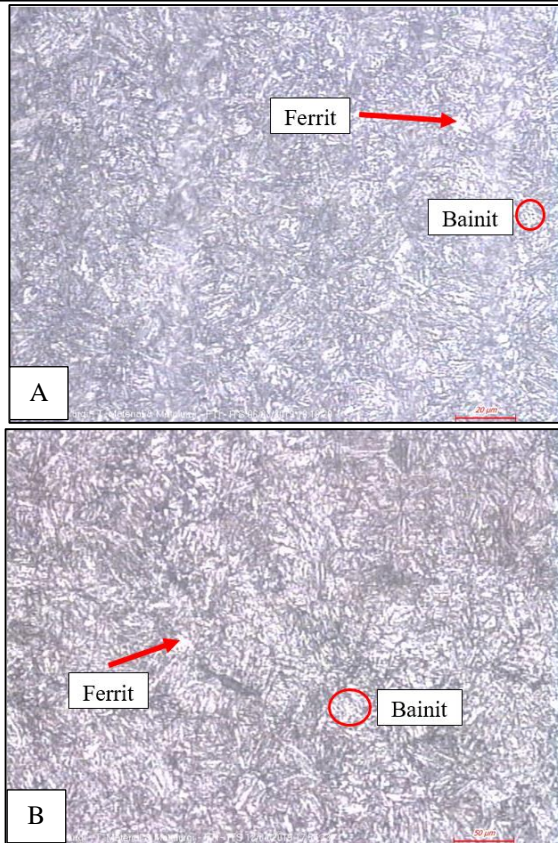
dengan kadar karbon di atas 0,6%. Namun keberadaan unsur paduan yang menurunkan temperatur martensit *start* (M_s) dan *finish* (M_f) seperti Mn, Ni, Cr dan Mo dalam spesimen ini menyebabkan *plate* martensit dapat ditemui walaupun kadar karbon baja ini adalah 0,4%. *Plate* martensit mengandung lebih banyak karbon dalam strukturnya sehingga bersifat lebih keras dan getas daripada lath martensite (Thelning, 1994). Struktur martensit mulai terbentuk saat austenit didinginkan cepat dan mencapai temperatur M_s . Karena pendinginan cepat, karbon bebas yang terlarut di dalam austenit tidak memiliki cukup waktu untuk berdifusi keluar dari kisi kristal austenit sehingga tidak terjadi transformasi FCC (*Face Centered Cubic*) menjadi BCC (*Body Centered Cubic*), melainkan terjadi transformasi geser pada kisi kristal menjadi bentuk struktur BCT (*Body Centered Tetragonal*). Struktur BCT ini sangat tegang, dan memiliki tegangan sisa yang sangat besar berdasarkan hasil pengujian regangan tegangan XRD sehingga menjadi keras dan getas. Kekerasan martensit juga bergantung pada kadar karbon yang terkandung pada material. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka semakin tinggi pula kekerasan martensitnya. Banyaknya austenit yang bertransformasi menjadi martensit tidak tergantung pada waktu, tetapi pada temperatur dimana semakin rendah temperturnya makin banyak martensit yang terbentuk pada M_f (Thelning, 1984). Pada material poros pompa terdapat unsur paduan pembentuk karbida dimana mengakibatkan menggeser kurva transformasi perlit ke kanan atas dan berpisah dengan kurva transformasi bainit sehingga diagram transformasi akan mempunyai dua waktu minimum, yaitu kurva transformasi perlit (hidung) dan kurva transformasi bainit (lutut). Dalam hal ini, laju pendinginan kritis akan mudah untuk menyentuh kurva transformasi bainit, sehingga mudah terbentuk struktur mikro bainit (Suherman, 2001). Media pendingin oli juga memudahkan untuk membentuk struktur bainit dikarenakan mengakibatkan memiliki laju pendinginan yang lebih lambat daripada air sesuai dengan diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT). Struktur bainit terbentuk pada saat austenit

pada temperatur dibawah temperatur stabilnya mengalami *driving force* (gaya dorong) yang sangat besar mengakibatkan transformasi struktur kristal austenit (FCC) menjadi ferrit (BCC), karena ferrit memiliki kemampuan untuk melarutkan karbon yang terbatas sedangkan masih banyak karbon, akhirnya karbon berdifusi keluar sehingga membentuk struktur mikro ferrit yang didalamnya terdapat platelet karbida. Dibawah mikroskop struktur ini tampak mirip seperti perlit (Suherman, 2001).



Gambar 4.6 Struktur Mikro Martensit *Temper* Hasil *Tempering*:
(A) Bainit dan (B) Perlit

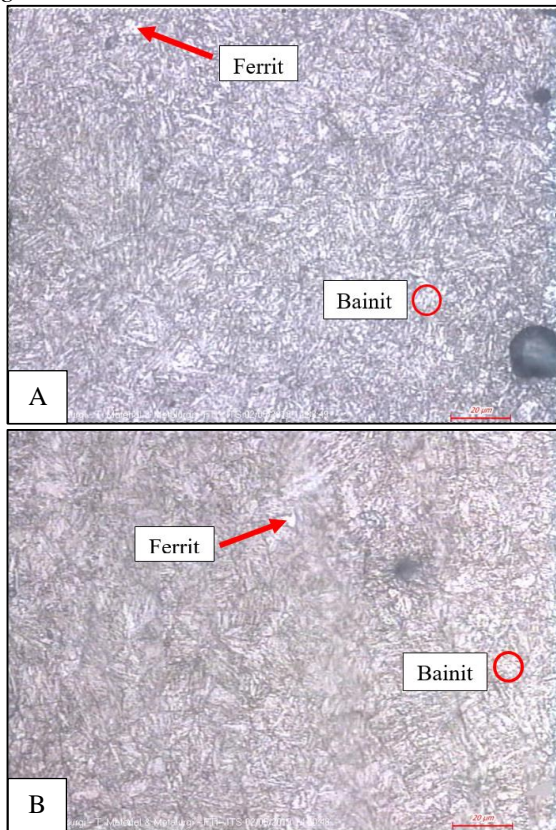
Gambar 4.6 menampilkan struktur mikro hasil dari perlakuan panas *tempering* dimana menghasilkan struktur hasil pemanasan martensit yang secara umum diberi nama martensit *temper* dikarenakan perubahan struktur pada pemanasan martensit bersifat gradual (tidak jelas perbedaan antara satu struktur satu dengan struktur berikutnya) (Suherman, 2001). Pada Gambar 4.6(A) menampilkan struktur mikro bainit sedangkan pada Gambar 4.6(B) menampilkan struktur mikro perlit dimana berdasarkan diagram *Time Temperature Transformation* (TTT) memiliki temperatur transformasi yang berbeda dimana temperatur pembentukan bainit berakhir pada temperatur $\pm 550^{\circ}\text{C}$ yang kemudian dilanjutkan temperatur pembentukan perlit, sedangkan dibawah struktur mikro struktur keduanya tampak mirip (Suherman, 2001). Struktur bainit terjadi akibat *driving force* dan sebagian difusi, sedangkan struktur perlit terjadi secara difusi dimana ketika austenit didinginkan sampai ke temperatur A_1 , terbentuk inti sementit di batas butir austenit yang selanjutnya atom karbon akan terus keluar dari austenit di sekitar inti sementit dan bergabung dengan inti sementit yang sudah ada. Kadar karbon dalam austenit di sekitar inti sementit menjadi sangat rendah dan akan menjadi ferrit. Keluarnya karbon terjadi terus menerus dan membentuk struktur berlapis ferrit sementit (lamelar). Lamelar ini akan semakin rapat (tipis) bila transformasi terjadi pada temperatur rendah (Thielning, 1984)



Gambar 4.7 Struktur Mikro Perbesaran 500x Spesimen Hasil Perlakuan Panas *Tempering*: Ht60t535 (A) dan Ht120t535 (B)

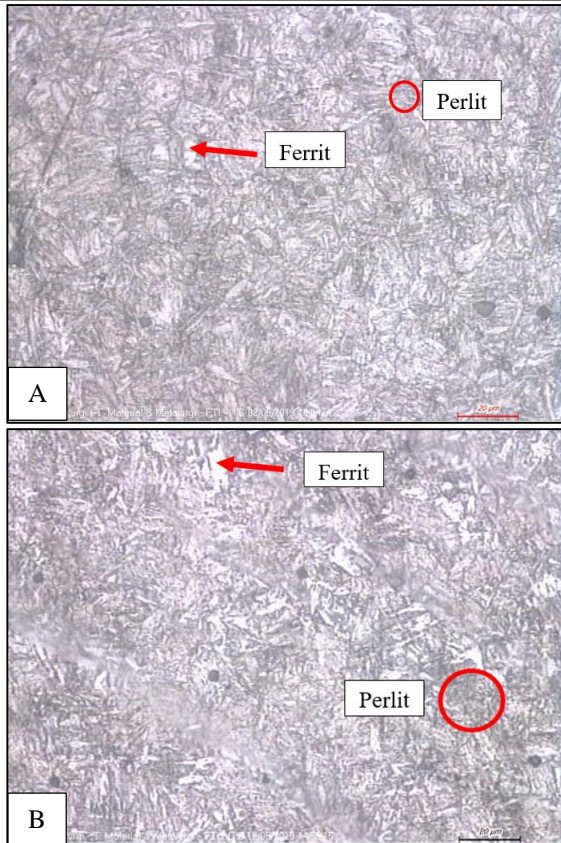
Gambar 4.7 A dan B menampilkan struktur mikro hasil perlakuan panas *tempering* pada temperatur 535°C dengan *holding time* 60 menit Gambar 4.7(A) dan 120 menit Gambar 4.7(B). Struktur mikro yang dihasilkan adalah ferrit dan bainit. Struktur ini terbentuk hasil dari dekomposisi martensit akibat pemanasan kembali dimana atom karbon struktur mikro martensit (BCT) mulai berdifusi keluar membentuk karbida epsilon pada

temperatur rendah dan seiring bertambahnya temperatur maka semakin banyaknya karbon yang berdifusi sehingga mengakibatkan karbida epsilon mulai berubah dan tumbuh menjadi sementit dan akhirnya membentuk struktur mikro bainit. Semakin lama *holding time* mengakibatkan struktur mikro ferrit dan bainit semakin banyak terbentuk karena memberikan banyak waktu untuk atom karbon berdifusi keluar (Thielning, 1984) dan memiliki nilai regangan dan tegangan sisa lebih kecil dibanding proses *hardening*.



Gambar 4.8 Struktur Mikro Perbesaran 500x Spesimen Hasil Perlakuan Panas *Tempering*: Ht60t575 (A) dan Ht120t575 (B)

Gambar 4.8 A dan B menampilkan struktur mikro hasil perlakuan panas *tempering* pada temperatur 575°C dengan *holding time* 60 menit Gambar 4.8(A) dan 120 menit Gambar 4.8(B). Struktur mikro yang dihasilkan adalah ferrit dan bainit. Pada temperatur diatas $\pm 550^{\circ}\text{C}$ (temperatur hidung kurva transformasi bainit) menurut kurva ITT seharusnya struktur perlit terbentuk, tetapi karena pada material poros pompa tersebut mengandung unsur paduan pembentuk karbida yang mengakibatkan kurva transformasi perlit bergeser ke kanan atas dan berpisah dengan kurva transformasi bainit, maka pada temperatur tersebut belum terjadi pembentukan stuktur mikro perlit. Struktur mikro ferrit semakin banyak terbentuk seiring bertambahnya temperatur. Jumlah ferrit yang semakin banyak berakibat menurunnya kekerasan (Doloksaribu, 2018)



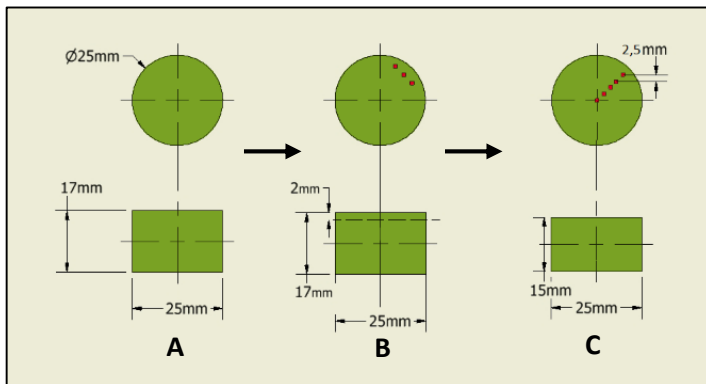
Gambar 4.9 Struktur Mikro Perbesaran 500x Spesimen Hasil Perlakuan Panas *Tempering*: Ht60t615 (A) dan Ht120t615 (B)

Gambar 4.9 A dan B menampilkan struktur mikro hasil perlakuan panas *tempering* pada temperatur 615°C dengan *holding time* 60 menit Gambar 4.9(A) dan 120 menit Gambar 4.9(B). Struktur mikro yang dihasilkan adalah ferrit dan perlit. Pada temperatur *tempering* tersebut struktur bainit sudah tidak terbentuk berganti dengan struktur perlit. Struktur mikro ferrit semakin banyak terbentuk seiring bertambahnya temperatur. Jumlah ferrit

yang semakin banyak berakibat menurunnya kekerasan (Doloksaribu, 2018). Nilai regangan dan tegangan sisa juga menurun seiring bertambahnya temperatur dan *holding time*. Ukuran butir membesar dimana ukuran butir akan semakin membesar seiring bertambahnya temperatur (Huang,2004). dan fasa struktur mikro menjadi fasa ferrit dan perlit halus.

4.4 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers dengan pembebanan sebesar 100 kgf dan durasi indentasi 10 detik pada tiap spesimen sesuai dengan standar ASTM E92.



Gambar 4.10 Skema Identasi Pengujian Kekerasan Baja Sebelum Diuji (A), Kekerasan pada Permukaan (B), Kekerasan untuk Mengetahui Tingkat Hardenabiliti(C)

Gambar 4.10 menampilkan skema identasi pengujian kekerasan baja dimana untuk Gambar 4.10(A) menampilkan baja sebelum diuji, untuk Gambar 4.10(B) merupakan skema identasi kekerasan pada permukaan dan untuk Gambar C merupakan skema identasi distribusi kekerasan untuk mengetahui tingkat hardenabiliti dimana spesimen sebelumnya dipotong sedalam 2 mm dari permukaan baja.

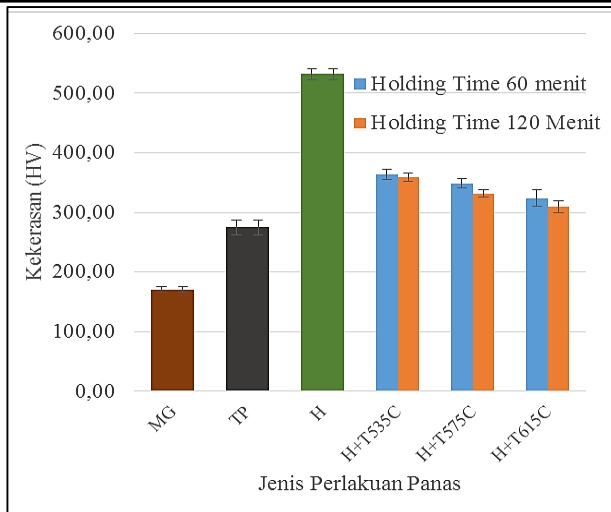
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan Tiap Spesimen

Spesimen	Nilai kekerasan (HV)	
	Hasil Perhitungan Berdasarkan Kang dan Lee Equation	Hasil Eksperimen
Material Gagal (MG)	-	170,67 ± 5
TP	-	275,00 ± 12
H	-	532,00 ± 9
ht60t535	369,78	363,67 ± 9
ht120t535	358,89	358,67 ± 7
ht60t575	345,30	348,33 ± 8
ht120t575	334,63	331,67 ± 7
ht60t615	322,44	323,67 ± 14
ht120t615	312,00	309,00 ± 10

Tabel 4.4 menampilkan hasil pengujian kekerasan material poros pompa yaitu baja 4340. Pada material poros pompa yang mengalami kegagalan memiliki kekerasan yang tidak sesuai dengan standar ASSAB 705 yaitu sebesar 170,67HV dimana menurut standar ASSAB 705, material poros pompa harus memiliki kekerasan sebesar 309 – 372 HV (293 – 352 HB). Struktur poros pompa yang mengalami kegagalan memiliki struktur mikro ferrit dan perlit. Pada material poros pompa Tanpa Perlakuan memiliki kekerasan sebesar 275HV dimana memiliki struktur mikro ferrit dan perlit. Pada material poros pompa hasil perlakuan panas *hardening*, memiliki kekerasan sebesar 532HV dimana memiliki struktur mikro martensit dan bainit serta memiliki nilai tegangan dan regangan sisa yang besar. Struktur kristal martensit dan bainit terbentuk akibat pendinginan dengan laju sedang (lebih lambat daripada pendinginan air) sehingga memiliki kekerasan yang tinggi.

Pada material poros pompa hasil perlakuan panas *tempering* dengan *holding time* 60 menit. Pada temperatur 535°C memiliki kekerasan sebesar 363,67HV dimana memiliki struktur mikro ferrit-bainit hasil dari dekomposisi struktur martensit dan memiliki regangan dan tegangan sisa yang lebih rendah daripada material hasil perlakuan panas *hardening*. Pada temperatur 575°C, kekerasan menurun menjadi sebesar 348,33HV dan memiliki struktur mikro ferrit-bainit. Pada temperatur 615°C, kekerasan menurun menjadi sebesar 323,67HV dan memiliki struktur mikro ferrit-perlit dimana tidak terdapat lagi struktur mikro bainit karena temperatur *tempering* melebihi temperatur pembentukan bainit dan berada pada temperatur pembentukan perlit. Semakin tinggi temperatur *tempering*, maka semakin rendah juga nilai kekerasan dari suatu material.

Pada material poros pompa hasil perlakuan panas *tempering* dengan *holding time* 120 menit. Pada temperatur 535°C memiliki kekerasan sebesar 358,67HV dimana struktur mikro yang terbentuk adalah struktur mikro ferrit-bainit hasil dari dekomposisi struktur martensit dan memiliki regangan dan tegangan sisa yang lebih rendah daripada material hasil perlakuan panas *hardening*. Pada temperatur 575°C, kekerasan menurun menjadi sebesar 331,67HV dan memiliki struktur mikro ferrit-bainit. Pada temperatur 615°C, kekerasan menurun menjadi sebesar 309HV dan memiliki struktur mikro ferrit-perlit dimana tidak terdapat lagi struktur mikro bainit karena temperatur *tempering* melebihi temperatur pembentukan bainit dan berada pada temperatur pembentukan perlit. Nilai kekerasan pada *holding time* 120 menit lebih rendah daripada hasil perlakuan panas *tempering holding time* 60 menit pada temperatur yang sama sehingga semakin lama *holding time tempering*, maka semakin rendah juga nilai kekerasan dari suatu material.



Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Gambar 4.11 menampilkan grafik hasil pengujian kekerasan berdasarkan hasil perlakuan panas pada poros pompa tersebut nilai kekerasan material poros pompa dari yang tertinggi adalah spesimen **H** (532HV), **ht60t535** (363,67HV), **ht120t535** (358,67HV), **ht60t575** (348,33HV), **ht120t575** (331,67HV), **ht60t615** (323,67HV), **ht120t615** (309HV), **TP** (275HV) dan yang terkecil adalah **MG** (170,67HV) dan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama *holding time* pada proses *tempering* mengakibatkan nilai kekerasan material semakin menurun karena semakin banyak ferrit yang terbentuk (Doloksaribu, 2018).

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Distribusi Kekerasan Tiap Spesimen

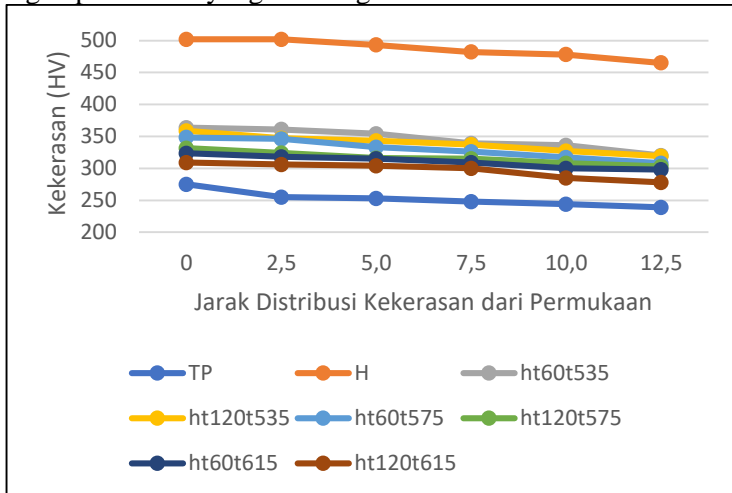
Spesimen \ Jarak dari permukaan (mm)	Distribusi Kekerasan (HV)					
	0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5
TP	275	255	253	248	244	239
H	502	502	493	482	478	465
ht60t535	363,67	361	354	339	336	320
ht120t535	358,67	347	343	337	327	319
ht60t575	348,33	346	333	326	317	308
ht120t575	331,67	324	316	315	308	303
ht60t615	323,67	318	315	309	300	298
ht120t615	309	306	304	300	285	278

Tabel 4.5 menampilkan distribusi kekerasan pada potongan melintang tiap spesimen. Pada material poros pompa tanpa perlakuan memiliki kekerasan di permukaan sebesar 275HV dan di inti sebesar 239HV dengan penurunan kekerasan yang tidak signifikan. Dan pada material poros pompa hasil perlakuan panas *hardening* memiliki kekerasan di permukaan sebesar 502HV dan di inti sebesar 465HV dengan penurunan yang tidak signifikan.

Pada material poros pompa hasil perlakuan panas *tempering* dengan *holding time* 60 menit. Pada temperatur 535°C memiliki kekerasan sebesar pada permukaan sebesar 363,67HV dan di inti sebesar 320HV dengan penurunan yang tidak signifikan. Pada temperatur 575°C, memiliki kekerasan sebesar pada permukaan sebesar 348,33HV dan di inti sebesar 308HV dengan penurunan yang tidak signifikan. Pada temperatur 615°C, memiliki kekerasan sebesar pada permukaan sebesar 323,67HV dan di inti sebesar 298HV dengan penurunan yang tidak signifikan.

Pada material poros pompa hasil perlakuan panas *tempering* dengan *holding time* 120 menit. Pada temperatur 535°C memiliki kekerasan sebesar pada permukaan sebesar 358,67HV dan di inti sebesar 319HV dengan penurunan yang tidak signifikan. Pada

temperatur 575°C, memiliki kekerasan sebesar pada permukaan sebesar 331,67HV dan di inti sebesar 303HV dengan penurunan yang tidak signifikan. Pada temperatur 615°C, memiliki kekerasan sebesar pada permukaan sebesar 309HV dan di inti sebesar 278HV dengan penurunan yang tidak signifikan.



Gambar 4.12 Grafik Distribusi Kekerasan pada Tiap Spesimen

Gambar 4.12 menunjukkan grafik distribusi kekerasan pada setiap spesimen dimana mengalami penurunan kekerasan yang tidak signifikan dari permukaan hingga ke inti pada setiap spesimen sehingga material poros pompa memiliki sifat hardenabiliti yang baik. Sifat hardenabiliti material poros pompa dipengaruhi karena adanya unsur paduan yang terkandung pada material sehingga meningkatkan sifat hardenabilitinya.

4.5 Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan *pin on disc* dilakukan berdasarkan standar ASTM G99 dengan spesimen sebagai pin, pembebanan 2 kg, 1000 putaran, jarak peletakan pin dari sumbu *disc* sebesar 3,5 cm dan tapak *disc* berupa kertas *abrasive* dengan grade 80.

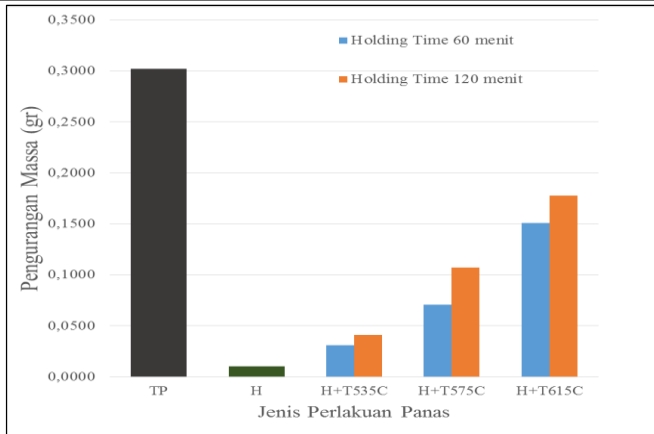
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Keausan

Spesimen	Massa (gram)		Pengurangan Massa (gram)
	Sebelum Pengujian	Setelah Pengujian	
TP	68,9220	68,6198	0,3022
H	67,4187	67,4083	0,0104
ht60t535	68,6953	68,6646	0,0307
ht120t535	68,4740	68,4330	0,0410
ht60t575	68,6116	68,5409	0,0707
ht120t575	68,6210	68,5140	0,1070
ht60t615	68,6988	68,5478	0,1510
ht120t615	68,8769	68,6990	0,1779

Tabel 4.6 menampilkan hasil pengujian keausan pada material poros pompa. Pada material poros pompa tanpa perlakuan mengalami pengurangan massa sebesar 0,3022gr dan pada material poros pompa hasil perlakuan panas *hardening* mengalami pengurangan massa sebesar 0,0104gr.

Pada material poros pompa hasil perlakuan panas *tempering* dengan *holding time* 60 menit, Pada temperatur 535°C mengalami pengurangan massa sebesar 0,0307gr , pada temperatur 575°C mengalami pengurangan massa sebesar 0,0707gr, pada temperatur 615°C mengalami pengurangan massa sebesar 0,1510gr.

Pada material poros pompa hasil perlakuan panas *tempering* dengan *holding time* 120 menit, Pada temperatur 535°C mengalami pengurangan massa sebesar 0,0410gr, pada temperatur 575°C mengalami pengurangan massa sebesar 0,1070gr, pada temperatur 615°C mengalami pengurangan massa sebesar 0,1779gr.



Gambar 4.13 Grafik Hasil Pengujian Keausan

Gambar 4.13 menampilkan grafik hasil pengujian keausan dimana menunjukkan bahwa urutan spesimen dari yang paling tahan aus adalah **H**, **ht60t535**, **ht120t535**, **ht60t575**, **ht120t575**, **ht60t615**, **ht120t615** dan yang terakhir adalah **TP**. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama *holding time* pada proses *tempering* mengakibatkan sifat tahan aus material semakin menurun. Menurut Surahman (2014) terdapat hubungan antara tingkat kekerasan dengan keausan, dimana kekerasan merupakan sifat yang paling penting untuk meningkatkan kemampuan material terhadap ketahanan aus dikarenakan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit media abrasif untuk melakukan penetrasi dan menggores material tersebut (semakin tahan aus).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin lama *holding time tempering* yang diterapkan pada proses perlakuan panas *tempering*, baja AISI 4340 mengalami penurunan kekerasan dan ketahanan aus. Secara berurutan, kekerasan dan ketahanan aus spesimen hasil *tempering* dari yang tertinggi adalah ht60t535, ht120t535, ht60t575, ht120t575, ht60t615 dan ht120t615.
2. Semakin tinggi temperatur *tempering* yang diterapkan pada proses perlakuan panas *tempering*, baja AISI 4340 mengalami penurunan kekerasan dan ketahanan aus. Secara berurutan, kekerasan dan ketahanan aus spesimen hasil *tempering* dari yang tertinggi adalah ht60t535, ht120t535, ht60t575, ht120t575, ht60t615 dan ht120t615.

5.2 Saran

1. Pada saat membeli material pengganti sebaiknya disertai dengan sertifikat komposisi dan sifat mekanik yang sesuai dengan standart.
2. Sebaiknya dilakukan *Non Destructive Test* berkala pada komponen poros pompa.
3. Proses perlakuan panas sebaiknya menggunakan *furnace* dengan akurasi temperatur yang baik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander dkk, Sriatie Djaprie, 1990. **Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan**. Jakarta: Gramedia.
- ASM Handbook Volume 4, **Heat Treatment**. 1991. USA: ASM International.
- ASM Handbook Volume 9, **Metallography and Microstructure**. USA: ASM International.
- ASTM A29, 2015. **Standard Specification for General Requirements for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought**. USA: ASTM International.
- ASTM E3-11, 2017. **Standard Guide for Preparation of Metallographic**. USA: ASTM International.
- ASTM E92, 2017. **Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials**. USA: ASTM International.
- ASTM E407, 2011. **Standard Practice for Microetching Metals and Alloys**. USA: ASTM International.
- ASTM G99-03. 2003, **Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus**. USA: ASTM International.
- ASSAB 705 Handbook, 2018. **Assab Technical Data Sheet** Swedia: ASSAB UDDEHOLM.
- Avner, Sidney H. 1974. **Introduction to Physical Metallurgy**. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Azizi, Junda. 2018. "Analisa Pengaruh Variasi Temperatur dan Holding Time Tempering Terhadap Kekerasan Baja ASSAB 705 yang di-Hardening untuk Aplikasi Poros Pompa Multistage". Surabaya: **Jurnal POMITS ITS**. Jurusan Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bramfit, Bruce dan Arlan O. Benson. 2002. **Metallographer's Guide Practice and Procedure for Iron and Steels**. ASM International.
- Brunhuber, Ernst. 1988. **Giesserei Lexikon**. Berlin: Fachverlag Schiele & 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.
- Clark, Donald S, Varney, Willbur R; 1962. **Physical Metallurgy for Engineers, Second Edition**, Brooks/Cole Engineering, Monterey, California.
- Daryus, Asyari. 2008. **Diktat Proses Produksi**. Jakarta: Universitas Darma Persada.
- Dieter, G., 1987.**Mechanical Metallurgy, 3rd Ed.**, McGraw-Hill Book Co.
- Dietzel, Fritz, 1996, **Turbin, Pompa dan Kompresor**, Erlangga, Jakarta.
- 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: **Jurnal Metal Indonesia**.
- Gurumurthy,dkk. 2017. “Mechanical Characteristics Evaluation of Conventional and Special Hardening Treatments on AISI 4340 Steel”. **International Journal of Mechanical And Production Engineering**, ISSN: 2320-2092 vol.5.
- Handoyo, Yopi. 2015. “Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Crankshaft”. Bekasi : **Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 3**, No.2 Agustus 2015 Universitas Islam 45 Bekasi
- Huang, Hong-Hsin., Hung-Peng Chang,dkk.. 2006. “Influence of annealing temperature on the grain growth of amarium-doped ceria”. **Journal of Crystal Growth** :287 458–462
- Hou, J. et al., 2011. Effect of Cold Working Path on Strain Concentration, Grain Boundary Microstructure, and Stress Corrosion Cracking in Alloy 600. **Journal Elviesier. Volume 53**, pp. 2956-2962.
-

-
- Lu, Z. et al., 2008. The Dependency of The Crack Growth Rate on The Loading Pattern and Temperature in Stress Corrosion Cracking of Strain-Hardened 316L Stainless Steel in Simulated BWR Environment. **Journal Elsevier, Volume 50**, pp. 698-712.
- Kandpal, B.C; Agnay Chutani, dkk. 2011. A Review on Jominy Test and Determination of Effect of Alloying Elements on Hardenability of Steel Using Jominy End Quench Test. **International Journal of Advances in Engineering & Technology**. ISSN: 2231-1963
- Kang, lee. dan Seok-Jae Lee. 2014. Prediction of Tempered Martensite Hardness Incorporating the Composition-Dependent Tempering Parameter in Low Alloy Steels. **Jurnal Materials Transactions, Vol. 55, No. 7 pp. 1069 to 1072**. The Japan Institute of Metals and Materials
- Muniz, Marlon, dkk. 2018. Analysis of Quenching Parameters in AISI 4340 Steel by Using Design of Experiments. **Journal Materials Research. 2019;22**. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2018-0315>
- Sharma, Sasthyashankara, dkk. 2018. Mechanical characteristics evaluation of dual phase and related hardening techniques on AISI 4340 steel. **Journal of Mechanical Engineering and Sciences** : ISSN (Print): 2289-4659. DOI: <https://doi.org/10.15282/jmes.12.4.2018.03.0349>
- Suherman, Wahid. 1999. **Ilmu Logam II**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suherman, Wahid. 2001. **Perlakuan Panas**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Surahman. 2014. Pengaruh Suhu Temper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketahanan Aus Baja Karbon Hq 709. **Jurnal Ilmiah Teknik Mesin UNS Vol.3 No.1**
- Suroto, A. dan Sudiby, B; 1983. **Ilmu Logam Metallurgy**. ATMI Michael College. Solo: ATMI PRESS.
- Syahri, Budi. 2017. Analisis Kekerasan Baja Assab 705 yang Diberi Perlakuan Panas Hardening dan Media Pendingin.
-


-
- Padang. **Jurnal INVOTEK UNP** : Universitas Negeri Padang.
- Thelning, Karl-Erik. 1984. **Steel and Its Heat Treatment**. Delhi: Replika Press Pvt Ltd.
- Yani, Rina Dwi; Tri Pratomo, dan Hendro Cahyono. 2008. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Logam ST 60. Surakarta. **Jurnal PKP UMY**: Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Yulianto, Ari. 2015. Studi Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Baja ASSAB 705M yang Digunakan pada Komponen Stud Pin Winder. Surakarta. **Jurnal EPRINTS UMY**: Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

LAMPIRAN

1. Hasil Uji Komposisi Material Rusak



PT. LOGAMINDO SARIMULIA
IRON AND STEEL FOUNDRY
Telp : (62-31) 8544540 - 41 Fax : (62-31) 8544542
E-mail : Lisafoundry@gmail.com
www.logamindosarimulia.com



Method: Fe-10-F IARM 200C
Comment: Low alloy Steel
Sample Name: ASSAB
Quality: Element concentration

10/11/2018 3:03:40 PM


	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.416	0.275	0.951	0.0322	0.0343	0.0059	< 0.0020	0.0034
2	0.400	0.272	0.936	0.0309	0.0321	0.0057	< 0.0020	0.0039
3	0.398	0.273	0.932	0.0315	0.0296	0.0050	< 0.0020	0.0035
< x > (3)	0.405	0.273	0.940	0.0315	0.0320	0.0056	< 0.0020	0.0036
sd	0.0096	0.0014	0.0103	0.00065	0.0023	0.00047	0.00000	0.00024
rsd	2.4	0.5	1.1	2.1	7.3	8.4	0.0	6.8

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0700	< 0.0015	0.0031	< 0.0010	0.0017	0.00072	< 0.0100	< 0.0030
2	0.0700	0.0016	0.0031	< 0.0010	0.0016	0.00092	< 0.0100	< 0.0030
3	0.0700	0.0018	0.0032	< 0.0010	0.0018	0.00068	< 0.0100	< 0.0030
< x > (3)	0.0700	0.0016	0.0031	< 0.0010	0.0017	0.00077	< 0.0100	< 0.0030
sd	0.00003	0.00015	0.00005	0.00000	0.00008	0.00013	0.00000	0.00000
rsd	0.0	8.9	1.6	0.0	4.6	17.1	0.0	0.0


	Sn	As	Zr	Bi	Ca	Ce	B	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0023	0.0093	< 0.0015	< 0.0040	0.00062	< 0.0030	0.00047	< 0.0020
2	0.0022	0.0104	< 0.0015	< 0.0040	0.00037	< 0.0030	0.00048	< 0.0020
3	0.0020	0.0097	< 0.0015	< 0.0040	0.00066	< 0.0030	0.00053	< 0.0020
< x > (3)	0.0022	0.0098	< 0.0015	< 0.0040	0.00055	< 0.0030	0.00049	< 0.0020
sd	0.00000	0.00053	0.00000	0.00000	0.00016	0.00000	0.00003	0.00000
rsd	7.8	5.4	0.0	0.0	26.2	0.0	5.8	0.0

	La	Fe	Sb	Te				
	%	%	%	%				
1	< 0.0010	98.2	< 0.0010	0.0014				
2	< 0.0010	98.2	< 0.0010	0.0021				
3	< 0.0010	98.2	< 0.0010	0.0021				
< x > (3)	< 0.0010	98.2	< 0.0010	0.0019				
sd	0.00000	0.0231	0.00000	0.00040				
rsd	0.0	0.0	0.0	21.1				


Tanda tangan



2. Hasil Uji Komposisi Material Pengganti AISI 4340



PT. LOGAMINDO SARIMULIA
IRON AND STEEL FOUNDRY
Telp : (62-31) 8544540 - 41 Fax : (62-31) 8544542
E-mail : Lisafoundry@gmail.com
www.logamindosarimulia.com



1/17/2019 11:04:15 AM

Method: Fe-10-F IARM 200C
Comment: Low alloy Steel
Element concentration

Sample Name: AISI 4340
Quality:


	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.362	0.251	0.566	0.0121	0.0084	1.48	0.164	1.49
2	0.398	0.256	0.570	0.0128	0.0099	1.48	0.165	1.48
3	0.369	0.253	0.569	0.0128	0.0087	1.49	0.165	1.51
< x > (3)	0.377	0.253	0.568	0.0126	0.0090	1.49	0.164	1.50
sd	0.0193	0.0027	0.0020	0.00038	0.00080	0.0080	0.00060	0.0158
rsd	5.1	1.0	0.3	3.0	8.8	0.5	0.4	1.1

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0387	0.0138	0.170	< 0.0010	0.0030	0.0069	< 0.0100	< 0.0030
2	0.0398	0.0136	0.171	< 0.0010	0.0030	0.0068	< 0.0100	< 0.0030
3	0.0382	0.0145	0.171	< 0.0010	0.0029	0.0067	< 0.0100	< 0.0030
< x > (3)	0.0389	0.0140	0.171	< 0.0010	0.0030	0.0068	< 0.0100	< 0.0030
sd	0.00080	0.00048	0.00078	0.00000	0.00007	0.00008	0.00000	0.00000
rsd	2.1	3.4	0.5	0.0	2.5	1.1	0.0	0.0

	Sn	As	Zr	Bi	Ca	Ce	B	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0136	0.0134	< 0.0015	< 0.0040	0.0012	< 0.0030	< 0.00020	< 0.0020
2	0.0147	0.0164	< 0.0015	< 0.0040	0.0022	< 0.0030	< 0.00020	< 0.0020
3	0.0144	0.0153	< 0.0015	< 0.0040	0.0011	< 0.0030	0.00032	< 0.0020
< x > (3)	0.0142	0.0150	< 0.0015	< 0.0040	0.0015	< 0.0030	0.00024	< 0.0020
sd	0.00057	0.0015	0.00000	0.00000	0.00060	0.00000	0.00007	0.00000
rsd	4.0	9.8	0.0	0.0	39.8	0.0	29.4	0.0

	La	Fe	Sb	Te				
	%	%	%	%				
1	< 0.0010	95.4	0.0014	0.0026				
2	< 0.0010	95.3	< 0.0010	0.0022				
3	< 0.0010	95.3	< 0.0010	0.0030				
< x > (3)	< 0.0010	95.3	0.0011	0.0026				
sd	0.00000	0.0309	0.00025	0.00041				
rsd	0.0	0.0	21.8	15.6				

Tanda tangan



3. Standard ASSAB 705

GENERAL

ASSAB 705 is machinery steel with unique machinability. ASSAB 705 is supplied as quenched and tempered that enhances hardness and toughness distribution.

Typical analysis %	C	Mn	Cr	Ni	Mo
	0.40	0.70	0.80	1.80	0.25
Reference standard	AISI 4340, DIN 34CrNiMo6, W.nr. 1.6582, BS EN24, AFNOR 35NCD6, JIS SNCM 439				
Delivery condition	Quenched and tempered to 293-352HB				

APPLICATIONS

ASSAB 705 is an alloyed machinery steel with good hardenability also in large cross sections. It combines high strength with best toughness.

ASSAB 705 is intended for use in the as-delivered condition, requiring no further heat treatment. However, it can be oil, water or polymer hardened to higher hardness and higher mechanical properties if required. ASSAB 705 is suitable for induction hardening and can also be nitrided or nitrotrided to a surface hardness of 600-650 Vickers.

ASSAB 705 is not suitable for welding but can be repair welded when certain precautions are taken.

Typical applications include high strength machine parts, spindles, high strength bolts and studs, gears, axle shaft, crankshafts, connecting rods, arbors etc.

PROPERTIES

MECHANICAL DATA

QUENCHED AND TEMPERED

Mechanical Properties	Typical values under supplied condition
Yield strength, Rp 0.2, N/mm ²	≥ 850
Tensile strength, N/mm ²	≥ 980
Elongation, A _g , %	≥ 14
Reduction of area, Z, %	≥ 45
Impact strength (Charpy-V at ~23°C), J/cm ²	≥ 55



Componeres (main shafts) for palm oil extract



Car components

HEAT TREATMENT

Heat treatment for pre-hardened condition:

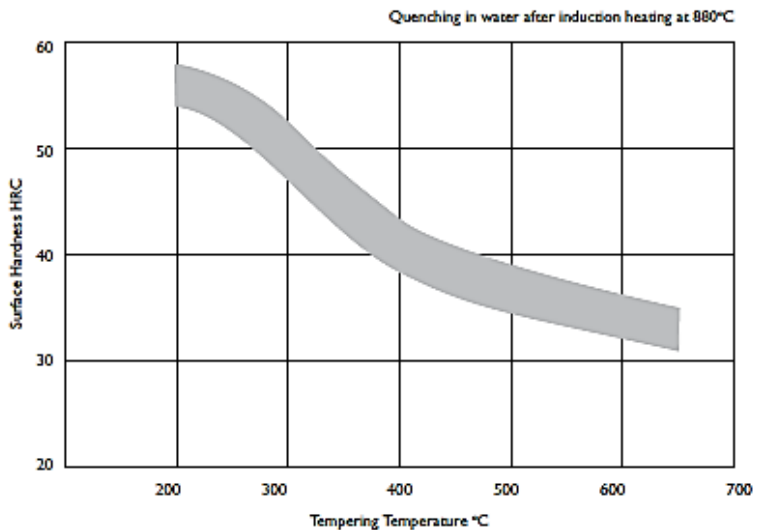
Hardened at 880-935°C

Tempered at 600-670°C


Quench media 100% water

ASSAB 705 can be re-hardened by oil, polymer or water to higher hardness. The following tempering diagram is achieved by induction heating followed by water quenching process.

Tempering diagram



4. ASTM A29



A29/A29M - 15

TABLE 2 Grade Designations and Chemical Compositions of Alloy Steel Bars

Nota: 1—Small quantities of certain elements are present in alloy steels, which are not specified or required. These elements are considered as incidental and may be present to the following maximum amounts: copper, 0.35 %; nickel, 0.25 %; chromium, 0.20 % and molybdenum, 0.06 %.

Nota: 2—Where minimum and maximum sulfur content is shown it is indicative of resulfurized steel.

Nota: 3—The chemical ranges and limits shown in Table 2 are produced to product analysis tolerances shown in Table 6.

Nota: 4—Standard alloy steels can be produced with a lead range of 0.15–0.35 %. Such steels are identified by inserting the letter “L” between the second and third numerals of the AISI number, for example, 41 L 40. A cast or heat analysis is not determinable when lead is added to the ladle stream.

Grade Designation	Heat Chemical Ranges and Limits, %							
	Carbon	Manganese	Phosphorus, max	Sulfur, max	Silicon ^a	Nickel	Chromium	Molybdenum
1330	0.29–0.33	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	...
1335	0.33–0.38	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	...
1340	0.39–0.43	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	...
1345	0.43–0.48	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	...
4012	0.09–0.14	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.15–0.25
4023	0.20–0.25	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4024	0.20–0.25	0.70–0.90	0.035	0.035–0.050	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4027	0.25–0.30	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4028	0.25–0.30	0.70–0.90	0.035	0.035–0.050	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4032	0.30–0.35	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4037	0.35–0.40	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4042	0.40–0.45	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4047	0.45–0.50	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4118	0.19–0.23	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.40–0.60	0.08–0.15
4120	0.19–0.23	0.90–1.20	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.40–0.60	0.13–0.20
4121	0.19–0.23	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.45–0.65	0.20–0.30
4130	0.29–0.33	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4135	0.33–0.38	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4137	0.35–0.40	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4140	0.39–0.43	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4142	0.40–0.45	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4145	0.43–0.49	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4147	0.45–0.50	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4150	0.49–0.53	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4161	0.56–0.64	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.70–0.90	0.25–0.35
4320	0.17–0.22	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	0.40–0.60	0.20–0.30
4340	0.39–0.43	0.60–0.80	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
E4340	0.39–0.43	0.65–0.85	0.025	0.025	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
4419	0.19–0.23	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.45–0.60
4422	0.20–0.25	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.35–0.45
4427	0.24–0.29	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.35–0.45
4615	0.13–0.18	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4620	0.17–0.22	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4621	0.19–0.23	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4626	0.24–0.29	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	0.70–1.00	...	0.15–0.25
4715	0.13–0.18	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	0.70–1.00	0.45–0.65	0.45–0.60
4719	0.16–0.21	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	0.90–1.20	0.35–0.55	0.30–0.40
4720	0.17–0.22	0.50–0.70	0.035	0.040	0.15–0.35	0.90–1.20	0.35–0.55	0.15–0.25
4915	0.13–0.18	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
4917	0.15–0.20	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
4920	0.19–0.23	0.50–0.70	0.035	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30

5. Hasil Uji XRD

Tabel ICDD List

Components of microstructures.			TABLE I
Component	Definition	Space group	Identification
ferrite	a solid solution of limited amounts of carbon in iron or iron alloys with a body-centered cubic crystal structure	$Im\bar{3}m$	ICDD/PDF: 00-006-0696
austenite	a solid solution of limited amounts of carbon in iron or iron alloys with a face-centered cubic crystal structure	$Fm\bar{3}m$	ICDD/PDF (depending on composition) 00-033-0397 00-052-0512 04-018-3211
martensite	a supersaturated solid solution of carbon in iron with a body-centered cubic crystal structure or with a body-centered tetragonal structure	$Im\bar{3}m$ or $I4/mmm$	ICDD/PDF: 04-019-3347 (cubic) 00-044-1290 (tetragonal)
bainite	microstructure component consisting of bainitic ferrite and a second component consisting of layers or islands of martensite and austenite in various proportions	–	identification by microscopic observation of microstructure

Baja Hasil Perlakuan Panas *Hardening*

Name and formula

Reference code:	00-044-1290
Compound name:	Carbon Iron
Common name:	martensite
PDF index name:	Carbon Iron
Empirical formula:	$C_{0.05}Fe_{1.95}$
Chemical formula:	$C_{0.055}Fe_{1.946}$

Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	$I4/mmm$
Space group number:	139

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I (%)
1	1	0	1	2,04820	44,183	100,0
2	1	1	0	2,02130	44,803	49,0
3	0	0	2	1,46830	63,285	7,0
4	2	0	0	1,42930	65,222	12,0
5	1	1	2	1,18800	80,842	11,0
6	2	1	1	1,17220	82,164	20,0
7	2	0	2	1,02420	97,545	6,0
8	2	2	0	1,01070	99,307	3,0
9	1	0	3	0,92620	112,543	5,0
10	3	0	1	0,90640	116,390	5,0
11	3	1	0	0,90410	116,861	7,0
12	2	2	2	0,83260	135,389	4,0
13	2	1	3	0,77730	164,610	10,0

Name and formula

Reference code:	00-006-0696
Mineral name:	Iron, syn
Compound name:	Iron
Common name:	ledkunitite
PDF index name:	Iron
Empirical formula:	Fe
Chemical formula:	Fe

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Im-3m
Space group number:	229

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2,02680	44,674	100,0
2	2	0	0	1,43320	65,023	20,0
3	2	1	1	1,17020	82,335	30,0
4	2	2	0	1,01340	98,949	10,0
5	3	1	0	0,90640	116,390	12,0
6	2	2	2	0,82750	137,144	6,0

Name and formula

Reference code:	01-089-2867
Mineral name:	Cohenite, syn
Compound name:	Iron Carbide
ICSD name:	Iron Carbide
Empirical formula:	CFe_3
Chemical formula:	Fe_3C

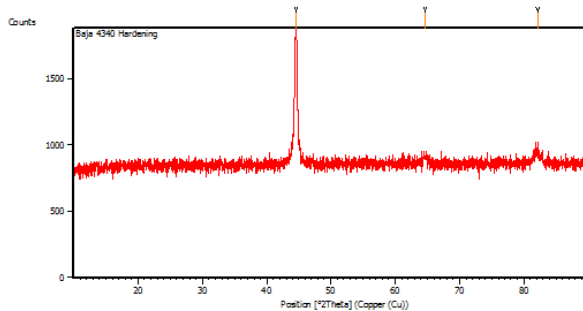
Crystallographic parameters

Crystal system:	Orthorhombic
Space group:	Pnma
Space group number:	62

Peak list

No.	h	k	l	d (Å)	2Theta(deg)	I (%)
1	0	1	1	3,74901	23,714	2,4
2	1	0	1	3,36485	26,468	1,4
3	1	1	1	3,01623	29,593	1,0
4	2	0	0	2,53935	35,317	4,6
5	1	2	1	2,38257	37,726	27,9
6	2	1	0	2,37584	37,837	37,7
7	0	0	2	2,25720	39,908	23,0
8	2	0	1	2,21324	40,735	16,7
9	2	1	1	2,10245	42,985	58,4
10	1	0	2	2,06266	43,857	55,7
11	2	2	0	2,02693	44,671	53,7
12	0	3	1	2,00889	45,095	100,0
13	1	1	2	1,97210	45,984	41,0
14	0	2	2	1,87451	48,527	2,9
15	1	3	1	1,86806	48,705	30,4
16	2	2	1	1,84910	49,238	42,5
17	1	2	2	1,75855	51,957	16,0
18	0	4	0	1,68120	54,540	11,6
19	2	1	2	1,63642	56,162	6,6
20	3	0	1	1,58511	58,151	13,0
21	2	3	1	1,57549	58,540	1,5
22	3	1	1	1,54289	59,902	3,1
23	1	3	2	1,51835	60,972	0,5
24	2	2	2	1,50811	61,430	8,7
25	1	4	1	1,50563	61,543	5,2

26	0	1	3	1,46853	63,274	0,1
27	1	0	3	1,44280	64,538	0,2
28	3	2	1	1,43397	64,984	0,2
29	1	1	3	1,41074	66,190	2,4
30	2	4	0	1,40253	66,627	3,1
31	0	4	2	1,34831	69,683	0,8
32	2	4	1	1,33938	70,216	1,6
33	1	2	3	1,32604	71,028	13,9
34	1	4	2	1,30373	72,434	0,1
35	2	0	3	1,29454	73,031	0,1
36	0	5	1	1,28983	73,341	1,2
37	4	0	0	1,26968	74,701	0,1
38	3	2	2	1,25637	75,630	3,6
39	1	5	1	1,25015	76,073	1,4
40	4	1	0	1,24766	76,252	0,8
41	4	0	1	1,22225	78,134	10,9
42	1	3	3	1,21347	78,809	12,4
43	4	1	1	1,20258	79,664	1,2
44	2	4	2	1,19129	80,573	1,1
45	2	5	0	1,18922	80,742	4,7
46	3	3	2	1,15940	83,272	12,9
47	3	4	1	1,15371	83,775	0,9
48	2	5	1	1,14999	84,108	9,0
49	1	5	2	1,12719	86,217	6,0
50	3	0	3	1,12470	86,455	10,4
51	0	6	0	1,12162	86,751	8,0
52	3	1	3	1,10932	87,957	1,9
53	4	0	2	1,10662	88,227	1,7
54	4	3	0	1,10496	88,394	8,8
55	1	0	4	1,10172	88,722	6,9
56	1	4	3	1,09522	89,389	2,7
57	4	1	2	1,09195	89,729	1,4



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.5569	971.74	0.2676	2.03355	100.00
64.5736	58.47	0.5353	1.44328	6.02
82.0856	88.73	0.8028	1.17410	9.13

Perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa

$$\text{FWHM } (2\theta) = 0,2676$$

$$\text{Position } (2\theta) = 44,5569$$

$$\theta = 22,27845$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\begin{aligned} \beta_{(2\theta)} &= \text{FWHM} \times \frac{\pi}{180} \\ &= 0,2676 \times \frac{\pi}{180} \\ &= 0,004668133 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\beta(2\theta)}{4} \times \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \\ &= \frac{0,004668133}{4} \times \frac{\cos 22,27845}{\sin 22,27845} \\ &= 0,00284888 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan} &= E \times \varepsilon \\ &= 200000 \times 0,00284888 \\ &= 584,02 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Baja Hasil Perlakuan Panas *Tempering* Temperatur 535°C
Holding Time 1 jam

Name and formula

Reference code:	00-006-0696
Mineral name:	Iron, syn
Compound name:	Iron
Common name:	ledkunita
PDF index name:	Iron
Empirical formula:	Fe
Chemical formula:	Fe

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Im-3m
Space group number:	229

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2,02680	44,674	100,0
2	2	0	0	1,43320	65,023	20,0
3	2	1	1	1,17020	82,335	30,0
4	2	2	0	1,01340	98,949	10,0
5	3	1	0	0,90640	116,390	12,0
6	2	2	2	0,82750	137,144	6,0

Reference code:	01-071-1174
Compound name:	Iron Carbide
ICSD name:	Iron Carbide
Empirical formula:	CFe ₃
Chemical formula:	Fe ₃ C

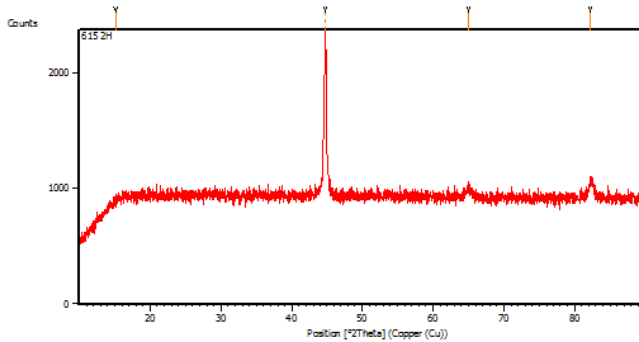
Crystallographic parameters

Crystal system:	Orthorhombic
Space group:	Pmna
Space group number:	53

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta(deg)	I (%)
1	0	0	2	18,33600	4,815	0,1
2	0	0	4	9,16800	9,639	0,1
3	0	0	6	6,11200	14,481	0,1
4	0	0	8	4,58400	19,348	0,1
5	1	0	1	3,98526	22,289	0,1
6	0	1	3	3,80937	23,333	0,1
7	0	1	4	3,66720	24,251	0,1
8	1	0	5	3,51778	25,297	0,1
9	0	1	7	3,18375	28,003	0,1
10	1	0	9	2,85772	31,275	0,1
11	1	1	2	2,80151	31,919	0,1
12	1	1	4	2,70828	33,049	0,1
13	1	1	5	2,64416	33,874	0,1
14	0	0	14	2,61943	34,204	0,1
15	0	1	11	2,56331	34,976	0,1
16	0	1	13	2,30703	39,010	0,1
17	0	0	16	2,29200	39,277	0,1
18	1	1	10	2,24282	40,175	0,1
19	1	1	12	2,07831	43,510	100,0
20	2	0	0	2,00450	45,199	48,5
21	1	1	13	1,99958	45,316	26,7
22	2	0	6	1,90468	47,710	0,1
23	0	1	17	1,89963	47,845	0,1
24	0	2	8	1,83658	49,596	0,1
25	0	0	20	1,83360	49,682	0,1

27	1	2	2	1,78437	51,150	0,1
28	2	1	3	1,77390	51,474	0,1
29	0	2	10	1,75889	51,946	0,1
30	1	2	5	1,74160	52,501	0,1
31	1	0	19	1,73905	52,584	0,1
32	2	1	7	1,69629	54,015	0,1
33	0	2	12	1,67611	54,720	0,1
34	0	1	20	1,66691	55,047	0,1
35	1	1	18	1,65439	55,499	0,1
36	1	2	9	1,64105	55,990	0,1
37	0	1	21	1,60099	57,520	0,1
38	1	1	19	1,59541	57,740	0,1
39	2	0	14	1,59188	57,880	0,1
40	2	1	11	1,57902	58,397	0,1
41	0	0	24	1,52800	60,546	7,7
42	2	2	0	1,41740	65,839	10,9
43	2	2	2	1,41318	66,061	5,8
44	2	2	8	1,35414	69,340	0,1
45	3	0	1	1,33545	70,453	0,1
46	0	3	2	1,33280	70,614	0,1
47	0	3	3	1,32842	70,882	0,1
48	0	3	4	1,32208	71,273	0,1
49	1	2	19	1,31359	71,805	0,1
50	0	0	28	1,30971	72,051	0,1
51	0	3	7	1,29487	73,009	0,1
52	0	1	27	1,28640	73,568	0,1
53	0	3	8	1,28293	73,800	0,1
54	2	0	22	1,28166	73,886	0,1
55	3	0	9	1,26979	74,693	0,1
56	3	1	2	1,26474	75,043	0,1
57	1	1	26	1,26279	75,179	0,1
58	3	1	3	1,26099	75,305	0,1
59	1	3	4	1,25581	75,670	0,1
60	2	1	21	1,25096	76,015	0,1
61	0	2	24	1,21520	78,675	10,4
62	3	1	12	1,17099	82,268	15,9
63	1	2	25	1,13531	85,452	0,1
64	1	1	30	1,12249	86,667	0,1
65	3	2	1	1,11139	87,751	0,1
66	1	2	26	1,10854	88,035	0,1
67	2	3	3	1,10732	88,157	0,1
68	3	2	5	1,09934	88,965	0,1
69	0	2	28	1,09642	89,265	0,1



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
15.0596	41.89	0.8029	5.88312	3.00
44.6887	1397.07	0.1836	2.02619	100.00
44.7842	1383.94	0.1020	2.02711	99.06
64.9997	80.97	0.6528	1.43366	5.80
82.2239	168.51	0.2448	1.17150	12.06

Perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa

$$\text{FWHM } (2\theta) = 0,1836$$

$$\text{Position } (2\theta) = 44,6887$$

$$\theta = 22,34435$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\beta_{(2\theta)} = \text{FWHM} \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 0,1836 \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 0,0032028$$

$$\varepsilon = \frac{\beta_{(2\theta)}}{4} \times \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

$$= \frac{0,001948022}{4} \times \frac{\cos 22,34435}{\sin 22,34435}$$

$$= 0,001948022$$

$$\text{Tegangan} = E \times \varepsilon$$

$$= 200000 \times 0,001948022$$

$$= 399,34 \text{ Mpa}$$

Baja Hasil Perlakuan Panas *Tempering* Temperatur 575°C
Holding Time 1 jam

Name and formula

Reference code:	00-006-0696
Mineral name:	Iron, syn
Compound name:	Iron
Common name:	ledkunitite
PDF index name:	Iron
Empirical formula:	Fe
Chemical formula:	Fe

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Im-3m
Space group number:	229

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2,02680	44,674	100,0
2	2	0	0	1,43320	65,023	20,0
3	2	1	1	1,17020	82,335	30,0
4	2	2	0	1,01340	98,949	10,0
5	3	1	0	0,90640	116,390	12,0
6	2	2	2	0,82750	137,144	6,0

Name and formula

Reference code: 01-071-1174
 Compound name: Iron Carbide
 ICSD name: Iron Carbide
 Empirical formula: CFe_3
 Chemical formula: Fe_3C

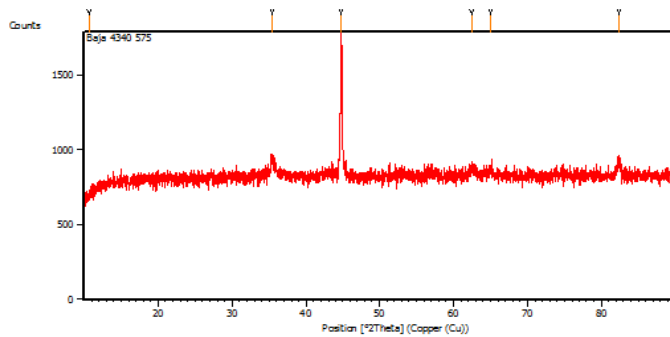
Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
 Space group: Pmna
 Space group number: 53

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I (%)
1	0	0	2	18,33600	4,815	0,1
2	0	0	4	9,16800	9,639	0,1
3	0	0	6	6,11200	14,481	0,1
4	0	0	8	4,58400	19,348	0,1
5	1	0	1	3,98526	22,289	0,1
6	0	1	3	3,80937	23,333	0,1
7	0	1	4	3,66720	24,251	0,1
8	1	0	5	3,51778	25,297	0,1
9	0	1	7	3,18375	28,003	0,1
10	1	0	9	2,85772	31,275	0,1
11	1	1	2	2,80151	31,919	0,1
12	1	1	4	2,70828	33,049	0,1
13	1	1	5	2,64416	33,874	0,1
14	0	0	14	2,61943	34,204	0,1
15	0	1	11	2,56331	34,976	0,1
16	0	1	13	2,30703	39,010	0,1
17	0	0	16	2,29200	39,277	0,1
18	1	1	10	2,24282	40,175	0,1
19	1	1	12	2,07831	43,510	100,0
20	2	0	0	2,00450	45,199	48,5
21	1	1	13	1,99958	45,316	26,7
22	2	0	6	1,90468	47,710	0,1
23	0	1	17	1,89963	47,845	0,1
24	0	2	8	1,83658	49,596	0,1
25	0	0	20	1,83360	49,682	0,1
26	1	2	1	1,79074	50,955	0,1
27	1	2	2	1,78437	51,150	0,1
28	2	1	3	1,77390	51,474	0,1

30	1	2	5	1,74160	52,501	0,1
31	1	0	19	1,73905	52,584	0,1
32	2	1	7	1,69629	54,015	0,1
33	0	2	12	1,67611	54,720	0,1
34	0	1	20	1,66691	55,047	0,1
35	1	1	18	1,65439	55,499	0,1
36	1	2	9	1,64105	55,990	0,1
37	0	1	21	1,60099	57,520	0,1
38	1	1	19	1,59541	57,740	0,1
39	2	0	14	1,59188	57,880	0,1
40	2	1	11	1,57902	58,397	0,1
41	0	0	24	1,52800	60,546	7,7
42	2	2	0	1,41740	65,839	10,9
43	2	2	2	1,41318	66,061	5,8
44	2	2	8	1,35414	69,340	0,1
45	3	0	1	1,33545	70,453	0,1
46	0	3	2	1,33280	70,614	0,1
47	0	3	3	1,32842	70,882	0,1
48	0	3	4	1,32208	71,273	0,1
49	1	2	19	1,31359	71,805	0,1
50	0	0	28	1,30971	72,051	0,1
51	0	3	7	1,29487	73,009	0,1
52	0	1	27	1,28640	73,568	0,1
53	0	3	8	1,28293	73,800	0,1
54	2	0	22	1,28166	73,886	0,1
55	3	0	9	1,26979	74,693	0,1
56	3	1	2	1,26474	75,043	0,1
57	1	1	26	1,26279	75,179	0,1
58	3	1	3	1,26099	75,305	0,1
59	1	3	4	1,25581	75,670	0,1
60	2	1	21	1,25096	76,015	0,1
61	0	2	24	1,21520	78,675	10,4
62	3	1	12	1,17099	82,268	15,9
63	1	2	25	1,13531	85,452	0,1
64	1	1	30	1,12249	86,667	0,1
65	3	2	1	1,11139	87,751	0,1
66	1	2	26	1,10854	88,035	0,1
67	2	3	3	1,10732	88,157	0,1
68	3	2	5	1,09934	88,965	0,1
69	0	2	28	1,09642	89,265	0,1



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.5989	6.64	0.8029	8.34700	0.73
35.4458	106.58	0.3346	2.53253	11.70
44.7476	911.12	0.1171	2.02533	100.00
62.4157	47.74	0.6691	1.48788	5.24
65.0350	45.17	0.4015	1.43415	4.96
82.2846	118.56	0.2676	1.17176	13.01

Perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa

FWHM (2θ)

$$= 0,1171$$

Position (2θ)

$$= 44,7476$$

θ

$$= 22,3738$$

E

$$= 200 \text{ GPa}$$

β(2θ)

$$= \text{FWHM} \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 0,1171 \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 0,002042744$$

ε

$$= \frac{\beta(2\theta)}{4} \times \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

$$= \frac{0,002042744}{4} \times \frac{\cos 22,3738}{\sin 22,3738}$$

$$= 0,001240627$$

Tegangan

$$= E \times \varepsilon$$

$$= 200000 \times 0,001240627$$

$$= 254,33 \text{ Mpa}$$

Baja Hasil Perlakuan Panas *Tempering* Temperatur 615°C
Holding Time 2 jam

Name and formula

Reference code:	00-006-0696
Mineral name:	Iron, syn
Compound name:	Iron
Common name:	ledkunitite
PDF index name:	Iron
Empirical formula:	Fe
Chemical formula:	Fe

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Im-3m
Space group number:	229

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta(deg)	I (%)
1	1	1	0	2,02680	44,674	100,0
2	2	0	0	1,43320	65,023	20,0
3	2	1	1	1,17020	82,335	30,0
4	2	2	0	1,01340	98,949	10,0
5	3	1	0	0,90640	116,390	12,0
6	2	2	2	0,82750	137,144	6,0

Name and formula

Reference code:	01-071-1174
Compound name:	Iron Carbide
ICSD name:	Iron Carbide
Empirical formula:	CFe_3
Chemical formula:	Fe_3C

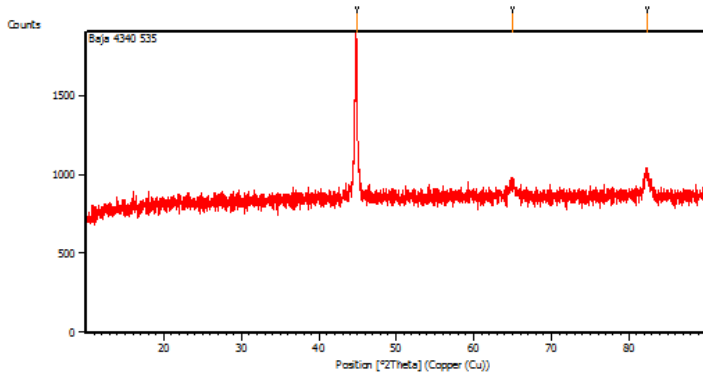
Crystallographic parameters

Crystal system:	Orthorhombic
Space group:	Pmna
Space group number:	53

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta(deg)	I (%)
1	0	0	2	18,33600	4,815	0,1
2	0	0	4	9,16800	9,639	0,1
3	0	0	6	6,11200	14,481	0,1
4	0	0	8	4,58400	19,348	0,1
5	1	0	1	3,98526	22,289	0,1
6	0	1	3	3,80937	23,333	0,1
7	0	1	4	3,66720	24,251	0,1
8	1	0	5	3,51778	25,297	0,1
9	0	1	7	3,18375	28,003	0,1
10	1	0	9	2,85772	31,275	0,1
11	1	1	2	2,80151	31,919	0,1
12	1	1	4	2,70828	33,049	0,1
13	1	1	5	2,64416	33,874	0,1
14	0	0	14	2,61943	34,204	0,1
15	0	1	11	2,56331	34,976	0,1
16	0	1	13	2,30703	39,010	0,1
17	0	0	16	2,29200	39,277	0,1
18	1	1	10	2,24282	40,175	0,1
19	1	1	12	2,07831	43,510	100,0
20	2	0	0	2,00450	45,199	48,5
21	1	1	13	1,99958	45,316	26,7
22	2	0	6	1,90468	47,710	0,1
23	0	1	17	1,89963	47,845	0,1
24	0	2	8	1,83658	49,596	0,1
25	0	0	20	1,83360	49,682	0,1
26	1	2	1	1,79074	50,955	0,1
27	1	2	2	1,78437	51,150	0,1
28	2	1	3	1,77390	51,474	0,1

29	0	2	10	1,75889	51,946	0,1
30	1	2	5	1,74160	52,501	0,1
31	1	0	19	1,73905	52,584	0,1
32	2	1	7	1,69629	54,015	0,1
33	0	2	12	1,67611	54,720	0,1
34	0	1	20	1,66691	55,047	0,1
35	1	1	18	1,65439	55,499	0,1
36	1	2	9	1,64105	55,990	0,1
37	0	1	21	1,60099	57,520	0,1
38	1	1	19	1,59541	57,740	0,1
39	2	0	14	1,59188	57,880	0,1
40	2	1	11	1,57902	58,397	0,1
41	0	0	24	1,52800	60,546	7,7
42	2	2	0	1,41740	65,839	10,9
43	2	2	2	1,41318	66,061	5,8
44	2	2	8	1,35414	69,340	0,1
45	3	0	1	1,33545	70,453	0,1
46	0	3	2	1,33280	70,614	0,1
47	0	3	3	1,32842	70,882	0,1
48	0	3	4	1,32208	71,273	0,1
49	1	2	19	1,31359	71,805	0,1
50	0	0	28	1,30971	72,051	0,1
51	0	3	7	1,29487	73,009	0,1
52	0	1	27	1,28640	73,568	0,1
53	0	3	8	1,28293	73,800	0,1
54	2	0	22	1,28166	73,886	0,1
55	3	0	9	1,26979	74,693	0,1
56	3	1	2	1,26474	75,043	0,1
57	1	1	26	1,26279	75,179	0,1
58	3	1	3	1,26099	75,305	0,1
59	1	3	4	1,25581	75,670	0,1
60	2	1	21	1,25096	76,015	0,1
61	0	2	24	1,21520	78,675	10,4
62	3	1	12	1,17099	82,268	15,9
63	1	2	25	1,13531	85,452	0,1
64	1	1	30	1,12249	86,667	0,1
65	3	2	1	1,11139	87,751	0,1
66	1	2	26	1,10854	88,035	0,1
67	2	3	3	1,10732	88,157	0,1
68	3	2	5	1,09934	88,965	0,1
69	0	2	28	1,09642	89,265	0,1



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.8121	1007.70	0.1004	2.02257	100.00
65.0372	72.47	0.6691	1.43411	7.19
82.2959	153.39	0.6691	1.17163	15.42

Perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa

$$\text{FWHM } (2\theta) = 0,1004$$

$$\text{Position } (2\theta) = 44,8121$$

$$\theta = 22,40605$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\beta_{(2\theta)} = \text{FWHM} \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 0,1004 \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 0,001751422$$

$$\varepsilon = \frac{\beta(2\theta)}{4} \times \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

$$= \frac{0,001751422}{4} \times \frac{\cos 22,40605}{\sin 22,40605}$$

$$= 0,001061999$$

$$\text{Tegangan} = E \times \varepsilon$$

$$= 200000 \times 0,001061999$$

$$= 212,40 \text{ Mpa}$$

6. Perhitungan Kekerasan Hasil *Tempering* dengan Metode Kang dan Lee

Tabel Parameter k untuk baja paduan

Parameter	Nilai Parameter
k_o	17,396
k_C	-6,661
k_{Mn}	-1,604
k_{Si}	-3,412
k_{Ni}	-0,248
k_{Cr}	-1,112
k_{Mo}	-4,355

Sumber: Kang dan Lee, 2014

Tabel Hasil OES

Komposisi	Kadar (%)
C	0,377
Mn	0,568
Si	0,253
Ni	1,5
Cr	1,49
Mo	0,164
Fe	Balance

Temperatur Parameter

$$TP = T(\log t + (k_o + \sum_i k_i X_i))$$

$$(k_o + \sum_i k_i X_i) = 17,396 + 0,377(-2,477892) + 0,568(-0,939944) + 0,253(-0,83594) + 1,5(-0,35464) + 0,746(-0,84512) + 0,24(-1,049555) = \mathbf{10,367395}$$

1. Untuk Temperatur Holding 1 jam (3600 s)
Temperatur 535°C (808,15K)

$$TP = 808,15 (\log 3600 + (10,367395)) = 11252,44$$

Temperatur 575°C (848,15)

$$TP = 848,15 (\log 3600 + (10,367395)) = 11809,38$$

Temperatur 615°C (888,15K)

$$TP = 888,15 (\log 3600 + (10,367395)) = 12366,33$$

**2. Untuk Temperatur Holding 2 jam (7200 s)
Temperatur 535°C (808,15K)**

$$TP = 808,15 (\log 7200 + (10,367395)) = 11495,71$$

Temperatur 575°C (848,15)

$$TP = 848,15 (\log 7200 + (10,367395)) = 12064,7$$

Temperatur 615°C (888,15K)

$$TP = 888,15 (\log 7200 + (10,367395)) = 12633,69$$

Hardness After Tempering

$$TMH = \left(1542.97 - \frac{25.31}{X_C} \right) \cdot \exp(-1.23 \times 10^{-4} TP) \quad (5)$$

Untuk Temperatur Holding 1 jam (3600 s)
Temperatur 535°C (808,15K)

$$\begin{aligned} \text{TMH} &= (1542,97 - (25,31/0,377)) \cdot \exp(-1,23 \times 10^{-4} \times 11252,44) \\ &= 369,7878 \end{aligned}$$

Temperatur 575°C (848,15)

$$\begin{aligned} \text{TMH} &= (1542,97 - (25,31/0,377)) \cdot \exp(-1,23 \times 10^{-4} \times 11809,38) \\ &= 345,3039 \end{aligned}$$

Temperatur 615°C (888,15K)

$$\begin{aligned} \text{TMH} &= (1542,97 - (25,31/0,377)) \cdot \exp(-1,23 \times 10^{-4} \times 12366,33) \\ &= 322,441 \end{aligned}$$

Untuk Temperatur Holding 2 jam (7200 s)
Temperatur 535°C (808,15K)

$$\begin{aligned} \text{TMH} &= (1542,97 - (25,31/0,377)) \cdot \exp(-1,23 \times 10^{-4} \times 11495,71) \\ &= 358,8865 \end{aligned}$$

Temperatur 575°C (848,15)

$$\begin{aligned} \text{TMH} &= (1542,97 - (25,31/0,377)) \cdot \exp(-1,23 \times 10^{-4} \times 12064,7) = \\ &= 334,6284 \end{aligned}$$

Temperatur 615°C (888,15K)

$$\begin{aligned} \text{TMH} &= (1542,97 - (25,31/0,377)) \cdot \exp(-1,23 \times 10^{-4} \times 12633,69) \\ &= 312,0099 \end{aligned}$$

Tabel Hasil Perhitungan

Spesimen	Nilai kekerasan (HV)					
	Perhitungan	Permukaan				Error(%)
		1	2	3	Rata - Rata	
MG		167	176	169	170,67	
TP		289	270	266	275,00	
H		540	522	534	532,00	
ht60t535	369,78	365	354	372	363,67	1,68
ht120t535	358,89	352	359	365	358,67	0,06
ht60t575	345,30	343	345	357	348,33	0,87
ht120t575	334,63	335	336	324	331,67	0,89
ht60t615	322,44	335	308	328	323,67	0,38
ht120t615	312	319	309	299	309,00	0,97

7. Diagram CCT dan ITT AISI 4340

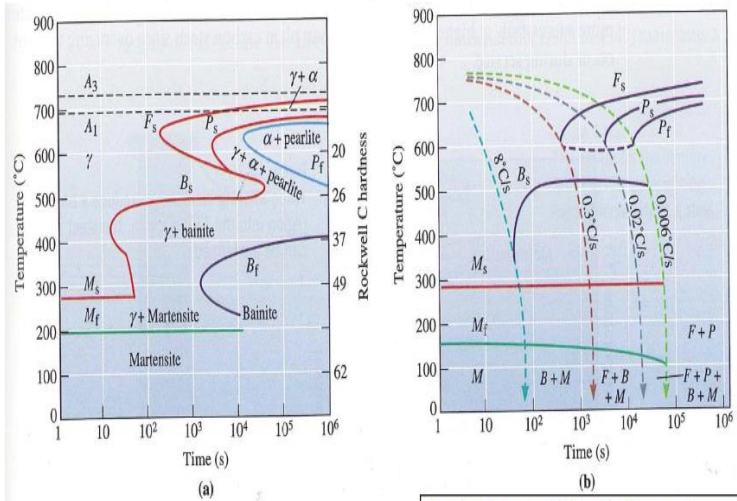


Figure 13-16 (a) TTT and (b) CCT curves for a 4340 steel.

From Askeland, DR and Wright, WJ, *Science and Engineering of Materials*, 7th ed. Cengage Learning Boston), pp.475

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
2. Teman – teman kontrakan yang telah menemani dan mewarnai hari – hari penulis selama di jenjang perkuliahan ini.
3. Teman – teman IKAMISA yang telah menemani dan mewarnai hari – hari penulis selama di jenjang perkuliahan ini.
4. Teman – teman seperjuangan Tugas Akhir Analisa Kegagalan, Rosa Amalia, Bayuzen, dan Iqbal Azka serta teman-teman Lab. Metalurgi yang telah membantu dan menyemangati penulis selama penulisan Laporan Tugas Akhir.
5. Teman – teman fungsi dan staff HMMT FTI-ITS sebagai tempat penulis untuk belajar dan mengisi hari-hari penulis sehingga mendapatkan pengalaman yang sangat berkesan.
6. Teman – temen Tim Robotika Bayucaraka ITS sebagai tempat penulis untuk belajar dan berjuang meraih prestasi hingga tingkat nasional.
7. Keluarga MT 17 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
8. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman - teman sekalian.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pacitan, Jawa Timur, 16 Juni 1996, dan merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kauman 1 Malang, SMP Negeri 1 Malang, dan SMA Negeri 1 Malang. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015. Saat menempuh pendidikan di Teknik Material penulis memilih bidang Korosi dan Analisa Kegagalan.

Sejak kuliah penulis aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT FTI-ITS) selama dua tahun kepengurusan dan pernah menjabat sebagai Staff Ahli Departemen Dalam Negeri HMMT. Penulis juga aktif di Tim Bayucaraka UAV ITS Team selama satu tahun pada bagian desain dan mekanik pesawat UAV.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pertamina RU IV Cilacap (Persero) pada Divisi Detail Part Manufacturing pada bulan Mei 2018 – Juli 2018. Selama kerja praktek, penulis mendalami topik terkait “Analisis *Radiant Tube Fired Heater* Menggunakan Metode *Accumulated Creep Damage* dan *In Situ Metalografi*” Unit 82F-201 Area KPC Pertamina RU IV Cilacap”.

Tugas akhir yang diambil penulis adalah dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi *Holding Time* dan Temperatur *Tempering* Terhadap Kekerasan Baja AISI 4340 untuk Komponen Poros Pompa Sentrifugal *Multistage Horizontal*”.

Email : ghazi.labib@gmail.com

HP : 082257022223

(Halaman ini sengaja dikosongkan)