TUGAS AKHIR – TL184834

ANALISIS PENGARUH VARIASI HOLDING TIME DAN TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140 UNTUK KOMPONEN POROS POMPA SENTRIFUGAL MULTISTAGE

ERASMUS REYHAN IRVANDY
NRP. 02511640000127

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

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

TUGAS AKHIR – TL 184834

ANALISIS PENGARUH VARIASI HOLDING TIME DAN TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140 UNTUK KOMPONEN POROS POMPA SENTRIFUGAL MULTISTAGE

ERASMUS REYHAN IRVANDY
NRP. 02511640000127

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

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

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

FINAL PROJECT – TL 184834

ANALYSIS OF THE EFFECT OF HOLDING TIME VARIATION AND TEMPERING TEMPERATURE ON HARDNESS AND MICRO STRUCTURE OF AISI 4140 STEEL IN ORDER FOR COMPONENT OF MULTISTAGE SENTRIFUGALS PUMP AXLE

ERASMUS REYHAN IRVANDY
NRP. 02511640000127

Advisor
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

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

(*This page is intentionally left blank*)

ANALISIS PENGARUH HOLDING TIME DAN TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140 UNTUK POROS POMPA SENTRIFUGAL MULTISTAGE

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekaya Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
ERASMUS REYHAN IRVANDY
NRP 02511640000127

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

SURABAYA
AGUSTUS 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

ANALISIS PENGARUH HOLDING TIME DAN TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140 UNTUK POROS POMPA SENTRIFUGAL MULTISTAGE

Nama : Erasmus Reyhan Irvandy
NRP : 02511640000127
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Pembimbing II : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Abstrak

Poros merupakan salah satu bagian terpenting dari pompa sentrifugal multistage. Poros berfungsi sebagai penyalur daya atau tenaga melalui putaran sehingga poros ikut berputar. Baja AISI 4140 merupakan baja paduan rendah dengan unsur paduan tambahan chromium dan molybdenum merupakan bahan yang dapat digunakan sebagai poros, baja tersebut ekuivalen dengan ASSAB 709 dimana kekerasannya hanya sekitar 293 HV, sedangkan kekerasan yang disyaratkan untuk aplikasi poros adalah sebesar 302-372 HV. Perlakuan panas dilakukan dengan variasi temperatur austenisasi, media quenching, dan temperatur tempering dengan tujuan mendapatkan sifat mekanik yang sesuai dengan standar. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh temperatur tempering serta waktu tahan. Metode pengujian yang digunakan adalah uji hardness Vickers dan uji metalografi. Hasil dari analisis ini didapatkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 379 HV dengan menggunakan temperatur tempering terendah yakni 510°C dan holding time tercepat dengan waktu selama 1 jam, sedangkan nilai kekerasan terendah yakni 342 HV dengan temperatur tempering terbesar dengan temperatur 585 ^{O}C dan holding time terlama yakni 2 jam. Hasil yang telah didapatkan, kekerasan sudah memenuhi standar sebagai poros dan juga membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur

tempering serta semakin lama waktu tahan, maka nilai kekerasannya akan semakin menurun.

Kata Kunci: ***AISI 4140, Kekerasan, Perlakuan Panas, Poros, Struktur Mikro***

ANALYSIS OF THE EFFECT OF HOLDING TIME VARIATION AND TEMPERING TEMPERATURE ON HARDNESS AND MICRO STRUCTURE OF AISI 4140 STEEL IN ORDER FOR COMPONENT OF MULTISTAGE SENTRIFUGALS PUMP AXLE

Student Name : Erasmus Reyhan Irvandy
NRP : 02511640000127
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Co-Supervisor : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Abstract

Shaft is one of the most important parts of a multistage centrifugal pump. The shaft functions as a distributor of power or power through rotation so that the shaft rotates. AISI 4140 steel is a low alloy steel with additional alloying elements chromium and molybdenum is a material that can be used as a shaft, the steel is equivalent to ASSAB 709 where the hardness is only about 293 HV, while the hardness required for shaft applications is 302-372 HV. Heat treatment is carried out with variations in austenisation temperature, quenching media, and tempering temperature with the aim of obtaining mechanical properties that are in accordance with the standard. This research was conducted to analyze the effect of tempering temperature and holding time. The test method used is the Vickers hardness test and metallographic test. The results of this analysis obtained the highest hardness value is 379 HV using the lowest tempering temperature of 510 ^{O}C and the fastest holding time with a time of 1 hour, while the lowest hardness value of 342 HV with the largest tempering temperature with a temperature of 585°C and the longest holding time of 2 hours . The results that have been obtained, the hardness has met the standard as a pivot and also proves that more higher the tempering

temperature and more longer the holding time, the value of hardness material will decreases.

Keywords: ***AISI 4140, Hardness, Heat Treatment, Micro Structure, Shaft***

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah ‘azza wa jalla, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Pengerjaan Tugas Akhir ini ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS. Penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Holding Time dan Temperatur Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Untuk Komponen Poros Pompa Sentrifugal Multistage**”.

Selesainya Laporan Tugas Akhir ini tidak luput dari bantuan dan motivasi dari semua pihak. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingannya selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan selama proses perkuliahan di ITS.

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

Surabaya, Mei 2020
Penulis

Erasmus Reyhan Irvandy

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **v**
Abstrak ..... **vii**
Abstract ..... **ix**
KATA PENGANTAR ..... **xi**
DAFTAR ISI ..... **xiii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
DAFTAR TABEL ..... **xvii**
1 BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 1
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 2
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA **3**
2.1 Pompa Sentrifugal *Multistage* Horizontal 3
2.2 Baja 4
2.3 Baja AISI 4140 4
2.4 Diagram Fasa Fe-Fe_3C 4
2.5 Perlakuan Panas 6
2.5.1 *Hardening* 7
2.5.2 *Austenizing* 7
2.5.3 *Quenching* 7
2.5.4 *Holding Time* 8
2.5.5 *Tempering* 8
2.6 Uji Metalografi 9
2.7 Uji Kekerasan 9
2.8 Penelitian Sebelumnya 10
2.8.1 Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Akibat Perbedaan Temperatur Pada Perlakuan Panas *Tempering* 10

2.8.2 Analisis Kekerasan dan Struktur Mikro Terhadap Variasi Temperatur *Tempering* Pada Baja AISI 4140 11
2.8.3 Karakteristik Kekuatan Material AISI 4140 Dengan Variasi Diameter Akibat Proses *Temper Quench* 12
3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN 13
3.1 Diagram Alir 13
3.2 Alat Penelitian 14
3.3 Bahan Penelitian 17
3.4 Prosedur Penelitian 17
3.4.1 Pengujian Komposisi 17
3.4.2 Pengujian Metalografi 17
3.4.3 Pengujian Kekerasan 17
3.4.4 Perlakuan Panas 18
3.4.5 Rancangan Penelitian 19
3.5 Jadwal Penelitian 20
4 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 21
4.1 Hasil Pengujian Komposisi 21
4.2 Pengujian Kekerasan 22
4.3 Pengujian Metalografi 22
4.3.1 Tanpa Perlakuan 23
4.3.2 *Hardening* 24
4.3.3 *Tempering* 25
5 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 31
5.1 Kesimpulan 31
5.2 Saran 31
DAFTAR PUSTAKA 33
LAMPIRAN 37
UCAPAN TERIMA KASIH 43
BIODATA PENULIS 45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pompa Sentrifugal *Multistage* Horizontal 3
Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe- Fe_3C 5
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 13
Gambar 3.2 Mesin Potong..... 14
Gambar 3.3 Mesin *Grinding Polish*..... 14
Gambar 3.4 Mesin *Optical Emission Spectroscopy*..... 15
Gambar 3.5 Mesin HBRV *Universal Hardness Tester*..... 15
Gambar 3.6 Mikroskop Optik Olympus BX51M 16
Gambar 3.7 *Furnace* Elektrik..... 16
Gambar 3.8 Titik Pengujian Kekerasan 18
Gambar 3.9 Kurva Rancangan Perlakuan Panas 19
Gambar 4.1 Struktur Mikro Sampel Tanpa Perlakuan..... 23
Gambar 4.2 Struktur Mikro Sampel *Hardening* 847°C *Water Quench*..... 24
Gambar 4.3 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 510°C *Holding Time* 1 Jam..... 25
Gambar 4.4 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 510°C *Holding Time* 2 Jam..... 25
Gambar 4.5 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 535°C *Holding Time* 1 Jam..... 26
Gambar 4.6 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 535°C *Holding Time* 2 Jam..... 26
Gambar 4.7 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 560°C *Holding Time* 1 Jam..... 27
Gambar 4.8 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 560°C *Holding Time* 2 Jam..... 27
Gambar 4.9 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 585°C *Holding Time* 1 Jam..... 28
Gambar 4.10 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 585°C *Holding Time* 2 Jam..... 28

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Komposisi Kimia AISI 4140 4
Tabel 2.2 Parameter Pengujian Kekerasan 10
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian..... 19
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian 20
Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi..... 21
Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan..... 22

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada pompa sentrifugal, terdapat poros yang dipasangkan beberapa impeller. Zat cair yang keluar dari impeller pertama dimasukan ke impeller berikutnya dan seterusnya hingga impeller terakhir. Bila komponen ini mengalami kegagalan, penyebabnya adalah sifat mekanik yang tidak sesuai dengan standar (Azizi, 2019). Salah satu material yang dapat disubtitusikan sebagai poros pompa sentrifugal *multistage* memiliki standar yaitu ASSAB 709, dimana memiliki kekerasan 302-372 HV. Dari baja AISI 4140 sendiri memiliki kekerasan 271-299 HV yang mana masi belum mencapai target standar ASSAB 709. Dari permasalahan tersebut, diperlukan optimalisasi sifat mekanik dari poros pompa dengan proses perlakuan panas. Peningkatan sifat mekanis bisa bertambah dengan perlakuan panas (*heat treatment*). Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besaran butir dapat diperbesar atau di perkecil, ketangguhan dapat ditingkatkan atau dapat menghasilkan permukaan yang keras di sekeliling inti yang ulet (Amstead B.H dkk, 1981). Penelitian ini dilakukan terhadap material yang komposisinya sesuai standar yaitu AISI 4140 yang ekuivalen dengan ASSAB 709 untuk diberi perlakuan panas dengan beberapa variabel temperature dan waktu tahan, kemudian diamati responnya dari segi struktur mikro dan kekerasan. 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.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, dapat diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *holding time tempering* pada proses perlakuan panas *tempering* baja AISI 4140 terhadap kekerasan dan struktur mikro?
2. Bagaimana pengaruh temperatur *tempering* proses perlakuan panas *tempering* baja AISI 4140 terhadap kekerasan dan struktur mikro?

1.3 Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diasumsikan spesimen homogen dan tidak ada cacat.
2. Diasumsikan tidak ada penurunan temperatur saat spesimen dikeluarkan dari *furnace* serta waktu pemindahan spesimen dari *furnace* menuju media quenching konstan untuk semua spesimen.
3. Temperatur material didalam *furnace* dianggap sama dengan temperatur yang tertera di indikator.
4. Pengaruh lingkungan diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Dengan adanya beberapa rumusan masalah yang telah tertulis di atas, terdapat tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh *holding time tempering* pada proses perlakuan panas *tempering* baja AISI 4140 terhadap struktur mikro dan kekerasan.
2. Menganalisa pengaruh temperatur *tempering* pada proses perlakuan panas *tempering* baja AISI 4140 terhadap struktur mikro dan kekerasan.

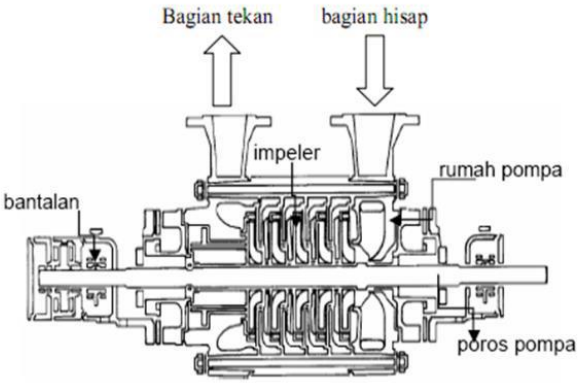
1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini didapatkan data yang berhubungan dengan perlakuan panas. Data tersebut diharapkan sebagai pedoman untuk dunia industri dalam memodifikasi sifat mekanik dan sebagai referensi untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pompa Sentrifugal *Multistage* Horizontal

Pompa merupakan salah satu dari berbagai jenis mesin konversi energi yang dapat berfungsi sebagai pemindah zat cair dari suatu tempat, ke tempat lain yang diinginkan. Pada pompa sendiri memiliki sudut-sudut *impeller* yang memiliki fungsi sebagai tempat terjadinya proses konversi energi mekanik putaran menjadi energi kinetis fluida. *Impeller* sendiri terpasang pada poros pompa yang bersinggungan langsung dengan motor penggerak. Poros pompa akan berputar disaat penggeraknya berputar, hal ini yang akan membuat *impeller* dan zat cair yang didalamnya ikut berputar. 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 dimasukan ke impeller berikutnya dan seterusnya hingga impeller terakhir. Pompa ini merupakan pompa yang mampu untuk meningkatan tekanan tinggi dan memiliki kapasitas menengah (Fritz Dietzel, 1996).



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

2.2 Baja

Baja merupakan logam paduan antara besi dengan karbon, yang memiliki 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 AISI 4140

Baja AISI 4140 adalah material baja paduan rendah yang banyak diaplikasikan dalam industri, seperti di bidang otomotif, kedirgantaraan, dan manufaktur industri. Unsur-unsur paduan yang disertakan dari Cr dan Mo memberikan baja AISI 4140 dengan kekuatan dan ketangguhan tinggi. Dengan demikian, telah menjadi salah satu dari bahan substrat paling penting untuk bahan abrasif dan aplikasi keausan perekat (Ulutan, 2010).

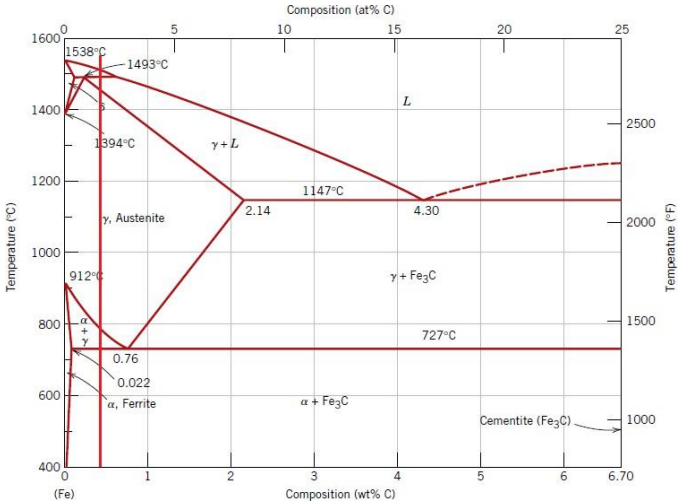
Tabel 2.1 Standar Komposisi Kimia AISI 4140 (ASTM A29)

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
0.38-0.43	0.75-1.00	0.035	0.04	0.15-0.35	0.80-1.10	0.15-0.25

2.4 Diagram Fasa Fe-Fe_3C

Diagram Fe-Fe_3C atau diagram kesetimbangan antara besi dan karbon merupakan diagram 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 berbagai perlakuan. 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 Fe_3C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fasa yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi (Diagram Fe-Fe_3C) 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). Dengan kondisi ini karbida besi dapat dikatakan sebagai struktur yang metastabil.



Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe- Fe_3C (Callister, 2009)

Transformasi equilibrium pada baja 0.4%C dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pembekuan dimulai dengan terbentuknya ferit

delta pada temperatur sekitar 1500°C. Pada temperatur sekitar 1496°C pembekuan dianjutkan 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 dari 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).

2.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas dapat diartikan sebagai kombinasi operasi pemanasan pada logam di bawah temperatur lebur logam tersebut dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu untuk memperoleh sifat tertentu (Avner, 1974).

Setiap perlakuan panas yang berbeda akan menghasilkan sifat mekanik yang berbeda juga. Secara umum perlakuan panas dibagi menjadi tiga tahapan yaitu:

1. Pemanasan sampai temperatur 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 temperaturnya 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 salah satu proses perlakuan panas pada baja dengan pemanasan sampai temperatur austenit (diatas garis A3) kemudian ditahan dengan waktu tertentu hingga struktur baja homogen dan kemudian didinginkan cepat (quenching) dengan media pendingin baik air, oli, maupun polimer (Brunhubber, 1988).

2.5.2 *Austenizing*

Untuk memperoleh struktur martensit maka pada saat pemanasan harus mendapatkan struktur austenit, dikarenakan hanya austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit. Jika saat pemanasan strukturnya tidak seluruhnya austenit, maka setelah diquench struktur yang terbentuk tidak semuanya martensit, sehingga kekerasan yang terjadi juga tidak akan maksimum. Untuk baja hypoeutectoid temperatur austenisasinya adalah 30°C - 50°C di atas temperatur A3. Dan untuk baja hypereutectoid adalah 30°C - 50°C di atas temperatur A1 (Suherman, 2003).

Penentuan temperatur austenisasi perlu diperhatikan. Karena adanya unsur paduan, hal ini dapat mempengaruhi transformasi dari austenit menjadi martensit. Dengan adanya unsur paduan akan menurunkan temperatur pembentukan martensit Ms (Martensit start) dan Mf (Martensit finish). Sehingga pembentukan martensit akan mudah. Namun ketika temperatur Ms nya makin rendah akan menimbulkan banyak austenit sisa (Suherman, 1999). Untuk temperatur Austenisasi pada baja AISI 4140 menurut ASM Handbook adalah 845°C - 870°C (ASM Handbook Vol IV, 1991).

2.5.3 *Quenching*

Quenching mengacu pada proses pendinginan bagian logam yang cepat dari austenitisasi atau larutan pengolah temperatur, biasanya dari kisaran 845 hingga 870°C (1500 hingga 1600°F) untuk baja. Baja tahan karat dan paduan tinggi mungkin didinginkan untuk meminimalkan keberadaan batas karbida butir

atau untuk meningkatkan distribusi ferit tetapi kebanyakan baja termasuk karbon, paduan rendah, dan baja perkakas, didinginkan untuk menghasilkan jumlah martensit yang terkendali di dalam mikro. Pengerasan yang sukses biasanya berarti mencapai mikrostruktur yang dibutuhkan, kekerasan, kekuatan, atau ketangguhan sambil meminimalkan sisa stres, distorsi, dan kemungkinan retak (ASM Handbook Vol IV, 1991).

Untuk menghasilkan struktur yang diinginkan dalam proses pengerasan, yaitu martensit memerlukan austenit yang harus didinginkan secara cepat, setidaknya dapat mencapai laju pendinginan kritis dari baja yang terkait. Dalam proses pendinginan biasanya baja yang telah dipanaskan akan dicelupkan ke media pendingin berupa liquid. Selama proses quenching, panas dari benda kerja akan mengalir ke media pendingin, sehingga temperature dari benda kerja akan menurun. Laju penurunan temperatur ditentukan oleh kecepatan aliran dari panas tersebut (Avner, 1974).

2.5.4 *Holding Time*

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan dari proses hardening. Dengan menahan temperatur pengerasan, dapat diperoleh pemanasan yang homogen pada struktur austenitnya atau terjadi pelarutan karbida ke dalam austenite (Handoyo, 2015).

Waktu tahan biasanya selama 1 jam, dengan waktu minimum 15 hingga 20 menit setiap 25 mm (1 inci) (ASM Handbook Vol IV, 1991).

2.5.5 *Tempering*

Tempering merupakan proses dimana baja yang sebelumnya telah mengalami proses pengerasan akan dipanaskan hingga temperatur di bawah temperatur kritisnya kemudian didinginkan pada tingkat yang sesuai dengan bertujuan untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhannya, serta bertujuan untuk meningkatkan ukuran butir matriks. Selain itu dengan penemperan dapat juga menghilangkan tegangan sisa akibat

proses pengerasan serta mengurangi kekerasan dalam baja (ASM Handbook Vol 4, 1991).

Proses *tempering* pada pemanasan hingga temperatur tertentu yang didinginkan dengan lambat. Pemanasan dilakukan sampai temperatur yang diperlukan, biasanya antara 200-600ºC tergantung pada keperluan. Makin tinggi temperatur pemanasannya, makin besar penurunan kekerasan, sedangkan keuletan akan bertambah (Alexander, 1990).

2.6 Uji Metalografi

Metalografi merupakan gambaran mikro pada permukaan logam yang telah dipreparasi sebelumnya. Dalam hal ini pengamatan secara metalografi dapat diperoleh gambaran struktur suatu logam. Pengujian metalografi harus menggunakan bantuan suatu mikroskop optik. Permukaan logam harus benar-benar diratakan agar struktur mikro dapat terlihat pada mikroskop. Oleh karena itu sebelum dilakukan pengujian, material uji harus dipreparasi terlebih dahulu. Adapun tahapan dalam preparasi material uji adalah pemotongan material sesuai ukuran yang diinginkan (*cutting*), *mounting* jika material uji memiliki dimensi yang sangat kecil, pengamplasan (*grinding*), *polishing*, *etching* dengan larutan etsa yang sesuai, kemudian melakukan observasi/pengamatan menggunakan mikroskop optik (Sawitri, 2015).

2.7 Uji Kekerasan

Dilakukannya pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada material uji. Permukaan material uji harus diratakan terlebih dahulu, agar tidak terjadi cacat indentasi. Ada beberapa tahapan dalam melakukan pengujian kekerasan. Mula-mula material uji diletakkan di mesin uji kekerasan. Kemudian diatur berapa beban yang akan dikenakan pada benda. Setelah itu dilakukan indentasi pada permukaan material uji. Dan nilai kekerasan akan muncul di layar komputer. Tabel 2.2 berikut ini

menunjukkan parameter yang digunakan dalam pengujian kekerasan berdasarkan ASTM E92.

Tabel 2.2 Parameter Pengujian Kekerasan

Metode	*Vickers*
Indentor	Piramida intan dengan sudut 136°
Beban	100 kgf
Waktu pembebanan	10 detik

2.8 Penelitian Sebelumnya

Dibawah ini adalah beberapa penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini.

2.8.1 Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Akibat Perbedaan Temperatur Pada Perlakuan Panas *Tempering*

Penelitian yang dilakukan oleh Risno Fendri, dkk (2016) ini bertujuan untuk melihat pengaruh perlakuan panas tempering terhadap perubahan sifat mekanik pada baja dengan variasi temperatur tempering 200°C, 400°C, dan 600°C. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan menggunakan bahan baja karbon sedang yang mengandung kadar karbon 0,38-0,45% C, yaitu baja AISI 4140. Dimulai dengan membuat spesimen sesuai dengan standar alat pengujian kekerasan, pengujian tarik, pengujian impak dan pengujian struktur mikro. Dengan pengambilan 5 kelompok spesimen, yaitu kelompok tanpa perlakuan, hardening, tempering 200°C, tempering 400°C, tempering 600°C Penelitian yang telah dilakukan maka didapat nilai rata-rata kekerasan baja AISI 4140 tanpa perlakuan sebesar 30 HRC, hardening sebesar 48,7 HRC, tempering 200°C sebesar 47 HRC, tempering 400°C sebesar 37,8 HRC, tempering 600°C sebesar 30,2 HRC. Nilai rata-rata tegangan spesimen tanpa perlakuan 1041,838 x 10^6 N/m², hardening 203,815 x 10^6 N/m², tempering 200 °C 461,795 x 10^6 N/m², tempering 400 °C 530,77 x 10^6 N/m², tempering 600 °C 110,417 x 10^6 N/m². Harga impak

spesimen tanpa perlakuan 1,114 × 106 N/m, hardening 0,166 x 106 N/m, tempering 200°C 0,104 x 106 N/m, tempering 400°C 0,227 x 106 N/m, tempering 600°C 0,878 × 106 N/m. Setelah mengalami perlakuan panas hardening struktur mikro terlihat lebih halus, sedangkan setelah mengalami proses perlakuan panas tempering dengan temperatur 200°C, 400°C, dan 600°C keadaan struktur mikro Baja AISI 4140 mengalami perubahan, semakin tinggi temperatur tempering yang diberikan, maka butiran-butiran struktur baja terlihat semakin besar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur tempering maka nilai kekerasan baja AISI 4140 menurun bila dibandingkan dengan spesimen hardening, sedangkan kekuatan dan ketangguhan material kembali meningkat.

2.8.2 Analisis Kekerasan dan Struktur Mikro Terhadap Variasi Temperatur *Tempering* Pada Baja AISI 4140

Susri Mihzar dan Gerhana Burhanuddin Tampubolon (2015) telah melakukan penelitian ini dengan bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis dan struktur mikro dari baja AISI 4140. Proses pertama, material terlebih di*normalizing* pada temperatur 850°C untuk menyeragamkan butiran, kemudian dikeraskan (*Hardening*) pada temperatur 850°C ditahan selama 3 jam dan didinginkan dengan cepat (*Quenching*) pada media pendingin oli mesran SAE 40 hingga mencapai temperatur kamar. Spesimen setelah proses quenching dipanaskan kembali pada temperatur tempering yang divariasikan yaitu 200°C, 300°C, 400°C, 500°C dan 600°C dengan waktu tahan 2 jam. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa material AISI 4140 yang telah mengalami proses normalizing mimiliki nilai kekerasan 38,2 HRC, kemudian nilai kekerasan naik drastis setelah di hardening menjadi 52 HRC kenaikannya sekitar 26%. Pada proses tempering dengan temperatur 200°C nilai kekerasannya tidak terjadi penurunan malah sebaliknya, kembali naik tetapi kenaikan dianggap tidak terjadi karena sangat kecil sekali sekitar 0,5% , pada temper 300°C nilai kekerasan terjadi

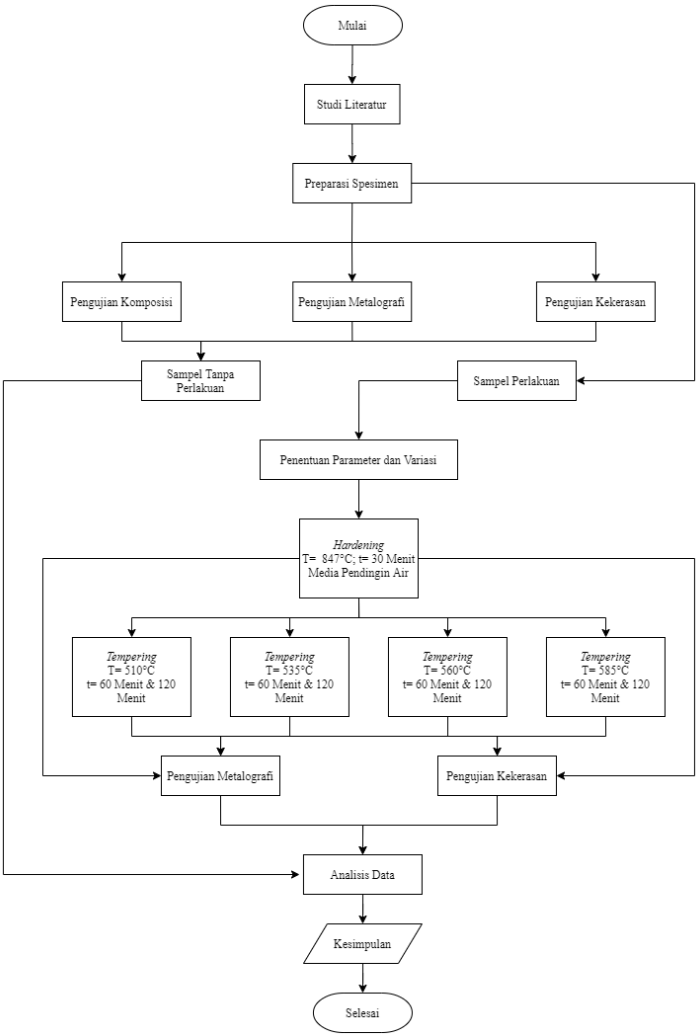
penurunan sekitar 3% menjadi 50 HRC, kekerasan terus menurun pada temper 400°C nilai kekerasannya menurun sekitar 8% menjadi 47,4 HRC, temper 500°C nilai kekerasannya kembali menurun sekitar 23% menjadi 40 HRC dan pada temper 600°C nilai kekerasannya terjadi penurunan drastis sekitar 33% menjadi 34,5 HRC. Setelah proses quench struktur mikro yang terbentuk adalah martensit dan bainit lalu setelah proses temper struktur mikro manjadi temper martensit serta struktur lain yang terbentuk adalah austenit sisa.

2.8.3 Karakteristik Kekuatan Material AISI 4140 Dengan Variasi Diameter Akibat Proses *Temper Quench*

Penelitian dari Weriono dan Rinaldi (2018) ini bertujuan untuk mengetahui perubahan dari kekuatan bahan akibat proses perlakuan panas pada logam serta untuk mendapatkan sesuai sifat spesifikasi sesuai standar sehingga kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan keuletan dapat terukur. Kekerasan di bawah standard di titik radius pengukuran sudut 30° tegak (Rb) untuk d = 36 mm sampel 1 dari tepi 15 mm 21,5 HRC, d = 38 mm sampel 1 (Ra) = 20,4 HRC (Rb) = 21,5 HRC sedangkan sampel 2 (Ra) = 20,5 HRC (Rb) = 22,4 HRC. Rata – rata kekerasannya masih di dalam standard tetapi radius pengukuran sudut 30° tegak (Rb) lebih tinggi nilai kekerasannya dibandingkan arah radius tegak (Ra) dan pada titik pengukuran mendekati pusat batangan baja mempunyai harga kekerasan dibawah standard Persentasi elongation dan persentasi reduction area diameter 36 mm lebih tinggi dari diameter 38 mm. diameter 36 mm σy = 826 MPa lebih tinggi dari diameter 38 mm σy = 708 MPa, kondisi ini menunjukan kekuatan standard AISI 4140 σy = 655 MPa. Kekuatan material dan kekerasan tidak seragam pada variasi diameter.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat Penelitian

Adapun beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin Potong
   Digunakan untuk memotong material menjadi ukuran yang sesuai kebutuhan untuk dijadikan sampel penelitian. Ditunjukkan pada Gambar 3.2 di bawah ini.

Gambar 3.2 Mesin Potong (Dokumentasi pribadi, 2020)

2. Mesin *Grinding-Polish*
   Digunakan untuk preparasi permukaan sampel. Ditunjukkan pada Gambar 3.3 di bawah ini.

Gambar 3.3 Mesin *Grinding Polish* (Future Tech, 2011)

3. OES (*Optical Emission Spectroscopy*)
   Digunakan untuk mengetahui komposisi material yang diteliti. Ditunjukkan pada Gambar 3.4 di bawah ini.

Gambar 3.4 Mesin *Optical Emission Spectroscopy* (Azizi, 2019)

4. *Electric Furnace*
   Digunakan untuk melakukan perlakuan panas terhadap material, khususnya pada proses pemanasan dan austenisasi. Ditunjukkan pada Gambar 3.5 di bawah ini.

Gambar 3.5 Mesin HBRV *Universal Hardness Tester* (Dokumentasi pribadi, 2020)

5. Mesin Uji Kekerasan
   Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan material. Ditunjukkan pada Gambar 3.6 di bawah ini.

Gambar 3.6 Mikroskop Optik Olympus BX51M (Dokumen pribadi, 2020)

6. Mikroskop Optik
   Digunakan untuk mengobservasi fasa atau struktur mikro material yang diuji. Ditunjukkan pada Gambar 3.7 di bawah ini.

Gambar 3.7 *Furnace* Elektrik (Dokumentasi pribadi, 2020)

3.3 Bahan Penelitian

Adapun beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Baja AISI 4140
2. Air
3. Amplas
4. *Metal Polish*
5. Etsa Nital 4%

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan dengan bertujuan mengetahui komposisi dari material yang digunakan, dengan mencocokkan dengan standar yang telah ditetapkan. Pengujian ini dilakukan dengan alat *Optical Emission Spectroscopy* (OES) di PT. Logamindo Sarimulya, Gedangan, Sidoarjo.

3.4.2 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari sampel. Pengujian ini diawali dengan melakukan preparasi pada permukaan spesimen menggunakan kertas amplas dari grade 80 hingga grade 2000 yang berfungsi untuk menghilangkan *surface defect*. Selanjutnya dilakukan pemolesan menggunakan *aluminum oxide* untuk menghilangkan minor scratch serta mengkilapkan permukaan. Kemudian, dilakukan pengetsaan dengan nital 4% yang berfungsi untuk menampakkan struktur (*contrasting*) dari sampel. Terakhir, dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop optik. Dalam hal ini, pengujian metalografi mengacu pada standar ASTM E407.

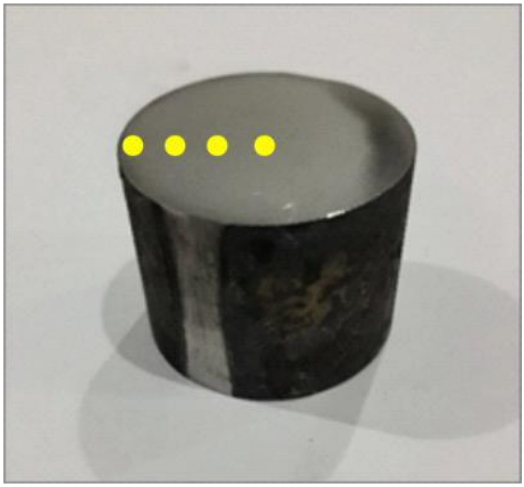
3.4.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari sampel dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada permukaan sampel. Pengujian ini menggunakan metode *Vickers*, dengan indentor intan 136°,

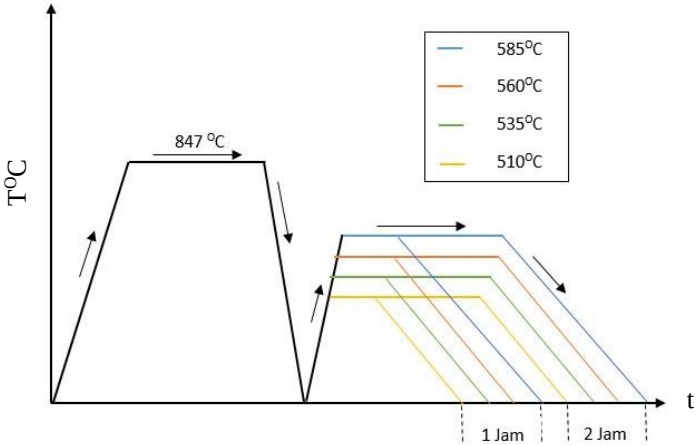
pembebanan 100 kgf, dan waktu indentasi selama 10 detik, hal ini mengacu dari standar ASTM E92. Pengujian ini dilakukan dengan alat *Universal Hardness Tester* HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

3.4.4 Perlakuan Panas

Proses ini diawali dengan proses hardening terlebih dahulu, dengan mengatur temperatur hingga 847°C dan ditahan selama 30 menit dan kemudian didinginkan dengan media quenching berupa air. 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 empat variabel temperatur tempering, yaitu 510°C, 535°C, 560°C dan 585°C. Kurva perlakuan panas yang diterapkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Titik Pengujian Kekerasan (Dokumentasi pribadi,2020)



Gambar 3.9 Kurva Rancangan Perlakuan Panas

3.4.5 Rancangan Penelitian

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Sampel	Temp. Austenisasi	Media *Quenching*	Temp. *Tempering*	Pengujian		
				Uji Komposisi	Uji Kekerasan	Uji Metalografi
TPH	-	-	-	V	V	V
1	847	Air	-	-	V	V
2	847	Air	510	-	V	V
3	847	Air	510	-	V	V
4	847	Air	535	-	V	V
5	847	Air	535	-	V	V
6	847	Air	560	-	V	V
7	847	Air	560	-	V	V
8	847	Air	585	-	V	V

3.5 Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, dimulai dari bulan Desember 2019 hingga bulan Mei 2020. Rincian jadwal penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.2 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Bulan					
	Desember	Januari	Februari	Maret	April	Mei
Studi Literatur						
Konsultasi Kepada Dosen Pembimbing						
Preparasi Spesimen						
Pengujian Komposisi						
Pengujian Kekerasan						
Pengujian Metalografi						
Perlakuan Panas						
Penyusunan Laporan Akhir						

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan untuk mengetahui komposisi dari suatu material. Pengujian ini dilakukan dengan alat *Optical Emission Spectroscopy* (OES) di PT. Logamindo Sarimulya, Sidoarjo. Tabel 4.1 berikut adalah hasil pengujian komposisi pada material yang digunakan.

Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi

Unsur	Kandungan (%)		
	Hasil Uji	ASTM A29	ASSAB 709
C	0,405	0,38-0,43	0,4
Mn	0,83	0,75-1,00	0,8
P Max	0,0209	0,035	-
S Max	0,0138	0,04	-
Si	0,237	0,15-0,35	0,2
Ni	0,019	-	-
Cr	0,92	0,8-1,10	1,0
Mo	0,185	0,15-0,25	0,2
Fe	Balance	Balance	Balance

Pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwasanya material AISI 4140 yang digunakan untuk penelitian ini telah sesuai dengan standar ASTM A29 maupun ASSAB 709. AISI 4140 sendiri merupakan jenis baja paduan rendah, dengan unsur paduan tambahan berupa kromium dan molibdenum. Menurut Totten (2007), penambahan unsur kromium yang merupakan unsur pembentuk karbida dapat meningkatkan *hardenability*, ketahanan korosi, dan juga ketahanan abrasi baja. Kemudian, penambahan molibdenum yang juga merupakan unsur pembentuk karbida akan menghasilkan baja dengan ukuran butir yang halus (*fine-grained*) serta meningkatkan *hardenability*.

4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada setiap sampel. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *Vickers* dengan pembebanan 100 kgf dan waktu indentasi 10 detik, dengan titik uji sebanyak 4 titik sesuai skema pada Gambar 3.2. Pada Tabel 4.3 di bawah ini tertera nilai kekerasan untuk setiap rata-rata per-sampel.

Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan

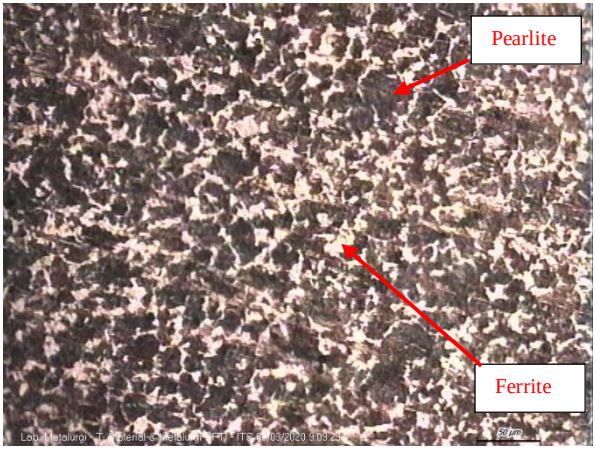
Sampel	Temp. *Tempering*	*Holding Time* (Jam)	Rata-rata (HV)
TP	-	-	292,5
H	-	-	622
1	510	1	379
2	510	2	374.5
3	535	1	370
4	535	2	367
5	560	1	358.75
6	560	2	347.25
7	585	1	346.25
8	585	2	342

4.3 Pengujian Metalografi

Pengujian Metalografi bertujuan untuk memperoleh gambaran struktur mikro suatu logam. Berikut hasil pengujian metalografi yang diperoleh.

4.3.1 Tanpa Perlakuan

Berikut adalah hasil metalografi dari sampel tanpa perlakuan.



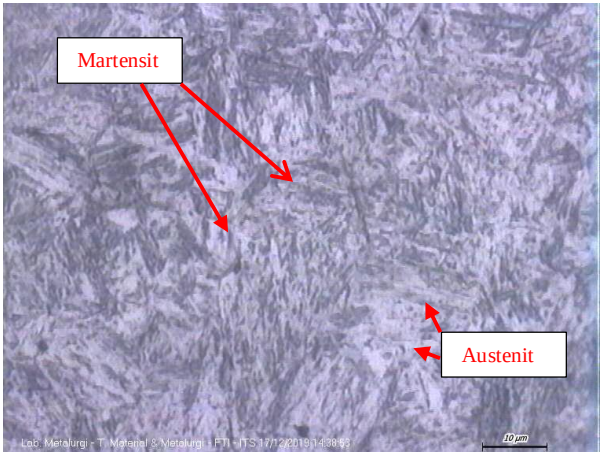
Gambar 4.1 Struktur Mikro Sampel Tanpa Perlakuan (perbesaran 200x dengan etsa nital)

Sampel AISI 4140 tanpa perlakuan memiliki struktur berupa ferrit (bagian berwarna terang) serta *pearlite* (bagian berwarna gelap). Kedua struktur ini terbentuk melalui proses pendinginan lambat, sehingga austenit dapat bertransformasi secara ekuilibrium. Ferrit yang berwarna terang merupakan struktur proeutektoid yang berasal dari perubahan allotropi austenit. Pada diagram fasa Fe-Fe_3C, ketika temperatur turun melewati garis A_3, austenit berubah menjadi ferrit. Seiring turunnya temperatur, maka ferrit yang ada akan tumbuh semakin besar. Karena ferrit memiliki kelarutan karbon yang sedikit, maka austenit yang berubah menjadi ferrit dan mengeluarkan karbonnya menuju austenit yang belum bertransformasi, sehingga saat mendekati garis A_1, komposisi austenit sisa akan sama dengan komposisi eutektoid (0,8 % C). Ketika melewati garis A_1, austenit yang tersisa akan mengalami reaksi eutektoid,

menghasilkan struktur yang terdiri atas ferrit dan sementit sela-menyela yang disebut *pearlite* (Suherman, 2003).

4.3.2 *Hardening*

Berikut adalah hasil metalografi dari sampel *hardening*.

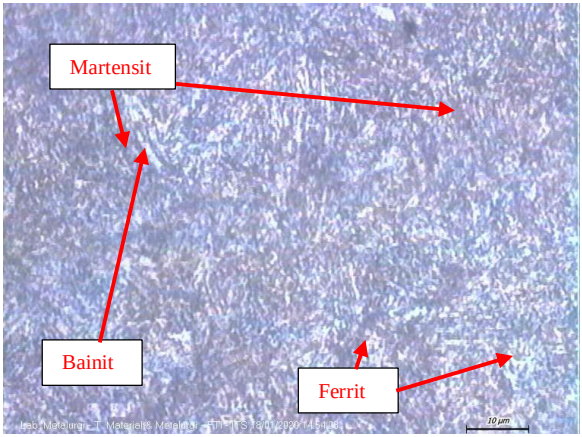


Gambar 4.2 Struktur Mikro Sampel *Hardening* 847°C *Water Quench* (perbesaran 1000x dengan etsa nital)

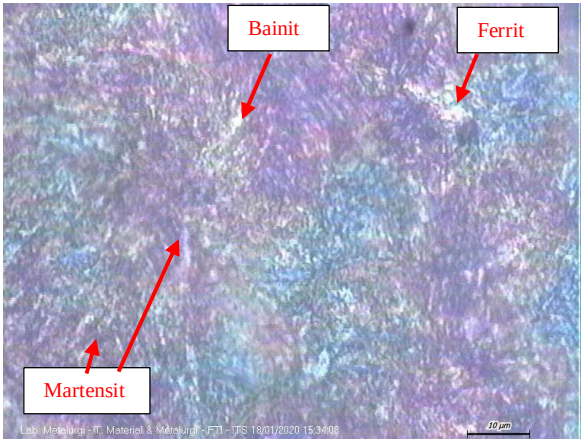
Setelah sampel AISI 4140 mendapatkan proses *hardening* dan *quenching* dengan media air, dari gambar 4.2 didapatkan struktur mikro berupa martensit (jarum-jarum gelap) dan austenit sisa (bagian berwarna terang). Struktur martensit dapat terbentuk melalui proses pendinginan cepat, yakni disaat austenit didinginkan cepat dan telah mencapai temperatur M_s, karbon yang terlarut di dalam austenit tidak memiliki waktu yang cukup untuk berdifusi keluar (Charre, 2004). Sebab adanya karbon yang terperangkap ini dapat menyebabkan struktur menjadi tegang, sehingga menjadi keras (Wahid, 2011).

4.3.3 *Tempering*

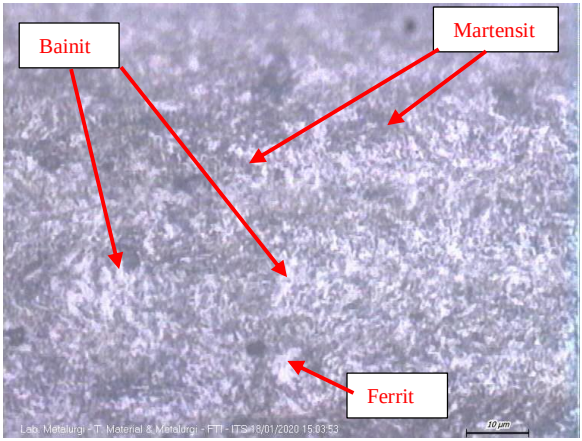
Berikut adalah hasil metalografi dari berbagai sampel variasi temperatur *tempering*.



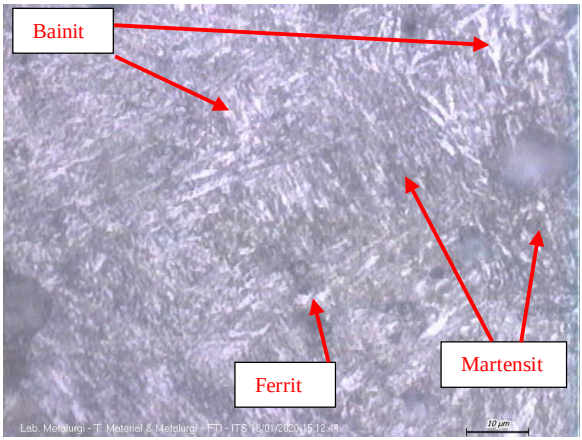
Gambar 4.3 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 510°C *Holding Time* 1 Jam (perbesaran 1000x dengan etsa nital)



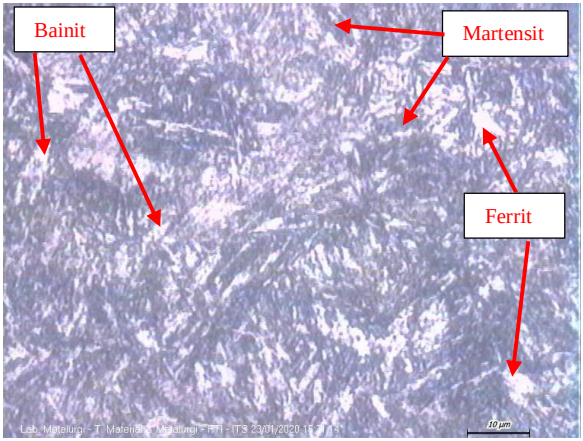
Gambar 4.4 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 510°C *Holding Time* 2 Jam (perbesaran 1000x dengan etsa nital)



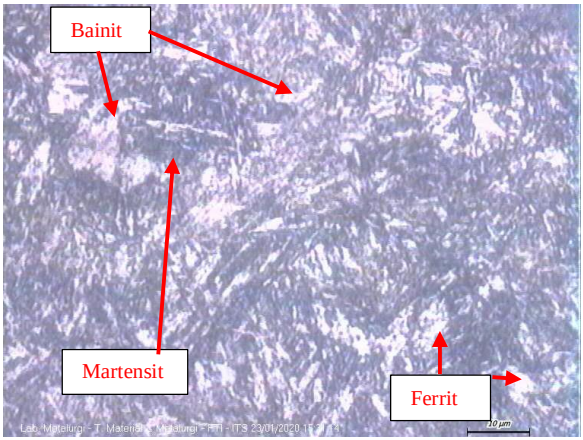
Gambar 4.5 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 535°C *Holding Time* 1 Jam (perbesaran 1000x dengan etsa nital)



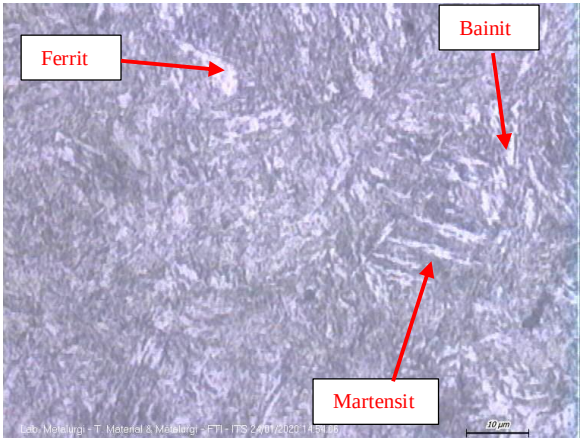
Gambar 4.6 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 535°C *Holding Time* 2 Jam (perbesaran 1000x dengan etsa nital)



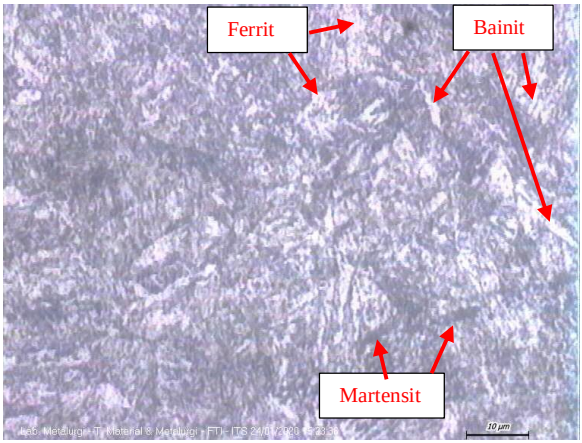
Gambar 4.7 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 560°C *Holding Time* 1 Jam (perbesaran 1000x dengan etsa nital)



Gambar 4.8 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 560°C *Holding Time* 2 Jam (perbesaran 1000x dengan etsa nital)



Gambar 4.9 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 585°C *Holding Time* 1 Jam (perbesaran 1000x dengan etsa nital)



Gambar 4.10 Struktur Mikro Sampel *Tempering* 585°C *Holding Time* 2 Jam (perbesaran 1000x dengan etsa nital)

Pada gambar diatas, martensit (jarum gelap) ketika semakin tinggi temperatur *tempering* dan waktu tahan pada *tempering*, akan semakin mengecil ketika dibandingkan dengan spesimen *hardening*, hal ini terjadi disebabkan oleh austenit sisa yang

bertransformasi menjadi bainit (Chadwick, 1989). Martensit merupakan struktur yang metastabil, jika dibiarkan saja pada temperatur kamar maka tidak akan terjadi perubahan, akan tetapi bila dipanaskan kembali ia akan mengalami perubahan menuju struktur yang lebih stabil, yakni ferit dan juga sementit (Wahid, 2011).

Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ekasurya (2014) yang membahas pengaruh tempering dengan variasi *holding time*, dimana hasil dari penelitiannya telah menyimpulkan bahwa semakin lama *holding time* pada proses *tempering* akan menurunkan kekerasan dari baja AAR Grade B+. Dan juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Azizi (2019) bahwasannya semakin tinggi temperatur *tempering* dan semakin lama *holding time* dalam proses *tempering* yang diterapkan pada baja AISI 4340 kekerasannya semakin menurun.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Semakin lama *holding time* ketika proses *tempering*, maka mengalami penurunan kekerasan. Secara berurutan material hasil *tempering* yang memiliki kekerasan tertinggi hingga terendah adalah sampel 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.
2. Semakin tinggi temperatur *tempering* yang diterapkan, maka mengalami penurunan kekerasan. Secara berurutan material hasil *tempering* yang memiliki kekerasan tertinggi hingga terendah adalah sampel 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.

5.2 Saran

Adapun saran dari dan bagi penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat secara lebih akurat struktur kristal yang terbentuk dan mengukur tegangan internal dari setiap sampel.
2. Proses perlakuan panas sebaiknya menggunakan *furnace* yang mempunyai akurasi temperatur yang baik.
3. Media *quenching* air rentan menimbulkan *crack* pada baja setelah *quenching*.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR PUSTAKA

____. 1991. **ASM Handbook Volume 4: Heat Treatment**. USA: ASM International.

____. 2015. **ASTM A29. Standard Specification for General Requirements for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought**. USA: ASTM International.

____. 2017. **ASTM E92 Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials**. USA : ASM International.

Alexander dkk, Sriatie Djaprie, 1990. **Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan**. Jakarta: Gramedia.

Amstead, BH. dkk. 1981 **Teknologi Mekanik**. Alih Bahasa: Ir. Sriati Djaprie, M.Met. Jakarta: Erlangga.

ASSAB. 2018. **ASSAB 709 Product Book**. ASSAB Steels.

Avner, Sidney H. 1974. **Introduction to Physical Metallurgy**. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

Azizi, Muhammad Junda. 2018. **Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Tempering Terhadap Kekerasan Baja ASSAB 705 yang Dihardening Untuk Aplikasi Poros Pompa Multistage**. Surabaya: ITS.

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.

Dietzel, Fritz. 1996. **Turbin, Pompa dan Kompresor**. Jakarta: Erlangga.

Ekasurya, Danny, dkk. 2014. **Pengaruh Heat Treatment Tempering Dengan Variasi Holding Time Terhadap Sifat Mekanik Baja AAR M201 Grade B+**. Jember: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Jember.

Fendri, Risno, dkk. 2018. **Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Akibat Perbedaan Temperatur**

Pada Perlakuan Panas Tempering. Padang: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang.

Future-Tech. 2011. **Sample Preparation Machines Product Book**. Future-Tech Corp.

G. A. Chadwick. 1989. **Metallography of Phase Transformation – Fifth Edition**. London: Butterworths, Heinemann.

Handoyo, Yopi. 2015. **Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja JIS Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Crankshaft**. Bekasi : Jurnal Imiah Teknik Mesin, 3, (2), 102-115.

Mizhar, Susri & Burhanuddin Tampubolon, Gerhana. 2015. **Analisa Kekerasan dan Struktur Mikro Terhadap Variasi Temperatur Tempering Pada Baja AISI 4140**. Medan. Jurnal Ilmiah Mekanik ITM. 1, (2), 98-104.

M. D. Charre. 2004. **Microstructure of Steels and Cast Irons**. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Sawitri, Dyah, dkk. 2015. **Perancangan Mekanik Mesin Poles Untuk Proses Metalografi Bahan Menggunakan Motor Listrik**. Surabaya : ITS.

Suherman, Wahid. 1999. **Ilmu Logam II**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Suherman, Wahid. 2001. **Perlakuan Panas**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Suherman, Wahid. 2003. **Ilmu Logam I**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Suherman, Wahid. 2011. **Perlakuan Panas**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Totten, George E. 2007. **Steel Heat Treatment Metallurgy and Technologies Second Edition**. USA: Taylor & Francis Group.

Ulutan, Mustafa, dkk. 2010. **Effect of Different Surface Treatment Methods on the Friction and Wear Behavior of AISI 4140 Steel**. Turkey: Journal University of Eskisehir Osmangazi.

Weriono & Renaldi. 2018. **Karakteristik Kekuatan Material AISI 4140 Dengan Variasi Diameter Akibat Proses Temper Quench**. Jurnal Sainstek STT, 6, (1), 35-40.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

LAMPIRAN

1. Hasil Uji Komposisi Sampel

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

SPECTRO

Method: Fe-10-F IARM 200C 9/27/2019 10:35:13 AM
Comment: Low alloy Steel Element concentration
Sample Name: Quality:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.407	0.236	0.840	0.0206	0.0138	0.925	0.186	0.0180
2	0.419	0.244	0.820	0.0226	0.0154	0.915	0.186	0.0200
3	0.387	0.232	0.832	0.0196	0.0121	0.920	0.182	0.0199
< x > (3)	**0.405**	**0.237**	**0.830**	**0.0209**	**0.0138**	**0.920**	**0.185**	**0.0193**
sd	0.0162	0.0051	0.0098	0.0015	0.0017	0.0052	0.0026	0.0011
rsd	4.0	2.6	1.2	7.2	12.2	0.6	1.4	5.9

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0264	0.0084	0.0407	< 0.0010	0.0030	0.0046	< 0.0100	< 0.0030
2	0.0307	0.0081	0.0407	< 0.0010	0.0029	0.0046	< 0.0100	< 0.0030
3	0.0255	0.0073	0.0405	< 0.0010	0.0025	0.0045	< 0.0100	< 0.0030
< x > (3)	**0.0275**	**0.0079**	**0.0406**	**< 0.0010**	**0.0028**	**0.0046**	**< 0.0100**	**< 0.0030**
sd	0.0028	0.00054	0.00011	0.00000	0.00027	0.00007	0.00000	0.00000
rsd	10.1	6.9	0.3	0.0	9.6	1.6	0.0	0.0

	Sn	As	Zr	Bi	Ca	Ce	B	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0035	0.0065	< 0.0015	< 0.0040	0.0022	< 0.0030	0.00027	< 0.0020
2	0.0043	0.0086	< 0.0015	< 0.0040	0.0048	< 0.0030	0.00027	< 0.0020
3	0.0037	0.0071	< 0.0015	< 0.0040	0.0021	< 0.0030	0.00027	< 0.0020
< x > (3)	**0.0038**	**0.0074**	**< 0.0015**	**< 0.0040**	**0.0030**	**< 0.0030**	**0.00027**	**< 0.0020**
sd	0.00041	0.0011	0.00000	0.00000	0.0015	0.00000	0.00000	0.00000
rsd	10.8	14.8	0.0	0.0	50.5	0.0	0.6	0.0

	La	Fe	Sb	Te				
	%	%	%	%				
1	< 0.0010	97.2	0.0021	0.0021				
2	< 0.0010	97.2	0.0043	0.0025				
3	< 0.0010	97.3	0.0034	0.0027				
< x > (3)	**< 0.0010**	**97.2**	**0.0033**	**0.0024**				
sd	0.00000	0.0272	0.0011	0.00030				
rsd	0.0	0.0	34.4	12.6				

Tanda tangan

PT. LOGAMINDO SARIMULIA
Jl. Mayjen. Sungkono - Surabaya
Telp. (031) 8544540 - 41, 3538787
Fax.(031) 8544542

- 1 -

2. Standar ASTM A29

A 29/A 29M – 05

TABLE 2 Grade Designations and Chemical Compositions of Alloy Steel Bars

NOTE 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 in the following maximum amounts: copper, 0.35 %; nickel, 0.25 %; chromium, 0.20 % and molybdenum, 0.06 %.

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

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

NOTE 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	0.28–0.33	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	...
1335	0.33–0.38	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	...
1340	0.38–0.43	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	...
1345	0.43–0.48	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35			
4012	0.09–0.14	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.15–0.25
4023	0.20–0.25	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.20–0.30
4024	0.20–0.25	0.70–0.90	0.035	0.035–0.050	0.15 to 0.35	...	...	0.20–0.30
4027	0.25–0.30	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.20–0.30
4028	0.25–0.30	0.70–0.90	0.035	0.035–0.050	0.15 to 0.35	...	...	0.20–0.30
4032	0.30–0.35	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.20–0.30
4037	0.35–0.40	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.20–0.30
4042	0.40–0.45	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.20–0.30
4047	0.45–0.50	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.20–0.30
4118	0.18–0.23	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.40–0.60	0.08–0.15
4120	0.18–0.23	0.90–1.20	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.40–0.60	0.13–0.20
4121	0.18–0.23	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.45–0.65	0.20–0.30
4130	0.28–0.33	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15 to 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 to 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 to 0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4140	0.38–0.43	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15 to 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 to 0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4145	0.43–0.48	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15 to 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 to 0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4150	0.48–0.53	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15 to 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 to 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 to 0.35	1.65–2.00	0.40–0.60	0.20–0.30
4340	0.38–0.43	0.60–0.80	0.035	0.040	0.15 to 0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
E4340	0.38–0.43	0.65–0.85	0.025	0.025	0.15 to 0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
4419	0.18–0.23	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.45–0.60
4422	0.20–0.25	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.35–0.45
4427	0.24–0.29	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	...	0.35–0.45
4615	0.13–0.18	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15 to 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 to 0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4621	0.18–0.23	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 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 to 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 to 0.35	0.70–1.00	0.45–0.65	0.45–0.60
4718	0.16–0.21	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 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 to 0.35	0.90–1.20	0.35–0.55	0.15–0.25
4815	0.13–0.18	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15 to 0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
4817	0.15–0.20	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15 to 0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
4820	0.18–0.23	0.50–0.70	0.035	0.040	0.15 to 0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
5015	0.12–0.17	0.30–0.50	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.30–0.50	...
5046	0.43–0.48	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.20–0.35	...
5115	0.13–0.18	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.70–0.90	...
5120	0.17–0.22	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.70–0.90	...
5130	0.28–0.33	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.80–1.10	...
5132	0.30–0.35	0.60–0.80	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.75–1.00	...
5135	0.33–0.38	0.60–0.80	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.80–1.05	...
5140	0.38–0.43	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.70–0.90	...
5145	0.43–0.48	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.70–0.90	...
5147	0.46–0.51	0.70–0.95	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.85–1.15	...
5150	0.48–0.53	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.70–0.90	...
5155	0.51–0.59	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.70–0.90	...
5160	0.56–0.61	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.70–0.90	...
E50100	0.98–1.10	0.25–0.45	0.025	0.025	0.15 to 0.35	...	0.40–0.60	...
E51100	0.98–1.10	0.25–0.45	0.025	0.025	0.15 to 0.35	...	0.90–1.15	...
E52100	0.98–1.10	0.25–0.45	0.025	0.025	0.15 to 0.35	...	1.30–1.60	...
52100[B]	0.93–1.05	0.25–0.45	0.025	0.015	0.15 to 0.35	...	1.35–1.60	...
6118	0.16–0.21	0.50–0.70	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.50–0.70	(0.10–0.15 V)
6150	0.48–0.53	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	...	0.80–1.10	(0.15 min V)
8115	0.13–0.18	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	0.20–0.40	0.30–0.50	0.08–0.15
8615	0.13–0.18	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15 to 0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25

3. Standar ASSAB 709

GENERAL

ASSAB 709 is an alloyed machinery steel with high strength in small and medium size.
ASSAB 709 is supplied as quenched and hardened requiring no further heat treatment. However, it can be water, oil or polymer quenched to higher mechanical properties.

Typical analysis %	C 0.4	Si 0.2	Mn 0.8	Cr 1.0	Mo 0.2
Reference standard	AISI 4140, DIN 42CrMo4, WNr. 1.7225, BS EN19, AFNOR 42CD4, JIS SCM 4				
Delivery condition	Quenched and tempered to 285-352HB				

PROPERTIES

MECHANICAL DATA

QUENCHED AND TEMPERED

Mechanical Properties	Typical values under supplied condition	
Diameter, mm	≤100	101-210
Yield strength, Rp 0.2, N/mm²	≥ 750	≥ 650
Tensile strength, N/mm²	≥ 950	≥ 850
Elongation, A_5, %	≥ 12	≥ 14
Reduction of area, Z, %	≥ 42	≥ 45
Impact strength (Charpy-V at −20°C), J/cm²	≥ 50	≥ 50

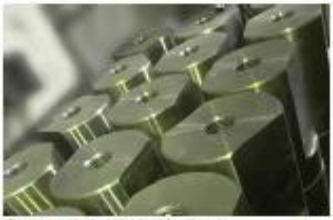
APPLICATIONS

ASSAB 709 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 709 is suitable for flame and induction hardening and can also be nitrided or tuftrided to a surface hardness of 600-650 Vickers.

ASSAB 709 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.



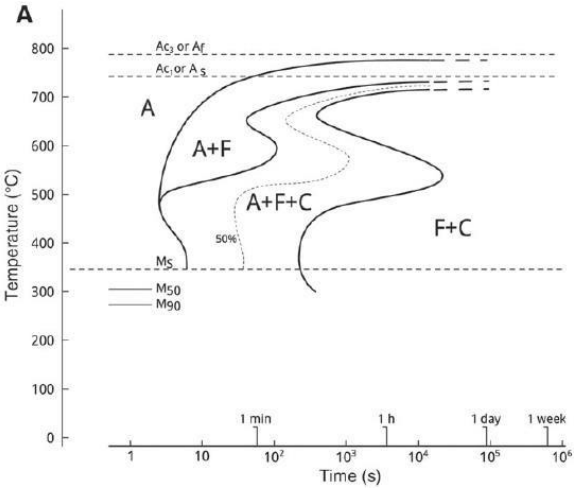
Components (main shafts) for palm oil extract

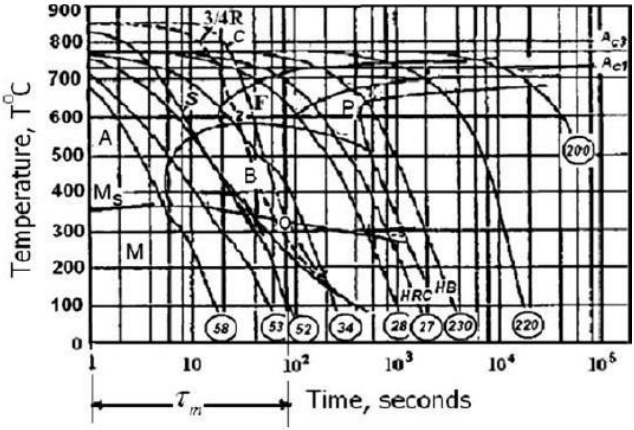
Car components

ASSAB is a trademark of voestalpine High Performance Metals Pacific Pte Ltd. The information contained herein is based on our present state of knowledge and is intended to provide general notes on our products and their uses. It should not therefore be construed as a warranty of specific properties of the products described or a warranty for fitness for a particular purpose. Each user of ASSAB products is responsible for making its own determination as to the suitability of ASSAB products and services.

Edition 20180208

4. Diagram TTT dan CCT AISI 4140





5. Hasil Uji Kekerasan Sampel Per Titik

Sampel	Hasil Uji Kekerasan (HV)			
	1	2	3	4
TP	300	299	290	280
H	648	643	614	583
1	383	382	376	375
2	379	375	375	369
3	376	375	367	362
4	372	368	365	363
5	366	363	359	347
6	361	357	340	331
7	351	349	344	341
8	349	341	340	338

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir, serta selalu mendukung dan mendoakan demi kelancaran perkuliahan di ITS.
2. Bapak Sutari dan Bapak Abdul Chanan selaku laboran di Lab Metalurgi & Manufaktur yang banyak membantu selama proses eksperimen Tugas Akhir di lab.
3. Aria sebagai *partner* tugas akhir penulis yang sangat membantu selama mengerjakan Tugas Akhir.
4. Mas Ghazi dan Mas Junda MT17 yang telah banyak berbagi pengetahuan tentang topik perlakuan panas.
5. Rekan-rekan grader metalurgi MT17, MT18, dan MT19 sebagai tempat penulis belajar lebih dalam tentang metalurgi dan tukar pikiran tentang topik-topik yang terkait.
6. Teman-teman grader perlakuan panas 19/20 dan kelas C perlakuan panas 19/20 yang banyak memberikan bantuan kepada penulis dalam eksperimen mencari variabel perlakuan panas yang sesuai.
7. Teman teman Enaena Squad (Daniel, Iqbal, Aria, Vian, Henokh, Firman, Edwin, Afni, Vito, Nabil, Wira, Rio) yang banyak memberikan hiburan serta dukungan selama masa kuliah ini.
8. Teman teman Metal Mentul (Aria, Rafdi, Nail, Eka, Febri, Bayu, Fitra, Edwin, Handis, Nabil, Wira, Rio) yang banyak bekerjasama di lab dan memberi bantuan pengerjaan Tugas Akhir.
9. Angkatan MT18 dan juga mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi secara umum, yang telah menemani dan berbagi banyak pengalaman berharga semasa kuliah.

10. HMMT, ITS Billiard, dan Mahkamah Mahasiswa sebagai wadah pengembangan diri penulis semasa kuliah.
11. Seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas bantuan yang diberikan

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Erasmus Reyhan Irvandy. Lahir di kota Surabaya pada tanggal 03 Februari 1999 dari pasangan R. Irvan Wahyudrajad dan Rr. Dyah Prahasti Indra Nurcahyani. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Lidah Kulon 1 Surabaya, SMPN 28 Surabaya, dan SMAN 9 Surabaya. Kemudian penulis melanjutkan studi perguruan tinggi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.

Selama kuliah, penulis aktif di beberapa organisasi dan kepanitiaan. Penulis pernah menjabat sebagai staf Departemen Media dan Informasi ITS Billiard 17/18 dan juga Wakil Kepala Departemen Media dan Informasi ITS Billiard 18/19. Penulis juga pernah menjabat sebagai staf Media dan Informasi HMMT FTI-ITS 17/18 dan menjadi staf ahli pada kepengurusan 18/19, serta sebagai Wakil Kepala Departemen Media dan Informasi Mahkamah Mahasiswa ITS 18/19. Di kepanitiaan, penulis pernah menjadi pemandu di acara Gerigi ITS 2018. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Steel Pipe Industry of Indonesia (SPINDO) Unit II pada bulan Juni-Agustus 2019, dengan mendalami topik terkait Analisis Pengaruh *Annealing* Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pipa Baja SUS304 Produksi PT. SPINDO Unit II. Penulis mengambil tugas akhir dalam bidang Metalurgi Manufaktur, khususnya perlakuan panas pada baja AISI 4140. Penulis dapat dihubungi melalui *email* dan nomor telepon: reyhan.i.erasmus@gmail.com dan 085852709095.