

**PENGARUH PROSES QUENCHING DENGAN VARIASI  
MEDIA PENDINGIN PADA KEKERASAN SERTA  
STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1045**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Mesin



Disusun oleh:

Christjohn Alexander

NIM : 205214089

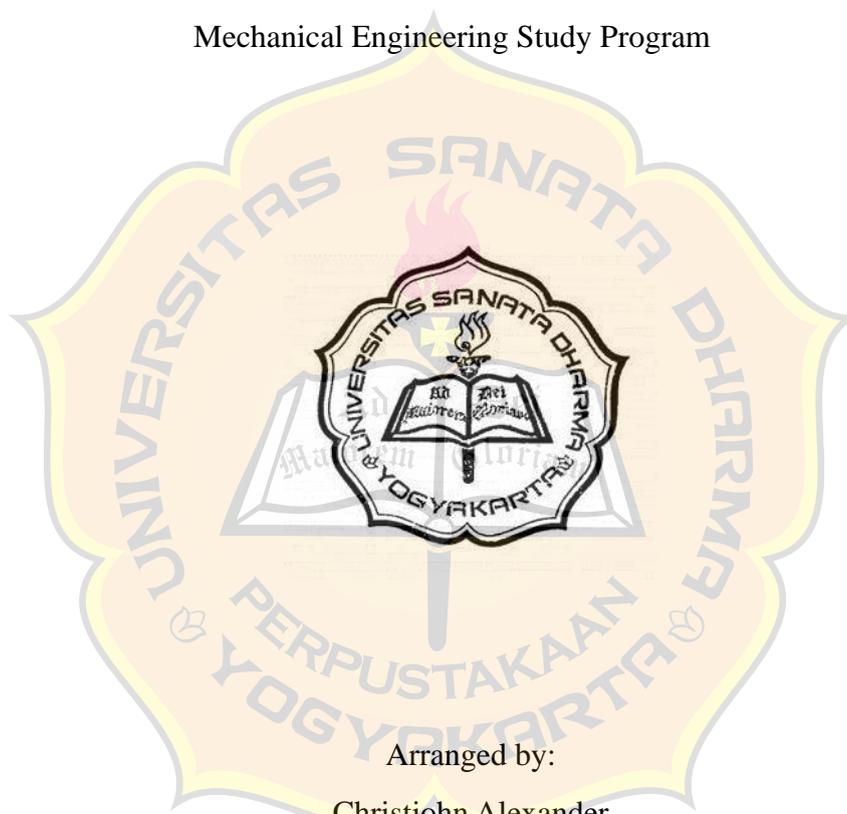
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA**

**2024**

**EFFECT OF QUENCHING PROCESS WITH VARIATIONS OF  
COOLING MEDIA ON HARDNESS AND MICRO STRUCTURE OF AISI  
1045 STEEL**

**FINAL PROJECT**

Submitted to fulfill one of the requirements  
to obtain a Bachelor of Engineering degree  
Mechanical Engineering Study Program



Arranged by:

Christjohn Alexander

NIM : 205214089

**FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
SANATA DHARMA UNIVERSITY  
YOGYAKARTA**

**2024**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Mengesahkan skripsi dengan judul:

**PENGARUH PROSES QUENCHING DENGAN VARIASI MEDIA  
PENDINGIN PADA KEKERASAN SERTA STRUKTUR MIKRO BAJA  
AISI 1045**

Disusun Oleh:

Christjohn Alexander

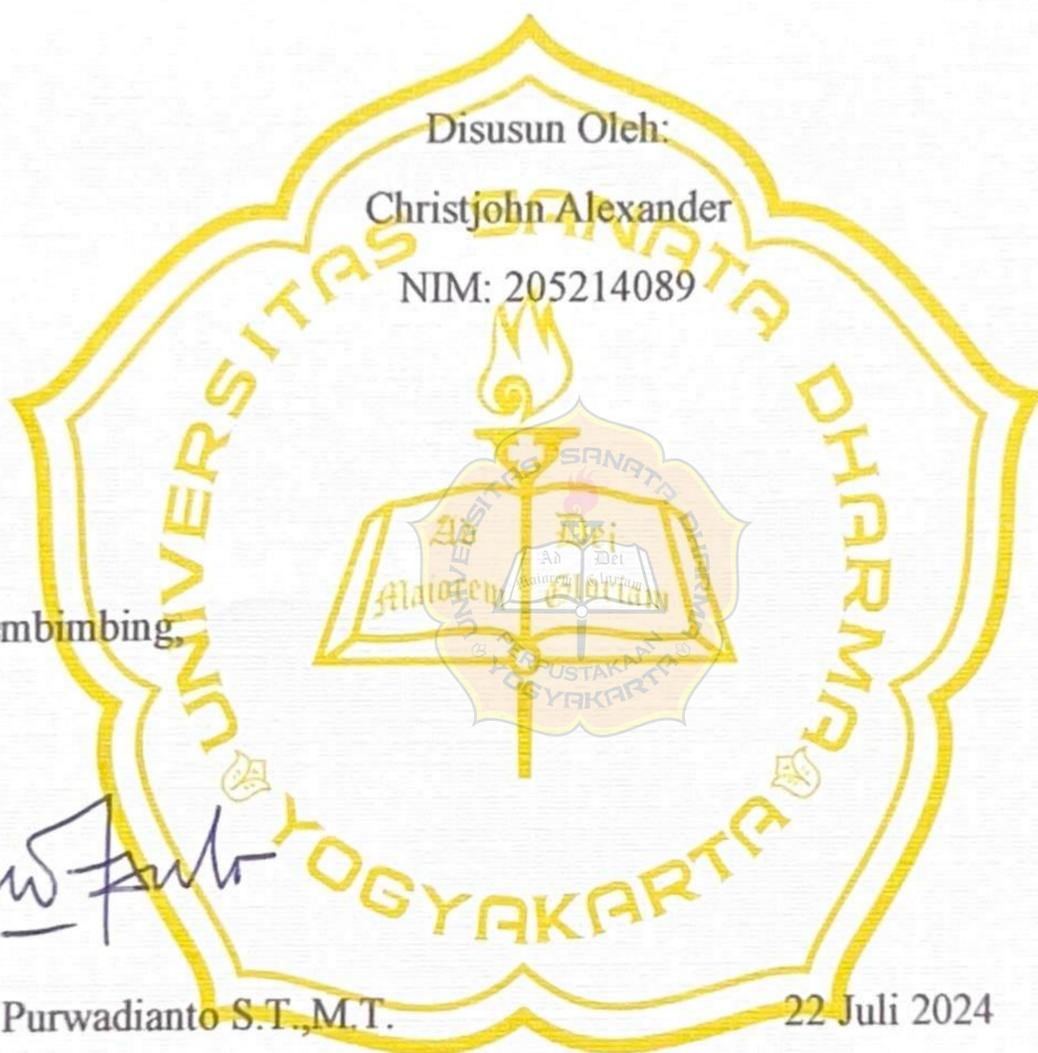
NIM: 205214089

Dosen Pembimbing,



Ir. Doddy Purwadianto S.T., M.T.

22 Juli 2024



PENGARUH PROSES QUENCHING DENGAN VARIASI MEDIA  
PENDINGIN PADA KEKERASAN SERTA STRUKTUR MIKRO BAJA  
AISI 1045

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Christjohn Alexander

NIM : 205214089

Susunan Dewan Penguji:

Jabatan

Nama Lengkap

Tanda Tangan

Ketua

: Ir. Budi Setyahandana, S.T.,M.T.



Sekretaris

: Dr. Ir. YB. Lukiyanto



Anggota

: Ir. Doddy Purwadianto, S.T.,M.T.



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta, 22 Juli 2024

Fakultas Sains Dan Teknologi

Universitas Sanata Dharma

Dekan



Dr. H. Sriwindono, M.Kom. Ph.D.

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi dengan  
judul:

**PENGARUH PROSES QUENCHING DENGAN VARIASI MEDIA  
PENDINGIN PADA KEKERASAN SERTA STRUKTUR MIKRO BAJA  
AISI 1045**

Skripsi ini disusun untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Saya menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi yang saya tulis ini tidak memuat karya atau bagian karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan dalam kutipan dan daftar pustaka dengan mengikuti ketentuan sebagaimana layaknya karya ilmiah.



Yogyakarta, 22 Juli 2024

Christjohn Alexander

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya mahasiswa Universitas Sanata Dharma:

Nama : Christjohn Alexander

NIM : 205214089

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada

Perpustakaan Universitas Sanata Dharma karya ilmiah saya yang berjudul:

**PENGARUH PROSES QUENCHING DENGAN VARIASI MEDIA  
PENDINGIN PADA KEKERASAN SERTA STRUKTUR MIKRO BAJA  
AISI 1045**

Dengan demikian saya memberikan hak kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma baik untuk menyimpan, mengalihkan dalam bentuk media lain, mengolah dalam bentuk pangkalan data, mendistribusikan secara terbatas, dan mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya atau memberikan royalti kepada saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Yogyakarta, 22 Juli 2024



Christjohn Alexander

## ABSTRAK

Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, terutama pada bidang permesinan dan konstruksi. Salah satunya adalah baja AISI 1045 yang tergolong baja paduan karbon sedang dan sering digunakan sebagai material utama pada mesin seperti roda gigi, batang penghubung piston, dan terutama poros pada mobil dan kendaraan industri. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui kekerasan dan pengaruh struktur mikro terhadap kekerasan pada variasi suhu *quenching* 900<sup>0</sup>C, 925<sup>0</sup>C, dan 950<sup>0</sup>C pada baja AISI 1045. Quenching dengan media pendingin tertentu dapat mempengaruhi sifat kekerasan baja AISI 1045. Proses *quenching* pada penelitian ini diawali dengan proses perlakuan panas dimana baja AISI 1045 ditahan pada suhu 900 °C, 925 °C, dan 950 °C selama 30 menit, dilanjutkan dengan pendinginan cepat menggunakan dua media pendingin yang berbeda. Media pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah air garam dan air biasa. Uji kekerasan Vickers dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin dan suhu pemanasan terhadap nilai kekerasan baja AISI 1045. Beban yang diterapkan pada uji kekerasan Vickers adalah 5 kg, dan waktu dorong dan tahan 10 detik. Hasil pengujian menunjukkan nilai kekerasan baja AISI 1045 meningkat, mencapai nilai tertinggi sebesar 596,74 HV untuk sampel menggunakan media quenching air biasa, disusul 550,54 HV untuk air garam, dan *normalizing* mencapai 205,98 HV. Selanjutnya dilakukan observasi mikrostruktur untuk mengetahui mekanisme pengerasan dan tahapan pengerasan baja AISI 1045 akibat proses perlakuan panas dengan variasi media pendingin dan variasi suhu pemanasan.

Kata Kunci : Baja AISI 1045, quenching, media pendingin (air asin dan air biasa), pengujian kekerasan

## ABSTRACT

*Steel is one of the metals that is widely used in various fields, especially in the field of machinery and construction. One of them is AISI 1045 Steel which is classified as medium carbon alloy steel and is often used as the main material in engines such as Gears, piston connecting rods, and especially shafts in cars and industrial vehicles. The purpose of the research will be to determine the hardness and influence of microstructures on the hardness of quenching temperature variations of 900°C, 925°C, and 950°C in AISI 1045 steel. Quenching with certain cooling media can affect the hardness properties of Aisi 1045 steel. The quenching process in this study begins with a heat treatment process in which Aisi 1045 steel is held at a temperature of 900 °C, 925 °C, and 950 °C for 30 minutes, followed by rapid cooling using two different cooling media .Cooling Media used in this study is salt water and plain water. Vickers hardness test was conducted to determine the effect of variations in cooling media and heating temperature on the hardness value of Aisi 1045 steel. The load applied to the Vickers hardness test is 5 kg, and the thrust and hold time is 10 seconds. The test results showed that the hardness value of Aisi 1045 steel increased, reaching the highest value of 596.74 HV for samples using ordinary water quenching media, followed by 550.54 HV for salt water, and normalizing reached 205.98 HV. Furthermore, microstructure observation was carried out to determine the mechanism of hardening and hardening stages of Aisi 1045 steel due to the heat treatment process with variations in cooling medium and variations in heating temperature.*

*Keywords: Aisi 1045 steel, quenching, cooling media (salt water and fresh water), hardness testing*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat karunianya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan naskah skripsi yang berjudul "PENGARUH PROSES QUENCHING DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGIN PADA KEKERASAN SERTA STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1045".

Naskah skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Dalam penyusunan naskah skripsi, penulis telah melakukan serangkaian penelitian di Laboratorium Ilmu Logam dan Riset berdasarkan referensi atau tinjauan pustaka. Pada akhirnya, penyusunan naskah skripsi ini dapat terselesaikan berkat kasih Tuhan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimah kasih kepada:

1. Ir. Drs. Haris Sriwindono, M.Kom, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Ir. Budi Setyahandana, S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Ir. Doddy Purwadianto, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Skripsi sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang telah sudi membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan selalu memberikan kritik dan saran yang membangun.
4. Segenap dosen dan karyawan Universitas Sanata Dharma yang telah membagikan ilmu dan pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan.

5. Seluruh staf Sekretariat Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Sanata Dharma Yogyakarta yang telah membantu proses administrasi dan kesuksesan penulis.
  6. Toar Jeremia Kumeang dan Winda Paulina Kaseger selaku orang tua penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dan semangat.
  7. Christalio dan Calista selaku adik yang selalu memberi dukungan dan semangat.
  8. Sahabat penulis: Engel, William, Yoji, Baskoro, Cahyono, Tianlu, Almajid, Michi, Samos, dan masih banyak lagi, sebagai sahabat selama berkegiatan di kampus dan di luar kampus.
  9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu karena telah membantu dan memberikan dorongan dalam menyelesaikan naskah skripsi ini.
- Penulis menyadari bahwa naskah skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, masukan, kritik, dan saran yang membangun diharapkan demi kesempurnaan naskah skripsi ini. Semoga naskah skripsi ini dapat berguna bagi penulis maupun pembaca. Terima kasih.

Yogyakarta, 22 Juli 2024



Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
HALAMAN KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Paduan Besi-Karbon (Baja).....	6
2.1.1 Klasifikasi Baja .....	6
2.2 Sifat Mekanik Baja .....	8
2.3 Baja AISI 1045 .....	10
2.4 Perlakuan Panas ( <i>Heat Treatment</i> ).....	12
2.4.1 <i>Normalizing</i> .....	14
2.4.2 <i>Quenching</i> .....	16
2.5 Mekanisme Pelepasan Panas Selama <i>Quenching</i> .....	17

2.5.1 Air Garam.....	18
2.5.2 Air Biasa.....	19
2.6 Pengamatan Struktur Mikro .....	20
2.7 Uji Kekerasan .....	21
2.7.1 Metode <i>Vickers</i> .....	21
2.8 Diagram Fase Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	23
2.9 Diagram TTT (Time Temperature Transformasion) .....	29
2.10 Diagram CCT (Countinuous Cooling Transformasion) .....	30
2.11 Tinjauan Pustaka .....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	33
3.2 Alat Yang Digunakan Pada Penelitian .....	35
3.3 Prosedur Pengujian Eksperimental .....	40
3.3.1 Pembuatan Spesimen.....	40
3.3.2 <i>Heat Treatment</i> .....	41
3.3.3 <i>Quenching</i> .....	41
3.3.4 Pengamatan Struktur Mikro .....	42
3.3.5 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> .....	43
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>45</b>
4.1 Analisis Data .....	45
4.2 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> .....	45
4.2.1 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	51
4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro .....	53
4.3.1 Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro .....	57
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>58</b>
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>60</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Baja (Rifnaldi & Mulianti, 2019) .....	10
Tabel 2.2 Pengelompokan AISI Berdasarkan Komposisi Kimia (Gultom et al., 2022).....	11
Tabel 2.3 Komposisi Baja AISI 1045 (Ardiansyah et al., 2013).....	11
Tabel 2.4 Perbedaan Karakteristik Dari Struktur Mikro Material (Pramono, 2011) .....	14
Tabel 3.1 Pembagian Spesimen <i>Quenching</i> .....	42
Tabel 4.1 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045 Proses <i>Normalizing</i> .....	46
Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045 Pada Suhu <i>Quenching</i> 900°C Menggunakan Air Garam .....	47
Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045 Pada Suhu <i>Quenching</i> 925°C Menggunakan Air Garam .....	47
Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045 Pada Suhu <i>Quenching</i> 950°C Menggunakan Air Garam .....	48
Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045 Pada Suhu <i>Quenching</i> 900°C Menggunakan Air Biasa .....	48
Tabel 4.6 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045 Pada Suhu <i>Quenching</i> 925°C Menggunakan Air Biasa .....	49
Tabel 4.7 Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045 Pada Suhu <i>Quenching</i> 950°C Menggunakan Air Biasa .....	49
Tabel 4.8 Hasil Nilai Rata-Rata Kekerasan <i>Vickers</i> Berdasarkan Variasi Temperatur <i>Quenching</i> Dan Media Pendingin.....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram transformasi <i>austenite</i> (Callister, 2013).....	13
Gambar 2.2 Diagram <i>Normalizing</i> (Callister, 2013).....	16
Gambar 2.3 Mekanisme pendinginan pada spesimen yang di- <i>quenching</i> (pramono, 2011).....	18
Gambar 2.4 Skema pengujian kekerasan <i>Vickers</i> .....	22
Gambar 2.5 Diagram Fase Fe – Fe <sub>3</sub> C (Callister 2013).....	23
Gambar 2.6 Struktur mikro <i>ferrite</i> (Calister, 2013) .....	24
Gambar 2.7 Struktur mikro <i>austenite</i> (Callister, 2013).....	25
Gambar 2. 8 Struktur mikro <i>pearlite</i> (Callister, 2013).....	26
Gambar 2. 9 Struktur mikro <i>cementite</i> (Callister, 2013).....	27
Gambar 2. 10 struktur mikro <i>martensite</i> (Callister, 2007).....	28
Gambar 2.11 Diagram TTT ( <i>Time-Temperatur-Transformation</i> ) untuk paduan baja karbon <i>eutectoid</i> (Rusjdi et al., 2016) .....	29
Gambar 2.12 Kurva diagram CCT ( <i>Continuous Cooling Transformation</i> ) untuk paduan baja karbon <i>eutectoid</i> (Rusjdi dkk., 2016).....	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 3.2 Alat uji kekerasan <i>Vickers</i> .....	35
Gambar 3.3 Tungku pembakaran ( <i>Furnace</i> ).....	36
Gambar 3.4 <i>Optical Microscopy</i> .....	37
Gambar 3.5 <i>Termometer</i> .....	38
Gambar 3.6 Mesin <i>Polishing</i> .....	39
Gambar 3.7 Spesimen Uji.....	41
Gambar 3.8 Ukuran Spesimen Uji <i>Vickers</i> .....	44

Gambar 4.1 Diagram Variabel & Nilai Kekerasan *Vickers* ..... 50

Gambar 4.2 Struktur Mikro Spesimen *Normalizing*..... 53

Gambar 4.3 Struktur Mikro Spesimen *Quenching* Air Garam Suhu 900<sup>0</sup>C ..... 54

Gambar 4.4 Struktur Mikro Spesimen *Quenching* Air Garam Suhu 925<sup>0</sup>C ..... 54

Gambar 4.5 Struktur Mikro Spesimen *Quenching* Air Garam Suhu 950<sup>0</sup>C ..... 55

Gambar 4.6 Struktur Mikro Spesimen *Quenching* Air Biasa Suhu 900<sup>0</sup>C ..... 55

Gambar 4.7 Struktur Mikro Spesimen *Quenching* Air Biasa Suhu 925<sup>0</sup>C ..... 56

Gambar 4.8 Struktur Mikro Spesimen *Quenching* Air Biasa Suhu 950<sup>0</sup>C ..... 56



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Baja merupakan salah satu elemen penting yang banyak digunakan dalam berbagai dunia industri, seperti manufaktur, konstruksi, otomotif, dan lain-lain. Karena kombinasi sifat mekanis yang baik seperti kekerasan, daya tahan, dan ketahanan aus. Salah satu baja yang umum dan sering digunakan yaitu baja AISI 1045 dengan sistem pengkodean skema penamaan yang diterapkan oleh AISI dan SAE (Society of Automotive Engineers), baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang dengan kandungan karbon sedang sekitar 0,43-0,50% (Pramono, 2011). Baja jenis ini banyak digunakan untuk berbagai aplikasi industri yang memerlukan kekuatan dan kekerasan yang cukup tinggi. Namun ketika digunakan, baja seringkali mengalami gesekan dan tekanan sehingga, hal ini mengurangi ketahanan aus dan kekerasan baja. Karakteristik ini dapat ditingkatkan dan disesuaikan dengan menerapkan beberapa perlakuan panas tertentu (Murjito dkk., 2019). Metode perlakuan panas yang umum digunakan pada baja yaitu *quenching* (pendinginan cepat). Proses *quenching* dapat mengubah struktur mikro dan sifat mekanis pada baja, termasuk kekerasan. Namun efek yang tepat dari proses *quenching* terhadap sifat mekanis baja AISI 1045, terutama kekerasan, masih perlu untuk lebih dipahami dan dianalisis lebih lanjut.

Perlu untuk diketahui bahwa, setiap material memiliki karakteristik tertentu. Ini termasuk sifat fisik, mekanik, termal, elektrik, dan magnetik. Sifat mekanik material adalah sifat yang berkaitan dengan reaksi material terhadap beban, seperti

masa jenis, berat jenis, pengantar listrik, dan bentuk. Sifat fisik material adalah sifat yang dihasilkan dari komponen fisiknya (Rifnaldi & Mulianti, 2019).

Menurut Rizal, Y. (2014) menyatakan bahwa sifat mekanik adalah sifat yang mengacu pada kemampuan suatu material untuk menahan gaya, beban, dan energi tanpa merusaknya. Sifat mekanik suatu material yaitu kekuatan (*streanght*), kekakuan (*stiffness*), plastisitas (*plastialy*), keuletan (*duktility*), ketanguhan (*toughness*), kegetasan (*brittleness*), kelelahan (*fatigue*) dan kekerasan (*hardness*).

Rifnaldi & Mulianti (2019) menyatakan bahwa untuk memperbaiki sifat mekanik suatu material dapat dilakukan dengan cara perlakuan panas pada material, proses ini meliputi pemanasan material pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu, dan didinginkan pada media tertentu pula. Perlakuan panas ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan, menghilangkan tekanan internal, menghaluskan butiran kristal, dan meningkatkan tegangan tarik logam.

Dalam proses *quenching* melibatkan pemanasan baja AISI 1045 ke suhu tinggi, lalu pendinginan tiba-tiba dalam berbagai media pendingin, seperti air, oli, air garam, minyak goreng, udara, dan sebagainya. Pendinginan cepat ini mengubah fasa struktur mikro pada baja, dan menyebabkan kekerasan yang lebih tinggi. Faktor-faktor penting dalam proses *quenching* antara lain, disain peralatan, media pendingin, konsentrasi pendingin, temperatur bak, dan laju gerakan pendinginan (Yunaidi, 2016). Pada saat proses *quenching*, struktur mikro pada baja mengalami perubahan cepat dari fasa austenitik yang panas ke fase martensitik yang sangat keras.

Faktor-faktor diatas dapat mempengaruhi sifat akhir dari proses bahan logam tersebut. Oleh karena itu, analisis kekerasan pada baja AISI 1045 sangat penting dilakukan dengan penggunaan metode serta pengoptimalan parameter yang sesuai. Beberapa hasil penelitian yang sudah dilakukan dirasa masih belum banyak menerapkan parameter-parameter proses *quenching*. Sehingga perlu untuk lebih jauh melakukan pengujian terkait proses *quenching* dengan variasi parameter lainnya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa efek *quenching* dengan media pendingin yang berbeda terhadap nilai kekerasan baja karbon AISI 1045, agar mendapatkan baja yang tidak getas dan kekerasan yang cukup. Penelitian ini akan membahas dampak variasi parameter perlakuan panas dengan media pendingin air garam dan air biasa dengan waktu penahanan 30 menit dan variasi temperatur 900<sup>0</sup>C, 925<sup>0</sup>C, dan 950<sup>0</sup>C yang digunakan dalam pengujian terhadap kekerasan akhir baja, dengan fokus pada pemahaman struktur mikro yang terbentuk selama proses tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh temperatur *quenching* pada suhu 900<sup>0</sup>C, 925<sup>0</sup>C, dan 950<sup>0</sup>C terhadap nilai kekerasan baja AISI 1045?
2. Bagaimana pengaruh struktur mikro terhadap kekerasan baja AISI 1045?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah:

1. Untuk mengetahui kekerasan pada variasi suhu *quenching* 900<sup>0</sup>C, 925<sup>0</sup>C, dan 950<sup>0</sup>C pada baja AISI 1045.
2. Untuk mengetahui pengaruh struktur mikro terhadap kekerasan baja AISI 1045.

## 1.4 Batasan Masalah

1. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kekerasan *vickers* dan pengujian struktur mikro.
2. Komposisi dari setiap spesimen baja AISI 1045 dianggap setara/homogen.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Banyak sekali manfaat yang diharapkan pada penelitian yang dilakukan. Salah satunya yaitu untuk mengetahui perubahan sifat mekanik dari baja AISI 1045 setelah melalui proses *quenching* dengan media pendingin yang berbeda. Selain itu manfaat lain dilakukanya penelitian ini yaitu:

### 1. Manfaat Praktis

- a. Mengetahui fenomena yang terjadi pada baja AISI 1045 (setelah maupun sebelum dilakukan proses pemanasan, *quenching*, uji struktur mikro, hingga pengujian kekerasan).
- b. Mengetahui perbandingan nilai kekerasan dari variasi suhu temperatur pemanasan dan media pendingin baja AISI 1045.
- c. Mengetahui pengaruh dari masing-masing media pendingin terhadap sifat mekanik baja AISI 1045.

### 2. Manfaat teoritis

- a. Memperkaya pengetahuan mengenai hasil pengujian dengan kondisi pengujian yang dilakukan
- b. Menambah pengetahuan mengenai kekerasan baja karbon AISI 1045 setelah melalui proses *quenching*.
- c. Menjadi referensi atau acuan bagi penelitian selanjutnya yang berada dalam lingkup teknik mesin maupun diluar lingkup teknik mesin.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Paduan Besi-Karbon (Baja)

Baja merupakan sebuah senyawa campuran antara besi dan karbon dimana unsur karbon menjadi dasar campurannya. Kandungan karbon dalam baja ini berkisar antara 0.2% hingga 2.1% dimana unsur kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai penguat dalam struktur baja. Selain itu baja juga merupakan komponen paling banyak digunakan dalam dunia industri manufaktur dan banyak digunakan sebagai material utama dalam menunjang berbagai keperluan industri, karena baja mempunyai sifat-sifat fisis dan mekanis yang bervariasi (Ginting et al., 2020)

##### 2.1.1 Klasifikasi Baja Termasuk Pengelompokan Berdasarkan Komposisi

###### Karbon

Baja adalah paduan besi dan karbon dengan konsentrasi tinggi unsur paduan lainnya. Ada ribuan paduan dengan komposisi dan perlakuan panas berbeda. Sifat mekanik baja bergantung pada konsentrasi karbonnya, yang biasanya kurang dari 1,0 persen. Secara umum, baja diklasifikasikan menjadi jenis karbon rendah, karbon sedang, dan karbon tinggi. Setiap kelompok memiliki subkelas berdasarkan konsentrasi unsur paduan lainnya. Baja karbon biasa hanya mengandung konsentrasi sisa pengotor, kecuali karbon dan sejumlah kecil mangan. Baja paduan

diproduksi menggunakan konsentrasi elemen paduan tertentu. Klasifikasi baja karbon adalah:

a. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah didefinisikan sebagai baja dengan kandungan karbon 0% sampai 0,25% berat besi. Baja karbon rendah cenderung memiliki sifat ulet yang lebih baik, namun karena kandungan karbonnya lebih rendah, proses perlakuan panas tidak menghasilkan fase *martensit*. Baja karbon rendah mempunyai kemampuan tempa dan keuletan yang sangat baik, sehingga baja karbon rendah sendiri sering digunakan sebagai material dalam industri manufaktur.

b. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang tergolong baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,25% hingga 0,6% dan memiliki kekuatan mekanik, keuletan, dan kekerasan yang baik. Karena kandungan karbon yang cukup untuk perlakuan panas, sifat mekanik dapat ditingkatkan dengan berbagai cara. Baja karbon sedang biasa digunakan untuk membuat perkakas dan bagian-bagian mesin seperti poros, roda gigi, dan pegas.

c. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi merupakan baja karbon dengan kandungan karbon 0,6% sampai 1,4% dibandingkan dengan berat besi yang digunakan pada baja tersebut. Baja karbon mempunyai kekerasan yang tinggi tetapi keuletannya sangat rendah. Baja karbon tinggi umumnya digunakan pada

perkakas yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap gesekan dan defleksi, serta pada berbagai perkakas seperti bantalan, bor, dan pahat (Jordi et al., 2017).

Logam juga memiliki sifat mekanik, yaitu kemampuan suatu material untuk menahan tekanan yang diberikan padanya. Beban dapat berupa tarik, tekuk, geser, puntir, tekan, atau kombinasi keempatnya. Sifat mekanik utama baja adalah:

1. Kekuatan (*power*) merupakan kemampuan suatu bahan untuk menyerap tegangan tanpa merusaknya. Ada beberapa jenis kekuatan yang dapat ditentukan berdasarkan kekuatan tarik, geser, tekan, puntir, dan kekuatan lenturnya, tergantung pada beban kerja.
  2. Kekerasan (*Hardness*) merupakan kemampuan suatu material untuk menahan goresan, keausan dan penetrasi. Hal ini berkaitan erat dengan ketahanan aus dan juga berkorelasi dengan kekerasan.
- Elastisitas (*Ductility*) merupakan kemampuan suatu material untuk menyerap tegangan setelah dihilangkan tanpa mengalami deformasi permanen. Elastisitas juga menunjukkan seberapa besar deformasi permanen yang akan terjadi. Dengan kata lain, elastisitas adalah kemampuan suatu bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami tegangan yang menyebabkan deformasi.

3. Kekakuan (*Stiffness*) merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan tegangan atau beban tanpa menimbulkan deformasi atau defleksi. Selain itu dalam beberapa kasus, kekakuan lebih penting daripada kekuatan.
4. Plastisitas (*Plasticity*) merupakan kemampuan suatu bahan atau material untuk mengalami serangkaian deformasi plastis permanen tanpa menyebabkan kerusakan. sifat ini sangat penting untuk bahan yang diproses dalam berbagai proses pembentukan seperti penggulungan, ekstrusi, dan penempaan. Sifat ini juga disebut daktilitas.
5. Ketangguhan (*Toughness*) merupakan kemampuan suatu bahan atau material untuk menyerap sejumlah energi tertentu tanpa menyebabkan kerusakan. Ketangguhan juga dapat diasumsikan sebagai ukuran jumlah energi yang dibutuhkan untuk mematahkan benda kerja dalam kondisi tertentu. Karakteristik ini penting akan tetapi dipengaruhi oleh banyak faktor dan sulit diukur.
6. Kelelahan (*Fatigue*) merupakan kecenderungan material logam untuk pecah ketika ditekan berulang kali pada tingkat jauh di bawah batas kekuatan elastis. Sebagian besar kerusakan pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Oleh karena itu, kelelahan merupakan sifat yang sangat penting, namun juga sulit diukur karena banyak faktor yang mempengaruhinya.
7. Keretakan (*creep*) merupakan kecenderungan suatu logam mengalami perubahan bentuk yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan atau material tersebut menerima beban yang besarnya relatif tetap (Jordi et al., 2017). Sifat mekanik baja dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah

Tabel 2.1 Sifat mekanik baja (Rifnaldi &amp; Mulianti, 2019).

Sifat Mekanik	Nilai
Kekuatan Tarik	396 N/mm
Kekuatan Luluh	380 N/mm
Elogation	16 % / mm
Modulus Elastisitas	200 Gpa
Massa Jenis	7,89 gr/cm

### 2.3 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah jenis baja karbon menengah yang distandarisisasi oleh American Iron and Steel Institute. Kode 1045 menunjukkan kandungan karbon pada baja sebesar 45 atau 0,45%, dan angka 10 menunjukkan karbon murni. Baja AISI 1045 biasanya digunakan untuk pembuatan komponen mekanis karena sifat mekaniknya yang kuat, kemampuan las, dan kemampuan mesin (Pratowo dan Fernando, 2018). Baja jenis ini biasa digunakan dalam pembuatan bagian mekanis seperti roda gigi, poros, bantalan, dan perkakas. Penggunaan baja AISI 1045 biasanya digunakan untuk menghasilkan komponen atau material yang harus mempunyai ketahanan aus yang baik, karena ciri dari benda yang diproduksi adalah

mampu menahan keausan akibat pengecilan dimensi akibat gesekan pada benda (Pramono, 2017).2011).

Tabel 2.2 Pengelompokkan AISI berdasarkan komposisi kimia (Gultom et al., 2022).

<b>AISI/SAE</b>	<b>Tipe</b>
1XXX	<i>Carbon steels</i>
2XXX	<i>Nickel steels</i>
3XXX	<i>Nickel-chromium steels</i>
4XXX	<i>Molybdenum steels</i>
5XXX	<i>Chromium steels</i>
6XXX	<i>Chromium-vanadium steels</i>
7XXX	<i>Tungsten steels</i>
8XXX	<i>Nickel-chromium-vanadium steels</i>
9XXX	<i>Silicon-manganese steels</i>

Berdasarkan Tabel 2.2, Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon sedang karena memiliki suhu 0,4 hingga 0,5% karbon (Ardiansyah et al., 2013). komposisi lengkap baja bisa dilihat pada Tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Komposisi baja AISI 1045 (Ardiansyah et al., 2013).

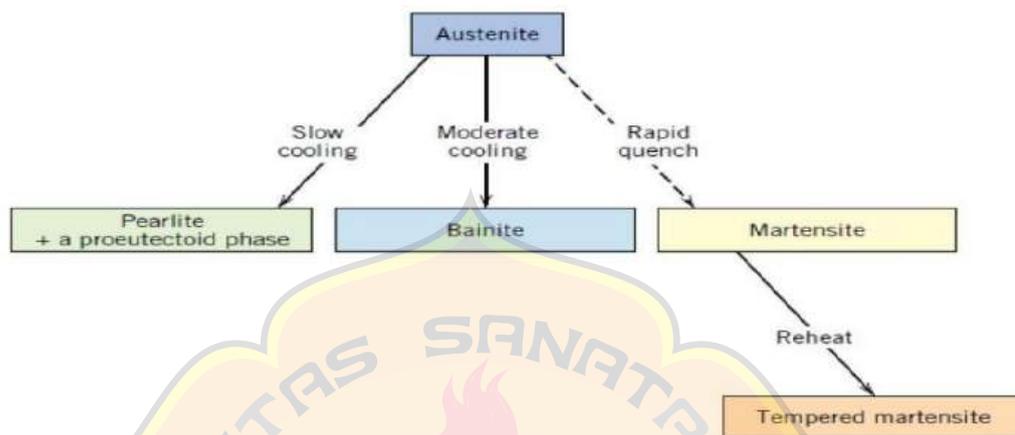
Unsur	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>P</i>
Komposisi	0,42 - 0,5	0,5 - 0,8	0,035 max	0,17 - 0,37	0,25 max	0,25 max	0,035

Selain itu, Baja AISI 1045 ini memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 396 N/m sehingga material ini sering digunakan sebagai bahan poros dalam dunia industri (Pramono, 2011). Sifat mekanis baja ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 diatas.

#### **2.4 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)**

Tujuan dari perlakuan panas adalah untuk menciptakan keuletan yang tinggi dan menghilangkan tekanan internal, sekaligus menghaluskan partikel logam dan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik logam. Perlakuan panas sendiri merupakan kombinasi pemanasan dan pendinginan material seperti logam dan baja. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses perlakuan panas adalah suhu pemanasan atau kerja, waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu yang diinginkan, laju pendinginan ketika logam mencapai suhu yang diinginkan, dan suasana sekitar itu sendiri. Pendapat lain mengenai perlakuan panas adalah transformasi struktur metalografi. Suatu proses di mana sampel dipanaskan sampai suhu rekristalisasi dalam tungku berjaket atau listrik selama jangka waktu tertentu dan kemudian didinginkan dengan media pendingin seperti udara. Air, air asin, minyak, dan solar masing-masing memiliki kepadatan pendinginan yang berbeda. Sifat-sifat logam, terutama sifat mekaniknya, sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam selain komposisi kimianya. Misalnya, logam atau paduan memiliki sifat mekanik yang berbeda dan struktur mikronya juga bervariasi. Dengan pemanasan atau pendinginan pada laju konstan, logam dan bahan paduan mengalami perubahan struktural (Saefuloh et al., 2018). Pada penelitian ini digunakan perlakuan panas yang berbeda suhu yaitu 900 °C, 925 °C, dan 950 °C, dengan waktu pemanasan 30 menit dan 1 jam, dilanjutkan dengan quenching

dengan media pendingin brine dan air tawar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh masing-masing media pendingin terhadap nilai kekerasan material setelah quenching.



Gambar 2.1 Diagram transformasi *austenite* (Callister, 2013).

Pada Gambar 2.1., diagram tersebut menjelaskan tentang pengaruh dari kecepatan pendinginan terhadap struktur mikro dari material. Garis putus-putus yang terdapat pada diagram tersebut berarti transformasi difusi, sedangkan garis *solid* menunjukkan transformasi tanpa difusi (Callister, 2013). Selain itu, setiap jenis struktur mikro yang terbentuk mempunyai karakteristik dan bentuk yang berbeda

Hal ini bisa dilihat pada Tabel 2.4 dibawah ini.

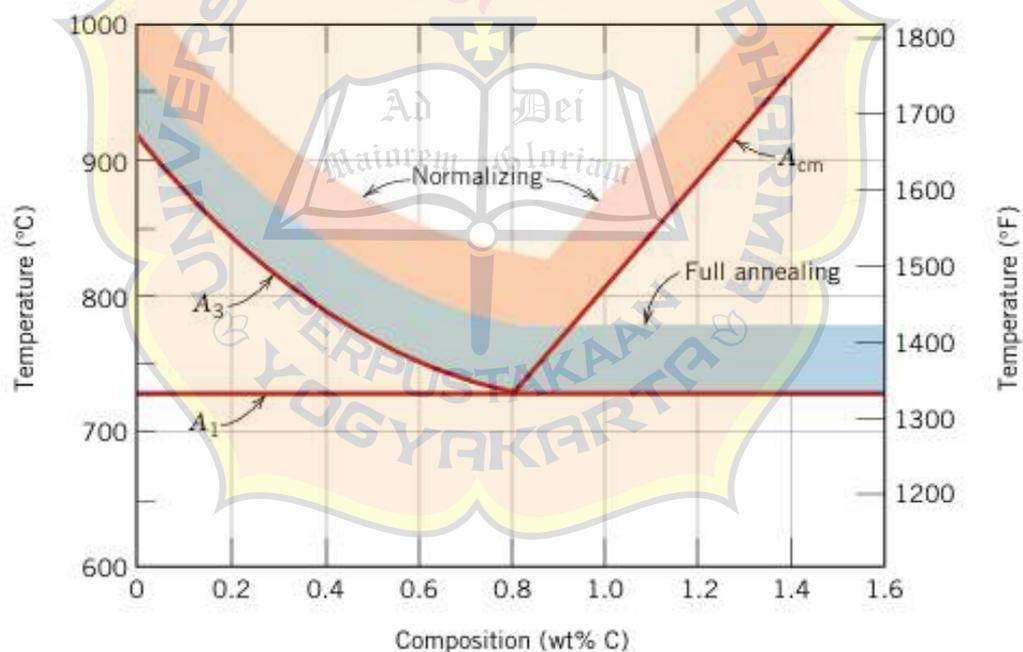
Tabel 2.4 Perbedaan karakteristik dari struktur mikro material (Callister, 2013).

<i>Microconstituent</i>	<i>Phases Present</i>	<i>Arrangement of Phases</i>	<i>Mechanical Properties (Relative)</i>
Spheroidite	$\alpha$ -Ferrite + Fe <sub>3</sub> C	Relatively small Fe <sub>3</sub> C spherulike particles in an $\alpha$ -ferrite matrix	Soft and ductile
Coarse pearlite	$\alpha$ -Ferrite + Fe <sub>3</sub> C	Alternating layers of $\alpha$ -ferrite and Fe <sub>3</sub> C that are relatively thick	Harder and stronger than spheroidite, but not as ductile as spheroidite
Fine pearlite	$\alpha$ -Ferrite + Fe <sub>3</sub> C	Alternating layers of $\alpha$ -ferrite and Fe <sub>3</sub> C that are relatively thin	Harder and stronger than coarse pearlite, but not as ductile as coarse pearlite
Bainite	$\alpha$ -Ferrite + Fe <sub>3</sub> C	Very fine and elongated particles of Fe <sub>3</sub> C in an $\alpha$ -ferrite matrix	Harder and stronger than fine pearlite; less hard than martensite; more ductile than martensite
Tempered martensite	$\alpha$ -Ferrite + Fe <sub>3</sub> C	Very small Fe <sub>3</sub> C spherulike particles in an $\alpha$ -ferrite matrix	Strong; not as hard as martensite, but much more ductile than martensite
Martensite	Body-centered, tetragonal, single phase	Needle-shaped grains	Very hard and very brittle

#### 2.4.1 Normalizing

Normalisasi melibatkan perlakuan panas pada logam hingga sekitar 400 °C di atas batas kritis logam, menahannya pada suhu tersebut untuk waktu yang cukup, dan kemudian mendinginkannya di udara. Proses pendinginan ini mempertahankan suhu logam selama kurang lebih 2 menit per mm ketebalan hingga suhu sampel mencapai suhu kamar. Tekstur yang dihasilkan antara lain perlit (eutektoid), perlit feritik coklat (hipoeutektoid), atau perlit sementit coklat (hipereutektoid). Normalisasi digunakan untuk mengubah struktur butiran dan menghasilkan austenit yang lebih homogen ketika baja dipanaskan kembali (Zayadi et al., belum dikonfirmasi). Normalisasi adalah proses yang dilakukan ketika baja yang telah mengalami deformasi plastis, misalnya melalui operasi penggulangan, terdiri dari butiran perlit dan fasa proeutektoid yang kemungkinan besar tidak beraturan,

bentuknya relatif besar, dan ukurannya sangat bervariasi. Baja perlitik berbutir halus dibuat lebih keras daripada baja berbutir kasar untuk mengurangi ukuran butir rata-rata dan mencapai distribusi ukuran butir yang lebih seragam yang diinginkan. Normalisasi terjadi dengan pemanasan hingga setidaknya  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $100\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) di atas suhu kritis. Melebihi  $A_3$  untuk komposisi di bawah eutektoid ( $0,76\% \text{ C}$ ) dan melebihi  $A_{cm}$  untuk komposisi di atas eutektoid. Jika paduan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk berubah sepenuhnya menjadi austenit, prosesnya disebut austenitisasi. Proses diakhiri dengan pendinginan udara dan kurva pendinginan yang dinormalisasi diterapkan pada diagram transformasi pendinginan berkelanjutan.



Gambar 2.2 Area perlakuan panas diagram fase Fe-Fe<sub>3</sub>C (Callister, 2013).

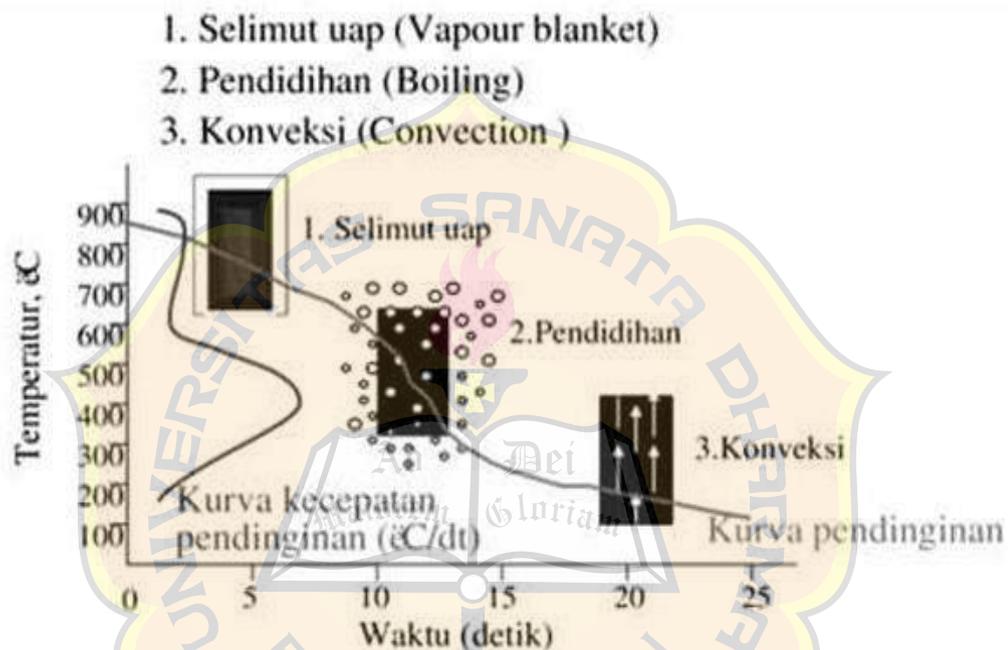
### 2.4.2 *Quenching*

*Quenching* adalah salah satu proses perlakuan panas melalui proses pendinginan cepat. Pada baja, proses *quenching* menghasilkan pendinginan dari suhu austenisasi ke fase *bainite* atau mencapai tingkat kekuatan dan kekerasan tertentu. Proses *quenching* dapat menyebabkan peningkatan nilai kekerasan seiring dengan meningkatnya jumlah kekerasan. Untuk komponen sepeda motor yang menggunakan baja AISI 1045 proses perlakuan *quenching* merupakan metode yang dapat diterapkan untuk meningkatkan nilai kekuatan dan kekerasan. Namun, nilai yang optimum perlu dilakukan berdasarkan parameter proses perlakuan panas yang tepat (Haryadi et al., 2021).

### 2.5 Mekanisme Pelepasan Panas Selama *Quenching*

Pada gambar dibawah merupakan rangkaian proses *quenching* yang terjadi pada spesimen yang telah dipanaskan hingga temperatur austenisasi dan didinginkan pada media pendingin cair dan akan mengalami mekanisme pendinginan seperti pada Gambar 2.3. Pada awal perendaman, logam akan diselimuti oleh selubung uap, yang akan pecah seiring dengan pendinginan logam. Perpindahan panas saat terbentuknya selubung uap ini buruk, dan proses logam akan mendingin dengan lambat pada tahap ini. Stabilitas dan durasi proses pendinginan tahap A sangat dipengaruhi oleh agitasi, umumnya waktu pendinginan tahap ini semakin menurun seiring dengan bertambahnya agitasi. Tahap B dari kurva pendinginan disebut titik didih nukleat dan pada tahap ini, terjadi perpindahan panas yang cepat karena logam langsung bersentuhan dengan air. Pada tahap ini logam masih sangat panas dan air akan mendidih dengan hebatnya. Laju pembentukan uap air menunjukkan laju perpindahan panas yang sangat tinggi.

Selain itu, perpindahan panas dalam tahap pendinginan ini dapat ditingkatkan dengan meningkatkan agitasi. Pada tahap C merupakan tahap pendinginan konveksi dan konduksi, dimana permukaan logam mempunyai titik didih lebih rendah dari air (Pramono, 2011b). Mekanisme pendinginan pada spesimen yang di *quenching* dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Mekanisme pendinginan pada spesimen yang di-*quenching* (Pramono, 2011).

### 2.5.1 Air Garam

Air asin mempunyai viskositas yang rendah, sehingga nilai viskositas cairan yang kecil memungkinkannya mendingin lebih cepat dibandingkan dengan cairan pendingin lainnya seperti air, solar, udara, dll, dan densitasnya meningkatkan kecepatan cairan pendingin. Dan laju pendinginannya akan lebih cepat. Kajian pendinginan cepat dengan air garam dilakukan peneliti Klaten dengan menggunakan 125 liter air dengan salinitas bervariasi 0 hingga 30%. Kandungan garam yang lebih tinggi telah terbukti meningkatkan kekerasan (Sutiyoko 2014). Kirono (2012) juga melakukan penelitian lebih lanjut mengenai salt water quenching dengan judul penelitian: "Pengaruh proses tempering baja karbon medium setelah oil and salt water quenching (NACL) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro". Pada penelitian ini baja SC45 dipanaskan pada suhu 850 °C kemudian ditemper pada suhu 600 °C selama 45 menit. Setelah baja SC45 dipanaskan, baja tersebut mengalami perlakuan pendinginan air garam, diikuti dengan pengujian tarik, kekerasan, dan metalografi. Media salin menghasilkan kuat tarik 855,05 N/mm<sup>2</sup>, kekerasan 30,9 HRC, dan mempunyai struktur mikro yaitu kristal ferit dan fasa sementit halus. Kesimpulan dari penelitian ini adalah semakin tinggi kandungan garam pada media pendingin maka semakin tinggi pula nilai kekerasan yang dihasilkan.

### 2.5.2 Air Biasa

Air mempunyai massa jenis yang lebih tinggi, tetapi lebih kecil dari air garam dan mempunyai viskositas yang lebih rendah, serupa dengan air garam. Laju pendinginan lebih lambat dibandingkan air asin. Air menghasilkan laju pendinginan mendekati maksimum. Keuntungan air sebagai media pendingin adalah harganya

yang murah dan mudah didapat, sehingga mengurangi dampak dan risiko terhadap lingkungan. Air juga sangat efektif menghilangkan kerak pada permukaan bagian baja yang mengeras. Oleh karena itu, air yang tidak menimbulkan distorsi berlebihan sering digunakan sebagai media. Air sering digunakan untuk mendinginkan baja tahan karat non-austenitik dan logam lain yang diberi perlakuan panas. Media pendingin air memiliki dua kelemahan. Kelemahan pertama adalah pendinginan air umumnya terbatas pada pendinginan sederhana karena laju pendinginan pada suhu rendah cepat dan lebih mungkin terjadi deformasi dan keretakan. Kerugian kedua dari penggunaan air murni adalah menciptakan lapisan atau selimut uap yang dapat memerangkap uap, mengakibatkan distribusi tegangan yang tidak merata dan tidak menguntungkan serta mengakibatkan deformasi.

Produk baja berpendingin air dapat menyebabkan karat, jadi harap berhati-hati saat menanganinya. (Jordi dkk., 2017).

## 2.6 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mengetahui struktur skala mikro material pada sampel besi cor setelah sebelum proses quenching. Persiapan yang dilakukan antara lain pengamplasan dengan kertas amplas dari grid 500 sampai 2000, *finishing* dengan metal *polishing* hingga spesimen mengkilap kemudian dilanjutkan dengan proses etsa yang bertujuan untuk membersihkan serta mengkorosi pada bagian batas butir spesimen uji. Perbesaran yang digunakan pada penguin foto mikro ini adalah 1000x (Tri Atmoko et al., 2021).

## 2.7 Uji Kekerasan

Uji kekerasan merupakan uji ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis akibat tekanan. Deformasi plastis sendiri merupakan suatu kondisi dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Dengan kata lain kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (Jordi et al., 2017).

### 2.7.1 Metode *Vickers*

Merupakan pengujian berdasarkan pada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah indentor yang berbentuk pyramid diamond terbalik dengan sudut puncak  $136^\circ$  yang kemudian di tekankan ke permukaan logam yang akan diuji kekerasannya, dimana permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih (Tri Atmoko et al., 2021). Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil kekerasan dalam perlakuan panas antara lain;

- a. Komposisi kimia
- b. Langkah perlakuan panas
- c. Cairan pendinginan
- d. Temperatur
- e. Waktu pemanasan

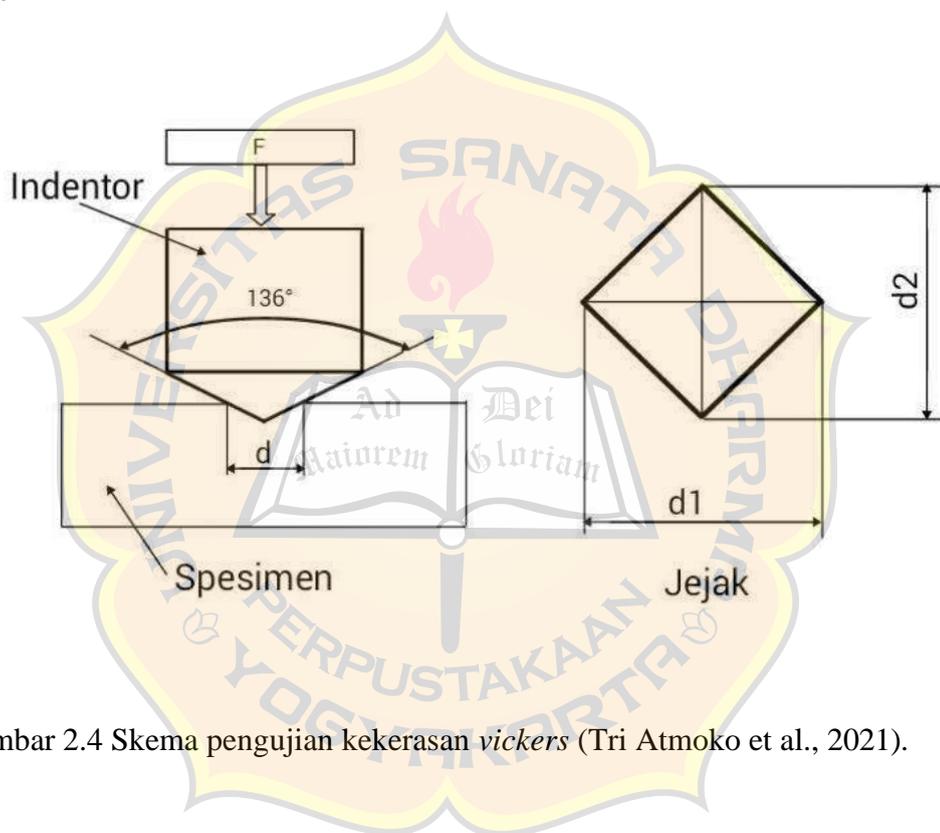
Angka kekerasan dapat diketahui dengan persamaan:

Dimana: 
$$HVN = \frac{2.F.Sin(\frac{\alpha}{2})}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots (1)$$

F = Beban yang digunakan (kg)

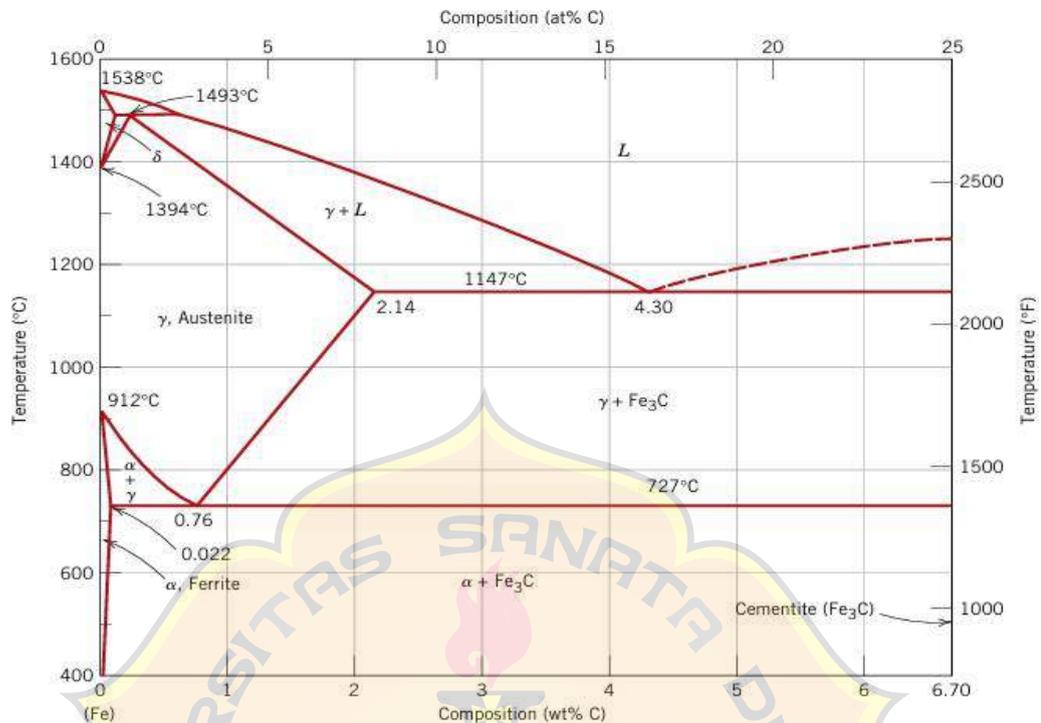
D = Panjang diagonal rata-rata (mm)

$\alpha$  = Sudut antara permukaan intan yang berhadapan (sudut puncak indentor) =  $136^0$



Gambar 2.4 Skema pengujian kekerasan vickers (Tri Atmoko et al., 2021).

## 2.8 Diagram Fase Fe-Fe<sub>3</sub>C



Gambar 2.5 Diagram Fase Fe – Fe<sub>3</sub>C (Callister, 2013).

Untuk menentukan suhu pemanasan suatu pengujian dan menentukan proses perlakuan panasnya dapat menggunakan diagram yang dapat membantu dalam menentukan suhu pemanasan, diagram ini disebut dengan diagram fase Fe – Fe<sub>3</sub>C. Diagram fase Fe – Fe<sub>3</sub>C merupakan diagram yang menampilkan hubungan antara suhu dan kandungan karbon, perubahan fasa terjadi selama proses pendinginan dan pemanasan. Diagram fase Fe-Fe<sub>3</sub>C adalah diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fase yang terjadi di dalam baja, serta untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang terjadi di dalam baja paduan dengan berbagai jenis perlakuan (Majanasatra 2013).

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C yaitu perubahan fase *ferrite* atau besi alfa ( $\alpha$ ), austenite atau besi gamma ( $\gamma$ ), cementite atau besi karbida, *pearlite*, dan *martensite*. Berikut adalah penjelasan fase dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Ferrite* atau besi alfa ( $\alpha$ )

*Ferrite* merupakan larutan karbon yang terkandung dalam struktur besi murni. Struktur *ferrite* mempunyai struktur kristal BCC (Body Centered Cubic) dan mempunyai sifat yang lunak dan ulet. Batas kelarutan tertinggi yang dimiliki oleh struktur *ferrite* hanya 0,022% C. kelarutan terbatas tersebut membuat atom-atom karbon pada BCC sulit untuk tertampung. Struktur *ferrite* akan mulai terbentuk ketika melewati temperatur sekitar 300°C sampai 727°C (Callister, 2013). Gambar 2.6 menyajikan gambar struktur mikro *ferrite*.



Gambar 2. 6 Struktur mikro *ferrite* (Calister, 2013).

## 2. *Austenite* atau besi *gamma* ( $\gamma$ )

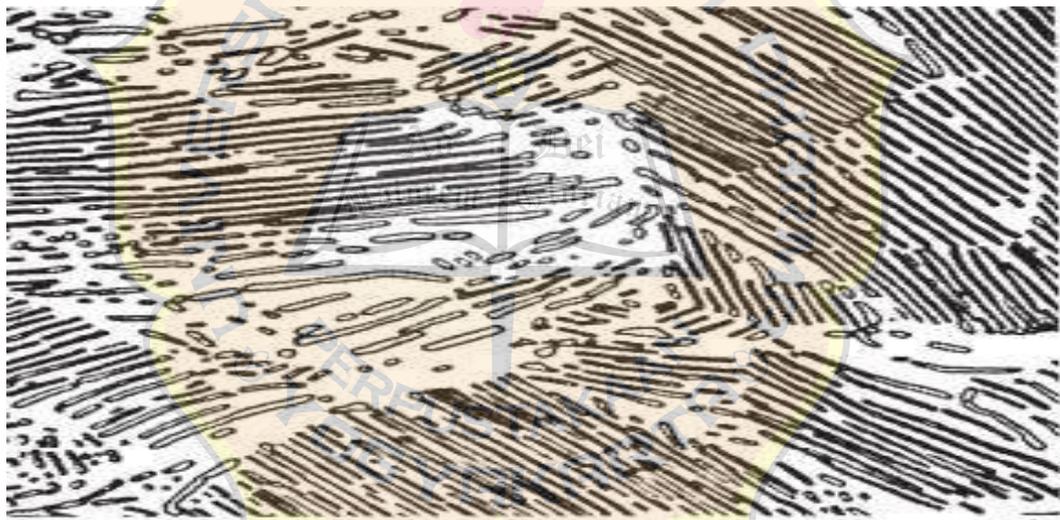
*Austenite* merupakan perpaduan struktur kristal FCC (Face Centered Cubic) dengan struktur besi murni dengan jarak atom yang terjauh dibandingkan dengan struktur *ferrite*. Struktur FCC mempunyai ruang-ruang yang tidak dapat menampung atom-atom karbon dan proses penambahan atom karbon menyebabkan terjadinya tegangan dalam pada struktur FCC dan tidak semua ruang dapat terisi. *Austenite* mempunyai komposisi karbon sekitar 0,76% C. fase ini akan terbentuk jika melewati garis reaksi eutektoid pada temperatur 725°C sampai 1394°C (Callister, 2013). Gambar 2.7 menyajikan gambar struktur *austenite*.



Gambar 2. 7 Struktur mikro *austenite* (Callister, 2013).

### 3. Pearlite

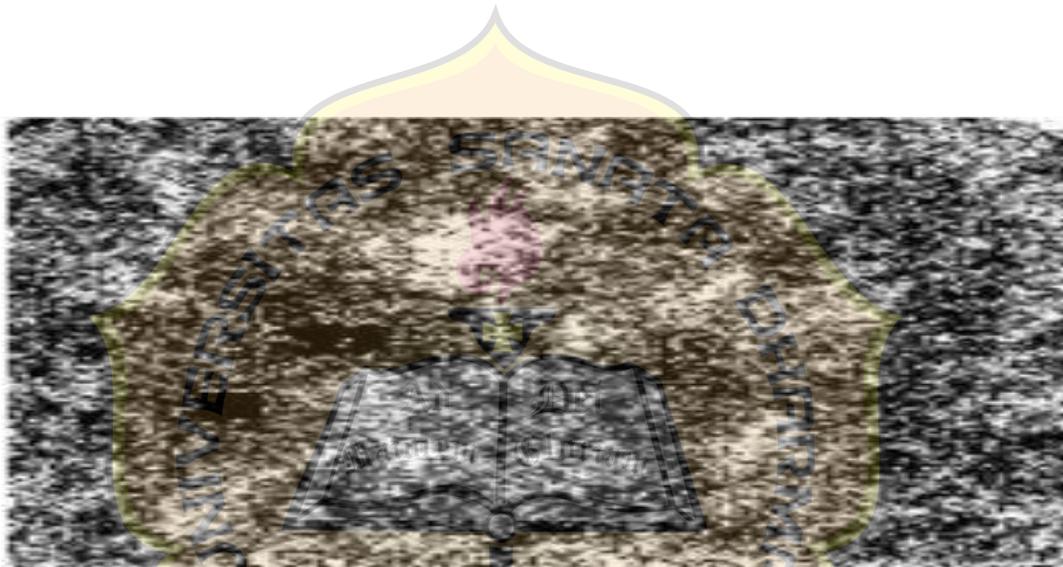
*Pearlite* merupakan perpaduan struktur antara *cementite* dan *ferrite*. Perpaduan tersebut berbentuk seperti pelat-pelat kecil dan tersusun diantara dua perpaduan struktur *cementite* dan *ferrite*. *Pearlite* akan terbentuk jika komposisi karbon mencapai 0,76% C dan mempunyai komposisi *eutectoid*. Pada saat proses pembentukan struktur *pearlite*, fase *austenite* akan berubah bentuk menjadi *ferrite* dan besi karbida secara bersamaan. *Pearlite* akan terjadi ketika dibawah temperatur *eutectoid* yaitu sekitar 723°C (Callister, 2013). Gambar 2.4 menyajikan gambar struktur mikro *pearlite*.



Gambar 2. 8 Struktur mikro *pearlite* (Callister, 2013).

#### 4. *Cementite* (Besi Karbida)

*Cementite* merupakan paduan besi karbon yang terjadi karena mengalami kelebihan batas kelarutan sehingga membentuk fase kedua yang disebut Fe C atau besi karbida. *Cementite* mempunyai struktur yang keras tetapi rapuh. *Cementite* mempunyai komposisi 6,70% C dan 93,3% Fe. Pada peristiwa ini terbentuk senyawa antara besi karbida yang diwakili dengan garis vertikal pada diagram fase (Callister, 2013). Gambar 2.5 menyajikan gambar struktur mikro *cementite*.

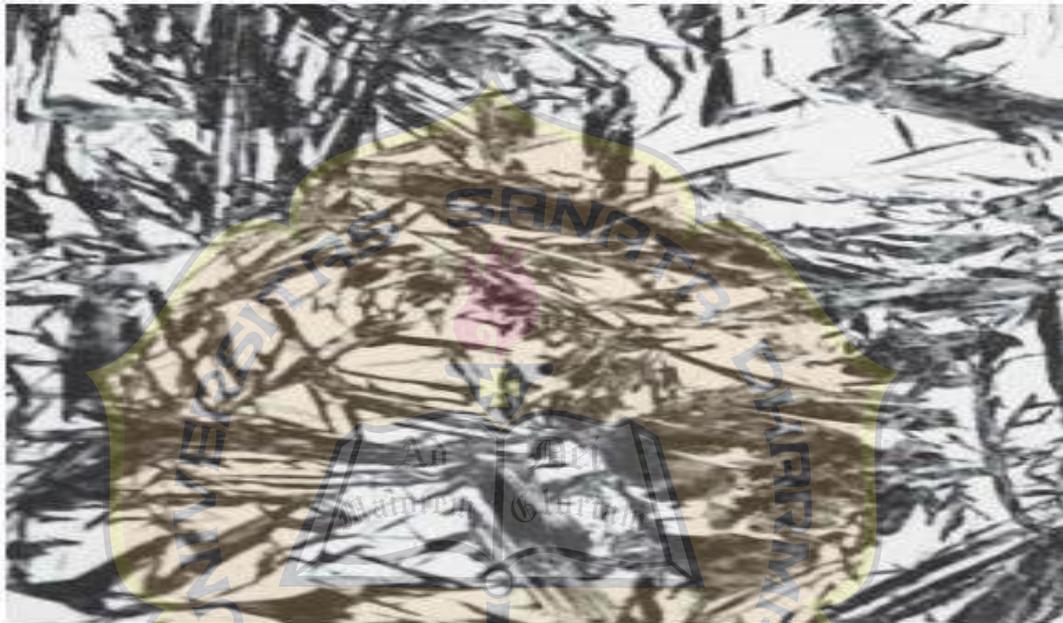


Gambar 2. 9 Struktur mikro *cementite* (Callister, 2013).

#### 5. *Martensite*

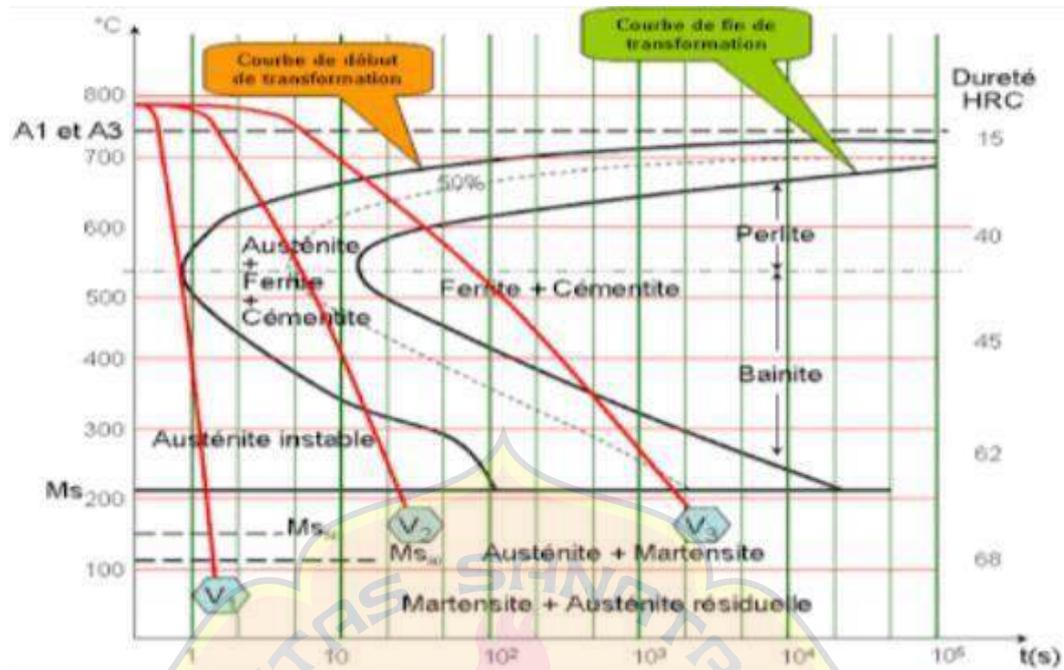
*Martensite* merupakan struktur fase tunggal non-equilibrium yang dimanifestasikan dari transformasi austenite tanpa difusi. Transformasi martensite timbul ketika laju pendinginan cepat untuk mencegah difusi karbon. Demikian dengan austenite yang memiliki struktur kristal FCC yang mengalami transformasi polimorphic menjadi martensite tetragonal yang berfusi pada tubuh BCT (*Body Centered Tetragonal*) (Callister, 2013). Berbeda dengan struktur *ferrite*, semua

atom karbon tetap sebagai pengotor interstisial di *martensite*, dengan demikian larutan padat akan memiliki nilai tinggi yang dengan cepat akan berubah menjadi struktur lain (Callister, 2013). Gambar 2.6 menyajikan gambar struktur mikro *martensite*.



Gambar 2. 10 Struktur mikro *martensite* (Callister, 2013).

## 2.9 Diagram TTT (Time Temperature Transformasion)



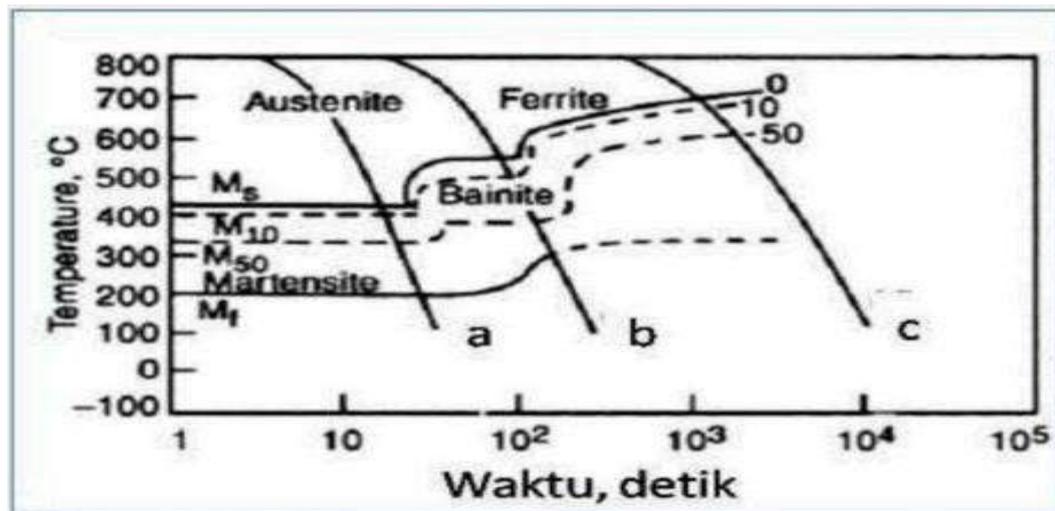
Gambar 2.11 Diagram TTT (*Time-Temperatur-Transformation*) untuk paduan baja karbon *eutectoid* (Rusjdi et al., 2016).

Diagram TTT (*Time Temperature Transformasion*) merupakan suatu diagram yang menghubungkan transformasi *austenite* terhadap waktu dan temperatur. Proses perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh struktur baja yang cocok agar sesuai dengan penggunaan yang diinginkan. Struktur yang diperoleh adalah hasil proses transformasi dari kondisi awal. Proses transformasi ini bisa dibaca dengan menggunakan diagram fasa akan tetapi untuk kondisi yang tidak seimbang diagram phase tidak bisa digunakan, untuk kondisi seperti ini maka digunakan diagram TTT. Dengan menggunakan diagram ini, perilaku baja pada tahap perlakuan panas dapat dipelajari. Diagram ini dapat juga digunakan untuk memperkirakan sifat mekanik baja yang dikeraskan mulai dari austenisasi hingga suhu di bawah A1. Diagram ini menunjukkan penguraian *austenite* dan berlaku

untuk jenis baja tertentu. Bentuk diagramnya tergantung pada komposisi kimia terutama kandungan karbon dalam baja. Untuk baja dengan kandungan karbon dibawah 0,83% yang ditahan pada suhu tertentu, akan menghasilkan struktur *pearlite* dan *ferrite*. Jika ditahan suhunya pada titik tertentu dan tapi masih selalu disisi sebelah atas garis horizontal, maka akan menghasilkan struktur mikro *bainite*. Apabila suhu dipertahankan pada suatu titik tertentu dibawah garis horizontal, maka akan memperoleh struktur *martensite*.

### 2.10 Diagram CCT (Countinuous Cooling Transformasion)

Diagram Countinuous Cooling Transformasi, atau yang umumnya biasa disebut CCT diagram, adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara laju pendinginan kontinyu dan fasa atau struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi fasa. Gambar 2.7 di bawah ini secara skematis menunjukkan diagram CCT untuk baja. Dapat dilihat bahwa kurva pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan yang berbeda akan menghasilkan fasa atau struktur baja yang berbeda. Setiap kurva pendinginan yaitu (a),(b),(c) menunjukkan awal dan akhir dari dekomposisi austenit menjadi fasa atau struktur baja akhir.



Gambar 2.12 Kurva diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) untuk paduan baja karbon *eutectoid* (Rusjdi et al., 2016).

## 2.11 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai kekerasan baja AISI 1045 dengan menggunakan metode *quenching* sudah pernah dilakukan oleh Prawoto dan Fernando, (2018) dengan judul “Analisa kekerasan baja karbon AISI 1045 setelah mengalami perlakuan *quenching*”. Penelitian tersebut menggunakan material baja karbon AISI 1045 sebagai bahan uji yang dipanaskan hingga mencapai suhu 950°C dengan waktu pemanasan 45 menit. Kemudian didinginkan secara cepat. Air, oli, dan air garam merupakan media yang digunakan dalam proses pendinginan pada penelitian tersebut. Kemudian pengujian yang dilakukan yaitu uji kekerasan. Dari hasil uji kekerasan baja AISI 1045 diketahui bahwa media pendinginan cepat dengan air garam memiliki nilai kekerasan mencapai 91,73 HRB, media air memiliki nilai kekerasan 88,33 HRB, media oli memiliki nilai kekerasan 77,73 HRB, dan raw material 65,40 HRB.

Penelitian selanjutnya pernah dilakukan oleh Haryadi et al., (2021) tentang “Pengaruh variasi temperatur *quenching* dan media pendingin terhadap tingkat kekerasan Baja AISI 1045”. Penelitian tersebut menggunakan material baja AISI 1045 sebagai bahan uji. Perlakuan panas yang digunakan pada penelitian ini adalah 800°C, 850°C dan 900°C dengan waktu penahanan 25 menit dengan menggunakan air dan oli SAE 20W-50 sebagai media pendingin. Hasil data pengujian tertentu kemudian diolah dan dibandingkan dengan tingkat kekerasan pada setiap variasi suhu temperatur. Data yang diperoleh dari uji kekerasan *vickers* (HV) sangat bervariasi. Pada baja (bahan uji) AISI 1045 yang tidak diberi perlakuan (raw material) diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 202,78 HV. Selain itu, nilai rata-rata kekerasan pada media pendingin air pada suhu 800°C sebesar 398,48 HV, pada suhu 850°C sebesar 457,02 HV dan pada suhu 900°C sebesar 496,42 HV. Kemudian rata-rata nilai kekerasan dengan oil SAE 20W-50 pada suhu 800°C sebesar 252,87 HV, pada suhu 850°C sebesar 402,55 HV dan pada suhu 900°C sebesar 476,92 HV. Nilai kekerasan optimum pada baja AISI 1045 terdapat pada suhu 900°C dengan cairan pendingin jenis air, sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada baja yang tidak diberi perlakuan (raw material).

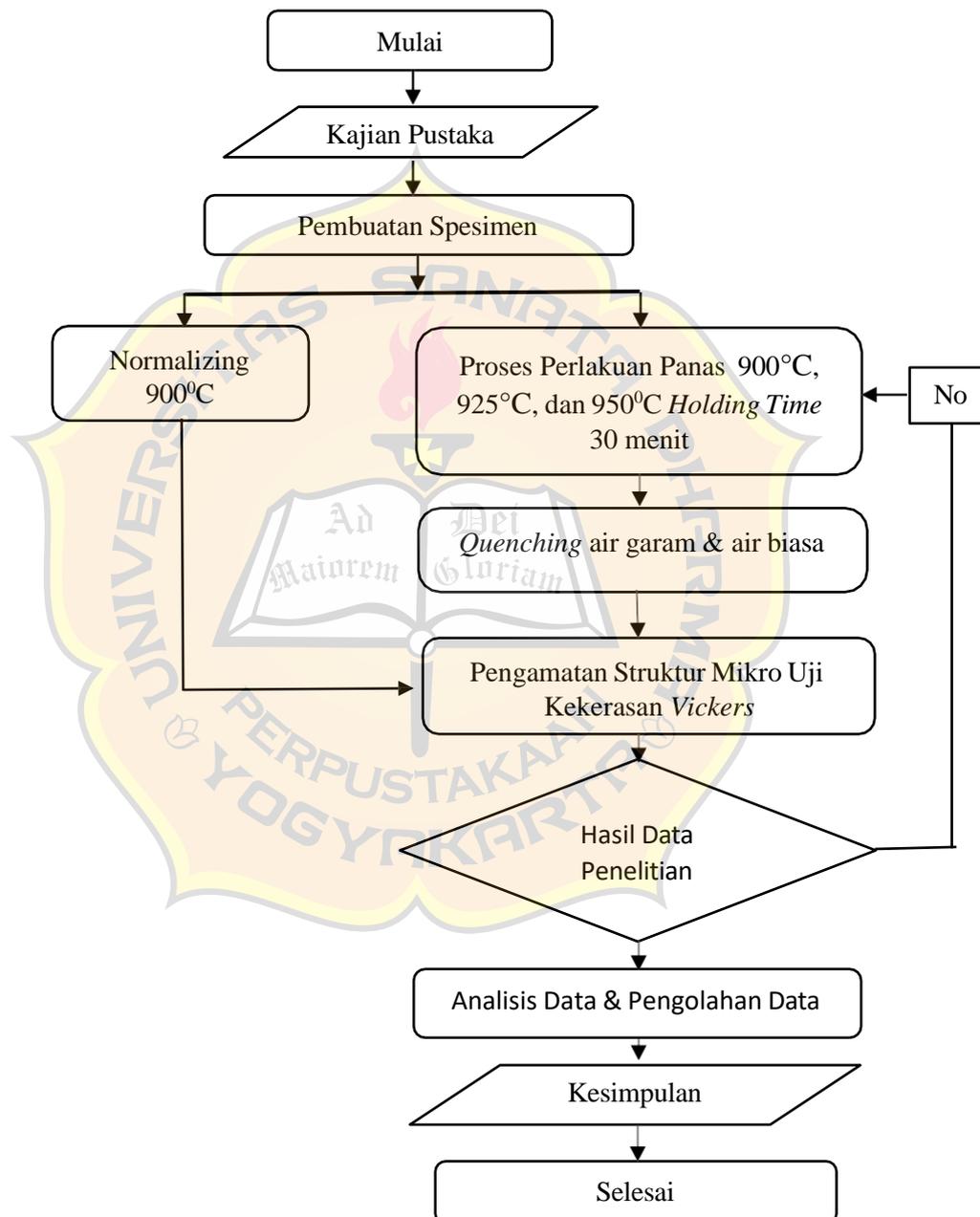
## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dimana proses penelitian dilakukan dengan metode saintifik menggunakan dua atau lebih perbandingan variabel. Urutan dari penelitian dengan metode eksperimental ini dimulai dari melakukan kajian pustaka. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan sekaligus perbaikan spesimen uji. Pembuatan dan juga perbaikan spesimen uji, disesuaikan ukurannya dengan standar ukuran spesimen uji kekerasan *vickers*. Batang baja AISI 1045 yang mulanya sepanjang 35 cm dan diameter 20 mm, dipotong menjadi tebal 15 mm dan diameter 20 mm. Setelah itu, perlakuan panas (*heat treatment*) pada suhu 900°C, 925°C, dan 950°C dengan lama waktu penahanan selama 30 menit. Pendinginan cepat dilakukan dengan mencelupkan spesimen ke media pendingin berupa air biasa dan air garam sebanyak satu liter untuk air dan 100 gram untuk takaran garamnya. Proses selanjutnya adalah pengamatan struktur mikro dan dilanjutkan dengan pengujian kekerasan menggunakan metode pengujian kekerasan *vickers*. Sebelum dilakukannya pengujian kekerasan *vickers*, berat dan juga waktu pembebanan harus ditentukan. Selain itu, spesimen yang di *normalizing* juga diuji kekerasan dan struktur mikronya. Setelah semua data diperoleh tahap terakhir yaitu proses analisis untuk mendapatkan kesimpulan.

Seluruh proses penelitian pembuatan atau pemotongan, reparasi spesimen, pengamatan struktur mikro, pengujian kekerasan *vickers*, dan perlakuan panas *heat treatment* dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Alir penelitian dalam pembuatan tugas akhir ini dapat dilihat pada *flowchart* dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

### 3.2 Alat Yang Digunakan Pada Penelitian

Pada pengujian ini menggunakan beberapa peralatan untuk mendukung kelancaran dalam pengujian diantaranya adalah:

#### 1) Alat Uji Kekerasan *Vickers*

Pengujian yang digunakan untuk mendapatkan nilai kekerasan dari baja AISI 1045 yaitu menggunakan alat uji kekerasan *vickers*. Model dari alat ini yaitu DHV-50D. Tujuan penggunaan dari alat ini adalah untuk mendapatkan nilai kekerasan pada spesimen baja AISI 1045 yang di *normalizing* dan juga yang telah diberikan perlakuan panas. Nilai-nilai inilah yang nantinya akan dijadikan pembanding untuk dianalisis. Alat uji yang digunakan memiliki berbagai macam fitur seperti sistem program, mikroskop metalurgi, dan juga sistem digital. Sehingga pada saat dilakukan pengujian kekerasan untuk baja AISI 1045, nilai kekerasannya dapat langsung muncul pada layar mesin uji. Untuk gambar alat uji kekerasan *vickers* dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Alat uji kekerasan *Vickers*.

## 2) Tungku pembakaran (*furnace*)

Tungku pembakaran (*furnace*) digunakan untuk meleburkan material atau digunakan untuk menaikkan suhu dari material khususnya baja AISI 1045 pada saat *heat treatment* hingga mencapai fase alpha atau suhu  $T_0$ . Tungku yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis tungku induksi. Tungku induksi merupakan tungku yang memanfaatkan arus listrik sebagai sumber energi panas. Model dari tungku ini adalah Ney M525 seri II dengan rentang suhu mulai dari 0-1200°C. Tegangan listrik yang digunakan untuk tungku pembakaran ini yaitu 120 volt. Fitur yang terdapat pada alat ini adalah tombol putar power yang memiliki fungsi sebagai pengatur kecepatan sekaligus digunakan untuk pengaturan kenaikan panas, lampu indikator, dan indikator meter.



Gambar 3.3 Tungku pembakaran (*Furnace*)

## 3) *Optical Microscopy*

*Optical Microscopy* dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan sumber cahayanya yaitu mikroskop elektron dan mikroskop cahaya. Mikroskop yang dipakai dalam penelitian ini yaitu mikroskop cahaya yang berbeda dengan

mikroskop konvensional. Mikroskop ini menggunakan cahaya lampu yang terdapat pada lensa mikroskop sebagai pengganti dari cahaya matahari. Mikroskop ini digunakan sebagai alat untuk mengamati struktur mikro dari spesimen baja AISI 1045 sebelum maupun sesudah diberi perlakuan panas. Untuk model dari mikroskop ini yaitu seri Union Tokyo 2009. Ada beberapa macam fitur yang ada pada mikroskop ini salah satunya adalah ukuran dari pembesaran yang bervariasi mulai dari M10 x 0,45 hingga M100. Gambar mikroskop cahaya dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 *Optical Microscopy*

#### 4) *Thermometer*

*Thermometer* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur perubahan suhu yang terjadi pada spesimen ketika dilakukan perlakuan panas. *Thermometer* yang digunakan memiliki fitur sistem digital dan sensor yang bernama *thermocouple*. Penggunaan alat ini adalah dengan cara meletakkan kabel didalam tungku pembakaran. Sedangkan untuk sistem digitalnya diletakkan diluar tungku pembakaran. Gambar *thermometer* dapat dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 Thermometer

#### 5) Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air garam dan air biasa. Media pendingin digunakan untuk mendinginkan suhu spesimen sesaat setelah spesimen dikeluarkan dari tungku pembakaran. Perbandingan campuran air dan garam yang digunakan yaitu, air sebanyak 1 liter, garam 100 gram, dan air biasa dengan suhu ruangan sebanyak 20 liter.

#### 6) Larutan Etsa

Larutan etsa digunakan untuk mempermudah pengamatan pada struktur mikro pada spesimen. Sehingga ukuran butir *grain size* dan juga fasa yang terbentuk dapat ditentukan dengan lebih baik. Larutan etsa pada penelitian ini menggunakan larutan kimia etsa dengan kandungan (Keller's HF sebanyak 2 ml, HCl sebanyak 3 ml, HNO<sub>3</sub> sebanyak 5 ml, dan H<sub>2</sub>O sebanyak 190 ml). Pengetsaan pada penelitian

ini dilakukan dengan cara mereaksikan spesimen dengan larutan etsa. Dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Mencelupkan spesimen baja AISI 1045 ke cairan alkohol yang telah dicampur dengan cairan  $\text{HNO}_3$  selama kurang lebih 20 detik.
- b. Setelah itu, spesimen dibilas dengan alkohol dan dilanjutkan dengan pengeringan.

#### 7) Mesin *polishing*

Alat bantu yang terakhir yaitu mesin *polishing*, digunakan sebagai alat untuk meratakan permukaan spesimen. Selain itu, alat ini digunakan untuk mendapat permukaan yang mengkilap dari spesimen uji. Hal ini bertujuan agar pengujian kekerasan dan juga pengamatan struktur mikro dapat menghasilkan nilai yang lebih optimal. Tipe mesin *polishing* yang dipakai pada penelitian ini adalah TNP-2020FRX. Dengan kecepatan putaran berkisar 50 hingga 800 rpm/60 Hz. Mesin *polishing* ini menggunakan amplas dengan beberapa variasi kekasaran yaitu, 100, 320, 1000, 1500, dan 2000.



Gambar 3.6 Mesin *polishing*.

### 3.3 Prosedur Pengujian Eksperimental

Prosedur pada pengujian eksperimental ini diawali dengan proses pembubutan dan pemotongan spesimen uji baja AISI 1045. Kemudian proses perlakuan panas (*heat treatment*) dilanjutkan dengan pendinginan secara cepat. Proses berikutnya yaitu pengamatan struktur mikro dan diakhiri dengan pengujian tingkat kekerasan dengan menggunakan metode uji kekerasan *vickers*.

#### 3.3.1 Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen dimulai dengan pemotongan spesimen dari yang mula panjangnya 35 mm dan diameter 20 mm. Kemudian disesuaikan dengan ukuran yang dibutuhkan untuk pengujian kekerasan *vickers* yaitu dengan ukuran diameter 20 mm dan tebal 15 mm. Pengurangan panjang dan tebal spesimen dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional yang berada di Laboratorium Ilmu Logam, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Pada penelitian ini, membutuhkan enam spesimen untuk perlakuan panas dan satu spesimen yang di *normalizing*.



Gambar 3.7 Spesimen uji.

### 3.3.2 *Heat Treatment*

*Heat treatment* dilakukan pada suhu 900°C, 925°C, dan 950°C dan ditahan selama 30 menit. Proses *heat treatment* ini bertujuan untuk menciptakan keuletan yang tinggi, menghilangkan tegangan internal, sekaligus menghaluskan butiran logam serta meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik logam (Jordi et al., 2017). Waktu penahanan *holding time* dimulai ketika suhu tungku pembakaran telah mencapai suhu yang diinginkan. Pada waktu penahanan saat perlakuan panas, tungku pembakaran harus terus dicek agar suhu penahanan dapat stabil di rentang waktu suhu yang diinginkan. Ketidakstabilan suhu ketika *holding time* akan mempengaruhi kualitas pada spesimen baja AISI 1045 yang akan diteliti.

### 3.3.3 *Quenching*

*Quenching* dilakukan untuk mendinginkan dengan mencelupkan logam secara cepat pada media pendingin berupa air garam dan air biasa. Pendinginan cepat ini dilakukan setelah spesimen uji dipanaskan pada proses *heat treatment*.

Pendinginan cepat akan menyebabkan suhu spesimen yang mulanya 900°C, 925°C, dan 950°C turun drastis hingga mendekati suhu ruang. Dilakukannya proses ini bertujuan agar larutan padat homogen dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal yang telah terbentuk pada proses sebelumnya tetap pada tempatnya. Kekosongan atom besar inilah yang nantinya akan membantu difusi atom pada temperatur ruang. Perlakuan *quenching* dibagi menjadi dua macam sesuai dengan media pendinginnya. Pembagian media *quenching* dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Pembagian spesimen *quenching*

Bahan	Nomor Spesimen	Media Pendingin
Baja AISI 1045	1-2-3	Air Garam
	4-5-6	Air Biasa

### 3.3.4 Pengamatan Struktur Mikro

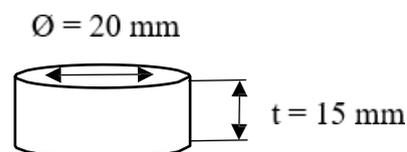
Seluruh spesimen baja AISI 1045 mulai dari spesimen *normalizing* dilakukan pengamatan struktur mikro untuk melihat fenomena yang terjadi pada metalografi paduan tersebut. Pengamatan struktur mikro baja AISI 1045 dilakukan menggunakan mikroskop cahaya yang terdapat di Laboratorium Ilmu Logam, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. Mikroskop ini dilengkapi dengan

berbagai variasi pembesaran. Lensa pembesaran terkecil adalah M10 x 0,45, M20 x 0.45, hingga M100. Sebelum dilakukan proses pengamatan struktur mikro, setiap spesimen harus dilakukan tahap penghalusan permukaan. Penghalusan ini dapat dilakukan menggunakan mesin *polishing* atau juga dengan mengamplasnya secara manual. Kemudian material akan diberi cairan etsa yaitu alkohol 95% dan HNO<sub>3</sub> 100%. Proses pengetsaan dilakukan dengan mencelupkan permukaan spesimen yang telah dihaluskan ke dalam larutan etsa. Pengetsaan ini bertujuan untuk memudahkan pengamatan dari struktur mikro pada baja AISI 1045 agar dapat menentukan dan mengidentifikasi setiap fasa yang terbentuk. Setelah tahap pengetsaan selesai dilakukan, spesimen kemudian diberi autosol pada permukaan spesimen yang telah dietsa pada tahap sebelumnya. Pemberian autosol ini dilakukan agar permukaan spesimen menjadi lebih bersih agar memperjelas struktur yang ada pada baja AISI 1045 yang telah diberi perlakuan panas ataupun spesimen yang di *normalizing*.

### 3.3.5 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Proses pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji kekerasan *vickers* digital. Perhitungan kekerasan menggunakan alat *vickers* ini dilakukan secara otomatis dengan menghitung luas dari tapak tekan atau indentasi d1 dan d2. Untuk proses sebelum pengujian *vickers* ini yaitu persiapan spesimen yang telah di *normalizing* dan spesimen yang telah diberi variasi perlakuan panas *heat treatment* dan variasi media pendingin. Setelah semua spesimen dipersiapkan, tahap selanjutnya adalah meratakan permukaan spesimen. Perataan ini menggunakan alat

yang dinamakan mesin *polishing*. Setelah semua spesimen memiliki permukaan yang rata, masing-masing spesimen kemudian diberi autosol dan digosok hingga mengkilap. Pemberian autosol ini bertujuan agar permukaan spesimen lebih bersih untuk mempermudah pengamatan pada bekas indentasi/injakan indenter *vickers*. Proses selanjutnya adalah penentuan beban dan juga lama waktu penahanan pada saat pengujian kekerasan yang dilakukan. Beban dan juga lama waktu tahan penekanan disesuaikan dengan material yang akan dilakukan pengujian kekerasan *vickers*. Untuk baja AISI 1045 beban yang digunakan adalah 5 kg dengan lama waktu penekanan selama 10 detik. Indentor yang digunakan pada mesin *vickers* ini adalah bola indentor jenis intan dengan sudut kemiringan sebesar  $136^{\circ}$ . Sebelum dimulainya pengujian, titik koordinat garis (*clear 0*) harus di setting terlebih dahulu. Pengujian kekerasan *vickers* ini dilakukan di lima titik pada masing-masing spesimen. Bekas indentasi kemudian diamati menggunakan mikroskop metalurgi untuk mengetahui luas indentasi dari  $d_1$  dan  $d_2$ -nya. Spesimen *normalizing* hingga spesimen *quenching* dengan media air garam dan air biasa dengan variasi suhu  $900^{\circ}\text{C}$ ,  $925^{\circ}\text{C}$ , dan  $950^{\circ}\text{C}$  dilakukan pengujian kekerasan *vickers* dengan metode dan beban yang sama. Untuk mengetahui ukuran dari spesimen uji kekerasan *vickers* dapat dilihat pada Gambar 3.8 di bawah.



Gambar 3.8 Ukuran spesimen uji *Vickers*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian diperoleh hasil berupa data seperti observasi struktur dan uji kekerasan *Vickers*. Pertama, sampel diberi perlakuan panas, dan sampel disimpan dalam tungku pembakaran selama 30 menit dan dibagi menjadi tiga perubahan suhu 900 °C, 925°C dan 950°C. Setelah seluruh tahapan proses perlakuan panas selesai, langkah selanjutnya adalah mengamati struktur mikro dan menguji kekerasan *Vickers*.

Dalam uji kekerasan *Vickers*, beban ditentukan terlebih dahulu. Beban yang digunakan untuk uji kekerasan *Vickers* adalah 5 kg. Untuk memperoleh data uji kekerasan ini, setiap sampel diambil pada lima titik lekukan *Vickers*. Langkah selanjutnya adalah mengamati struktur mikro masing-masing sampel. Data yang diperoleh diproses dan masing-masing nilai perubahan media pendingin dan fluktuasi suhu dibandingkan.

Hasil pengujian kekerasan vicker

Setelah proses pengamatan struktur mikro selesai, sampel akan dilanjutkan ke uji kekerasan *Vickers*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai kekerasan setiap sampel baja AISI 1045 pada temperatur dan media pendingin yang berbeda. Uji kekerasan *Bickers* dilakukan dengan beban 5 kg. Pengujian pertama dilakukan pada sampel baja AISI 1045 yang dinormalisasi atau sampel baja AISI 1045 murni. Data uji kekerasan *Vickers* dikumpulkan untuk setiap sampel pada

lima titik pembebanan yang berbeda. Pengujian pertama dilakukan terhadap sampel yang telah dinormalisasi sebagai perbandingan hasil pengujian

#### 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Setelah proses pengamatan struktur mikro selesai dilakukan, spesimen kemudian dilanjutkan dengan pengujian kekerasan *vickers*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai kekerasan dari masing-masing spesimen baja AISI 1045 yang diberi variasi temperatur dan media pendingin. Pengujian kekerasan *vickers* dilakukan dengan pembebanan 5 kg.

Pengujian yang pertama dilakukan pada spesimen baja AISI 1045 yang di *normalizing* atau spesimen baja AISI 1045 murni. Pengambilan data pengujian kekerasan *vickers* dilakukan pada masing-masing spesimen dengan lima titik pembebanan yang bervariasi. Pengujian pertama dilakukan pada spesimen *normalizing* sebagai pembanding untuk hasil uji spesimen yang diberi perlakuan panas dengan berbagai variasi suhu dan media pendingin. Hasil uji kekerasan pada spesimen yang di *normalizing* dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Hasil uji kekerasan baja AISI 1045 proses *normalizing* 900 °C

Titik Uji	Bahan	Beban (Kg)	Waktu (S)	Diagonal ( $\mu\text{m}$ )		Hasil HV5
				d1	d2	
1	Baja AISI 1045	5	10	219,00	211,20	200,2
2		5	10	209,28	204,96	216,0
3		5	10	211,80	211,80	206,5
4		5	10	213,60	213,60	203,0
5		5	10	213,60	212,40	204,2
				Rata-rata		205,98

Selanjutnya dilakukan uji kekerasan *Vickers* terhadap sampel yang diberi perlakuan panas (*quenching*) dengan media pendingin yaitu air garam. Sebelum

dilakukan uji kekerasan, sampel mengalami perlakuan panas pada suhu yang berbeda yaitu 900 °C, 925 °C, dan 950 °C dengan waktu tahan 30 menit. Tabel berikut menunjukkan hasil uji kekerasan *Vickers* sampel dengan menggunakan media quenching air garam. Setiap sampel dikenakan pengujian *Vickers* di lima titik pemuatan. Pembebanan sampel baja AISI 1045 terjadi secara merata pada permukaan sampel yang halus. Jumlah muatannya adalah . Tujuannya adalah untuk mengetahui nilai kekerasan rata-rata seluruh bagian sampel baja AISI 1045. Data mengenai hasil uji kekerasan *Vickers* dengan menggunakan media pendingin air garam terdapat pada label berikut:

Tabel 4.2 Hasil uji kekerasan baja AISI 1045 pada suhu *quenching* 900°C menggunakan air garam

Titik Uji	Bahan	Beban (Kg)	Waktu (S)	Diagonal (µm)		Hasil HV5
				d1	d2	
1	Baja AISI 1045	5	10	137,16	132,00	512,2
2		5	10	130,20	131,16	543,2
3		5	10	147,84	146,52	423,6
4		5	10	145,56	143,64	443,1
5		5	10	160,56	157,44	366,5
Rata-rata						457,727

Tabel 4.3 Hasil uji kekerasan baja AISI 1045 pada suhu *quenching* 925°C menggunakan air garam

Titik Uji	Bahan	Beban (Kg)	Waktu (S)	Diagonal (µm)		Hasil HV5
				d1	d2	
1	Baja AISI 1045	5	10	113,28	116,40	703,0
2		5	10	140,52	139,68	472,0
3		5	10	143,64	147,84	436,4
4		5	10	154,44	154,08	389,7
5		5	10	143,04	138,96	466,0
Rata-rata						493,42

Tabel 4.4 Hasil uji kekerasan baja AISI 1045 pada suhu *quenching* 950°C menggunakan air garam

Titik Uji	Bahan	Beban (Kg)	Waktu (S)	Diagonal (µm)		Hasil HV5
				d1	d2	
1	Baja AISI 1045	5	10	105,60	114,12	768,5
2		5	10	133,92	133,08	519,9
3		5	10	140,88	140,88	472,7
4		5	10	136,08	136,08	492,9
5		5	10	135,96	136,68	498,7
Rata-rata						550,54

Data berikutnya adalah pengujian kekerasan vickers pada spesimen yang telah diberi perlakuan panas heat treatment dengan media *quenching* berupa air biasa. Pengerjan panas yang dilakukan pada masing-masing spesimen heat treatment bersuhu 900°C, 925°C, dan 950°C dan holding time selama 30 menit. Ketiga spesimen terakhir kemudian divariasikan media pendinginannya dengan menggunakan air biasa. Hasil pengujian kekerasan vickers dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil uji kekerasan baja AISI 1045 pada suhu *quenching* 900°C menggunakan air biasa

Titik Uji	Bahan	Beban (Kg)	Waktu (S)	Diagonal (µm)		Hasil HV5
				d1	d2	
1	Baja AISI 1045	5	10	177,00	177,00	295,7
2		5	10	183,72	188,88	266,9
3		5	10	174,12	175,92	302,5
4		5	10	182,40	188,64	269,2
5		5	10	168,84	160,08	342,8
Rata-rata						295,42

Tabel 4.6 Hasil uji kekerasan baja AISI 1045 pada suhu *quenching* 925°C menggunakan air biasa

Titik Uji	Bahan	Beban (Kg)	Diagonal ( $\mu\text{m}$ )		Hasil HV5	
			Waktu (S)	d1		d2
1	Baja AISI 1045	5	10	115,20	113,04	711,7
2		5	10	137,04	137,04	493,6
3		5	10	140,76	140,78	468,0
4		5	10	125,64	125,64	587,3
5		5	10	113,52	112,92	723,1
Rata-rata						596,74

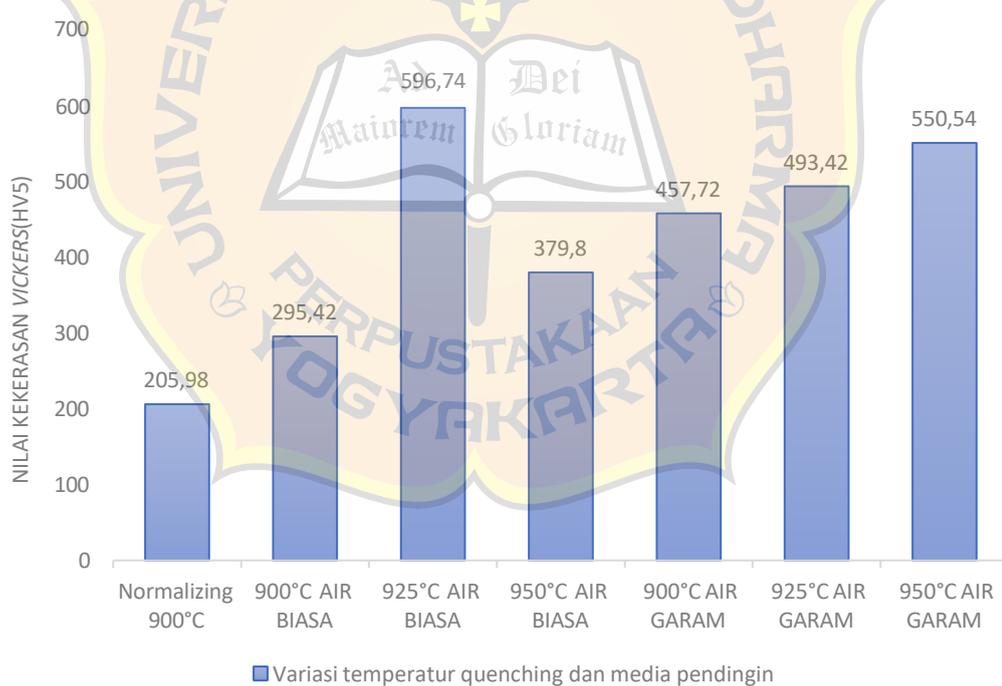
Tabel 4.7 Hasil uji kekerasan baja AISI 1045 pada suhu *quenching* 950°C menggunakan air biasa

Titik Uji	Bahan	Beban (Kg)	Waktu (S)	Diagonal ( $\mu\text{m}$ )		Hasil HV5
				d1	d2	
1	Baja AISI 1045	5	10	408,5	150,60	408,5
2		5	10	176,28	176,28	298,4
3		5	10	177,36	175,92	297,1
4		5	10	170,04	170,04	320,6
5		5	10	127,08	127,08	574,4
Rata-rata						379,8

Berdasarkan pengujian kekerasan yang telah dilakukan, diperoleh nilai kekerasan rata-rata *vickers* yang sangat bervariasi. Nilai-nilai ini kemudian dibandingkan untuk melihat variasi media *quenching* dan variasi temperatur yang paling optimal untuk membentuk kekerasan pada baja AISI 1045.

Tabel 4.8 Hasil nilai rata-rata kekerasan *vickers* berdasarkan variasi temperatur *quenching* dan media pendingin.

No	Jenis perlakuan Baja AISI 1045	Nilai kekerasan <i>vickers</i> rata-rata (HV5)
1	<i>Normalizing</i> pada suhu 900 °C	205,98
2	<i>Quenching</i> air garam pada suhu 900 °C	457,72
3	<i>Quenching</i> air garam pada suhu 925°C	493,72
4	<i>Quenching</i> air garam pada suhu 950 °C	550,54
5	<i>Quenching</i> air biasa pada suhu 900 °C	295,42
6	<i>Quenching</i> air biasa pada suhu 925 °C	596,74
7	<i>Quenching</i> air biasa pada suhu 950 °C	379,8

Gambar 4.1 Diagram nilai kekerasan *Vickers*

#### 4.2.1 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan *Vickers*

Untuk melihat pengaruh beberapa variabel terhadap kekerasan baja AISI 1045 maka dilakukan variasi media quenching berupa air garam dan air biasa dengan variasi suhu pemanasan (heat treatment) yaitu 900°C, 925°C, dan 950°C dengan waktu penahanan (holding time) yang sama yaitu selama 30 menit. Dari data-data tersebut diperoleh nilai kekerasan dari baja AISI 1045 yang sangat bervariasi setelah dilakukan perlakuan panas dan pendinginan cepat. Pada spesimen baja AISI 1045 yang di normalizing nilai kekerasan rata-ratanya sebesar 205,98 HV.

Selanjutnya, spesimen berikutnya diberi perlakuan panas yaitu dengan memanaskan spesimen hingga mencapai suhu 900°C dan waktu penahanan selama 30 menit. Kemudian dilanjutkan dengan quenching di media pendingin air garam sebanyak satu liter. Proses ini mendapatkan peningkatan nilai kekerasan baja AISI 1045 yang cukup signifikan yaitu sebesar 457,72 HV. Hal ini dikarenakan terjadi pembentukan martensite pada paduan baja AISI 1045.

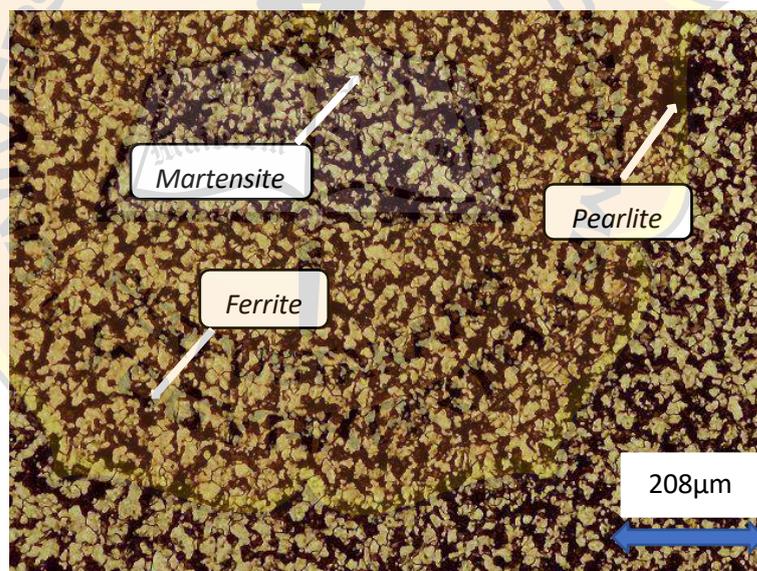
Pada spesimen quenching dengan media air garam dan variasi suhu pemanasan 925°C selama 30 menit, hasil pengujian kekerasan *vickers* diperoleh nilai rata-rata sebesar 493,42 HV. Ketika suhu pada saat pemanasan dinaikkan sebesar 950°C dengan media air garam nilai kekerasan rata-rata yang diperoleh dari paduan baja mencapai angka tertinggi yaitu sebesar 550,54 HV. Selanjutnya untuk spesimen quenching dengan media air biasa sebanyak 20 liter pada suhu 900°C dengan waktu penahanan yang sama yaitu 30 menit, nilai uji kekerasan *vickers*

sebesar 295,42 HV. Kemudian ketika temperatur dinaikan ke suhu 925°C nilai kekerasan meningkat yakni sebesar 596,74 HV. Sedangkan untuk variasi suhu terakhir yaitu 950°C, nilai kekerasannya bertambah sebesar 379,8 HV. Dari data yang telah diperoleh tersebut menunjukkan fakta bahwa quenching menggunakan media air garam dan air biasa dengan variasi suhu pemanasan dapat berpengaruh pada nilai kekerasan paduan baja AISI 1045. Semakin tinggi suhu pemanasan yang diterapkan pada spesimen baja AISI 1045 maka akan semakin meingkatkan nilai kekerasan pada paduan baja AISI 1045 tersebut.

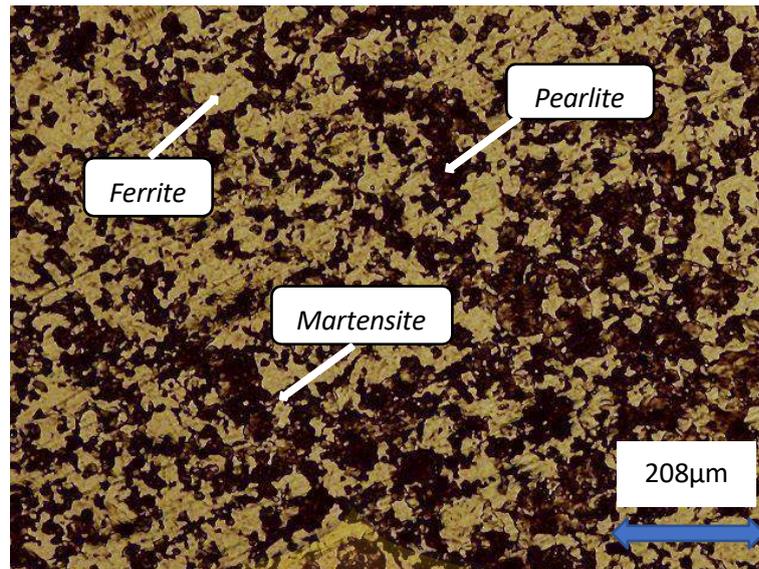
Diamati dari data yang telah dikumpulkan berdasarkan variasi media pendingin quenching air garam dan air biasa dengan variasi suhu pemanasan 900°C, 925°C, dan 950°C, nilai kekerasan yang dihasilkan memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Dapat dilihat bahwa penggunaan media pendingin air garam, cenderung memiliki nilai kekerasan rata-rata pada setiap variasi suhunya yang lebih tinggi dibandingkan dengan media quenching air biasa. Hal ini disebabkan karena air garam mempunyai kekentalan yang lebih rendah, sehingga nilai viskositas zat cairnya lebih kecil, oleh karena itu pendinginan cepat dan massa jenisnya lebih besar dibandingkan dengan fluida pendingin lainnya seperti air, solar, udara, jadi kecepatan cairan pendinginnya besar dan laju pendinginannya lebih cepat. Penelitian pendinginan cepat menggunakan air garam pernah dilakukan oleh seorang peneliti asal Klaten, dengan menggunakan jumlah air sebesar 125 liter dengan variasi kadar garam 0 sd 30%, menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar garam maka semakin tinggi pula tingkat kekerasannya (Sutiyoko 2014).

### 4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

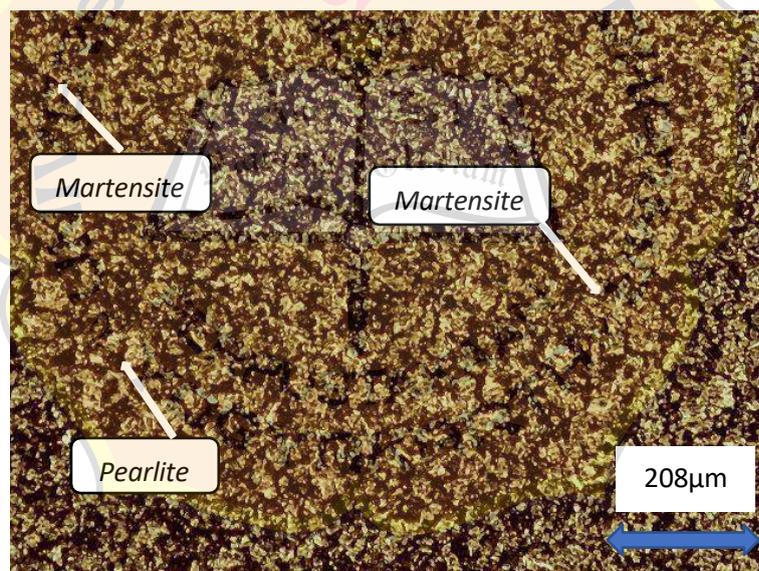
Untuk melakukan pengamatan ataupun perbandingan terhadap struktur mikro setiap spesimen, masing-masing spesimen baja AISI 1045 diberi perlakuan *heat treatment* pada suhu 900°C, 925°C, dan 950°C selama 30 menit. Kemudian spesimen dibagi menjadi dua kelompok sesuai dengan media *quenching* yang digunakan. Dalam hal ini media pendinginan cepat yang digunakan adalah air garam dan air biasa. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 100 kali. Seluruh alur tersebut menghasilkan perbedaan struktur mikro yang dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini.



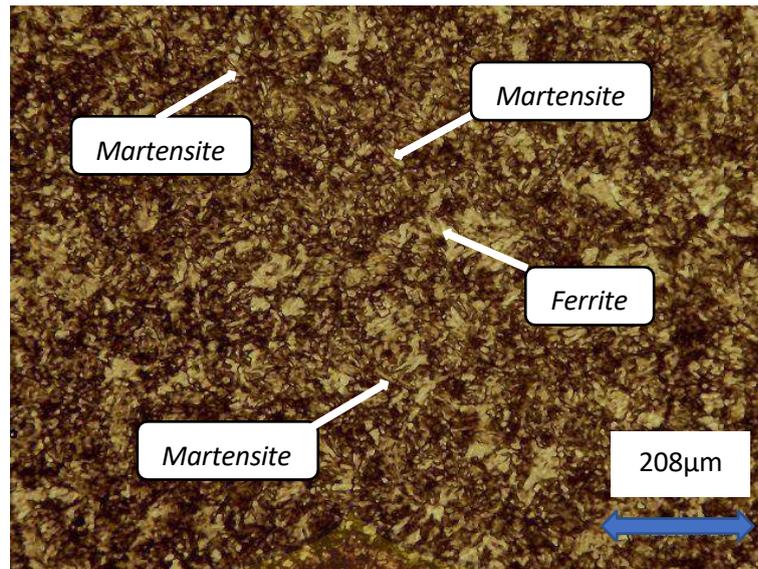
Gambar 4.2 Struktur mikro spesimen *normalizing* suhu 900°C



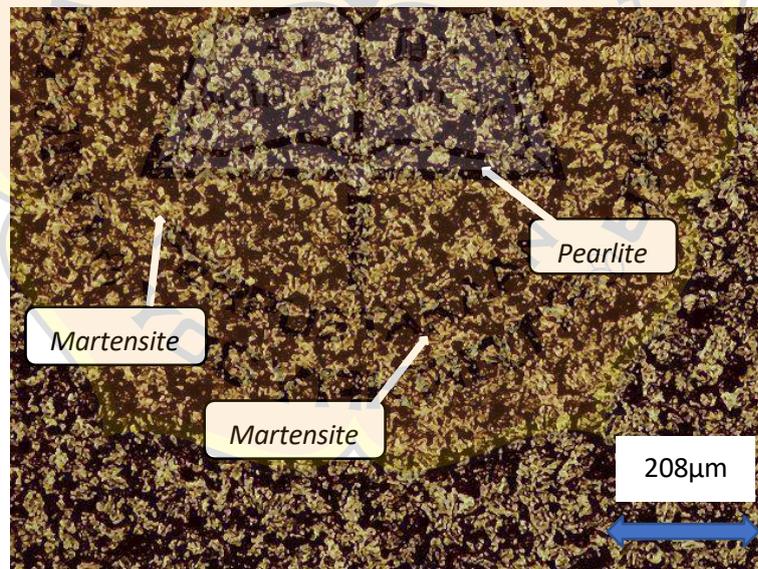
Gambar 4.3 Struktur mikro spesimen *quenching* air garam suhu 900°C



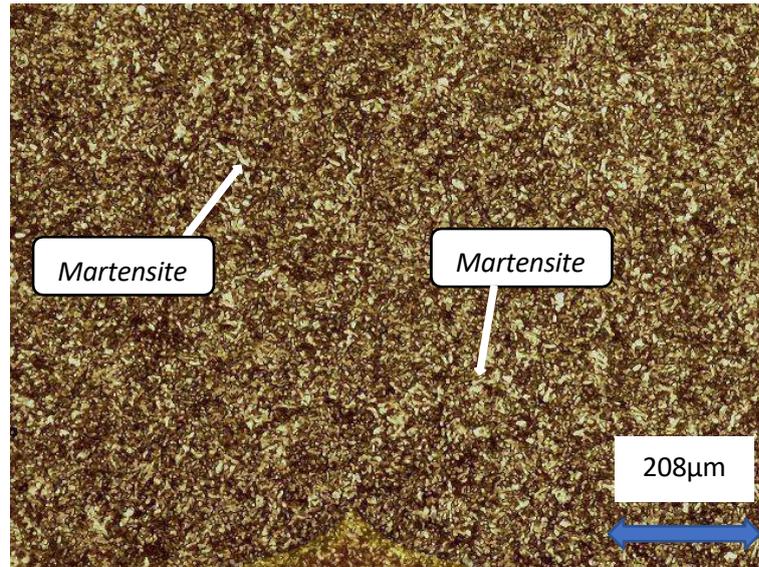
Gambar 4.4 Struktur mikro spesimen *quenching* air garam suhu 925°C



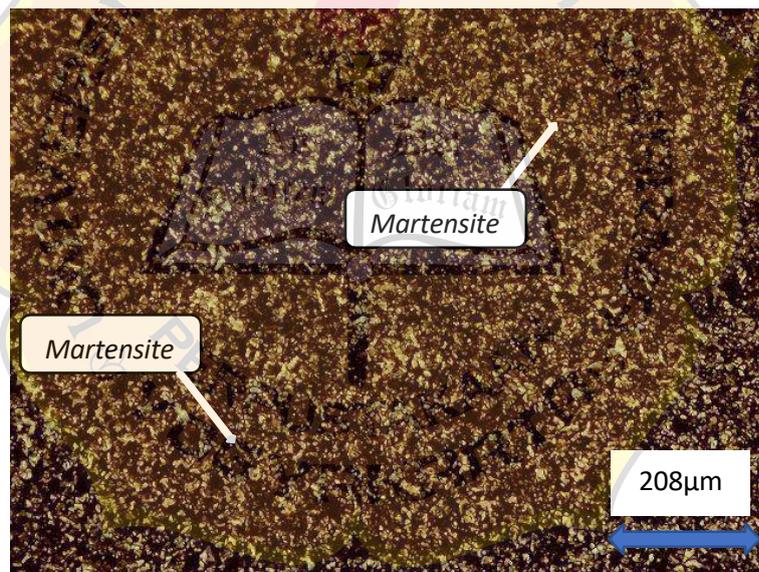
Gambar 4.5 Struktur mikro spesimen *quenching* air garam suhu 950<sup>0</sup>C



Gambar 4.6 Struktur mikro spesimen *quenching* air biasa suhu 900<sup>0</sup>C



Gambar 4.7 Struktur mikro spesimen *quenching* air biasa suhu 925<sup>0</sup>C



Gambar 4.8 Struktur mikro spesimen *quenching* air biasa suhu 950<sup>0</sup>C

### 4.3.1 Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro

Diamati dari hasil pengujian struktur mikro yang telah dilakukan, peningkatan suhu pemanasan dapat berpengaruh terhadap jumlah serta persebaran dari endapan (*martensite*) baja AISI 1045. Terjadinya perbedaan jumlah dan bentuk *martensite* ini disebabkan oleh perlakuan panas pada baja AISI 1045. Ditambah dengan variasi dari suhu pemanasan dan media pendingin, perbedaan struktur mikro dari masing-masing spesimen dapat dengan jelas terlihat. Pada saat dilakukan peningkatan suhu pemanasan, atom-atom yang terkandung dalam paduan baja AISI 1045 dapat bergerak dan menata letaknya. Peningkatan sifat mekanis berupa kekerasan pada paduan baja AISI 1045 disebabkan oleh pemanasan (*Austenitizing*) dan media pendingin (*quenching*) dimana baja AISI 1045 dapat dipanaskan hingga suhu tinggi diatas suhu kritis yang disebut *austenitizing*. Hal ini memungkinkan transformasi fasa dari struktur kristal perlakuan panas sebelumnya menjadi austenite. Setelah pemanasan, baja perlu segera diberi pendinginan cepat (*quenching*) proses ini membantu mencegah pembentukan struktur kristal yang besar dan meningkatkan kekerasan.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dari uji kekerasan *vickers* dan pengamatan struktur mikro yang telah dianalisis dan dilakukan pembahasan mengenai pengaruh media *quenching* air garam dan air biasa dilanjutkan dengan variasi suhu pemanasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil uji kekerasan yang diambil pada setiap spesimen menunjukkan bahwa variasi suhu *quenching* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan baja AISI 1045, Air garam tingkat kekerasannya lebih tinggi dibandingkan air biasa. Hasil dari uji kekerasan yang paling optimal berada pada proses *quenching* 950<sup>0</sup>C dengan media pendingin air garam dengan nilai kekerasan sebesar 550,54 HV, sedangkan spesimen nilai kekerasan terendah terdapat pada *quenching* 950<sup>0</sup>C dengan media pendingin air biasa dengan nilai kekerasan sebesar 379,8 HV.
2. Pengamatan mikrostruktur menunjukkan bahwa peningkatan suhu *quenching* hingga mencapai suhu 950<sup>0</sup>C menghasilkan lebih banyak endapan martensit.

## 5.2 Saran

1. Pada peneliti selanjutnya dapat dilakukan variasi temperatur pemanasan dan media pendingin yang lebih beragam untuk menganalisis secara komprehensif agar mendapatkan data yang lebih akurat.
2. Pengamatan struktur mikro selanjutnya dapat menggunakan alat pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) agar struktur *martensite*, *bainite*, dan *pearlite* dapat dilihat perbedaannya dengan lebih jelas.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, F. P. A., Sulistijono, & Rohmannudin, T. N. R. (2013). Pengaruh Ph Tanah dan Variasi Cacat Gores Lapis Lindung terhadap Kebutuhan Arus Proteksi Sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) pada Baja AISI 1045. 2(1), 78–82
- Callister, WD (2013). Materials science. Physics Education, 9E(2).  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/5/2/304>
- Ginting, E., -, E., & Marjunus, R. (2020). Pengaruh Variasi Waktu Tahan pada Austenisasi dengan Pendinginan Cepat terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Baja AISI 1045. *Jurnal Fisika Indonesia*, 24(1), 47. <https://doi.org/10.22146/jfi.v24i1.54038>
- Gultom, I, V, B., Cahyanta, A, Y., & Ekaputra, W, M, I. (2022). Investigasi Ketangguhan Baja AISI 1045 Pada Proses Pendingin Metastabel. Prosiding Seminar Nasional Sanata Dharma Berbagi 2022. <http://e-conf.usd.ac.id/index.php/USDB> Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta
- Haryadi, G. D., Fredy Utomo, A., Made, I. Ekaputra, W. (2021). Pengaruh Variasi Temperatur Quenching dan Media Pendingin terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 16, Issue 2). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- Jordi, M., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1).
- Kirono, Sasi ; Saputra, P. A. (2011). Pengaruh Proses *Tempering* Pada Baja Karbon Medium Setelah *Quenching* Dengan Media Oli dan Air Garam (NaCl) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. 5(2), 36–46.
- Majanasastra, R. (2013). Analisis Simulasi Uji Impak Baja Karbon Sedang (AISI 1045) dan Baja Karbon Tinggi (AISI D2) Hasil Perlakuan Panas. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unisma “45” Bekasi*, 1(2), 61–66.

- Nugroho, S., & Haryadi, G. D. (2005). Pengaruh Media *Quenching* Air Tersirkulasi ( *Circulated Water* ) Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Baja AISI 1045. 7, 19–23.
- Pramono, A. (2011). Karakterisrik Mekanik Proses *Hardening* Baja Aisi 1045 Media *Quenching* Untuk Aplikasi Sprochet Rantai. In Jurnal Ilmiah Teknik Mesin (Vol. 5, Issue 1). [www.uddeholm.com](http://www.uddeholm.com),
- P. S., & Yunaidi, C. (2016). Jumlah Konsentrasi Larutan Garam Pada Proses *Quenching* Baja Karbon Sedang. Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST). Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal, 1(3), 70–76.
- Rifai, D., Abdalla, A. N., Khamsah, N., Aizat, M., & Fadzli, M. (2016). *Subsurface defects evaluation using eddy current testing*. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(9). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i9/88724>
- Rusjdi, H., Pramono, A. W., & Faathir, W. B. (2016). Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro pada Baja AISI 4340. *JURNAL POWERPLANT*, 4(2), 95-106.
- Saefuloh, I., Zahrawani, A., Adjiantoro, B., (2018). *Pengaruh Proses Quenching Dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit* Informasi Artikel Abstrak: Vol. IV (Issue 1). <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jwl>
- Syahri, B., Putra, A., & Helmi, D. N. (2017). *Analisis Kekerasan Baja ASSAB 705 Yang Diberikan Perlakuan Panas Hardening Dan Media Pendingin* *Hardness Analysis Of Steel ASSAB 705 Given That Hardening Heat Treatment And Cooling Medium* (Vol. 17, Issue 1).
- Tri Atmoko, N., Hari Priyambodo, B.(2021). *Analisa Jenis Fluida Pendingin Proses Quenching pada Besi Cor Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro* (Vol. 23, Issue 3).
- Zayadi, A., Setyawan, E. T., (2020) *Pengaruh Waktu Tempering terhadap Karakter Baja s45c Pasca Quenching pada 950°C dan Tempering 500°C* (Vol. 12520, Issue 2).