



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS (QUENCHING DAN VARIASI  
SUHU TEMPERING) TERHADAP KEKERASAN, KETANGGUHAN  
IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA S45C**

**TUGAS AKHIR**

**M. ADIB RAMADHAN ILMIAWAN  
40040220655038**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV  
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK  
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG  
DESEMBER 2023**



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS (QUENCHING DAN  
VARIASI SUHU TEMPERING) TERHADAP KEKERASAN,  
KETANGGUHAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO PADA  
BAJA S45C**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan**

**M. ADIB RAMADHAN ILMIAWAN  
40040220655038**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV  
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK  
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG  
DESEMBER 2023**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : M. Adib Ramadhan Ilmiawan

NIM : 40040220655038

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 Desember 2023

## SURAT TUGAS PROYEK AKHIR



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,  
RISET, DAN TEKNOLOGI  
**UNIVERSITAS DIPONEGORO**  
**SEKOLAH VOKASI**  
PROGRAM STUDI  
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK

Jalan Kramat Jiprah No. 1 Atlatenan,  
Semarang, Kode Pos 50131  
Telepon: 021-8290241-83/8330  
Laman: <http://www.vokasi-undp.ac.id>  
email: [me.vokasi@undp.ac.id](mailto:me.vokasi@undp.ac.id)

### TUGAS AKHIR NO. 193/PA/RPM/III/2023

Dengan ini diberikan Tugas Akhir untuk Mahasiswa berikut:

Nama : M. Adib Ramadhan Ilmiawan  
NIM : 40040220655038  
Judul Tugas Akhir : **ANALISA PENGARUH QUENCHING DAN  
TEMPERING TERHADAP KEKERASAN,  
KETANGGUHAN IMPAK DAN STRUKTUR  
MIKRO PADA BAJA S45C**

Isi Tugas :

1. Menganalisa pengaruh quenching dan tempering dengan variasi suhu tempering terhadap nilai kekerasan pada baja S45C.
2. Menganalisa pengaruh quenching dan tempering dengan variasi suhu tempering terhadap nilai ketahanan impak pada baja S45C.
3. Menganalisa struktur mikro pada baja S45C hasil quenching dan tempering dengan variasi suhu.

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini, dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 31 Maret 2023

Ketua PSD IV Rekayasa Perancangan  
Mekanik

Sri Utami Handayani, S.T., M.T.  
NIP. 197609152003122001

Tembusan :  
Dosen Pembimbing

## HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M. Adib Ramadhan Ilmiawan

NIM : 40040220655038

Program Studi : DIV Rekayasa Perancangan Mekanik

Judul Proyek Akhir : Pengaruh Perlakuan Panas (*Quenching* dan Variasi Suhu *Tempering*) Terhadap Kekerasan, Ketangguhan Impak dan Struktur Mikro Pada Baja S45C

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.**

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Drs. Ireng Sigit Atmanto, M.Kes. (.....)

Penguji I : Drs. Ireng Sigit Atmanto, M.Kes. (.....)

Penguji II : Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T. (.....)

Penguji III : Alaya Fadlu Hadi M, S.T.,M.Eng. (.....)

Semarang, 29 Desember 2023

Ketua PSD IV  
Rekayasa Perancangan Mekanik

Sri Utami Handayani, S.T, M.T.  
NIP. 197609152003122001

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Adib Ramadhan Ilmiawan  
NIM : 40040220655038  
Jurusan/Program Studi : DIV Rekayasa Perancangan Mekanik  
Departemen : Teknologi Industri  
Fakultas : Sekolah Vokasi  
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (None-exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

### **Pengaruh Perlakuan Panas (Quenching dan Variasi Suhu Tempering) Terhadap Kekerasan, Ketangguhan Impak dan Struktur Mikro Pada Baja S45C**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Non eksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Semarang

Pada tanggal : 29 Desember 2023

Yang menyatakan,



M. Adib Ramadhan Ilmiawan

## KATA PENGANTAR

Segala puji Penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Proyek Akhir dengan judul “Pengaruh Perlakuan Panas (*Quenching* dan Variasi Suhu *Tempering*) Terhadap Kekerasan, Ketangguhan Impak dan Struktur Mikro Pada Baja S45C”.

Proyek akhir merupakan salah satu syarat kelulusan pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Dalam menyelesaikan laporan Proyek Akhir ini tidak akan berjalan lancar tanpa adanya saran, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karenanya, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesempatan dan kemudahan dalam menyelesaikan Laporan Proyek Akhir dengan lancar.
2. Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si, selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
3. Sri Utami Handayani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Drs. Ireng Sigit Atmanto, M.Kes., selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir.
5. Alaya Fadlu Hadi, S.T., M.Eng. selaku Dosen Wali selama menjadi mahasiswa Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
6. Seluruh Dosen dan Staf Pengajar Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
7. Kedua orang tua dan wali yang telah mendukung kerja keras saya selama ini.
8. Semua teman-teman Sarjana Terapan Prodi Rekayasa Perancangan Mekanik angkatan 2020 dan semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyusun Laporan Proyek Akhir.

Dalam penulisan Laporan Proyek Akhir ini penulis menyadari masih jauh dari kata sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Batang, 29 Desember 2023



M. Adib Ramadhan I.

## ABSTRAK

Baja S45C merupakan salah satu jenis baja karbon dengan kandungan karbon 0.3-0.5% yang tergolong dalam baja karbon sedang. Dengan kandungan karbon medium ini memungkinkan baja ini untuk ditingkatkan lagi sifat mekaniknya. Quenching adalah proses yang umum dilakukan untuk meningkatkan kekerasan baja. Setelah proses quenching biasanya dilakukan proses tempering yang bertujuan untuk mengurangi sifat getas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi suhu tempering terhadap sifat mekanis material. Perlakuan panas yang dilakukan pada spesimen uji raw material baja S45C adalah pemanasan sampai suhu austenisasi 900°C di dalam furnace dengan heat rate pada 10° C/menit dimulai dari suhu ruangan. Spesimen ditahan pada suhu 900° C selama dua jam dan kemudian dicelupkan ke dalam wadah berisi media pendingin oli. Setelah spesimen diberikan perlakuan quenching dan selanjutnya dilakukan proses tempering dengan variasi suhu 200° C, 250° C, 300° C, 350° C, 400° C. Spesimen yang telah diberi perlakuan panas selanjutnya diuji kekerasan dengan, ketangguhan impak dengan menggunakan metode Charpy, dan pengamatan struktur mikro. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan panas quenching pada material baja S45C akan meningkatkan kekerasan permukaan hingga 624,1 VHN dari kekerasan raw material dengan nilai 212,0 VHN. Kekerasan akan menurun seiring dengan meningkatnya suhu tempering. Nilai ketangguhan impak baja S45C dari raw material 0,340 J/mm<sup>2</sup> turun menjadi 0,108 J/mm<sup>2</sup> pada material yang diberikan perlakuan *quenching*. Ketangguhan impak akan naik seiring dengan meningkatnya suhu tempering. Hasil dari pengujian struktur mikro pada spesimen tanpa perlakuan didapatkan struktur *ferrite* dan *perlite* sedangkan struktur mikro pada spesimen setelah *quenching* dan *tempering* adalah *martensite* dan *martensite temper*.

**Kata kunci:** S45C, *Quenching*, *Tempering*

## **ABSTRACT**

*S45C steel is a type of carbon steel with a carbon content of 0.3-0.5% which is classified as medium carbon steel. With this medium carbon content, it allows this steel to improve its mechanical properties. Quenching is a process to increase the hardness of steel. After the quenching process, a tempering process is usually carried out which aims to reduce the brittle properties. The purpose of this study was to determine the effect of variations in tempering temperature on the mechanical properties of the material. The heat treatment was carried out on the S45C steel raw material test specimen by heating to austenitic temperature of 900°C in a furnace with a heat rate of 10oC/minute starting at room temperature. The specimens were held at 900oC for two hours and then immersed in a container containing oil cooling medium. After the specimens were given the quenching treatment, the tempering process was carried out with variations in temperature of 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, and 400°C. Specimens that had been heat treated were then tested for hardness using the Vickers method, impact toughness using the Charpy method, and microstructure observations. The results of this study indicate that quenching heat treatment on S45C steel material will increase the surface hardness to 624.1 VHN from the raw material hardness with value of 212.0 VHN. Hardness will decrease with increasing tempering temperature. The value of the impact toughness of S45C steel from 0.340 J/mm<sup>2</sup> raw material decreased to 0.108 J/mm<sup>2</sup> in the material that was given the quenching treatment. Impact toughness increases with increasing tempering temperature. Observation of the microstructure of the S45C steel raw material showed ferrite and pearlite structures, while the microstructures on quenched and tempered specimens were martensite and tempered martensite.*

**Keyword:** S45C, Quenching, Tempering

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
SURAT TUGAS AKHIR.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan.....	3
1.3. Luaran.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Baja.....	4
2.2.1 Baja Karbon .....	4
2.2.2 Baja Paduan.....	6
2.2.3 Diagram Fasa Fe-C .....	8
2.2 Perlakuan Panas ( <i>Heat Treatment</i> ).....	11
2.2.1 <i>Annealing</i> .....	12
2.2.2 <i>Normalizing</i> .....	12
2.2.3 <i>Hardening</i> .....	12
2.2.4 <i>Quenching</i> .....	14
2.2.5 <i>Tempering</i> .....	14
2.2.6 <i> Holding Time</i> .....	15
2.2.7 Diagram TTT (Time Temperature Transformation).....	15
2.3 Pengujian Logam.....	16
2.2.1 Pengujian Struktur Mikro.....	16
2.2.2 Pengujian Kekerasan .....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Diagram Alur Penelitian.....	28

3.2	Alat dan Bahan .....	29
3.2.1	Alat Penelitian .....	29
3.2.2	Bahan Penelitian.....	29
3.3	Proses Pengujian.....	30
3.3.1	Persiapan Material.....	30
3.3.2	Proses Pengujian Struktur Mikro .....	31
3.3.3	Proses Pengujian Impak .....	32
3.3.4	Proses Pengujian Kekerasan .....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		36
4.1	Hasil Uji Kekerasan.....	36
4.1.1	Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan Panas .....	36
4.1.2	Nilai Kekerasan pada Spesimen <i>Quenching</i> .....	37
4.1.3	Nilai Kekerasan Spesimen <i>Tempering</i> 200° C .....	38
4.1.4	Nilai Kekerasan Spesimen <i>Tempering</i> 250° C .....	38
4.1.5	Nilai Kekerasan Spesimen <i>Tempering</i> 300° C .....	39
4.1.6	Nilai Kekerasan Spesimen <i>Tempering</i> 350° C .....	40
4.1.7	Nilai Kekerasan Spesimen <i>Tempering</i> 400° C .....	41
4.1.8	Hasil Seluruh Pengujian Kekerasan .....	41
4.2	Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Impak .....	43
4.3	Hasil Uji Struktur Mikro .....	45
4.3.1	Struktur Mikro Raw Material <i>S45C</i> .....	46
4.3.2	Struktur Mikro Hasil <i>Quenching</i> .....	46
4.3.3	Struktur Mikro Hasil <i>Tempering</i> 200° C.....	47
4.3.4	Struktur Mikro Hasil <i>Tempering</i> 250° C.....	48
4.3.5	Struktur Mikro Hasil <i>Tempering</i> 300° C.....	48
4.3.6	Struktur Mikro Hasil <i>Tempering</i> 350° C.....	49
4.3.7	Struktur Mikro Hasil <i>Tempering</i> 400° C.....	50
BAB V PENUTUP.....		51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran .....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Fasa Fe-C.....	9
Gambar 2. 2 Diagram TTT.....	16
Gambar 2. 3 Struktur kubik pemusatan ruang logam .....	17
Gambar 2. 4 Struktur kubik pemusatan sisi pada logam.....	18
Gambar 2. 5 Struktur mikro ferite.....	19
Gambar 2. 6 Struktur mikro perlite .....	20
Gambar 2. 7 Struktur mikro bainite .....	20
Gambar 2. 8 Struktur mikro plat martensite.....	21
Gambar 2. 9 Struktur mikro sementite.....	22
Gambar 2. 10 Metode pengujian kekerasan Brinell.....	23
Gambar 2. 11 Metode pengujian kekerasan metode Rockwell Metode pengujian kekerasan metode Rockwell.....	25
Gambar 2. 12 (a) Metode Pengujian Vickers (b) Bentuk indentor Vickers.....	27
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.....	28
Gambar 3. 2 Spesimen Uji Material S45C.....	31
Gambar 3. 3 Metallurgical Microscope .....	32
Gambar 3. 4 Alat Uji Impak.....	33
Gambar 3. 5 Mesin Uji Kekerasan Vickers .....	35
Gambar 4. 1 Grafik perbandingan hasil uji kekerasan.....	43
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan hasil uji kekerasan.....	45
Gambar 4. 3 Struktur mikro S45C tanpa perlakuan panas.....	46
Gambar 4. 4 Struktur mikro S45C hasil quenching .....	47
Gambar 4. 5 Struktur mikro S45C hasil tempering 200° C.....	47
Gambar 4. 6 Struktur mikro S45C hasil tempering 250° C.....	48
Gambar 4. 7 Struktur mikro S45C hasil tempering 300° C.....	49
Gambar 4. 8 Struktur mikro S45C hasil tempering 350° C.....	49
Gambar 4. 9 Struktur mikro S45C hasil tempering 400° C.....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi kimia baja paduan rendah (ASM, 1990).....	7
Tabel 2. 2 Skala kekerasan rockwell.....	25
Tabel 4. 1 Hasil uji kekerasan tanpa perlakuan panas .....	36
Tabel 4. 2 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Quenching.....	37
Tabel 4. 3 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Tempering 200° C.....	38
Tabel 4. 4 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Tempering 250° C.....	38
Tabel 4. 5 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Tempering 300° C.....	39
Tabel 4. 6 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Tempering 350° C.....	40
Tabel 4. 7 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Tempering 400° C.....	41
Tabel 4. 8 Hasil seluruh pengujian kekerasan spesimen.....	42
Tabel 4. 9 Hasil Uji Ketahanan Impak.....	44

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pada era teknologi saat ini, logam menjadi salah satu bahan baku yang sering digunakan dalam produksi. Dalam kehidupan sehari-hari, logam banyak digunakan untuk bahan pembuatan alat pertanian, alat perkakas, dan suku cadang kendaraan hingga alat-alat kebutuhan rumah tangga. Sifat logam meliputi sifat mekanik yaitu kekakuan, kekuatan, keuletan, kekerasan dan sifat termal meliputi konduktivitas listrik, pemuaian, panas jenis, serta sifat fisik yaitu ukuran, struktur, dan massa jenis.

Logam dibagi menjadi dua yaitu logam besi dan logam non-besi. Logam besi terdiri dari beberapa jenis baja. Umumnya baja memiliki beberapa unsur paduan, unsur karbon merupakan unsur paling penting yang mempengaruhi sifat dari baja, tetapi unsur lainnya tidak dapat diabaikan. Persentase karbon akan mempengaruhi sifat mekanik baja. Oleh karena itu, baja dibedakan menjadi baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi.

*Quenching* adalah metode yang dapat dilakukan untuk mengeraskan logam. *Quenching* merupakan proses pemanasan pada baja sesuai kandungan karbon dengan suhu tertentu dari baja itu sendiri, kemudian lakukan penahanan dengan jangka waktu tertentu setelah mencapai suhu maksimum yang ditentukan, setelah itu didinginkan menggunakan media seperti air sumur, oli, larutan garam, minyak atau media pendingin lainnya. Jenis media pendingin memiliki kemampuan yang berbeda untuk mendinginkan spesimen uji, jika logam lebih cepat didinginkan maka sifat logam akan semakin kuat. (Trihutomo, 2015).

Jika memperhatikan faktor suhu dan media pendingin yang digunakan maka perlakuan panas *quenching* akan mendapatkan hasil yang optimal dan sempurna. Kekuatan dan ketahanan material dapat ditentukan oleh temperatur saat proses pemanasan. Pemanasan material hingga temperatur zona kritis 900° C atau lebih tinggi akan membentuk struktur *austenite*. Laju pendinginan yang sesuai dapat mengoptimalkan dan menyempurnakan struktur matensite. (Syuffi & Irfa'i, 2014).

Dalam dunia industri, penggunaan baja karbon sudah sangat dikenal. Dalam penelitian ini akan digunakan spesimen baja S45C yang tergolong dalam baja karbon sedang. Baja S45C ini masuk kedalam kelompok baja karbon menengah dikarenakan terdapat kandungan karbon sebanyak 0,3%-0,5% karbon dalam komposisinya. Dengan kandungan karbon yang medium ini memungkinkan baja ini untuk ditingkatkan lagi sifat mekaniknya. Untuk menjaga agar baja tetap kuat dan keras dengan cara memberikan perlakuan panas. Dilihat dari fungsinya, baja karbon medium ini biasa dipakai untuk komponen atau *sparepart* seperti roda gigi, *coupling, pully, axles, rails*.

Baja karbon S45C memiliki nilai kekuatan dan keuletan yang cukup rendah. Untuk memperbaiki atau meningkatkan sifat-sifat mekanik, dapat pula diberikan dengan perlakuan panas seperti *annealing, tempering, normalizing*, dan *quenching*. Nilai kekerasan dan ketangguhan dapat dilihat dari pengaruh temperatur perlakuannya. Pada metode hardening dengan variasi suhu diatas 700°C yang merupakan batas temperatur kritis yang akan merubah struktur baja sedemikian rupa sehingga diperoleh struktur martensit yang keras, sehingga meningkatkan tingkat kekerasannya. Begitu pula dengan metode *tempering* dimana dengan variasi

suhu antara 300° - 500°C, hasil perlakuan yang didapatkan menambah ketangguhan dan sedikit mengurangi kekerasannya. Oleh karena itu pemilihan temperatur perlu diperhatikan untuk mendapatkan kualitas kekuatan dan keuletan yang optimal dikarenakan kekerasan dan ketangguhan baja menjadi tolak ukur kualitas suatu produk industri manufaktur. (Rachman & Sakti, 2020)

Dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi suhu *tempering* terhadap kekerasan dan struktur mikro pada baja S45C setelah dilakukan proses *quenching* dengan suhu pemanasan 900° C. Variasi suhu *tempering* pada penelitian ini yaitu 200° C, 250° C, 300° C, 350° C, 400° C.

## **1.2. Tujuan**

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh *quenching* dan *tempering* dengan variasi suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan.
2. Menganalisa pengaruh *quenching* dan *tempering* dengan variasi suhu *tempering* terhadap nilai ketahanan impak.
3. Menganalisa struktur mikro pada S45C hasil *quenching* dan *tempering* dengan variasi suhu.

## **1.3. Luaran**

Pelaksanaan Tugas Akhir akan menghasilkan luaran, yaitu:

- a. Laporan Tugas Akhir
- b. Analisa data pengujian material baja S45C tanpa *heat treatment*, dan dengan *quenching* dan *tempering* dengan variasi suhu *tempering*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Baja**

Baja merupakan paduan yang terdiri dari 0,2% -2,1% unsur karbon dan besi serta terdapat unsur lain seperti fosfor (P), sulfur (S), silikon (Si), mangan (Mn) dan lain-lain, tetapi hanya sebagian kecil persentase dari unsur-unsur tersebut. Sifat-sifat dari baja karbon dipengaruhi oleh struktur mikro dan banyaknya kandungan karbon, sedangkan struktur mikronya tergantung dari pemanasan dan kandungan kimia. Campuran karbon dan unsur lain dalam baja dapat meningkatkan nilai kekerasan, ketahanan gores, dan ketahanan panas. Karbon adalah unsur paduan utama dalam baja oleh karena itu baja dibedakan tiga macam yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. (Amanto dan Daryanto, 1999).

#### **2.2.1 Baja Karbon**

Dalam aplikasinya, baja ini sering dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam pembuatan alat rumah tangga, struktur bangunan, komponen mekanik dan lain-lain. Baja karbon merupakan paduan antara karbon dan besi yang mengandung sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat-sifat dari baja karbon sangat bergantung pada karbon, sehingga baja-baja ini diklasifikasikan menurut kandungan atau persentase karbonnya (Wiryosumarto, 2004).

Menurut definisi ASM handbook vol.1.:148 (1993), Baja karbon dapat diklarifikasi menurut kandungan komposisi kimia karbon pada baja, sebagai berikut:

### 1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) adalah baja dengan kandungan kurang dari 0,3% karbon pada struktur bajanya. Sifat yang dimiliki dari baja ini yaitu kekerasan serta ketahanan aus yang rendah, tetapi tingkat ketangguhan dan keuletannya tinggi. Dalam pengaplikasiannya baja ini dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan alat rumah tangga dan lain-lain.

### 2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) adalah baja karbon dengan persentase 0,3% C-0,59% karbon dalam besi. Jika dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon jenis ini mempunyai keunggulan yaitu memiliki sifat mekanik yang kuat dan kekerasan yang lebih tinggi. Dengan kandungan karbon dalam besi yang sangat besar maka baja ini dapat ditingkatkan nilai kekerasannya dengan cara diberi perlakuan panas yang kemudian di*quenching*. Baja karbon sedang biasanya digunakan untuk membuat poros, rel, roda gigi, baut, pegas dan bagian mesin lainnya.

### 3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) merupakan baja yang memiliki 0,65% C-1,45% kandungan karbon. Baja tipe ini mempunyai ketahanan panas, kekerasan dan kekuatan tarik yang sangat tinggi namun tingkat keuletannya rendah, oleh karena itu baja tipe ini getas dan lebih rapuh. Baja karbon tinggi jenis ini kurang cocok dilakukan *heat treatment* untuk meningkatkan kekerasannya, karena jumlah *martensite* yang terdapat dalam baja karbon ini sangat besar, sehingga hasil yang didapatkan selama proses pengerasan tidak

maksimal. Dalam aplikasinya, baja tipe ini sering dimanfaatkan dalam industri alat perkakas seperti pembuatan kikir, pahat, obeng, ragum, tang dan sebagainya.

### **2.2.2 Baja Paduan**

Baja paduan adalah baja yang diperoleh dengan cara mencampurkan salah satu atau lebih dari elemen-elemen seperti mangan, nikel, molibdenum, kromium, vanadium, dan wolfram yang dapat digunakan untuk mendapatkan karakteristik baja yang diperlukan, antara lain kekerasan, keuletan dan kekuatan (Amanto, 1999).

Berdasarkan kandungan unsur paduannya, baja dapat dibagi menjadi 3 jenis sebagai berikut:

#### **1. Baja Paduan Rendah**

Baja paduan rendah merupakan baja yang memiliki unsur paduan 2,5%, paduan tersebut seperti Mn, Cr, Ni, S, Si, P dan unsur yang lain. Kandungan karbonnya sama dengan baja karbon, tetapi lebih sedikit unsur paduan. Kekuatan fatik, ketahanan korosi, ketahanan aus dan ketahanan panas dapat ditingkatkan tanpa mengurangi keuletan dengan menambahkan unsur paduan. Penerapan baja ini banyak digunakan pada roda kereta, jembatan, kapal, ketel uap, pipa gas, tangki gas dan lain-lain (Wiryosumarto, 2004). Komposisi kimia *low alloy steel* seperti terlihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Komposisi kimia baja paduan rendah (ASM, 1990)

UNS Number	SAE-AISI number	Cast or heat chemical ranges and limits, %			
		C	Mn	P max	S max
G10050	1005	0.06 max	0.35 max	0.040	0.050
G10060	1006	0.08 max	0.25-0.40	0.040	0.50
G10080	1008	0.10 max	0.30-0.50	0.040	0.050
G10100	1010	0.08-0.013	0.30-0.60	0.040	0.050
G10120	1012	0.10-0.15	0.30-0.60	0.040	0.050
G10130	1013	0.11-0.16	0.50-0.80	0.040	0.050
G10150	1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.040	0.050
G10160	1016	0.13-0.18	0.60-0.90	0.040	0.050
G10170	1017	0.15-0.20	0.30-0.60	0.040	0.050
G10180	1018	0.15-0.21	0.60-0.90	0.040	0.050
G10190	1019	0.15-0.22	0.70-1.00	0.040	0.050
G10200	1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.040	0.050

## 2. Baja Paduan Menengah

Baja paduan menengah (*medium alloy steel*) merupakan baja dengan unsur paduan 2,5% -10%, seperti Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan unsur lainnya.

## 3. Baja Paduan Tinggi

Baja paduan tinggi (*High Alloy Steel*) adalah baja dengan kandungan unsur paduan lebih dari 10% seperti Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan unsur lainnya. Contohnya termasuk baja perkakas, baja tahan karat dan baja mangan. Dapat diaplikasikan pada bejana tekan, bantalan, baja pegas, katak kereta api, alat pemotong, dan lain-lain.

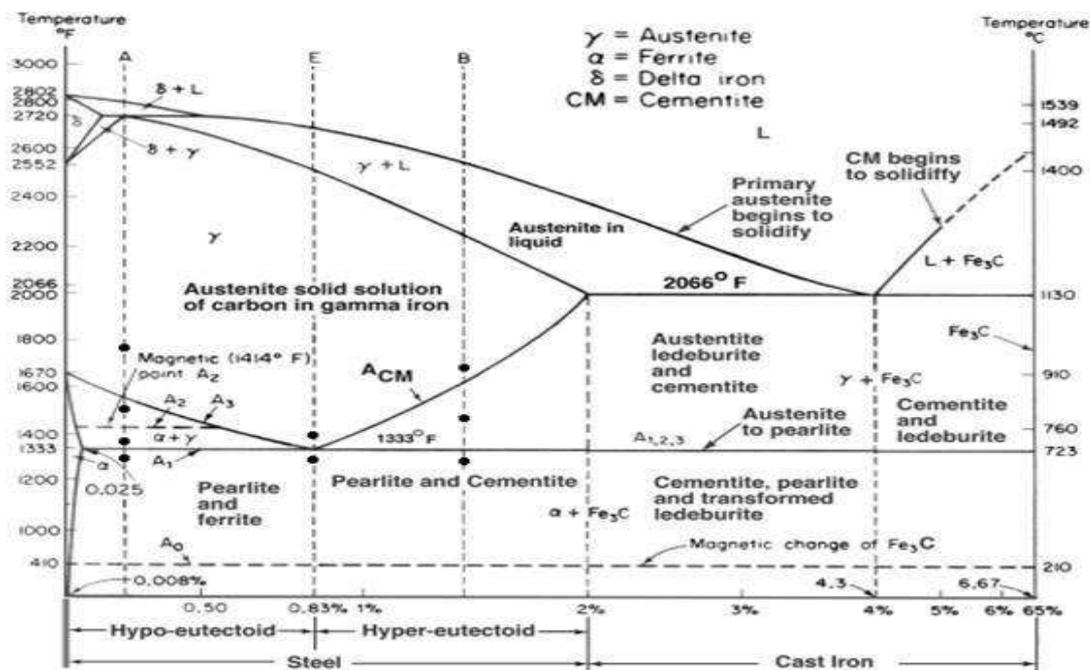
Menurut Rusmadi dan Feidihal (2006), masing-masing fungsi komposisi kimia pada baja yaitu:

- a. Unsur C memiliki fungsi dalam meningkatkan kekerasan atau kekuatan pada baja namun keuletan akan menurun.

- b. Unsur Mn memiliki fungsi dalam mencegah terjadinya kegetasan ketika berada pada suhu tinggi pada saat perlakuan panas.
- c. Unsur Al, Si memiliki fungsi dalam menghilangkan oksigen terlarut dari lelehan.
- d. Unsur Cu, Ni memiliki fungsi dalam meningkatkan ketahanan korosi dalam jumlah kecil sedangkan unsur Ti dapat meningkatkan dalam jumlah besar.
- e. Unsur Cr, Mo, V memiliki fungsi dengan membentuk fase kedua-karbida untuk meningkatkan kekuatan.
- f. Unsur Ca memiliki fungsi dalam meningkatkan ketangguhan baja.
- g. Unsur P memiliki fungsi memudahkan pengerolan baja ketika panas.
- h. Unsur Nb memiliki fungsi dalam membentuk karbida yang kuat.
- i. Unsur N memiliki efek pengerasan dan penahanan terhadap kegetasan pada baja, sehingga menguntungkan dan merugikan di beberapa aspek.

### **2.2.3 Diagram Fasa Fe-C**

Diagram Fe-C atau diagram keseimbangan besi karbon adalah diagram parameter yang digunakan untuk mengetahui semua jenis fasa yang ada pada baja dan mengetahui faktor-faktor yang terdapat pada baja paduan dengan segala perlakuan.



Gambar 2. 1 Diagram Fasa Fe-C (Sumber: Callister, 2007)

Pada suhu 723° C, fase *austenite* berubah menjadi fase *perlite*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Transisi fase ini disebut reaksi *eutektoid* dan merupakan tahap *heat treatment*. Kemudian pada suhu 910°C-1400°C terdapat daerah *gamma* ( $\gamma$ -Fe) atau *austenite*. Dalam kondisi tersebut, fasa *austenite* mempunyai struktur kristal yang stabil, lunak, ulet dan mudah dibentuk atau disebut FCC (*Face Centered Cubic*). Unsur karbon maksimum yang dapat dilarutkan dengan besi gamma ini mencapai 2,14%C pada temperatur 1147°C. Selain itu pada suhu yang sama BCC dapat menyatukan karbon maksimal 0,02% C. Terbentuknya besi *delta* ( $\delta$ -Fe) terjadi ketika struktur besi gamma berubah dari FCC ke BCC yang diakibatkan dari peningkatan temperatur dari 1400°C ke 1539°C, sehingga pada fase ini kemampuan besi *delta* menyerap karbon hanya sebesar 0,05% C.

Berikut merupakan istilah yang banyak digunakan pada diagram fasa Fe-C antara lain:

1. *Cementite* (karbida besi) adalah senyawa *interstitial* yang mengandung 6,67% C. yang memiliki kekuatan rendah, sangat keras dan getas.
2. *Austenite* merupakan larutan padat karbon pada besi *gamma*, memiliki ketangguhan tinggi, biasanya tidak stabil pada temperatur kamar.
3. *Ledeburite* adalah suatu *eutectic mixture* dari *austenite* dan *sementite* mengandung 4,3% C terbentuk pada 1130°C.
4. *Ferrite* merupakan larutan padat karbon dalam besi *alpha* kelarutan karbon maksimum 0.025% pada 723°C dan hanya 0,008% pada temperatur kamar. Kekuatan rendah dan keuletan tinggi serta tidak terlalu tinggi kekerasannya.
5. *Pearlite* adalah suatu *eutectoid mixture* dari *sementite* dan *ferrite* mengandung 0,8% C terbentuk pada 723°C.
6. *Lower Critical Temperature* (temperatur kritis bawah) merupakan temperatur *eutectoid*, pada diagram Fe-C tampak berupa sebuah garis horizontal pada temperatur 723°C. Pada temperatur ini terjadi reaksi *eutectoid*.
7. *Uper Critical* adalah temperatur awal terjadinya perubahan alotropik dari *gamma* ke *alpha* saat pendinginan atau sebaliknya pada pemanasan. (Ambiyar dan Putra, Z.A, 2007).
8. Garis *solvus* adalah batas kelarutan karbon pada *austenite*
9. *Bainite* merupakan fasa tidak stabil yang terbentuk dari *austenite* ketika suhunya dibawah suhu transformasi akan menjadi *perlite* sebaliknya ketika lebih tinggi dari suhu transformasi akan menjadi *martensite*. Ada dua jenis

bainit, yaitu bainite yang terbentuk pada suhu yang lebih rendah disebut *lower bainite*, dan *bainite* yang terbentuk pada suhu yang lebih tinggi disebut *upper bainite*.

10. *Martensite* adalah larutan padat karbon, dan karbon jenuh dalam besi *alfa*, oleh karena itu latis-latis sel satuan mengalami deformasi. Sifat yang dimiliki sangat keras dan diperoleh ketika proses pendinginan dengan laju pendinginan yang sangat cepat diatas suhu kritis pada suhu austenit.

Dengan mempelajari diagram tersebut memungkinkan untuk mengetahui struktur mikro yang dimiliki suatu paduan, dari hal tersebut maka sifat baja dapat ditentukan.

## 2.2 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Pramono (2016) mengemukakan bahwa perlakuan panas yaitu memanaskan logam hingga dibawah suhu leleh dan mendinginkan logam dengan jangka waktu tertentu. Ketika proses perlakuan panas baja, tahap pertama yang dilakukan yaitu memanaskan spesimen hingga suhu tertentu atau di atas suhu daerah kritis hingga terbentuk fasa *austenite*. Kemudian dilakukan *holding time* agar *austenite* dapat didinginkan, proses ini harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak terjadi cacat pada material setelah proses pendinginan.

Selama proses perlakuan panas, salah satu langkah yang sangat berpengaruh terhadap hasil akhir adalah laju pendinginan. Pada proses *heat treatment* terdapat tiga tahapan awal yang harus dilakukan yaitu pemanasan, waktu tahan dan pendinginan material. Secara umum *heat treatment* dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

### **2.2.1 Annealing**

*Annealing* yaitu pemanasan baja yang dilakukan untuk menurunkan tingkat kekerasan, meningkatkan keuletan, memperkecil tegangan sisa dan menghaluskan ukuran butiran.

### **2.2.2 Normalizing**

*Normalizing* adalah proses perlakuan panas yang berfungsi untuk memperhalus struktur butiran agar seragam serta menghilangkan tegangan *internal*. Untuk bahan tempa, konstruksi baja dan baja canai mempunyai struktur yang berbeda karena beban yang tidak proporsional dan disebabkan oleh deformasi benda dengan ketebalan yang tidak sama pada tahap pendinginan yang tidak rata. Tujuan dari normalisasi adalah untuk menormalkan sifat mekanik yang terkait dengan hilangnya baja pada proses sebelumnya, memperhalus butiran, menghilangkan tegangan sisa dan lain-lain.

### **2.2.3 Hardening**

*Hardening* adalah proses pemanasan dengan tujuan mendapatkan kekerasan dari material. Dalam proses ini, baja pertama-tama dipanaskan sampai suhu kritis atau lebih, dan kemudian didinginkan dengan cepat. Dalam setiap proses perlakuan panas, kecepatan pendinginan merupakan faktor penting.

Metode ini dapat digunakan agar kekerasan pada baja meningkat tanpa mengubah komposisi kimia secara menyeluruh. Proses tersebut melibatkan pemanasan hingga austenisasi yang kemudian didinginkan pada kecepatan tertentu agar sifat yang diinginkan dapat tercapai. Proses pendinginan tergantung pada media *quenching* yang digunakan dan kecepatan pendinginan. Untuk tingkat

pendinginan yang cepat, maka dapat diperoleh kekerasan yang tinggi tetapi getas, sebaliknya tingkat pendinginan yang lambat akan diperoleh sifat yang lunak tetapi ulet.

Adapun parameter yang dapat mempengaruhi proses *hardening* adalah:

1. Temperatur pemanasan bertujuan agar transformasi yang seragam pada material dapat tercapai pada temperatur austenisasi.
2. Waktu tahan merupakan waktu yang digunakan untuk mendistribusikan temperatur ke seluruh bagian logam secara merata.
3. Laju pendinginan merupakan faktor terpenting karena semakin tinggi laju pendinginan maka semakin tinggi kekerasan yang diperoleh.

Waktu pemanasan bergantung pada ukuran benda kerja serta konduktivitas termal. Retensi jangka panjang akan menyebabkan butiran kristal tumbuh, sehingga mengurangi kekuatan material. *Martensite* adalah komposisi mikroskopis yang terjadi tanpa adanya proses difusi. Komposisi ini terbentuk ketika proses pendinginan yang sangat cepat, seperti proses *quenching* dengan air. Transisi ini terjadi pada tingkat kecepatan yang tinggi, mendekati urutan kecepatan suara, sehingga proses difusi pada karbon tidak dapat dilakukan. Transformasi *martensite* tidak bergantung pada waktu dan terbentuk tanpa adanya proses difusi (*diffusionless time-independent transformation*). *Martensite* memiliki bentuk seperti jarum dan mempunyai sifat yang keras tetapi getas. Fasa *martensite* merupakan fasa stabil, apabila diberi perlakuan panas maka akan diperoleh fasa yang lebih stabil.

#### **2.2.4 Quenching**

Dalam proses *quenching* terdapat dua faktor yang terlibat dan saling terkait. Pertama yaitu proses yang digunakan dan jenis media pendingin, kedua adalah kekerasan logam. *Quenching* merupakan proses mendinginkan logam dengan kecepatan yang sangat tinggi (Sugiarto et al. 2013).

Dalam proses *quenching* terjadi pendinginan yang sangat cepat dan terjadi perubahan dari fasa *austenite* menjadi *bainite* dan *martensite* sehingga diperoleh tingkat kekerasan dan ketangguhan yang tinggi. Proses pengerasan dengan cara *quenching* hampir sepenuhnya tergantung dengan kadar karbon dan laju pendinginan tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis. Media yang digunakan yaitu air, air garam, oli, air-polymer dan lain-lain.

Pada baja paduan dan baja karbon tinggi biasanya menggunakan media pendingin minyak yang tingkat laju pendinginannya lebih lambat daripada air. Ada banyak jenis minyak yang tersedia, seperti minyak mineral yang memiliki laju pendinginan berbeda, sehingga dapat dihasilkan baja dengan tingkat kekerasan yang berbeda. Sedangkan udara memiliki tingkat pendinginan yang lambat. Material yang lebih besar biasanya dicelup dalam minyak. Suhu media pencelupan yang baik harus didistribusikan secara merata untuk mencapai pendinginan yang merata.

#### **2.2.5 Tempering**

Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur tempering (di bawah suhu kritis), yang kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan. Logam yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak

cocok untuk digunakan, melalui perlakuan ini kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedangkan keuletan dan ketangguhan logam akan meningkat.

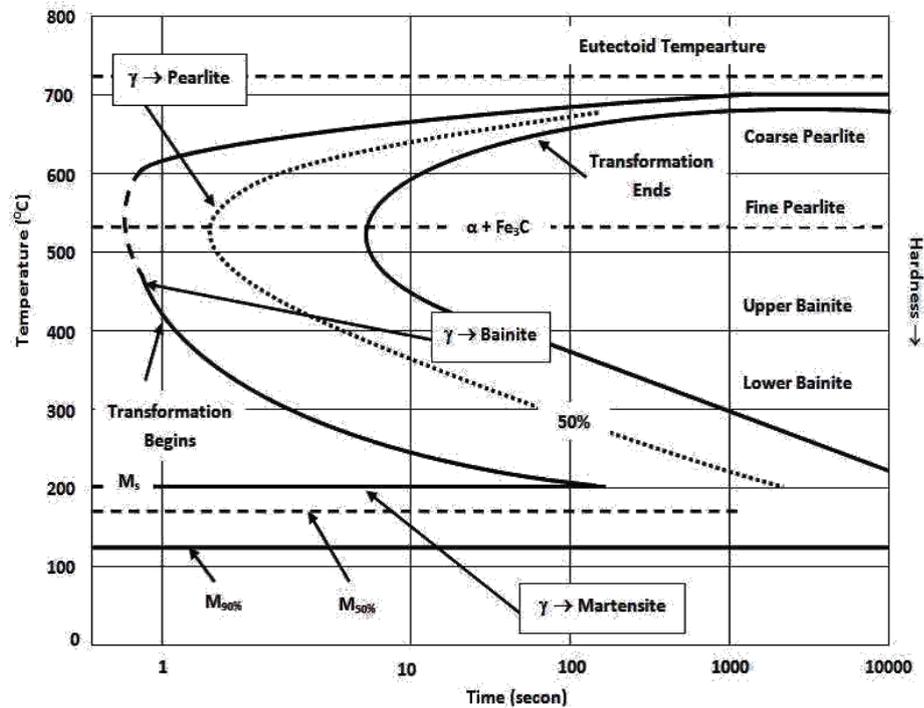
### **2.2.6 Holding Time**

*Holding Time* merupakan proses menahan suhu dengan jangka waktu yang ditentukan agar perubahan struktur dan temperaturnya merata. Proses ini bertujuan agar menghasilkan tingkat kekerasan yang tinggi dari spesimen ketika proses pemanasan dengan memberikan waktu tahan pada temperatur tertentu agar panas merata sehingga struktur *austenitenya* homogen dan terjadi kelarutan karbida.

*Holding time* sangat mempengaruhi masa transisi, dikarenakan apabila waktu tahan yang diberikan tidak tepat maka transisi yang dihasilkan tidak sempurna dan tidak merata. Waktu penahanan yang terlalu cepat juga menyebabkan kekerasan menjadi rendah karena jumlah karbida terlarut tidak mencukupi (Pramono, A. 2011 :32-38).

### **2.2.7 Diagram TTT (Time Temperature Transformation)**

Mersilia (2016) Diagram IT atau TTT merupakan diagram pemanasan baja karbon hingga mencapai suhu austenisasi yang kemudian didinginkan menggunakan tingkat pendinginan kontinyu pada daerah *austenite* dan diberikan penahanan dengan jangka tertentu kemudian didinginkan kembali secara kontinyu seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Diagram TTT (Mersilia, A. 2016)

Pada diagram tersebut dapat dilihat diagram TTT yang menunjukkan jenis baja *hypoeutectoid*, yang mana garis absis menunjukkan waktu sebaliknya garis ordinat menunjukkan temperatur. Melalui diagram TTT tersebut, kita dapat melihat waktu saat *austenite* mulai bertransformasi, dan waktu yang diperlukan untuk membentuk *austenite* yang sempurna. Untuk mencapai *martensite*, media pendingin seperti air garam dan air sumur dapat digunakan untuk mempercepat penurunan suhu. Saat suhu turun, transformasi mendekati 100% *martensite*.

## 2.3 Pengujian Logam

### 2.2.1 Pengujian Struktur Mikro

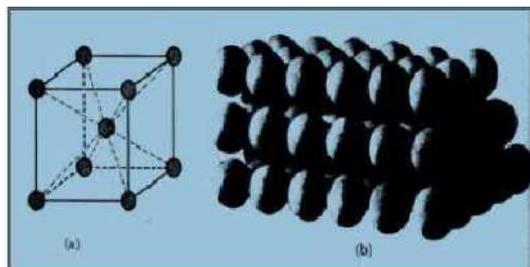
Metalografi adalah ilmu logam yang menggunakan peralatan mikroskop untuk mempelajari dan memperkenalkan mikrostruktur dan topografi logam, fasa, ukuran dan distribusi butiran, serta karakteristik logam dan paduannya. Metalografi

adalah pengujian dan pengamatan struktur butir logam. Deskripsi struktur butir logam dapat diperoleh dengan pengamatan metalografi. Pengujian metalografi dapat dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik (Voort, 1988).

Struktur mikro merupakan perkumpulan fasa dan dapat diamati menggunakan teknik metalografi dengan dibantu alat mikroskop optik dan mikroskop elektron. Logam mempunyai kristal kubik diantaranya:

a. *Body Centered cubic (BCC)*

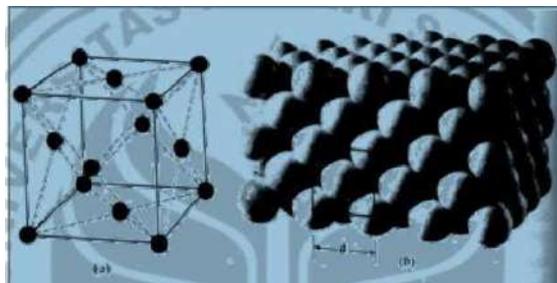
Besi dapat diartikan sebagai kristal *cubic* yang berpusat pada ruang dan memiliki struktur. Saat temperatur kamar, sel dalam besi memiliki atom di setiap sudut dan di tengah. Besi biasanya terdapat kristal kubik yang berpusat pada ruang. Setiap atom dalam struktur kubik terpusat dikepung dengan delapan atom yang berdekatan, dan terdapat pada setiap atom, terlepas dari apakah ia terletak di sudut atau tengah.



Gambar 2. 3 Struktur kubik pemusatan ruang logam

b. *Face Centered Cubic* (FCC)

Struktur kubik ini sangat umum ditemui dalam logam termasuk aluminium dan timbal yang memiliki susunan atom berikut (hal ini terjadi pada besi dengan temperatur tinggi). Logam dengan struktur kubik ini memiliki atom sebanyak empat kali. Delapan atom di sudut mendapatkan satu atom, sedangkan enam sisi bidang mendapatkan tiga atom per sel satuan.



Gambar 2. 4 Struktur kubik pemusatan sisi pada logam

Dengan temperatur tertentu serta diberikan perlakuan panas maka baja dapat diketahui struktur mikronya. Struktur mikro dapat diamati menggunakan alat mikroskop optik dan struktur yang terlihat bermacam-macam sedangkan struktur yang terkandung dalam baja adalah *austenite*. Menurut Rhifai, R (2010:16) fasa yang terkandung dalam baja yaitu:

1. *Austenite*

*Austenite* merupakan paduan dari karbon dan besi yang terbentuk dari proses pembekuan. Saat proses pendinginan *austenite* bertransformasi menjadi *ferite*, *perlite* dan *sementite*. *Austenite* memiliki sifat yang lentur dan lunak dan karbon maksimum yang terkandung sebesar 2,14%.

## 2. *Ferite*

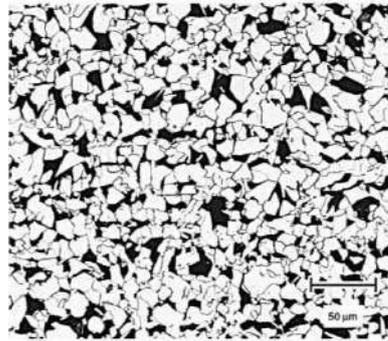
*Ferite* juga disebut *alpha* ( $\alpha$ ) karena memiliki ruang antar atom yang rapat dan kecil sehingga atom yang tertampung hanya sedikit. *Ferite* memiliki daya larut karbon yang kecil yaitu dibawah 1:1000 atom besi. Ketika di suhu ruang, kadar karbon mencapai 0,008% dan termasuk kedalam besi murni. *Ferite* bersifat magnetik dan lunak. *Ferite* memiliki tingkat kekerasan 140-180 HV.



Gambar 2. 5 Struktur mikro ferrite  
(ASM International, 2004: 1440)

## 3. *Pearlite*

*Pearlite* terbentuk dari paduan mekanis dan mengandung dua fasa, pertama *ferite* yang mengandung 0,025% kadar karbon dan kedua *sementite* yang mengandung 6,67% kadar karbon yang letaknya bersebelahan dan selang-seling. Sehingga *pearlite* termasuk kedalam struktur mikro. Tingkat kerasan dari *pearlite* yaitu 180 - 250 HV.

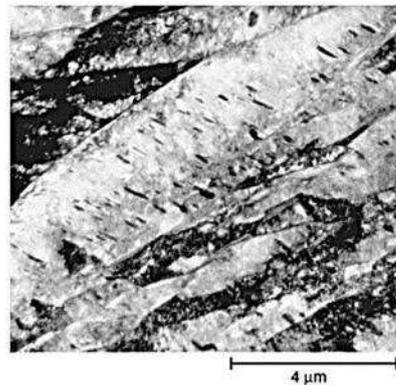


Gambar 2. 6 Struktur mikro perlite

(ASM International, 2004: 1438)

#### 4. *Bainite*

*Bainite* terbentuk dari terjadinya transformasi yang sangat cepat saat pendinginan pada fasa *austenite* pada suhu 250°C - 550°C yang kemudian diberikan waktu tahan (*isothermal*). *Bainite* termasuk struktur mikro paduan dari *ferite* dan *sementite*. Tingkat kekerasan *bainite* yaitu 300 - 400 HV.



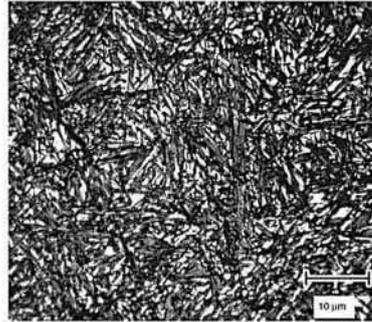
Gambar 2. 7 Struktur mikro bainite

(ASM International, 2004: 1450)

#### 5. *Martensite*

*Martensite* terbentuk dari gabungan antara *ferite* dan *sementite*, tidak berbentuk lapisan tetapi berbentuk jarum-jarum *sementite*. *Martensite* terbentuk karena adanya proses pendinginan yang cepat saat mencapai *austenite*.

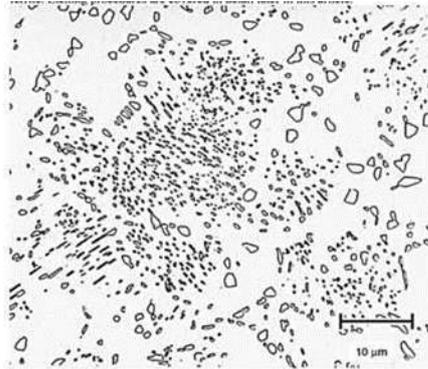
*Martensite* bilah (*lath martensite*) dapat terjadi apabila kadar karbon mencapai 0,6% sebaliknya jika diatas 1% C akan terbentuk *plate martensite*. Dititik interval 0,7% C - 1,09% terjadi perubahan tipe bilah ke pelat. *Martensite* memiliki tingkat kekerasan diatas 500 HV.



Gambar 2. 8 Struktur mikro plat martensite  
(ASM International, 2004: 1452)

#### 6. *Sementite* (karbida besi)

Karbida besi (*sementite*) terbentuk ketika daya larut pada paduan besi melebihi batas. Komposisi kimia yang terkandung pada karbida besi adalah  $Fe_3C$ . *Sementite* memiliki sifat yang lebih keras dibandingkan *ferite*. *Sementite* yang terdapat pada *ferite* menyebabkan kekerasan baja meningkat. Ketika terjadi konsentrasi tegangan *sementite* tidak mampu menyesuaikan diri, sehingga kurang kuat. *Sementite* memiliki kekerasan 800 HVN.



Gambar 2. 9 Struktur mikro sementite  
(ASM International, 2004: 1445)

### 2.2.2 Pengujian Kekerasan

Kekerasan dapat didefinisikan sebagai ketangguhan suatu material ketika diberikan pembebanan. Kekerasan suatu material dapat dianalisis dengan jumlah beban yang diterapkan ke area yang dibebani. Pengujian dilakukan dengan menekankan spesimen uji dengan pembebanan tertentu kemudian hasil tekanan yang terbentuk dipermukaan spesimen diukur (Surdia dan Saito, 1992).

Uji kekerasan sering digunakan untuk industri pemesinan karena prosesnya yang mudah untuk mendapatkan nilai kekerasan suatu material. Uji kekerasan dengan metode penekanan dapat dibagi menjadi 3 jenis sebagai berikut:

#### 1. Metode *Brinell*

*Brinell* merupakan metode pengujian kekerasan yang dilakukan dengan cara menekan bola baja kromium ke bagian spesimen uji. Material yang akan diuji harus memiliki permukaan yang bersih dari debu dan kotoran. Ukur diameter lekukan dengan hati-hati. Metode ini cocok digunakan pada spesimen yang memiliki kekerasan *brinell* 400 HB. HB adalah satuan kekerasan *brinell*. Tingkat kekerasan

diperoleh dari beban tekan dibagi dengan besar lekukan pada permukaan dan dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$HB = \frac{F}{\frac{\pi}{2} D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Keterangan:

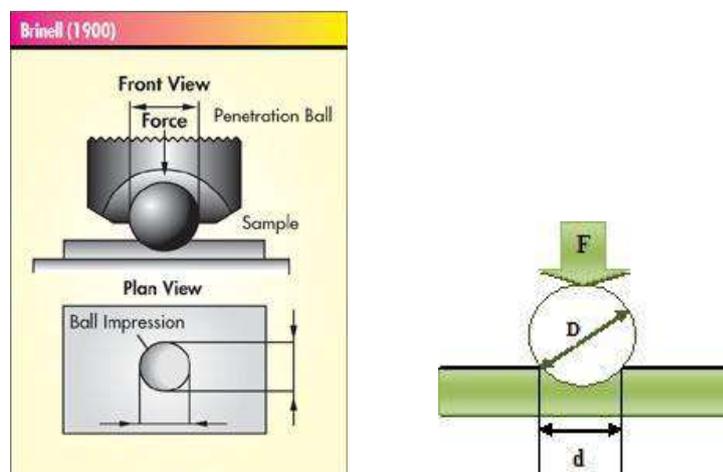
HB = nilai kekerasan *brinell* (HB)

D = diameter bola (mm)

d = diameter lekukan (mm)

F = beban yang digunakan (kg)

Standar pembebanan yang digunakan dalam pengujian kekerasan metode *brinell* yaitu antara 500 – 300 kg. Penentuan beban disesuaikan dengan kekerasan material, makin tinggi kekerasan yang diinginkan maka semakin besar pula beban yang dibutuhkan.



Gambar 2. 10 Metode pengujian kekerasan Brinell

(Sumber: alatuji.com)

## 2. Metode *Rockwell*

*Rockwell* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kekerasan spesimen dalam bentuk ketahanan terhadap gaya tekan dari indentor berbentuk

kerucut intan yang dibebankan pada permukaan spesimen. Angka kekerasan dapat dihitung melalui kedalaman yang berbeda dari beban minor dan beban mayor. Beban minor yaitu beban pertama yang ditekankan pada permukaan spesimen dan berfungsi sebagai landasan untuk beban mayor. Beban mayor merupakan beban yang ditekankan pada spesimen hingga dalam setelah diberikan beban minor. Nilai kekerasan dari metode *rockwell* didapatkan dari hasil dalamnya penekanan dari indenter. Spesimen dengan tingkat kekerasan yang tinggi akan menghasilkan kedalaman penekanan yang dangkal, sedangkan hasil tekan yang semakin dalam pada spesimen menjadikan spesimen tersebut mempunyai sifat yang lunak. Dengan persamaan berikut penguji dapat menentukan besarnya nilai kekerasan dari metode *rockwell*:

$$HR = E - e$$

Keterangan:

HR = nilai kekerasan *rockwell* (HRC)

E = jarak antara penekan saat diberi beban minor dengan garis acuan nol (*zero reference line*) untuk tiap jenis penekan.

e = perbedaan kedalaman pada permukaan material uji sebelum dan sesudah penambahan beban mayor dan beban minor.

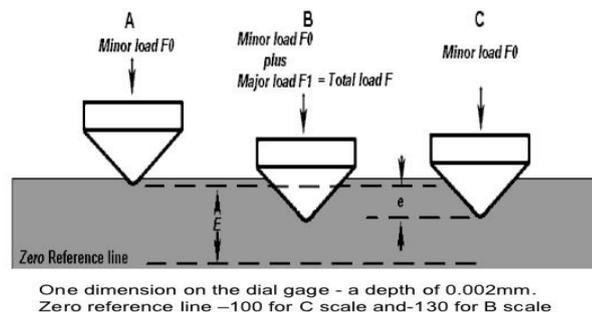
Dengan metode ini pengujian dapat dilakukan dengan pembebanan hingga 150 kgf.

Tabel 2. 2 Skala kekerasan rockwell

(Sumber: *Handbook ASTM E18*)

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.
C	diamond	150	black	
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	Aluminum, zinc, lead.
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.

### Rockwell indentation



Gambar 2. 11 Metode pengujian kekerasan metode Rockwell  
Metode pengujian kekerasan metode Rockwell

(Sumber: [metallurgistwannabe.wordpress.com](http://metallurgistwannabe.wordpress.com))

### 3. Metode Vickers

Metode *vickers* merupakan metode pengujian kekerasan berdasarkan pada penekanan dari gaya tekan tertentu menggunakan indenter dengan bentuk seperti *pyramid diamond* terbalik yang memiliki sudut  $136^\circ$  yang ditekankan pada permukaan spesimen uji, dimana spesimen uji harus memiliki permukaan yang rata

dan bersih dari debu dan kotoran. Angka kekerasan *vickers* (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1996). Uji kekerasan *vickers* dapat digunakan pada spesimen yang lunak ataupun pada spesimen yang keras. Bekas penekanan yang kecil dipermukaan pada pengujian *vickers* dapat menyebabkan rusaknya bahan. Peneliti menggunakan metode ini untuk mendapatkan nilai kekerasan. Pengujian kekerasan *vickers* menggunakan indentor piramida intan berupa bujur sangkar dasarnya. Pada permukaan piramida yang saling berhadapan memiliki sudut  $136^\circ$ . Beban indentor yang digunakan adalah 20 gf. Pada metode ini tingkat kekerasan dapat dihitung berdasarkan panjang kedua diagonal bekas penekanan dari indentor piramida intan dan besar gaya tekan yang dipakai. Hasil pengujian kekerasan dengan metode *vickers* disebut HV, berikut adalah rumus yang digunakan dalam menentukan nilai kekerasan:

$$HV = \frac{F}{A} \times \sin \frac{\theta^2}{2}$$

$$HV = \frac{F \sin \frac{136^2}{2}}{\frac{d^2}{2}}$$

$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

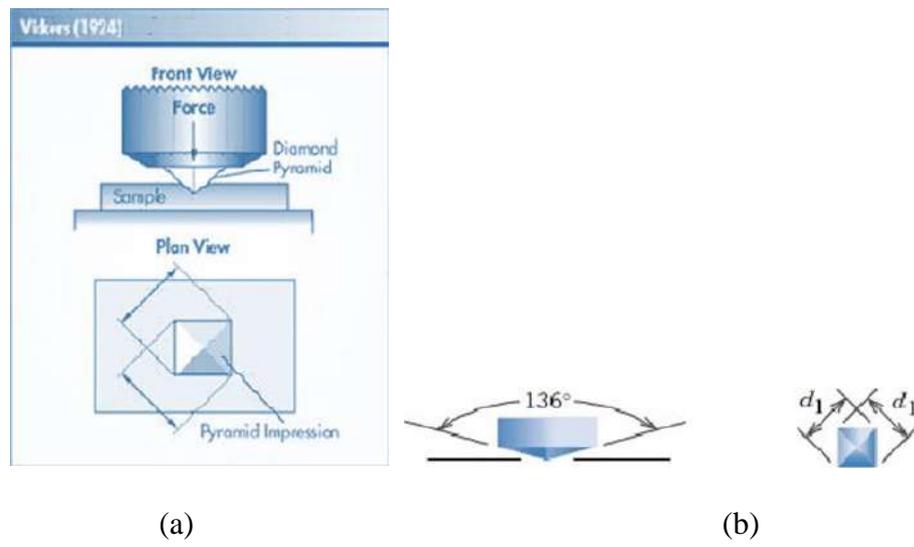
Keterangan:

HV = Nilai kekerasan *vickers* (HV)

F = beban (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = sudut antara permukaan intan ( $136^\circ$ )



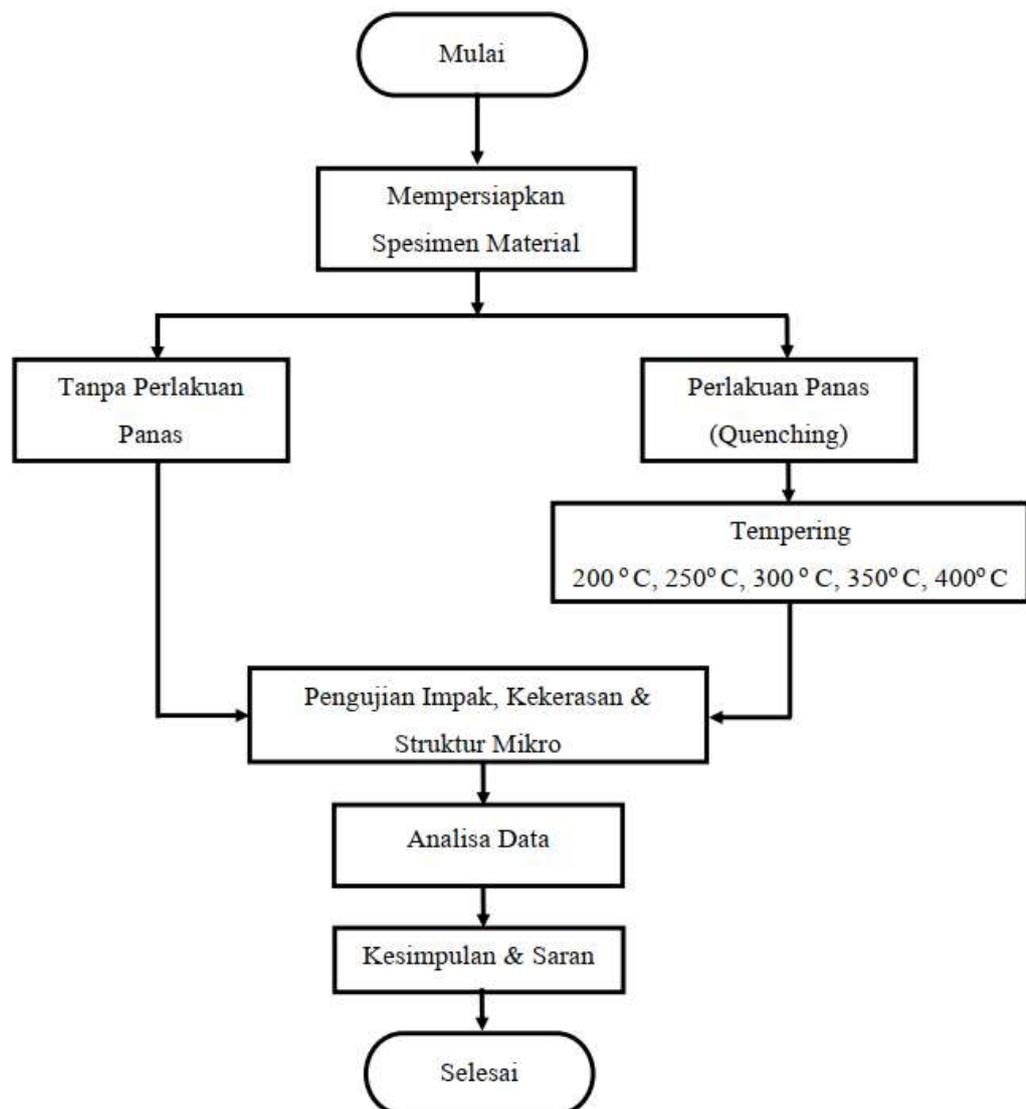
Gambar 2. 12 (a) Metode Pengujian Vickers (b) Bentuk indenter Vickers

### BAB III

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian merupakan urutan yang dilakukan dalam menyelesaikan proyek akhir. Adapun urutan yang dilakukan saat proses pengerjaan proyek akhir adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

## **3.2 Alat dan Bahan**

### **3.2.1 Alat Penelitian**

Adapun alat-alat yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin *Furnace*
2. Mesin *polishing*
3. Mesin uji struktur mikro
4. Mesin uji impak
5. Mesin uji kekerasan *Vickers*

### **3.2.2 Bahan Penelitian**

Pada penelitian ini penulis menggunakan spesimen uji baja dengan jenis *S45C*. Kandungan unsur yang terdapat dalam material ini yaitu C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo dan Ni. Selain itu terdapat bahan-bahan pendukung lainnya untuk menunjang proses penelitian adalah:

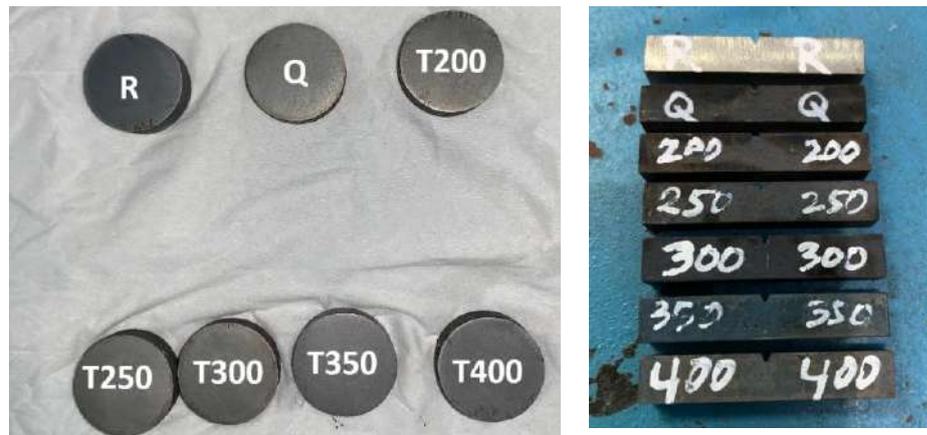
1. Oli *SAE 40*
2. Amplas 100, 200, 400, 600, 800 dan 1000
3. *Metal polisher*
4. Larutan kimia  $\text{HNO}_3$  2,5%
5. Sampel material *S45C*

### 3.3 Proses Pengujian

Berikut ini merupakan tahapan yang dilakukan dalam mendapatkan data-data penelitian meliputi persiapan material, *heat treatment* dengan proses *quenching* dan *tempering*, pengujian struktur mikro, pengujian ketahanan impact, dan pengujian kekerasan.

#### 3.3.1 Persiapan Material

Raw material dari S45C yang berbentuk batang dengan diameter 20 mm dilakukan pemotongan menjadi 7 spesimen untuk pengujian struktur mikro dan pengujian kekerasan dan pembuatan 7 spesimen untuk pengujian ketahanan impact. Seluruh 14 spesimen uji tersebut terdiri dari 2 spesimen dengan tanda “R” untuk spesimen uji tanpa perlakuan panas apapun, 2 spesimen bertanda “Q” untuk material dengan perlakuan panas *quenching*, 2 spesimen bertanda “200” untuk spesimen yang dilakukan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 200°C, 2 spesimen bertanda “250” untuk spesimen yang dilakukan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 250°C, 2 spesimen bertanda “300” untuk spesimen yang dilakukan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 300°C, 2 spesimen bertanda “350” untuk spesimen yang dilakukan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 350°C, dan 2 spesimen bertanda “400” untuk spesimen yang dilakukan *quenching* dan *tempering* pada temperatur 400°C.



Gambar 3. 2 Spesimen Uji Material S45C

### 3.3.2 Proses Pengujian Struktur Mikro

Proses pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur dari material benda uji, sehingga permukaan material benda uji dapat diamati dengan mikroskop optik dan akan terlihat struktur mikro pada beberapa specimen uji. Sehingga peneliti dapat melihat berapa besar kandungan *ferrite*, *pearlite*, *cementite* dan karbida lainnya yang terbentuk pada material benda uji. Sebelum melakukan pengujian ini maka specimen hasil dari proses *quenching* dan *tempering* dibersihkan dengan mesin *grinding* dan *polishing*. Proses *grinding* bertujuan agar permukaan specimen menjadi rata dan halus. Proses *grinding* dimulai dari amplas dengan tingkat kekasaran 100, 240, 400, 600, 800, dan 1000. Pada saat proses *grinding* pastikan air dalam keadaan mengalir agar kotoran dari hasil proses ini segera dibuang sehingga tidak akan melukai lagi permukaan yang telah halus. Selain itu air juga berfungsi sebagai pendingin supaya permukaan specimen tetap pada temperatur rendah sehingga tidak terjadi perubahan struktur mikronya. Apabila sudah mencapai kertas amplas 1000 maka pada permukaan benda tidak terdapat *scratch*, langkah terakhir yaitu adalah *polishing* dengan menggunakan

autosol dan kain bludru. Langkah ini adalah untuk memastikan bahwa goresan yang terdapat pada permukaan benda benar-benar hilang karena dapat menghambat proses foto mikro. Setelah itu dilakukan proses etsa, dilaksanakan setelah *polishing* dengan autosol. Larutan kimia yang digunakan untuk etsa yaitu  $\text{HNO}_3$  2,5% hal ini bertujuan agar batas butir dapat terlihat. Setelah dilakukan pengetsaan, maka dilanjutkan dengan pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik.



Gambar 3. 3 Metallurgical Microscope

### 3.3.3 Proses Pengujian Impak

Pada penelitian ini pengujian impak dilakukan di laboratorium bahan teknik Universitas Gadjah Mada menggunakan metode *Charpy* untuk mengetahui nilai ketahanan impak atau ketangguhan dari bahan uji. Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan pada saat proses pengujian impak menggunakan metode *Charpy*:

1. Ukurlah benda uji sebelum dibentur dengan alat uji impak.
2. Siapkan alat uji impact yang akan digunakan, kunci pembentur dengan benar, naikkan pengangkat pembentur sesuai dengan energi terpasang yang diinginkan (sudut  $\alpha$ ) dengan memutar handle beban pembentur, catat sudut  $\alpha$ .
3. Letakkan spesimen secara bergantian pada anvil dengan menggunakan penjepit yang sekaligus berfungsi sebagai penyenter.
4. Lepaskan pengunci dengan menekan tombol kunci pembentur. Setelah pembentur berayun mematahkan benda uji, maka pembentur yang berayun dapat dihentikan dengan mengerem secara perlahan-lahan.
5. Amati sudut pada dial yang ditunjukkan oleh jarum beban, catat besarnya sudut  $\beta$  dan energi yang terserap (energi patah).



Gambar 3. 4 Alat Uji Impak

### 3.3.4 Proses Pengujian Kekerasan

Pada penelitian ini pengujian kekerasan dilakukan di laboratorium bahan teknik Universitas Gadjah Mada menggunakan metode *vickers* untuk mengetahui nilai kekerasan dari material awal dan material hasil proses *quenching*. Indentor yang digunakan berbentuk piramida dan dasarnya berbentuk segiempat.

Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan pada saat proses pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers*:

1. Pasang indentor yang berbentuk seperti piramida atau segi empat pada bagian *knock vickers hardness tester* menggunakan kunci L.
2. Letakkan material yang akan diuji pada *anvil* atau pada meja uji dengan lensa yang mengarah ke material uji.
3. Atur ketinggian *anvil* atau meja uji dengan cara memutar *handle vertical* untuk mengatur material benda uji.
4. Kemudian lihat melalui mikroskop ukur dan atur sinar visual dengan cara memutar *handle* meja uji sampai fokus dan terlihat struktur dari material benda uji.
5. Atur kekuatan tekan dengan nilai 50 Kgf.
6. Geser tuas untuk menguji benda kerja.
7. Tarik tuas ke posisi semula kemudian lihat material uji melalui mikroskop dan ukur panjang diagonal dengan menggunakan penggaris



Gambar 3. 5 Mesin Uji Kekerasan Vickers

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini adalah menggunakan metode *vickers* dengan kekuatan tekan 40 Kgf dengan tujuh buah spesimen yang digunakan sebagai sampel pengujian dengan tiga titik yang berbeda.

Berikut merupakan data hasil perhitungan dari tujuh spesimen pengujian kekerasan tanpa perlakuan panas dan spesimen setelah dilakukan *quenching* dan *tempering* dengan variasi suhu *tempering* 200° C, 250°C, 300°C, 350° C, 400°C.

##### 4.1.1 Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan Panas

Tabel 4. 1 Hasil uji kekerasan tanpa perlakuan panas

Titik Uji	Diagonal		Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
	D1	D2		
1	0.59	0.60	209.5	212.0
2	0.57	0.59	220.5	
3	0.60	0.60	206.0	

Pada tabel 4.1 dapat dilihat hasil pengujian kekerasan pada spesimen tanpa perlakuan panas. Untuk menentukan nilai kekerasan pada spesimen tersebut dapat menggunakan rumus:

$$VHN = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

Akan didapatkan nilai kekerasan pada spesimen, maka dapat di hitung sebagai berikut:

$$VHN = 1.854 \frac{40}{(0,595)^2} = \frac{74,16}{0.354} = 209,5 \text{ VHN}$$

Maka dengan menggunakan rumus yang sama terhadap kedua titik akan didapatkan nilai kekerasan spesimen. Dari perhitungan kedua titik nilai kekerasan rata- rata 212 VHN.

#### 4.1.2 Nilai Kekerasan pada Spesimen *Quenching*

Tabel 4. 2 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen *Quenching*

Titik Uji	Diagonal		Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
	D1	D2		
1	0.35	0.34	623.1	624.1
2	0.33	0.34	660.8	
3	0.35	0.36	588.5	

Hasil kekerasan spesimen setelah di *quenching* menggunakan media pendingin oli dapat dilihat pada tabel 4.2 dimana menggunakan rumus:

$$VHN = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

maka mendapatkan nilai kekerasan pada spesimen, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$VHN = 1.854 \frac{40}{(0,345)^2} = \frac{74,16}{0.119} = 623.1 \text{ VHN}$$

Maka hasil dari kedua titik pengujian dengan menggunakan rumus yang sama mendapatkan nilai kekerasan rata-rata 624,1 VHN. Nilai kekerasan tersebut dapat diaplikasikan untuk material pembuatan pisau, nilai kekerasan yang sesuai untuk pembuatan pisau adalah >600 VHN (Trihutomo, 2015)

#### 4.1.3 Nilai Kekerasan Spesimen *Tempering* 200° C

Tabel 4. 3 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen *Tempering* 200° C

Titik Uji	Diagonal		Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
	D1	D2		
1	0.37	0.38	527.4	557.3
2	0.36	0.36	572.2	
3	0.35	0.37	572.2	

Hasil kekerasan spesimen setelah dilakukan *quenching* dan dilakukan *tempering* pada suhu 200°C dapat dilihat pada tabel 4.3 dimana menggunakan rumus:

$$VHN = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

maka mendapatkan nilai kekerasan pada spesimen, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$VHN = 1.854 \frac{40}{(0,375)^2} = \frac{74,16}{0.1406} = 527.4 \text{ VHN}$$

Maka hasil dari kedua titik pengujian dengan menggunakan rumus yang sama mendapatkan nilai kekerasan rata-rata 557,3 VHN

#### 4.1.4 Nilai Kekerasan Spesimen *Tempering* 250° C

Tabel 4. 4 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen *Tempering* 250° C

Titik Uji	Diagonal		Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
	D1	D2		
1	0.38	0.37	527.4	546,9
2	0.36	0.37	556.7	
3	0.36	0.37	556.7	

Hasil kekerasan spesimen setelah dilakukan *quenching* dan dilakukan *tempering* pada suhu 250°C dapat dilihat pada tabel 4.4 dimana menggunakan rumus:

$$VHN = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

maka mendapatkan nilai kekerasan pada spesimen, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$VHN = 1.854 \frac{40}{(0,375)^2} = \frac{74,16}{0.1406} = 527.4 \text{ VHN}$$

Maka hasil dari kedua titik pengujian dengan menggunakan rumus yang sama mendapatkan nilai kekerasan rata-rata 546,9 VHN.

#### 4.1.5 Nilai Kekerasan Spesimen *Tempering* 300° C

Tabel 4. 5 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen *Tempering* 300° C

Titik Uji	Diagonal		Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
	D1	D2		
1	0.38	0.39	500.3	
2	0.40	0.41	452.1	475,9
3	0.39	0.40	475.3	

Hasil kekerasan spesimen setelah dilakukan *quenching* dan dilakukan *tempering* pada suhu 300°C dapat dilihat pada tabel 4.5 dimana menggunakan rumus:

$$VHN = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

akan mendapatkan nilai kekerasan pada spesimen, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$VHN = 1.854 \frac{40}{(0,385)^2} = \frac{74,16}{0.1482} = 500,3 \text{ VHN}$$

Maka hasil dari kedua titik pengujian dengan menggunakan rumus yang sama mendapatkan nilai kekerasan rata-rata 475,9 VHN. Nilai kekerasan yang diperoleh ini menyamai nilai kekerasan pada baja AISI 4140 dengan perlakuan tempering temperatur 200°C dengan media pendingin udara. (Fendri, 2016)

#### 4.1.6 Nilai Kekerasan Spesimen *Tempering* 350° C

Tabel 4. 6 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Tempering 350° C

Titik Uji	Diagonal		Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
	D1	D2		
1	0.44	0.43	391.9	408,3
2	0.42	0.40	441.2	
3	0.44	0.43	391.9	

Hasil kekerasan spesimen setelah dilakukan *quenching* dan dilakukan *tempering* pada suhu 350°C dapat dilihat pada tabel 4.6 dimana menggunakan rumus:

$$VHN = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

akan mendapatkan nilai kekerasan pada spesimen, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$VHN = 1.854 \frac{40}{(0,435)^2} = \frac{74,16}{0.1892} = 391.9 \text{ VHN}$$

Maka hasil dari kedua titik pengujian dengan menggunakan rumus yang sama mendapatkan nilai kekerasan rata-rata 408,3 VHN.

#### 4.1.7 Nilai Kekerasan Spesimen *Tempering* 400° C

Tabel 4. 7 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen *Tempering* 400° C

Titik Uji	Diagonal		Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
	D1	D2		
1	0.42	0.42	420.4	
2	0.43	0.44	391.9	401,4
3	0.44	0.43	391.9	

Hasil kekerasan spesimen setelah dilakukan *quenching* dan dilakukan *tempering* pada suhu 350°C dapat dilihat pada tabel 4.7 dimana menggunakan rumus:

$$VHN = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

akan mendapatkan nilai kekerasan pada spesimen, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$VHN = 1.854 \frac{40}{(0,42)^2} = \frac{74,16}{0.1764} = 401,4 \text{ VHN}$$

Maka hasil dari kedua titik pengujian dengan menggunakan rumus yang sama mendapatkan nilai kekerasan rata-rata 401,4 VHN.

#### 4.1.8 Hasil Seluruh Pengujian Kekerasan

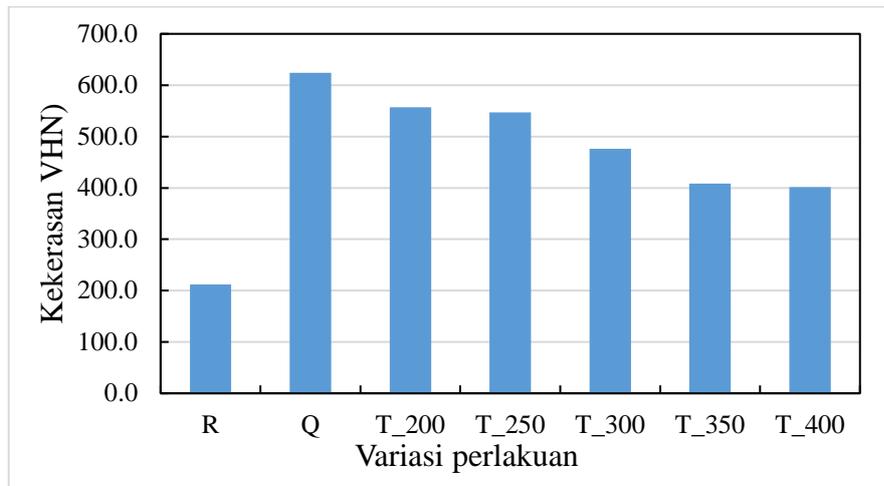
Pada tabel 4.8 berikut dapat dilihat perbandingan nilai kekerasan dari seluruh hasil pengujian kekerasan yang dilakukan pada spesimen *S45C* tanpa

perlakuan, *quenching*, dan *tempering* dengan variasi suhu *tempering* yaitu 200° C, 250°C, 300°C, 350° C, dan 400° C.

Tabel 4. 8 Hasil seluruh pengujian kekerasan spesimen

No	Spesimen	Titik Uji	Diagonal		Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
			D1	D2		
1	R	1	0.59	0.60	209.5	212.0
		2	0.57	0.59	220.5	
		3	0.60	0.60	206.0	
2	Q	1	0.35	0.34	623.1	624.1
		2	0.33	0.34	660.8	
		3	0.35	0.36	588.5	
3	T_200	1	0.37	0.38	527.4	557.3
		2	0.36	0.36	572.2	
		3	0.35	0.37	572.2	
4	T_250	1	0.38	0.37	527.4	546.9
		2	0.36	0.37	556.7	
		3	0.36	0.37	556.7	
5	T_300	1	0.38	0.39	500.3	475.9
		2	0.40	0.41	452.1	
		3	0.39	0.40	475.3	
6	T_350	1	0.44	0.43	391.9	408.3
		2	0.42	0.40	441.2	
		3	0.44	0.43	391.9	
7	T_400	1	0.42	0.42	420.4	401.4
		2	0.43	0.44	391.9	
		3	0.44	0.43	391.9	

Dari tabel 4.8 dapat dilihat nilai kekerasan dari setiap spesimen dan dapat diketahui spesimen dengan perlakuan *quenching* tanpa *tempering* mempunyai nilai kekerasan tertinggi dibanding dengan spesimen tanpa perlakuan panas dan spesimen dengan *tempering*. Dibawah ini dapat dilihat grafik perbandingan nilai kekerasan pada setiap spesimen uji.



Gambar 4. 1 Grafik perbandingan hasil uji kekerasan

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 dapat dilihat perbandingan hasil pengujian kekerasan pada ketujuh spesimen dimana spesimen tanpa perlakuan memiliki tingkat kekerasan lebih rendah dari spesimen hasil proses *quenching* dan *tempering*. Sedangkan nilai kekerasan yang paling tinggi didapatkan dari spesimen hasil *quenching* tanpa *tempering*. Nilai kekerasan menurun seiring dengan kenaikan variasi suhu *tempering* dimana nilai kekerasan pada spesimen dengan *tempering* pada suhu 200° C menghasilkan nilai kekerasan sebesar 557,3 VHN dan spesimen dengan *tempering* pada suhu 400° C menghasilkan nilai kekerasan sebesar 401,4 VHN.

#### 4.2 Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Impak

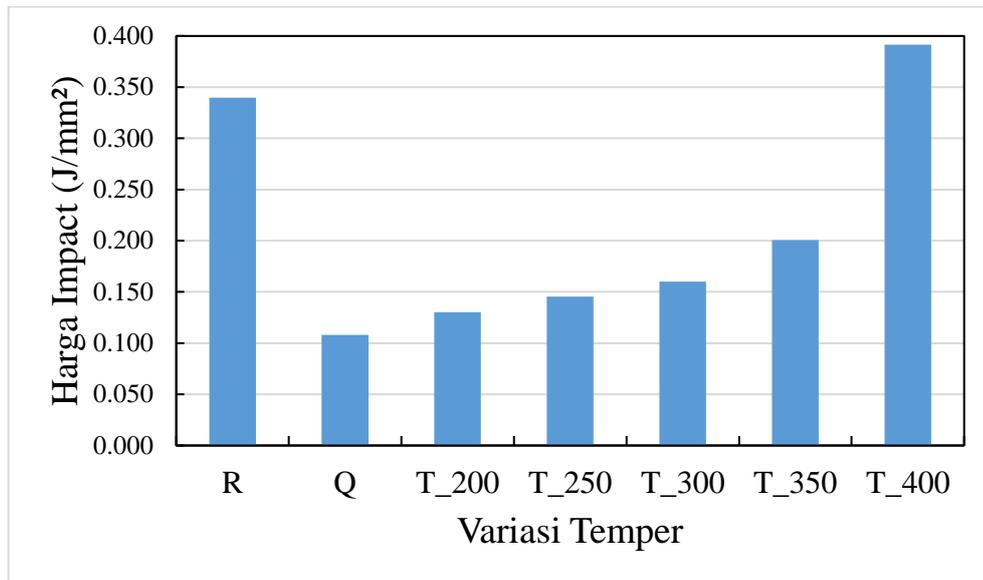
Pada tabel 4.9 merupakan hasil perbandingan nilai ketahanan impak dari seluruh hasil pengujian impak yang dilakukan pada spesimen *S45C* tanpa

perlakuan, *quenching*, dan *tempering* dengan variasi suhu *tempering* yaitu 200° C, 250° C, 300° C, 350° C, dan 400° C.

Tabel 4. 9 Hasil Uji Ketahanan Impak

No.	Spesimen	Energi Terserap (J)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Harga Impact (J/mm <sup>2</sup> )
1	Raw	28.8	84.7	0.340
2	Quenched	8.9	82.2	0.108
3	T_200	10.5	80.7	0.130
4	T_250	12.2	83.6	0.145
5	T_300	13.9	86.5	0.160
6	T_350	17.4	86.5	0.201
7	T_400	32.9	84.0	0.392

Dari tabel 4.9 dapat dilihat nilai ketahanan impak dari setiap spesimen dan dapat diketahui spesimen dengan perlakuan *quenching* dengan *tempering* pada temperature 400° C mempunyai nilai ketahanan impak tertinggi dibanding dengan spesimen *raw material*. Dibawah ini dapat dilihat grafik perbandingan nilai ketahanan impak pada setiap spesimen uji.



Gambar 4. 2 Grafik perbandingan hasil uji impact

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.2 dapat dilihat perbandingan hasil pengujian ketahanan impact pada ketujuh spesimen dimana spesimen tanpa perlakuan memiliki ketahanan impact lebih rendah dari spesimen hasil proses *quenching* dan *tempering* dengan variasi temperatur tempering 400°C. Sedangkan nilai ketahanan impact terendah didapatkan dari spesimen hasil *quenching* tanpa *tempering*. Nilai ketahanan impact meningkat seiring dengan kenaikan variasi suhu *tempering* dimana nilai kekerasan pada spesimen dengan *tempering* pada suhu 200° C menghasilkan nilai impact sebesar 0.130 J/mm<sup>2</sup> dan spesimen dengan *tempering* pada suhu 400° C menghasilkan nilai ketahanan impact sebesar 0,392 J/mm<sup>2</sup>.

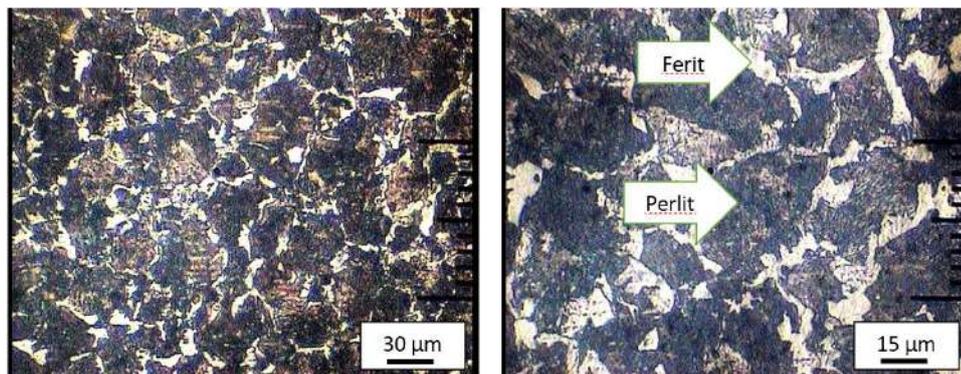
#### 4.3 Hasil Uji Struktur Mikro

Struktur mikro merupakan salah satu data yang sangat diperlukan pada penelitian ini. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamplasan dan pemolesan pada pada spesimen *S45C* tanpa perlakuan, spesimen dengan perlakuan

*quenching*, dan *tempering* dengan variasi suhu *tempering* yaitu 200° C, 250°C, 300°C, 350° C, dan 400° C.

#### 4.3.1 Struktur Mikro Raw Material S45C

Pada gambar 4.2 merupakan foto struktur mikro pada *raw material* dari baja S45C. Pada gambar terlihat terdapat struktur *pearlite* dan *ferrite*. Struktur *pearlite* dengan warna gelap dan struktur *ferrite* yang berwarna putih. Struktur *ferrite* memiliki ukuran butir yang besar dan tampak terlihat kasar, struktur ini memiliki sifat lunak dimana mempunyai nilai kekerasan rata-rata 212 VHN.



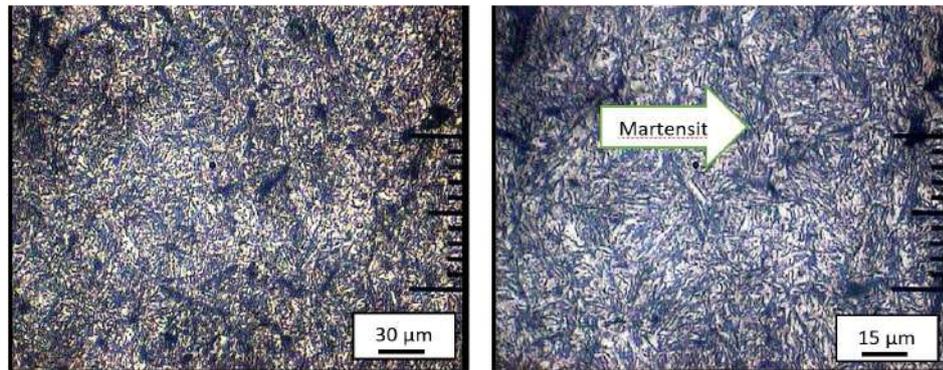
(a) Perbesaran 100x

(b) Perbesaran 200x

Gambar 4. 3 Struktur mikro S45C tanpa perlakuan panas

#### 4.3.2 Struktur Mikro Hasil Quenching

Struktur mikro pada material baja S45C setelah proses *quenching* dengan media pendingin oli dapat dilihat pada gambar 4.4. Dimana struktur yang terbentuk dari hasil *quenching* adalah *martensite* yang berwarna abu abu kehitaman dan berbentuk seperti jarum. Terlihat pada gambar 4.4 *martensite* penyebarannya hampir menyeluruh dan menandakan spesimen ini bersifat keras dan getas.



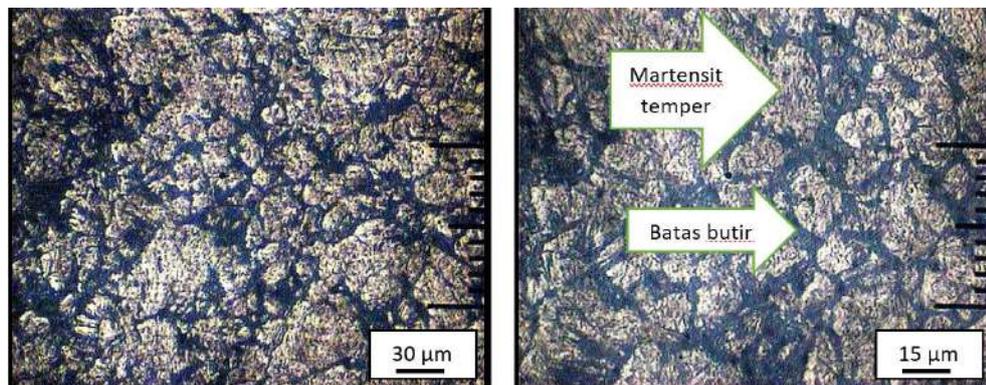
(a) Perbesaran 100x

(b) Perbesaran 200x

Gambar 4. 4 Struktur mikro S45C hasil quenching

### 4.3.3 Struktur Mikro Hasil Tempering 200° C

Struktur mikro pada material baja S45C setelah proses *quenching* dan *tempering* pada temperature 200°C dapat dilihat pada gambar 4.5. Struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite temper* yang yang tampak kasar dan nilai kekerasannya masih cukup tinggi.



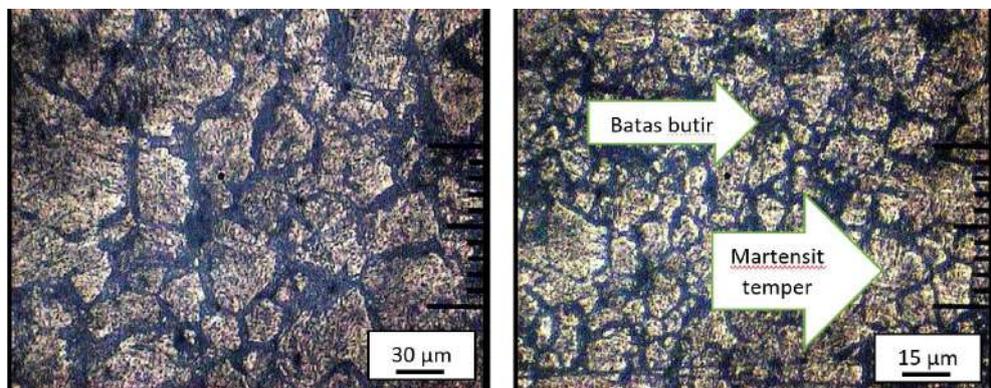
(a) Perbesaran 100x

(b) Perbesaran 200x

Gambar 4. 5 Struktur mikro S45C hasil tempering 200° C

#### 4.3.4 Struktur Mikro Hasil Tempering 250° C

Struktur mikro pada material baja S45C setelah proses *quenching* dan *tempering* pada temperature 250°C dapat dilihat pada gambar 4.6 dimana struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite temper* dan masih belum terlihat ada perubahan apabila diabndingkan dengan variasi tempering suhu 200°C.



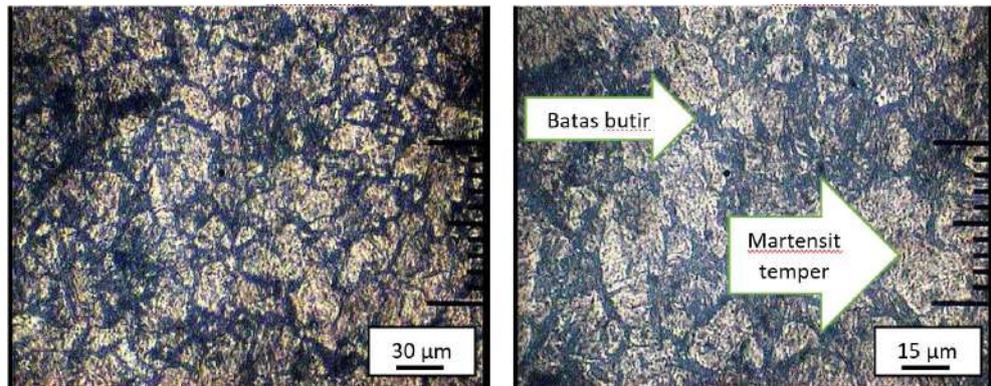
(a) Perbesaran 100x

(b) Perbesaran 200x

Gambar 4. 6 Struktur mikro S45C hasil tempering 250° C

#### 4.3.5 Struktur Mikro Hasil Tempering 300° C

Struktur mikro pada material baja S45C setelah proses *quenching* dan *tempering* pada temperatur 300°C dapat dilihat pada gambar 4.7 dimana struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite temper*. Struktur *martensite temper* pada spesimen ini terlihat lebih halus dibanding spesimen dengan variasi tempering 200°C dan 250°C.



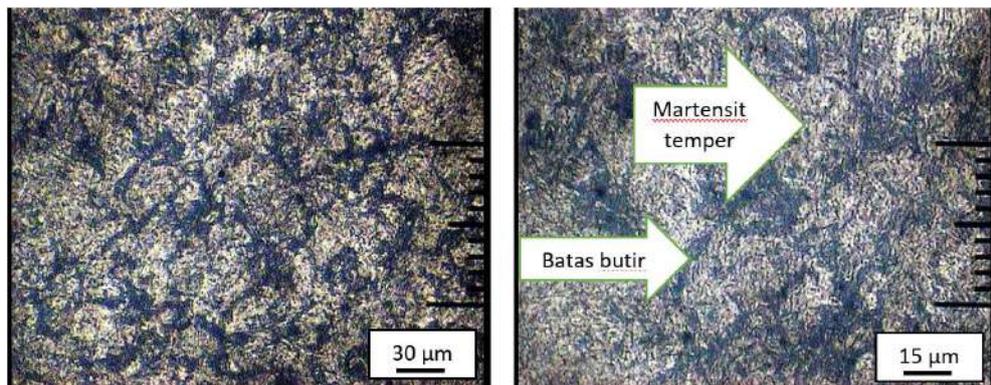
(a) Perbesaran 100x

(b) Perbesaran 200x

Gambar 4. 7 Struktur mikro S45C hasil tempering 300° C

#### 4.3.6 Struktur Mikro Hasil Tempering 350° C

Struktur mikro pada spesimen baja S45C setelah proses *quenching* dan *tempering* pada temperatur 350°C dapat dilihat pada gambar 4.8 dimana struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite temper*. Struktur *martensite temper* pada spesimen ini terlihat lebih halus dibanding spesimen dengan variasi tempering 200°C, 250°C dan 300°C.



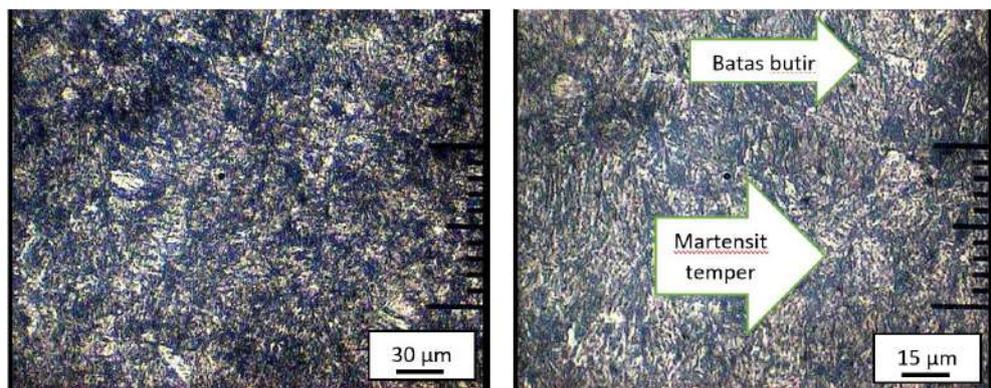
(a) Perbesaran 100x

(b) Perbesaran 200x

Gambar 4. 8 Struktur mikro S45C hasil tempering 350° C

#### 4.3.7 Struktur Mikro Hasil Tempering 400° C

Struktur mikro pada spesimen baja S45C setelah proses *quenching* dan *tempering* pada temperatur 400°C dapat dilihat pada gambar 4.8 dimana struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite temper*. Struktur *martensite temper* pada spesimen ini terlihat lebih halus dibanding spesimen dengan variasi tempering 200°C, 250°C, 300°C, dan 350°C.



(a) Perbesaran 100x

(b) Perbesaran 200x

Gambar 4. 9 Struktur mikro S45C hasil tempering 400° C

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari seluruh hasil pengujian dan analisa, maka penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa spesimen tanpa perlakuan memiliki tingkat kekerasan lebih rendah dari spesimen hasil proses *quenching* dan *tempering*. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan dari spesimen hasil *quenching* dan nilai kekerasan menurun seiring dengan kenaikan variasi suhu *tempering* dimana nilai kekerasan pada spesimen dengan variasi *tempering* 200° C didapatkan nilai kekerasan sebesar 557,3 VHN sedangkan spesimen dengan *tempering* 400° C menghasilkan nilai kekerasan sebesar 401,4 VHN.
2. Hasil pengujian ketahanan impak menunjukkan spesimen tanpa perlakuan memiliki ketahanan impak lebih rendah dari spesimen hasil proses *tempering* dengan variasi temperatur 400°C. Nilai ketahanan impak terendah didapatkan pada spesimen hasil *quenching*. Nilai ketahanan impak meningkat seiring dengan kenaikan variasi suhu *tempering* dimana nilai ketahanan impak pada spesimen dengan *tempering* pada suhu 200°C menghasilkan nilai impak sebesar 0.130 J/mm<sup>2</sup> dan spesimen dengan *tempering* pada suhu 400°C menghasilkan ketahanan impak sebesar 0,392 J/mm<sup>2</sup>.
3. Hasil dari pengujian struktur mikro pada spesimen tanpa perlakuan didapatkan struktur *ferrite* dan *perlite* sedangkan struktur mikro pada spesimen setelah *quenching* dan *tempering* adalah *martensite* dan *martensite temper*.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian dan uji coba yang dilakukan, maka saran yang dapat dijadikan masukan dari penulis adalah sebagai berikut:

1. Melakukan proses *quenching* dengan menggunakan variasi suhu *quenching* dan *tempering* yang lebih variatif, suhu dan waktu penahanan agar dapat diketahui metode yang paling bagus untuk kekerasan pada baja
2. Menambah titik pada pengujian kekerasan agar hasil dari nilai kekerasan rata-rata yang didapat lebih akurat.
3. Sebelum proses analisa struktur mikro spesimen yang telah melalui proses etsa harus disimpan dengan baik karena jika tergores sedikitpun akan memberikan luka/goresan pada permukaan sehingga spesimen menjadi cacat atau berkarat.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Committee. 2004. ASTM E18-03. *Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*. The United States of America: American Society for Testing and Materials.
- ASTM Committee. 2004. ASTM E92-82. *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. The United States of America: American Society for Testing and Materials.
- Fendri, R., Darmawi, Syahrul&Jasman. 2016. Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Akibat Perbedaan Temperatur Pada Perlakuan Panas Tempering. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Negeri Padang.
- Hadi, S. 2013. *Teknologi Bahan*. Bandung: CV Angkasa.
- Hang, PT. 2020. *Effects of Heat Treatment Process on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel*. *Vietnam Journal of Agricultural Science*.
- Mersilia, A. 2016. Pengaruh *heat treatment* dengan variasi media *quenching* air garam dan oli terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan baja pegas daun aisi 6135. *Skripsi*. Lampung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
- Pramono, A. 2011. Karakterisrik Mekanik Proses Hardening Baja AISI 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra*. 5(1): (32-38).
- Rachman, MR., Sakti A. 2020. Analisa Perbedaan Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja S45C dengan perlakuan Quenching dan Tempering pada Media Udara, Air, dan Oli untuk Aplikasi Poros Motor Roda Tiga. *JTM Vol.8 No.2*. Universitas Negeri Surabaya.
- Rhifai, R. 2010. Pengaruh heat treament ( quenching , aging , annealing ) terhadap perubahan sifat fisis dan mekanis poros roda gigi reduser type CCM , CEA. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sugiarto, T., Zulhanif & Sugiyanto. 2013. Analisis uji ketahanan lelah baja karbon sedang AISI 1045 dengan *heat treatment (Ouenching)* dengan menggunakan alat *rotary bending*. *Jurnal Fema*. 1(3) : 85-92.
- Surdia, T. & Saito, S. 1995, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradanya Paramita.

Jakarta.

- Syahri, B., Putra, Z. A. & Helmi, N. 2017. Analisis kekerasan baja assab 705 yang diberi perlakuan panas *hardening* dan media pendingin. *Invotek*. 17(1): 17- 26.
- Trihutomo, P. 2015. Analisa kekerasan pada pisau berbahan baja karbon menengah hasil proses *Hardening* dengan media pendingin yang berbeda. *Jurnal Teknik Mesin*. 23(1): 28-34
- Voort, and E. Michael, 1988, *Metallography of Advanced Material, Proceedings of the Twentieth Annual Technical Meeting of the International Metallographic Society (Microstructural Science)*, USA.
- Zayadi, A., Sungkono, Masyudi, & Setyawan T, E.2022. Pengaruh Waktu Tempering terhadap Karakter Baja S45C Pasca Quenching pada 950°C dan Tempering 500°C. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 7(1)

## Lampiran 1



**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI**  
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**HASIL PENGUJIAN IMPACT**

No.	Variasi Kampuh	Sudut $\alpha$ (°)	Energi (J)	Sudut $\beta$ (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Harga Impact (J/mm <sup>2</sup> )
1	R	151	300	134.00	28.8	84.7	0.340
2	Q	151	300	145.00	8.9	82.2	0.108
3	T_200	151	300	144.00	10.5	80.7	0.130
4	T_250	151	300	143.00	12.2	83.6	0.145
5	T_300	151	300	142.00	13.9	86.5	0.160
6	T_350	151	300	140.00	17.4	86.5	0.201
7	T_400	151	300	132.00	32.9	84.0	0.392

*Keterangan :*

1. Menggunakan metode Charpy
2. Standar benda uji mengacu ASTM E23
3. Panjang lengan 0,8 meter
4. Berat palu 20 kilogram

*Identitas Penguji :*

Nama : M. Adib Ramadhan Ilmiawan  
 NIM : 40040220655038  
 Institusi : Teknik Mesin Universitas Diponegoro

Yogyakarta, 25 September 2022  
 Staf Laboratorium Bahan Teknik

NIP. 197703312002121002

## Lampiran 2



**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI**  
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**HASIL PENGUJIAN KEKERASAN**

No	Variasi Kampuh	Titik	Diagonal		Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
		Uji	D1	D2		
1	R	1	0.59	0.60	209.5	212.0
		2	0.57	0.59	220.5	
		3	0.60	0.60	206.0	
2	Q	1	0.35	0.34	623.1	624.1
		2	0.33	0.34	660.8	
		3	0.35	0.36	588.5	
3	T_200	1	0.37	0.38	527.4	557.3
		2	0.36	0.36	572.2	
		3	0.35	0.37	572.2	
4	T_250	1	0.38	0.37	527.4	546.9
		2	0.36	0.37	556.7	
		3	0.36	0.37	556.7	
5	T_300	1	0.38	0.39	500.3	475.9
		2	0.40	0.41	452.1	
		3	0.39	0.40	475.3	
6	T_350	1	0.44	0.43	391.9	408.3
		2	0.42	0.40	441.2	
		3	0.44	0.43	391.9	
7	T_400	1	0.42	0.42	420.4	401.4
		2	0.43	0.44	391.9	
		3	0.44	0.43	391.9	

Lembar asli, tidak untuk digandakan

**Keterangan:**

1. Pengujian dilakukan tanggal 25 September 2022
2. Menggunakan metode Vickers dengan pembebanan 40 kgf

**Identitas Penguji:**

Nama : M. Adib Ramadhan Ilmiawan  
 NIM : 40040220655038  
 Institusi : Teknik Mesin Universitas Diponegoro

Yogyakarta, 25 September 2022  
 Staf Laboratorium Bahan Teknik

