



**PENGARUH TEMPERATUR PROSES *HARDENING* DENGAN MEDIA
AIR TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN
PERMUKAAN BAJA KARBON SEDANG**

SKRIPSI

**Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

oleh
Yusuf Ardiansyah
5201412030

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2016**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Yusuf Ardiansyah
Nim : 5201412030
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1
Judul Skripsi : Pengaruh Temperatur Proses *Hardening* dengan Media Air Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Permukaan Baja Karbon Sedang

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

		Tanda tangan	Tanggal
Ketua	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002		17-5-2016
Sekretaris	: Dr. Rahmat Doni W., S.T., M.T. NIP. 197509272006041002		18-5-2016

Dewan Penguji

Pembimbing	: Drs. Masugino, M.Pd. NIP. 195207211980121001		18-5-2016
Penguji Utama I	: Drs. Sunyoto, M.Si. NIP. 196511051991021001		10-05-2016
Penguji Utama II	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002		17-5-2016
Penguji Pendamping	: Drs. Masugino, M.Pd. NIP. 195207211980121001		18-5-2016

Ditetapkan tanggal: _____ Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik



Nur Oudus, M.T.

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

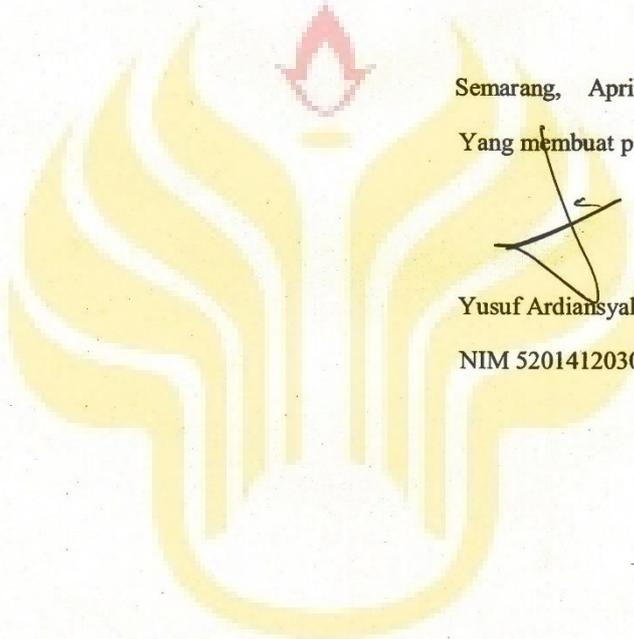
Saya menyatakan bahwa karya tulis skripsi ini yang berjudul “**Pengaruh Temperatur Proses *Hardening* dengan Media Air terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Permukaan Baja Karbon Sedang**” bebas dari plagiat, dan apabila dikemudian hari terdapat plagiat dalam karya ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, April 2016

Yang membuat pernyataan

Yusuf Ardiansyah

NIM 5201412030



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- ❖ Jangan pernah menyerah dalam keadaan apapun
- ❖ Selalu berdo'a , berusaha dan bertawakal kepada Allah SWT
- ❖ Selalu bermanfaat untuk orang lain
- ❖ Usaha tidak akan mengkhianati hasil

PERSEMBAHAN

- ❖ Ibu Maemunah dan Bapak Sarozi, orang tua yang selalu menyayangi, menasehati, mendukung dan selalu mendo'akanku.
- ❖ Anis Satul Mufarikah adikku yang aku sayangi
- ❖ Sofia Asyifa Aryawanti yang tiada hentinya memotivasi dan menyayangiku dengan sepenuh hati.
- ❖ Sahabat-sahabat yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepadaku.

ABSTRAK

Ardiansyah, Yusuf. 2016. Pengaruh Temperatur Proses *Hardening* dengan Media Air Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Permukaan Baja Karbon Sedang.

Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Masugino.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dalam proses *hardening* dengan media air terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan baja karbon sedang.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen laboratorium. Teknik analisis data yang digunakan adalah statistika deskriptif. Penelitian ini menggunakan baja karbon sedang dengan kandungan karbon sebesar 0,465%. Spesimen berjumlah 10, dengan uraian 9 spesimen untuk perlakuan *hardening* dan 1 spesimen *non hardening*. 9 spesimen dilakukan proses *hardening*, suhu pencelupan dengan variasi suhu 700° C, 825° C, dan 900° C sedangkan media celup menggunakan air. Pengujian struktur mikro dengan teknik foto mikro dan pengujian kekerasan menggunakan metode uji *rockwell*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, menurut hasil pengujian struktur mikro, semakin tinggi suhu pemanasan semakin banyak jumlah struktur *martensite*. Hal tersebut dibuktikan dengan banyaknya struktur *martensite* yang terbentuk pada suhu 900° C. Hasil pengujian kekerasan 700° C memiliki rata-rata kekerasan sebesar 7.94 HRC sedangkan nilai rata-rata kekerasan suhu 825° C sebesar 45.94 HRC. Nilai rata-rata kekerasan suhu 900° C memiliki rata-rata nilai kekerasan paling tinggi sebesar 53,83 HRC. Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah semakin tinggi suhu *hardening* semakin keras permukaan baja AISI 1045.

Kata kunci: *temperatur, hardening, baja karbon sedang*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang memberikan rahmat dan hidayah Nya. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW dan keluarganya serta kepada para sahabatnya.

Peneliti menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu peneliti ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada :

1. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universtas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin penelitian skripsi ini.
2. Rusiyanto,. S.Pd., M.T., Ketua Jurusan, Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang dan sekaligus Dosen penguji II yang telah memberikan ijin penelitian skripsi ini.
3. Drs. Masugino, M.Pd., Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar membimbing peneliti hingga skripsi ini selesai
4. Drs. Sunyoto, M.Si, Dosen Penguji I yang telah memberikan banyak masukan dan saran kepada penulis
5. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin, yang telah memberikan ilmu yang berguna bagi penulis.
6. Sahabat seperjuangan atas kebersamaannya dan semua motivasi yang tercurah kepada penulis.
7. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin angkatan 2012 dan teman-teman New Malagast kost telah memberikan motivasi dan saran kepada penulis.
8. Semua pihak yang memberikan saran dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangannya, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT memberikan pahala berlipat ganda atas bantuan dan kebaikannya. Amin.

Semarang, April 2016

Yusuf Ardiansyah



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Pembatasan Masalah	3
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
A. Kajian Teori	5
1. Baja	5
2. <i>Hardening</i>	7

3. Temperatur	9
4. Struktur Mikro.....	11
5. Kekerasan	16
6. Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	17
7. Media Pendingin	21
B. Kajian Penelitian yang Relevan	23
C. Kerangka Pikir Penelitian	32
BAB III METODE PENELITIAN	34
A. Jenis dan Desain Penelitian.....	34
B. Waktu Tempat dan Penelitian.....	35
C. Alat dan Bahan	36
D. Variabel Penelitian.....	36
E. Prosedur Penelitian.....	37
F. Teknik Pengumpulan Data.....	43
G. Teknik Analisis Data.....	45
BAB IV HASIL PENELITIAN	46
A. Hasil Penelitian	46
B. Pembahasan.....	53
BAB V PENUTUP	56
A. Kesimpulan.....	56
B. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	60

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol	Arti
%	Persen
C	Karbon
°C	Derajat Celsius
R	Jari-Jari
t_b	Kedalaman Penekanan
α	Alpha
γ	Gamma
S	Sulfur
P	Fosfor
Mn	Mangan
Fe ₃ C	<i>Sementite</i>
N	Newton
Singkatan	Arti
AISI	<i>American and Iron Steel Institute</i>
HRC	<i>Hardnest Rockwell C</i>
Kg	Kilogram
mm	Mili Meter
Polman Ceper	Politeknik <i>Manufacturing</i> Ceper
UGM	Univesitas Gajah Mada
UNNES	Universitas Negeri Semarang
WIB	Waktu Indonesia Barat
TEM	<i>Transmission Electron Microscop</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
EDS	<i>Electronic Data Sistem</i>
SEM	<i>Search Engine Marketing</i>

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Uji Kekerasan <i>Rockwell-C</i>	18
2.2 Beban, Indentor dan Skala Kekerasan	19
2. 3 Tabel Daya Spesifikasi Air	23
3. 1 Lembar Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	44
4.2 Data Hasil Uji Kekerasan.....	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Kekerasan Pengejutan dengan <i> Holding Time </i>	8
2. 2 Diagram Fe-C /fasa	9
2. 3 Suhu Pengerasan	10
2. 4 <i> Thermocouple </i>	11
2. 5 Struktur <i> Austenite </i>	13
2. 6 Struktur <i> Pearlit </i> dan <i> Ferrit </i>	14
2.67 Struktur <i> Bainit </i>	14
2. 8 Struktur <i> Martensite </i>	15
2. 9 Struktur <i> Sementit </i>	16
2. 10 Kekerasan <i> Rockwell </i>	20
2. 11 Foto Ketika Selesai <i> Hardening </i> dengan Suhu 800° C	23
2. 12 Foto Ketika Selesai <i> Hardening </i> dengan Suhu 860° C	24
2.13 Foto Ketika Selesai <i> Hardening </i> dengan Suhu 920° C	24
2. 14 Diagram Kekerasan.....	25
2. 15 Grafik Hasil Pengamatan Rata-Rata <i> Mikrostruktur Piston </i>	26
2. 16 Grafik Hasil Pengamatan Rata-Rata <i> Mikrostruktur Cylinder Liner </i>	26
2. 17 Struktur Mikro Permukaan (a) <i> As Cast </i> , (b) <i> As Quench (Crack) </i> , (c) <i> Oil Quench 830°C </i> , (d) <i> Oil Quench 850°C </i> , (e) <i> Oil Quench 870°C </i> , (f) <i> Oil Quench 920°C </i>	28
2. 18 Grafik Nilai Distribusi Kekerasan Spesimen Hasil <i> Quenching </i>	28
2. 19 Variasi Sifat Tarik dengan Suhu Penuaan.	29

2. 20 Log Benar Kekuatan-Log Plot Regangan Benar Untuk Spesimen (a) Air Padam dan Spesimen Berusia Selama 5 Jam Pada (b) 470 ° C, (c) 530 ° C, dan (d) 590 ° C.	30
2. 21 Grafik menunjukkan variasi dalam sifat mekanik dalam menanggapi proses perlakuan panas.....	31
2. 22 Mikrograf SEM Permukaan Fraktur Sampel Dampak 1 (a), 2 (b), (c) adalah Tampilan yang diperbesar dari Sebuah Kotak Di (b) dan (d) EDS Spektrum Inklusi Non-Logam Dilingkari (b)	31
2. 23 Kerangka Pikir Penelitian	32
3. 1 Diagram Hasil Perhitungan Suhu Kritis.....	35
3. 2 Diagram Alir Penelitian	37
3. 3 Spesimen.....	38
3. 4 Mikroskop Optik	41
3. 5 Alat Uji <i>Rockwell</i>	42
4. 1 Struktur Mikro <i>Raw Material</i>	47
4.2 Struktur Mikro Suhu 700° C.....	48
4. 3 Struktur Mikro Suhu 825° C	49
4. 4 Struktur Mikro Suhu 900° C	50
4. 5 Diagram Kekerasan Hasil <i>Hardening</i>	51
4. 6 Grafik Kekerasan Baja AISI 1045 Hasil <i>Hardening</i>	52



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil Uji Komposisi	60
2. Hasil Foto Mikro	61
3. Hasil Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	63
4. Surat Keterangan Selesai Pengujian	64
5. Surat Penetapan Dosen Pembimbing	65
6. Surat Tugas Seminar Proposal Skripsi	66
7. Surat Ijin Penelitian di Laboratorium Teknik Mesin Unnes	67
8. Surat Ijin Penelitian di Polman Ceper, Klaten	68
9. Surat Ijin Penelitian di Laboratorium Teknik Mesin UGM	69
10. Surat Tugas Ujian Skripsi	70
11. Dokumentasi	71



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan dunia industri yang semakin maju, mendorong para pelaku dunia industri untuk meningkatkan kebutuhan penggunaan unsur logam. Unsur logam dominan dipakai sebagai bahan dasar pembuatan alat-alat yang digunakan. Ada beberapa jenis logam yang banyak digunakan antara lain besi (Fe) dan selain besi yaitu aluminium (Al), tembaga (Cu), khrom (Cr) dan nikel (Ni). Berdasarkan uraian diatas, dari beberapa jenis logam tersebut, besi atau baja merupakan jenis logam yang paling banyak digunakan dalam kegiatan produksi di industri karena mudah didapatkan dan untuk memenuhi kebutuhan dari masyarakat. Masyarakat menuntut agar alat yang digunakan kuat, keras dan tahan lama. Maka untuk merespon hal itu dunia industri harus bisa memenuhi kebutuhan masyarakat tersebut dengan barang yang dihasilkan kuat, keras dan tahan lama.

Baja mempunyai ketahanan aus dan gesekan yang kurang baik sehingga perlu ditingkatkan sifat-sifat mekanik permukaannya terutama yang berkaitan dengan ketahanan aus dan gesekan yaitu kekerasan dan struktur mikro permukaan material. Kekerasan yang dimaksud di sini adalah kriteria untuk menyatakan intensitas tahanan suatu bahan terhadap deformasi yang disebabkan objek lain (Surdia dan Saito, 1992 :186). Cara untuk mendapatkan sifat-sifat dari logam tersebut dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas. Perlakuan panas adalah proses pemanasan dan pendinginan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu dari

material (Arifin, 1976 : 99). Perlakuan panas ditujukan untuk memperoleh sifat-sifat yang sesuai dengan batas-batas kemampuannya, seperti meningkatkan kekuatan, kekerasan, mengurangi tegangan, melunakkan, mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pengerjaan sebelumnya dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh terhadap keuletan bahan dan yang lainnya.

Dalam perlakuan panas ada beberapa metode yang biasa digunakan antara lain *hardening*, *annealing* dan *tempering*. Dalam hal ini perlakuan panas yang sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan suatu material adalah dengan cara *hardening*. *Hardening* adalah proses penguatan berdasarkan pemisahan fase dan menggambarkan keuntungan yang diperoleh dan dispersi halus fase yang keras dalam matrik yang ulet. Penggunaan metode *hardening* dapat meningkatkan kekerasan permukaan, kekuatan dan memperbaiki ketahanan baja. Keuntungan menggunakan metode *hardening* tidak memerlukan media tambah lain untuk meningkatkan kadar karbon, cukup dengan menggunakan media pendinginan. Jadi dalam hal ini pengerasan dapat dilakukan dalam bagian-bagian tertentu sesuai dengan kebutuhan dan fungsi material yang akan kita gunakan.

Dalam proses *hardening*, faktor yang mempengaruhi perlakuan panas antara lain kandungan karbon material, temperatur, media pendinginan dan *holding time*. Semuanya merupakan faktor penting dalam keberhasilan suatu perlakuan panas material. Kandungan karbon dari suatu material berguna sebagai penentuan suhu kritis dalam proses *hardening*. Temperatur berperan penting untuk melarutkan karbon dalam proses *hardening*. Kekerasan permukaan material yang dihasilkan tergantung dari jumlah *martensite* yang masuk dalam permukaan baja. Setelah

material dipanaskan, biasanya dilakukan proses pendinginan. Proses pendinginan bertujuan untuk menghasilkan struktur *martensite* pada permukaan. Oleh karena itu proses dapat menghasilkan baja dengan permukaan yang keras dan inti yang tangguh atau ulet. Penggunaan besi atau baja untuk kesejahteraan manusia antara lain sebagai bahan konstruksi bangunan, peralatan industri, mesin-mesin perkakas (mata bor, pahat bubut, dan pisau *frais*).

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian diatas, identifikasi masalah pada penelitian ini adalah mengenai kurang baiknya kualitas dan kuantitas material yang dihasilkan oleh industri. Salah satu faktor yang mempengaruhi hal tersebut adalah perlakuan panas. Beberapa jenis perlakuan panas antara lain *hardening*, *tempering* dan *annealing*. Penulis memilih metode *hardening*, karena untuk meningkatkan kekerasan material. Beberapa hal yang mempengaruhi proses *hardening* yaitu temperatur, media pendinginan, dan *holding time*.

C. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Variasi temperatur *hardening* dengan suhu 700° C, 825° C dan 900° C.
2. Media pendingin menggunakan air aquades.
3. Teknik yang digunakan dalam perlakuan panas adalah *Quenching*.
4. Bahan yang digunakan adalah baja karbon sedang dengan C 0,465%.
5. Pengujian kekerasan menggunakan uji tekan *rockwell*.
6. Pemeriksaan struktur mikro menggunakan teknik foto mikro.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh temperatur dalam proses *hardening* dengan media air terhadap struktur mikro permukaan baja karbon sedang?
2. Bagaimanakah pengaruh temperatur dalam proses *hardening* dengan media air terhadap kekerasan permukaan baja karbon sedang?

E. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh temperatur dalam proses *hardening* dengan media air terhadap struktur mikro permukaan baja karbon sedang.
2. Untuk mengetahui pengaruh temperatur dalam proses *hardening* dengan media air terhadap kekerasan permukaan baja karbon sedang.

F. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi kepada dunia industri tentang perlakuan panas menggunakan teknik *hardening* dengan media pendingin air baik untuk meningkatkan kekerasan material (baja).
2. Sebagai acuan pengembangan ilmu bahan di dunia industri khususnya industri logam.
3. Sebagai acuan dalam mengembangkan suatu produk yang menggunakan material baja.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Baja (*steel*)

Baja merupakan suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya. Selain itu, baja mengandung unsur campuran lainnya seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), dan mangan (Mn) yang jumlahnya dibatasi. Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon antara 0,1 -1,7% (Sucahyo, 1999: 55). Berdasarkan dengan tingkatan banyaknya kadar karbon, baja karbon digolongkan menjadi 3 tingkatan , yaitu :

a. Baja karbon rendah

Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas, baja karbon rendah bukan baja yang keras karena mengandung karbon kurang dari 0,30%. Baja ini dapat dijadikan mur, ulir sekrup, peralatan senjata, alat pengangkat presisi, batang tarik, perkakas silinder dan penggunaan yang hampir sama. Penggilangan dan penyesuaian ukuran baja dapat dilakukan dalam keadaan panas. Hal itu dapat ditandai dengan melihat lapisan oksida besinya bagian permukaan yang berwarna hitam. Baja juga dapat diselesaikan dengan pengerjaan dingin dengan cara merendam atau mencelupkan baja kedalam larutan asam yang berguna untuk mengeluarkan lapisan oksidasinya. Setelah itu baja diangkat dan digiling sampai ukuran yang dikehendaki, selanjutnya didinginkan. Proses ini menghasilkan baja yang lebih licin, sehingga lebih baik sifatnya dan bagus untuk dibuat mesin perkakas.

b. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%-0,6% dan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Proses pengerjaan panas menaikkan kekuatan baja dengan cara digiling. Baja karbon sedang digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, poros bubungan, poros engkol, sekrup sungkup dan alat angkat presisi.

c. Baja karbon tinggi

Baja yang mengandung karbon 0,6-1,5% dibuat dengan cara digiling panas. Pembentukan baja ini dilakukan dengan cara menggerinda permukaannya, misalnya batang bor dan batang datar. Apabila baja ini digunakan untuk bahan produksi maka harus dikerjakan dalam keadaan panas dan digunakan untuk peralatan mesin-mesin berat, batang-batang pengontrol, alat-alat tangan seperti palu, obeng, tang, kunci mur, baja pelat, pegas kumparan dan sejumlah peralatan pertanian (Amanto, dan Daryanto, 1999: 33).

Berdasarkan hasil pemaduan antara besi dengan karbon, karbon berada di dalam besi dapat berbentuk larutan atau berkombinasi membentuk karbida besi (Fe_3C). Diagram fasa menggambarkan diagram fasa besi karbon untuk seluruh rentang paduan besi dengan karbon yang mencakup baja dan besi cor. Kadar karbon pada diagram tersebut bervariasi dari nol sampai 2%.

Menurut Sucahyo, (1999:56) berdasarkan penggunaannya baja dapat diklasifikasikan dalam dua grup yaitu baja konstruksi dan baja perkakas. Baja konstruksi termasuk konstruksi bangunan dan konstruksi mesin. Baja konstruksi bangunan umumnya mengandung karbon 0,3 % dengan kekuatan tarik dan batas

reganag rendah, serta tidak dapat dikeraskan. Sedangkan baja mesin umumnya memiliki kadar karbon sekitar 0,3-0,6 dan mempunyai kekerasan yang lebih besar serta kekuatan tarik dan batas regang agak tinggi. Baja mesin dapat dikeraskan.

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan baja karbon sedang. Pemilihan baja karbon sedang sebagai bahan penelitian dikarenakan, menurut kajian teori baja karbon sedang kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui pekerjaan panas (*heat treatment*). Dalam penelitian ini penulis menggunakan *heat traetmnet* dengan metode *hardening*.

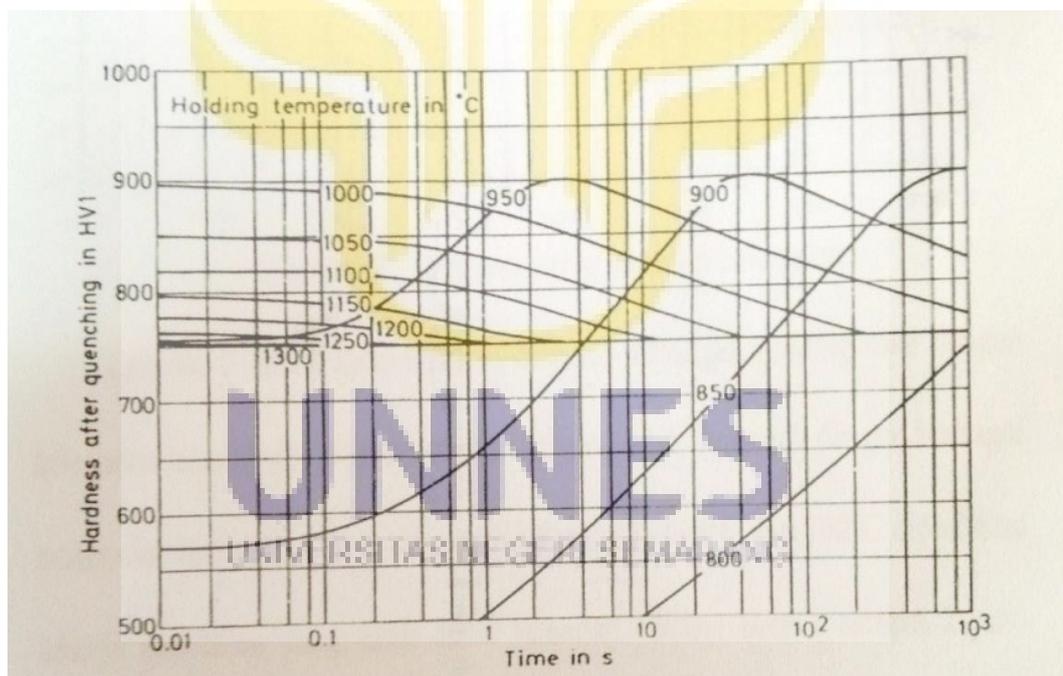
2. Hardening

Perlakuan panas merupakan proses yang memanaskan bahan sampai suhu tertentu dan kemudian didinginkan menurut cara tertentu. Tujuan pengerjaan panas adalah untuk memberi sifat yang lebih sempurna pada bahan (Amanto dan Daryanto, 1999: 63). Pengertian pengerasan ialah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis (Haryadi, 2005: 2).

Pengerasan baja disebut juga penyepuhan (*quenching*) atau sering dikatakan menyepuh baja. Menyepuh adalah memanaskan baja sampai temperatur tertentu, sampai perubahan fase yang homogen dan dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan dengan cepat, sehingga menimbulkan susunan yang keras yaitu sampai terjadi struktur yang disebut *martensite* (Sucahyo, B, 1999:214). Tujuan pemanasan adalah untuk mengubah baja dari keadaan normal dan tipe struktur *pearlit* lunak ke struktur larutan padat yang disebut *austenite*. Pemanasan harus dilakukan secara bertahap (*preheating*) dan

perlahan-lahan untuk memperkecil deformasi ataupun resiko retak. Setelah temperatur pengerasan (*austenitizing*) tercapai, ditahan dalam selang waktu tertentu (*holding time*).

Waktu penahanan pemanasan (*holding time*) bertujuan untuk merubah struktur dari baja berubah menjadi *austenite* secara menyeluruh yang dapat mempengaruhi sifat mekanis baja. Ketika suhu baja sampai pada suhu pengerasan yang telah dipilih secara tepat maka *holding time* akan meratakan suhu pada spesimen dari bagian terluar hingga inti. Pemilihan *holding time* tergantung pada suhu pengerasan, cepat lambatnya proses pemanasan dan tipe baja. Lihat gambar di bawah ini

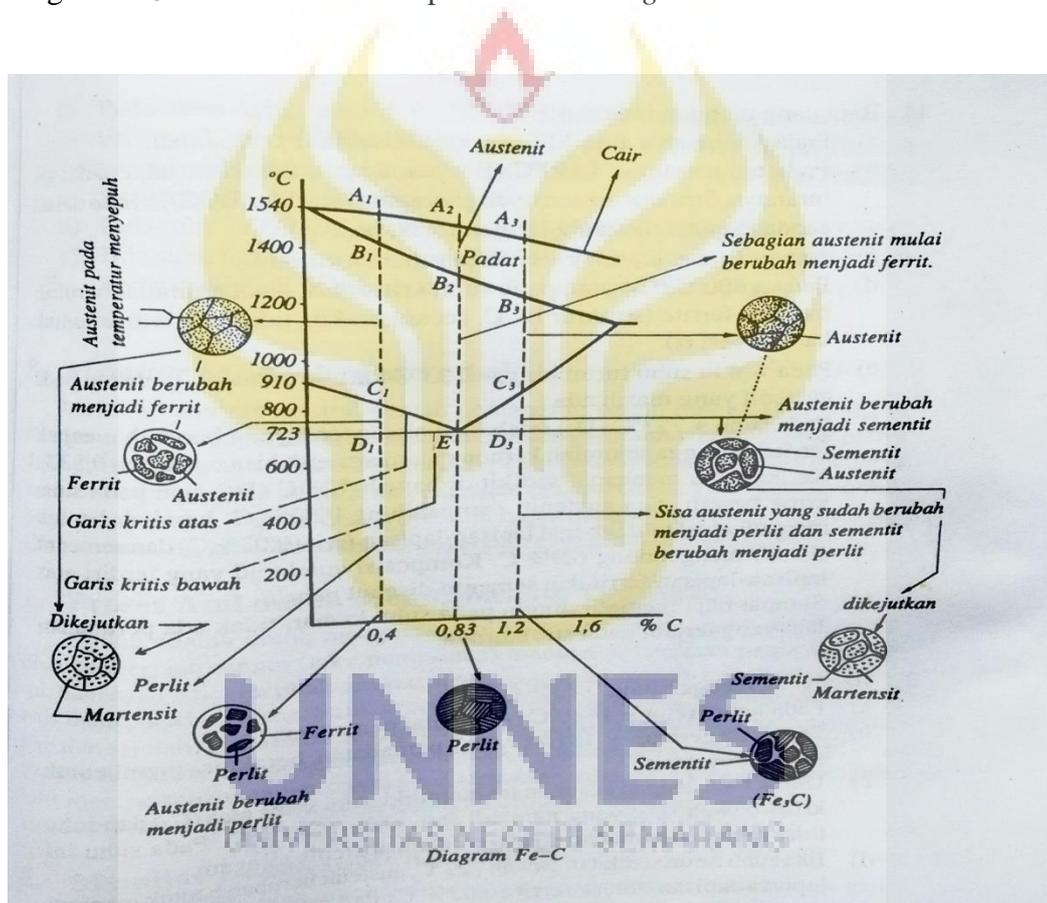


Gambar 2. 1 Kekerasan Pengejutan dengan *Holding Time*

Berdasarkan tebal spesimen yang digunakan yaitu baja karbon sedang dengan tebal 10 mm, peneliti menggunakan *holding time* selama 30 menit.

3. Temperatur

Menurut Karyanto (2003: 16) temperatur atau suhu merupakan derajat panas atau tingkat kedinginan dari suatu benda, ukuran temperatur atau suhu dinyatakan dengan angka-angka dan disebut derajat. Pemanasan bahan dilakukan diatas garis transformasi kira-kira pada 770°C sehingga *pearlit* berubah menjadi *austenite* yang homogen karena terdapat cukup karbon (Sucahyo, 1999 : 196). Berikut diagram Fe_3C untuk melihat temperatur *hardening* :

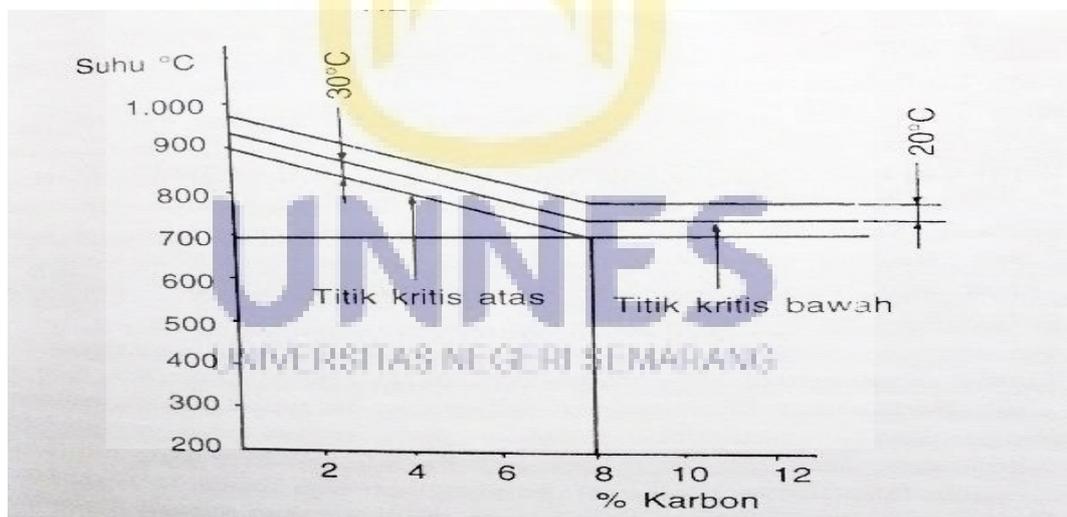


Gambar 2. 2 Diagram Fe-C /fasa

Baja yang mengandung 0,4% C pada temperatur kurang lebih 1500°C mulai terjadi pepadatan. Pada temperatur kurang lebih 1450°C pepadatan berakhir, baja padat seluruhnya. Struktur *austenite* yang seragam (struktur BCC, karbon dalam keadaan padat diantara larutan padat besi γ). Antara B₁ dan C₁ tidak terjadi

perubahan struktur. Pada kurang lebih 800°C (C_1) atau pada suhu kritis atas, *austenite* mulai berubah menjadi *ferrit* (struktur BCC, secara praktis tidak ada tempat untuk karbon besi α).

Pada waktu suhu turun hingga 723°C karbon semakin meresap pada *austenite* yang masih ada. Pada suhu kurang lebih 723°C (D_1) telah banyak *austenite* yang berubah menjadi *ferrit* sehingga jumlah karbon dalam *austenite* bisa mencapai 0,83%. Ketika suhu mencapai sedikit dibawah 723°C (D_1) atau pada suhu kritis bawah, sisa *austenite* mengandung 0,83% C yang berubah bentuk menjadi *eutektoid* sebagai lapisan-lapisan *ferrit* (0,03% C) dan *sementite* (Fe_3C) mengandung 6,9% C. Komposisi *eutektoid* yang terdiri atas lapisan-lapisan *ferrit* dan *sementite* disebut *pearlit*. Sampai baja menjadi dingin pada suhu kamar, tidak ada perubahan lagi yang terjadi pada strukturnya. Berikut ini grafik suhu pengerasan :

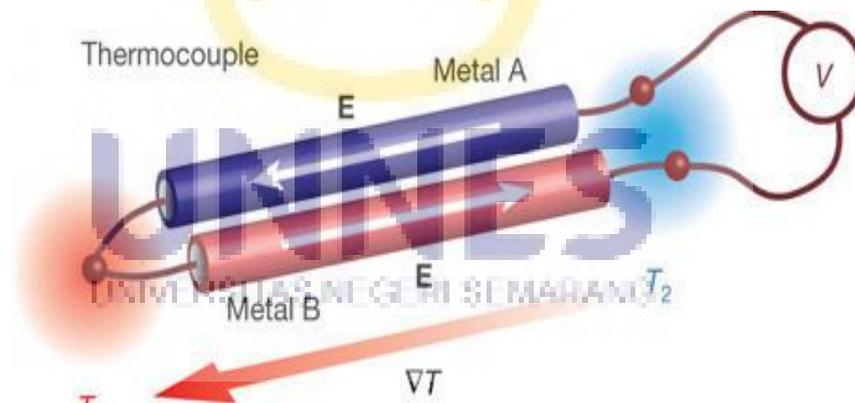


Gambar 2. 3 Suhu Pengerasan

Pada saat pengukuran saat proses pemanasan diperlukan alat yaitu *thermocouple*. *Thermocouple* adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang

digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”. Efek *Thermo-electric* pada termokopel ini ditemukan oleh seorang fisikawan Estonia bernama *Thomas Johann Seebeck* pada Tahun 1821, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara *gradient* akan menghasilkan tegangan listrik. Perbedaan tegangan listrik diantara dua persimpangan (*junction*) ini dinamakan dengan Efek “*Seeback*”.

Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan elektronika yang berkaitan dengan suhu (*Temperature*). Beberapa kelebihan termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C . Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan. Berikut ini gambar dari *thermocouple* :



Gambar 1. Menunjukkan arah aliran elektron ketika thermocouple dipanaskan

Gambar 2. 4 *Thermocouple*

4. Struktur mikro

Menurut Lely Susita R.M., dkk (1996) struktur mikro adalah struktur yang hanya bisa diamati melalui mikroskop baik itu mikroskop optik maupun

mikroskop elektron. Informasi yang bisa diperoleh dari struktur mikro antara lain identifikasi fasa-fasa yang ada, presentase fasa, distribusi fasa, inklusi (pengotor), presipitat maupun ukuran butir. Perubahan struktur suatu sistem pencampuran logam hanya akan terjadi apabila suatu campuran didinginkan secara perlahan-lahan (Amanto dan Daryanto, 1999: 67). Pada cairan logam yang telah mencapai temperatur tertinggi kemudian didinginkan sampai mencapai titik beku, maka akan terjadi perubahan-perubahan struktur (Arifin, 2010 : 73). Perubahan yang terjadi pada suatu logam adalah berhubungan dengan letak atom-atom di dalam balur-balur jarak antara tiap-tiap balur dan besarnya suatu balur yang terjadi.

Struktur mikro dapat diubah dengan suatu perlakuan panas. Ini berarti untuk material dengan komposisi yang sama dapat mempunyai sifat-sifat yang berbeda dan ini bisa diperoleh dengan cara mengubah struktur mikronya. Dengan kata lain, untuk memperbaiki sifat-sifat suatu material sesuai dengan yang dikehendaki dapat diperoleh dengan cara mengubah struktur mikronya.

Dalam mengetahui struktur mikro suatu material perlu dilakukan pengujian struktur mikro. Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui struktur sebelum perlakuan panas dan sesudah perlakuan panas suatu material.

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon :

1. *Austenite*

Austenite adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendingin selanjutnya *austenite* berubah menjadi *ferrit* dan *pearlit* dan *sementite*. Sifat *austenite* adalah lunak, tidak magnetis dan dapat ditempa. Kadar karbon maksimum sebesar 2, 14%. Berikut struktur *austenite* :



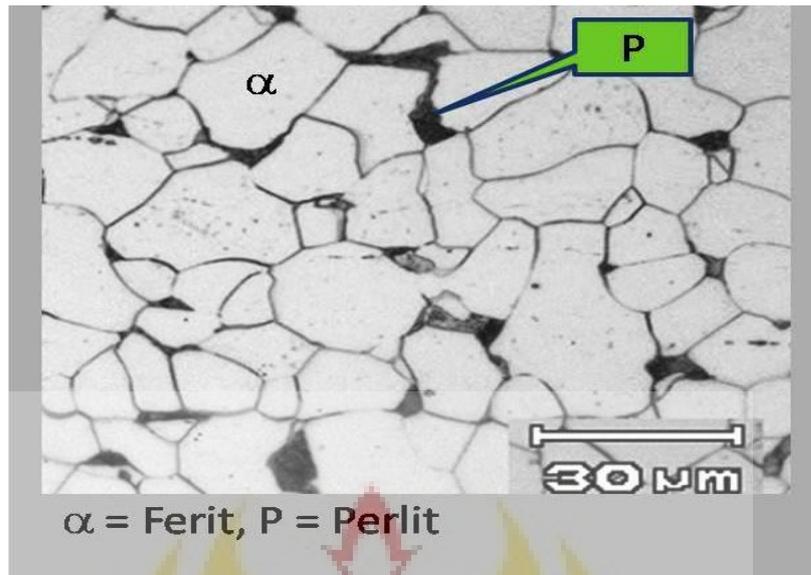
Gamabar 2. 5 Struktur *Austenite*

2. *Ferrite*

Fasa ini disebut alpha (α), ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon oleh sebab itu daya larut karbon dalam *ferrite* rendah < 1 atom C per 1000 atom besi. Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008%, sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025% pada suhu 723° C. *Ferrite* bersifat magnetik sampai suhu 768° C. Sifat *ferrite* lainnya adalah lunak dan liat. *Ferrite* berwarna putih.

3. *Pearlit*

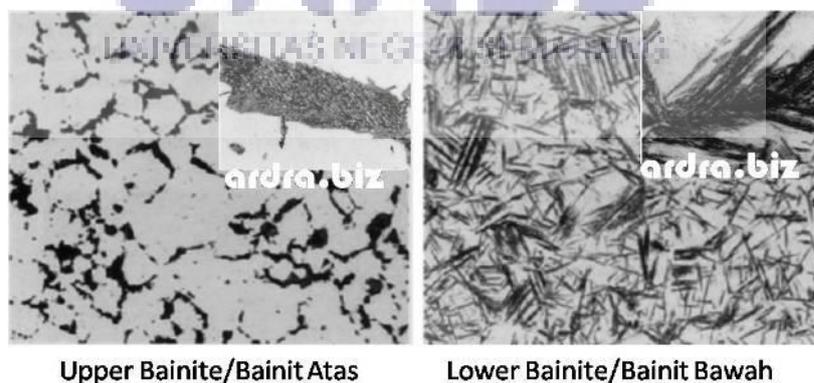
Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu *ferrit* dengan kadar karbon 0,025% dan *semitite* dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. *Pearlit* merupakan struktur mikro dari reaksi *eutektoid lamellar*. Sifat *pearlite* adalah lebih keras dan lebih kuat dari pada *ferrite* tetapi kurang liat dan tidak magnetis. *Pearlite* berwarna hitam. Berikut ini gambar struktur *ferrit* dan *pearlit* :



Gambar 2. 6 Struktur Pearlit dan Ferrit

4. Bainit

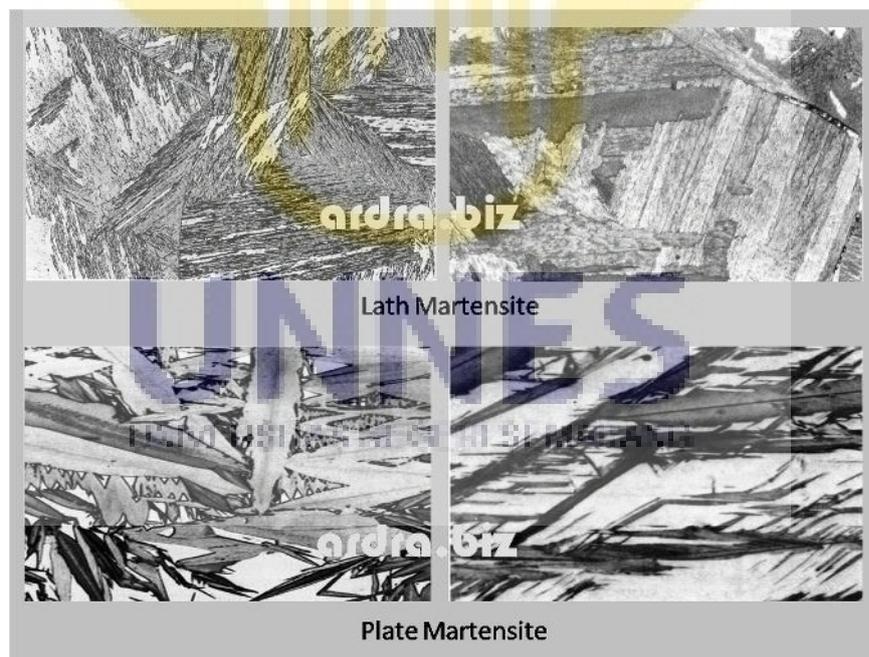
Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa *austenite* ke suhu antara 250°C-550°C dan ditahan pada suhu tersebut (*isothermal*). *Bainit* adalah struktur mikro dari reaksi *eutektoid* ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) *non lamellar* (tidak berupa lapisan). *Bainit* merupakan struktur mikro campuran fasa *ferrit* dan *sementite* (Fe_3C). Sifat dari *bainit* adalah lunak. Berikut gambar struktur *bainit*:



Gambar 2. 7 Struktur *Bainit*

5. *Martensite*

Martensite merupakan fasa dimana *ferrit* dan *sementite* bercampur, tetapi bukan dalam *lamellar*, melainkan jarum-jarum *sementite*. Fasa ini terbentuk dari *austenite* meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi Fe_3C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada $260^\circ C$ untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam *metriks ferrit*. *Martensite* bilah (*lath martensite*) terbentuk jika kadar C dalam baja sampai 0,6% sedangkan di atas 1 % C akan terbentuk *martensite* pelat (*plate martensite*). Perubahan dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval $0,6\% < C < 1,08\%$. Sifat dari *martensite* adalah rapuh dan keras, kekerasan tergantung dari komposisi karbon. *Martensite* berbentuk seperti jarum. Berikut ini struktur *martensite*:



Gambar 2. 8 Struktur *Martensite*

6. *Sementite* (karbida besi)

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (*sementite*). Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C .

Dibandingkan dengan *ferrit*, *sementite* sangat keras. Karbida besi dalam *ferrit* akan meningkatkan kekerasan baja, tetapi karbida besi murni tidak liat. Karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Sifat *sementite* adalah keras, rapuh dan magnetis. Berikut ini struktur dari *sementite* (karbida besi) :



Gambar 2. 9 Struktur *Sementite*

5. Kekerasan

Menurut Harun (1986) penunjukan kekerasan bisa diketahui dengan jalan mengukur ketahanan suatu logam terhadap penekanan, yaitu dengan jalan penekanan bola baja yang dikeraskan atau suatu piramida intan pada permukaannya, lalu ukuran bekasnya diukur. Dalam sistem test kekerasan *rockwell*, yang biasa digunakan adalah intan konis untuk logam yang keras dan bola untuk yang lebih lunak. Menurut Sutjino dan Mujiman (1996 :1) kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap deformasi plastis, sedangkan angka kekerasannya sebagai beban terpasang (gf = *gram force*) dibagi dengan luas permukaan jejak (mm²). Menurut Sudira dan Saito (1992:31) pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi.

Kekerasan adalah kriteria untuk menyatakan intensitas tahanan suatu bahan terhadap deformasi yang disebabkan oleh objek lain.

Ada 3 macam pengujian kekerasan yaitu :

- a) Pengujian penekanan
- b) Pengujian goresan
- c) Pengujian *resilience* yang pada umumnya ditentukan dengan cara tidak merusak.

Untuk logam pengujian yang sering digunakan adalah pengujian penekanan.

Pengujian kekerasan *rockwell* cocok untuk semua material yang keras dan lunak.

6. Uji Kekerasan *Rockwell*

Pengujian kekerasan diperlukan untuk mengetahui seberapa keras material yang kita *treatment*. Djaprie, (1987 : 335) berpendapat :

Uji kekerasan yang paling banyak dipergunakan di Amerika Serikat adalah uji kekerasan *rockwell*. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras, dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap, dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji kekerasan *rockwell* sangat berguna dan mempunyai kemampuan ulang (*reproducible*) asalkan sejumlah kondisi sederhana yang diperlukan dapat dipenuhi.

Seperti yang telah dijelaskan bahwa alasan digunakannya pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan *rockwell*, dengan spesifikasi karena benda uji digunakan dalam penelitian ini adalah merupakan baja karbon sedang, dimana pembacaan nilai kekerasan dapat mudah diketahui dengan hanya melihat dial indikator yang terdapat pada mesin uji kekerasan *rockwell* di atas maka skala yang sesuai untuk digunakan pada pengujian ini adalah skala C dengan penekan (*indenter*) berupa baja berbentuk kerucut (*cone*).

Pengujian metode *rockwell C* dilakukan dengan cara menekan *indenter* kerucut dengan sudut puncak 120° pada permukaan benda kerja yang akan diuji dengan

beban awal (F_0) sebesar 10 kg maka ujung indentor masuk sedikit ke dalam benda uji, kemudian pengukuran ke dalam diatur pada posisi nol dengan demikian pengaruh alas uji dan kelonggaran instrumen uji ditiadakan, maka jarum penunjuk yang menunjukkan kedalaman penetrasi t_0 , selanjutnya diberi beban penambahan F_1 sebesar 140 kg sehingga beban total menjadi 150 kg, maka kedalaman penetrasi bertambah dalam t_1 dan proses ini dapat dilihat pada alat pengukuranya. Setelah penurunan beban dari F ke F_0 kedalaman penetrasi menjadi t_b yang merupakan kedalaman tetap yang dinyatakan dalam harga 0,002 mm waktu penekanan antara 5-8 detik.

Rockwell menetapkan skala harga kekerasan yaitu :

HRC = 100 untuk kedalaman penetrasi 0 mm

HRC = 0 untuk kedalaman penetrasi 0,2 mm

HRF = 130 untuk kedalaman penetrasi 0 mm

Tabel 2. 1 Uji Kekerasan *Rockwell-C*

Simbol	Arti	Satuan
-	Sudut lancip kerucut diamon (=120 ⁰)	0
-	Radius ujung kerucut diamon (=0,2 mm)	Mm
F_0	Beban uji awal (= 98,1 N)	N
F_1	Beban uji utama (=1337,4 N)	N
F	Beban uji total (=1471,5 N)	N
E_a	Dalamnya luka tekan akibat beban uji awal	Mm
E_g	Dalamnya luka tekan akibat beban uji utama	Mm
E	Dalamnya luka tekan permanen jika beban utama F_1 dihilangkan.	Mm
-	Angka kekerasan <i>rockwell-C</i>	HRC
-	$= 100 - \frac{e}{0,002 \text{ mm}}$	

Pada skala *rockwell*, jarak 0,2 mm dibagi kedalam 100 bagian yang sama yaitu masing-masing 0,002 mm. Penunjukkan skala *rockwell* dinyatakan : HRA, C, D = 100-e dan HRF 130-e, di mana lambang e adalah kedalaman penetrasi yang dinyatakan dalam satuan 0,002 mm, jadi $e = t_b / 0,002$.

Cara mengetahui dalamnya penetrasi dapat dihitung berdasarkan petunjuk angka kekerasan, misalnya 60 HRC maka dalamnya penetrasi (t_b) = $(100-60) \times 0,002 = 0,08$ mm dan HRF dalamnya penetrasi (t_b) = $(130-60) \times 0,002 = 0,14$ mm. Jadi rumus ini hanya untuk mengetahui tingkat kekerasan *rockwell*, dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{HRC} = 100 - t_b / 0,002 \text{ untuk } \textit{rockwell} \text{ A, C, dan D}$$

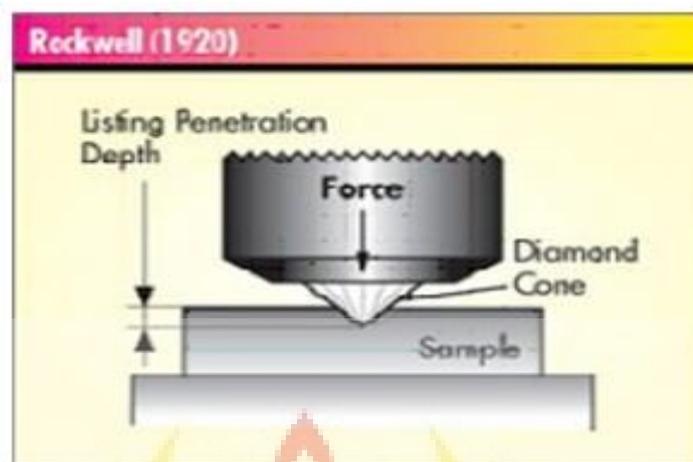
$$\text{HRB} = 130 - t_b / 0,002 \text{ untuk } \textit{rockwell} \text{ selain A, C, dan D}$$

Pengukuran kekerasan baja yang diperkeras, pengukuran kekerasan disarankan menggunakan *rockwell* C. Spesifikasi alat ujinya *Rockwell Hardness Tester* model HR – 150A N0 0946 DATE 2002.6

Tabel 2. 2 Beban, Indentor, dan Skala Kekerasan

Simbol Skala	Penekan	Beban			Skala	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1.558 mm (1 / 16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3.175 mm (1 / 8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1.558 mm (1 / 16")	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1.558 mm (1 / 16")	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3.175 mm (1 / 8")	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3.175 mm (1 / 8")	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6.35 mm (1 / 4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6.35 mm (1 / 4")	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6.35 mm (1 / 4")	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1 / 2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm (1 / 2")	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm (1 / 2")	10	140	150	130	Merah

Berikut ini gambar pengujian kekerasan *rockwell* :



Gambar 2. 10 Kekerasan *rockwell*

Sebagian besar hal-hal yang disusun berikut dapat diterapkan dengan baik pada uji kekerasan *rockwell* yaitu :

- a. Penumbuk dan landasan harus bersih dan terpasang dengan baik.

Permukaan yang akan diuji harus bersih dan kering, halus, dan bebas dari oksida. Permukaan yang agak kasar biasanya dapat menggunakan uji *rockwell*.

- b. Permukaan harus datar dan tegak lurus terhadap penumbuk.

- c. Uji untuk permukaan silinder akan memberikan hasil pembacaan yang rendah, kesalahan yang terjadi tergantung pada lengkungan, beban, penumbuk dan kekerasan bahan.

- d. Tebal benda uji harus sedemikian hingga tidak terjadi gembung (*bulge*) pada permukaan dibaliknya. Tebal benda uji dianjurkan 10 kali kedalaman lekukan.

Pengujian dilakukan pada bahan yang tebalnya satu macam.

- e. Daerah diantara lekukan-lekukan harus 3 hingga 5 kali diameter lekukan.

- f. Kecepatan penerapan beban harus dibakukan, hal ini dilakukan dengan cara mengatur daspot pada mesin uji *rockwell*. Tanpa pengontrolan beban secara

hati-hati dapat terjadi variasi nilai kekerasan yang cukup besar pada bahan-bahan yang sangat lunak. Peruntukkan bahan demikian gagang pengoperasian mesin uji *rockwell* harus dikembalikan ke posisi semula segera setelah beban besar telah diterapkan secara penuh.

7. Media Pendingin

Setelah proses pemanasan perlu untuk dilakukan proses pendinginan,

Nugroho dan Haryadi (2005) berpendapat :

Metode *quenching* sederhana adalah berupa pencelupan baja yang telah dipanaskan mencapai fasa *austenite* ke dalam bak berisi media pendingin sehingga panas pada baja terabsorpsi ke media pendingin yang akan menghasilkan peningkatan derajat kekerasan sebagai akibat perubahan struktur mikronya, memiliki beberapa kelemahan.

Media pendingin yang digunakan didalam proses perlakuan panas antara lain : air, minyak, udara dan garam.

a. Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendingin yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan juga garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi tambah keras.

b. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendingin pada perlakuan panas, dapat juga digunakan minyak bakar atau solar. Pendinginan dengan minyak akan memberikan kecepatan pendinginan yang sedang dan warna yang mantap dari benda kerja yang diproses.

c. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara.

d. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendingin disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang (Suchahyo, 1999:194).

Untuk memperoleh sifat mekanik yang lebih keras, baja karbon rendah dan baja karbon sedang, lazim dilakukan pencelupan dengan air. Untuk baja karbon tinggi dan baja paduan biasanya digunakan minyak sebagai media pencelupan, pendinginannya tidak secepat air. Tersedia berbagai jenis minyak, seperti minyak mineral dengan kecepatan pendinginan yang berlainan sehingga dapat diperoleh baja dengan berbagai tingkat kekerasan (Iqbal, 2008:106).

Berdasarkan uraian diatas, peneliti menggunakan media air sebagai media pendingin. Pemilihan air sebagai media pendingin, mempertimbangkan fungsi dari pendinginan menggunakan media air.

Air merupakan senyawa yang dapat berwujud padat, cair dan gas. Pada saat melakukan *quenching* spesimen di celupkan dengan posisi tegak atau berdiri, sehingga proses pendinginan merata dan hasilnya baik. Pada rumus kimia air adalah H₂O, yang berarti pada setiap molekul air ada dua atom hidrogen yang terikat dengan atom oksigen. Air membeku pada suhu $2730^{\circ}\text{K} = 0^{\circ}\text{C}$, dan

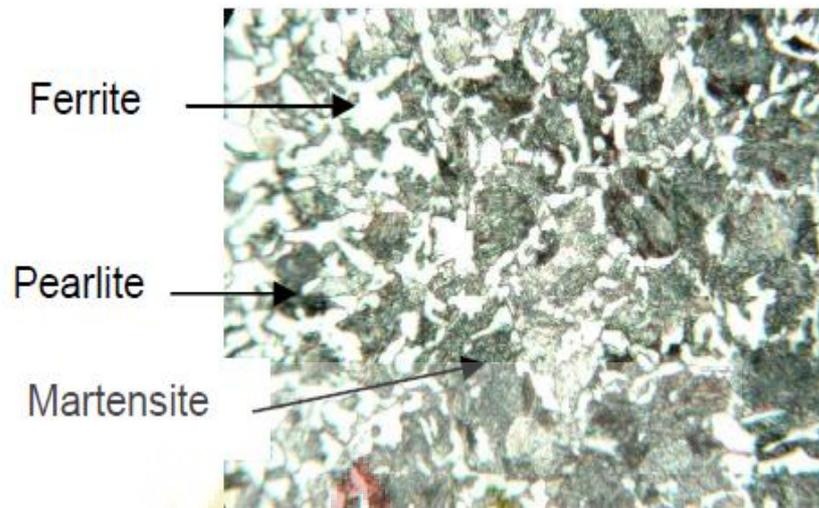
menguap dibawah tekanan normal pada suhu $3730^{\circ}\text{K} = 1000^{\circ}\text{C}$. Air memiliki berat terbesar $2770^{\circ}\text{K} = 40^{\circ}\text{C}$.

Tabel 2. 3 Tabel Daya Spesifikasi Air

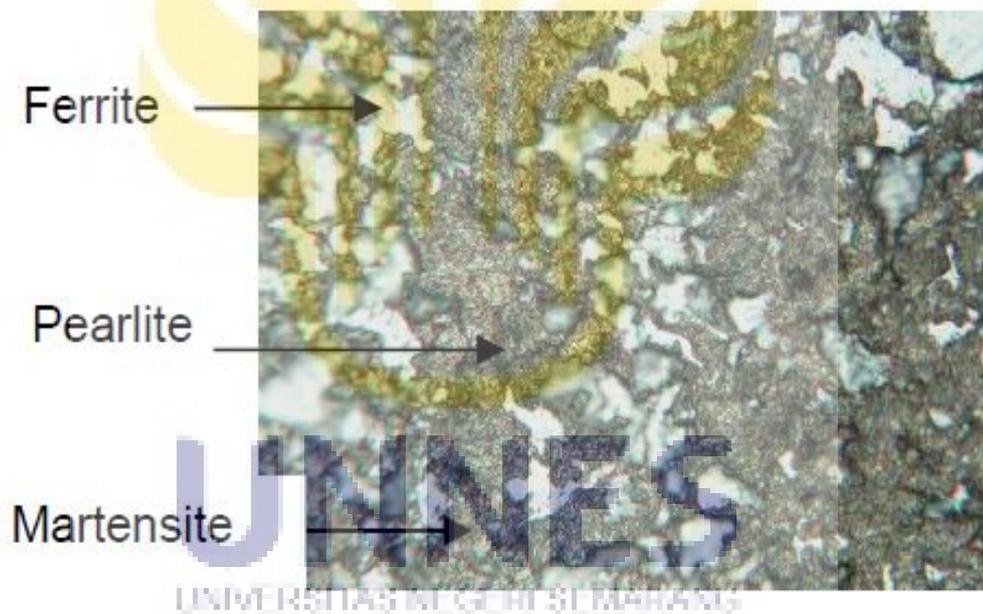
Spesifikasi air	Daya
Kapasitas panas per massa C	4,186 kj/kg ^o K
Penguapan panas per massa I	2256 kj/kg
Koefisien penghantar panas	0,582 j/m ^o K

B. Kajian Penelitian yang Relevan

1. Sardjono, KP (2009) telah melakukan penelitian tentang Pengaruh *Hardening* Pada Baja JIS G 4051 GRADE S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. Penelitian ini dilakukan melalui proses perlakuan panas dengan memvariasikan temperatur *hardening* dan uji kekerasan *vicker's*. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui temperatur yang paling signifikan terhadap kekerasan dari baja JIS G 4051 GRADE S45C. Percobaan berdasarkan desain eksperimen dari penelitian tersebut. Hasil penelitian nilai kekerasan tertinggi yang diberi perlakuan panas pada temperatur 920°C dengan nilai kekerasan *Vicker's* sebesar 579 HV. Berikut gambar struktur mikro dari variasi temperatur *hardening* dengan perbesaran 500 x :



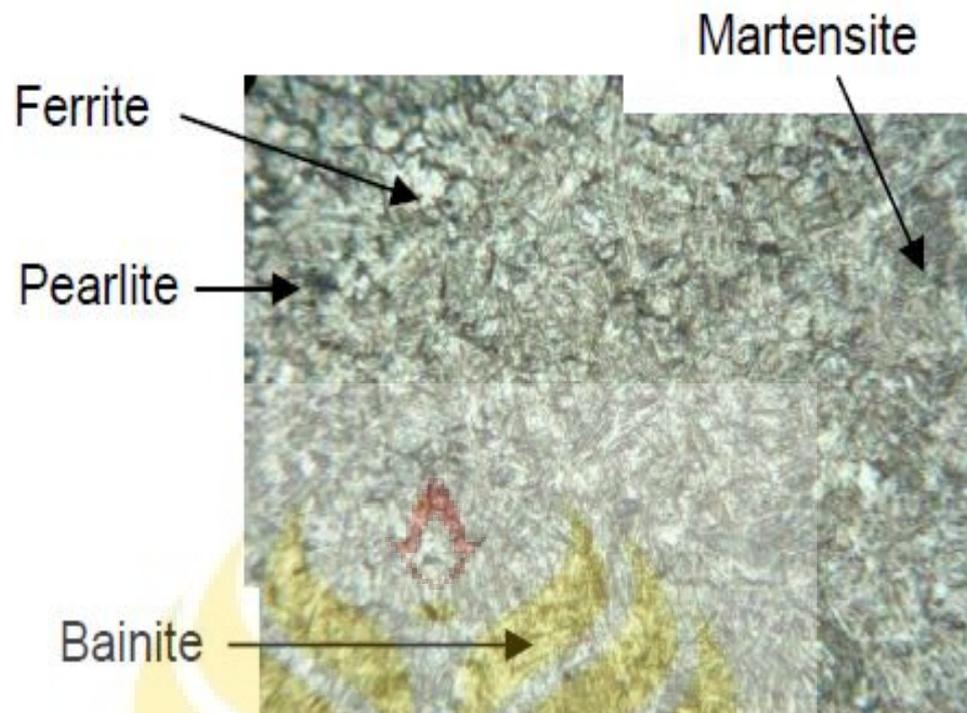
Gambar 2. 11 Foto Ketika Selesai *Hardening* dengan Suhu 800° C



Gambar 2. 12 Foto Ketika Selesai *Hardening* dengan Suhu 860° C

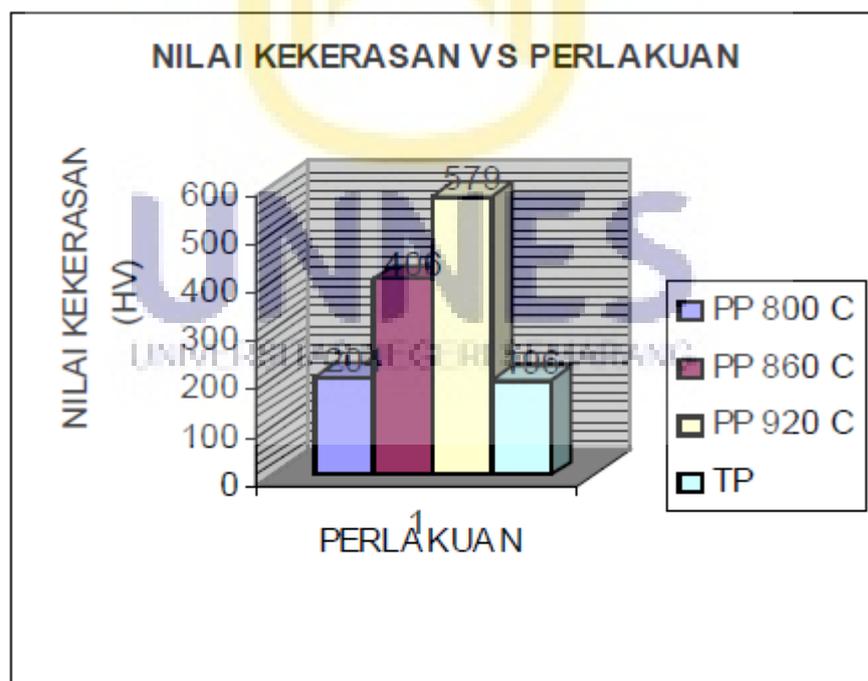
Keterangan :

1. *Ferrite* berwarna putih
2. *Pearlite* berwarna hitam
3. *Martensite* berbentuk seperti jarum



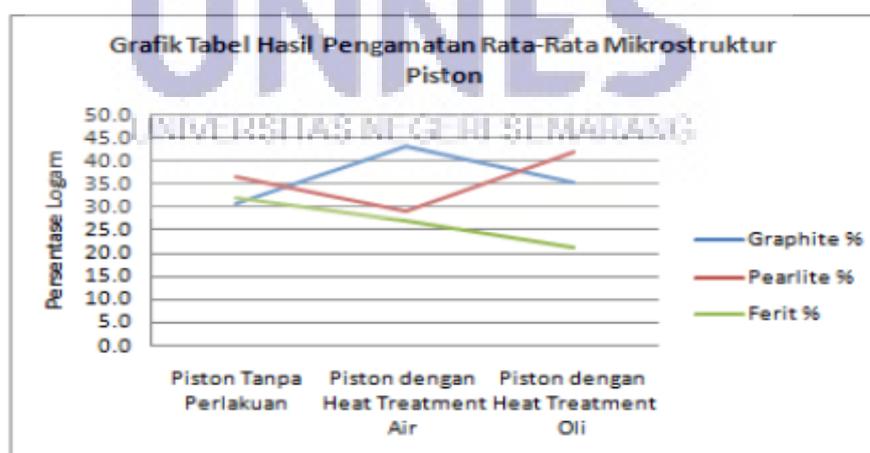
Gambar 2. 13 Foto Ketika Selesai *Hardening* dengan Suhu 920° C

Berikut grafik kekerasan pada penelitian ini :

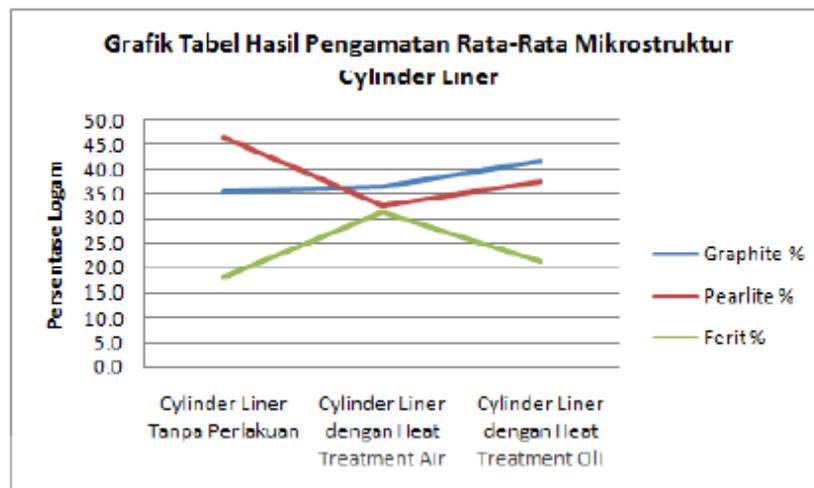


Gambar 2. 14 Diagram Kekerasan

2. Nofik, M dkk (2014) telah melakukan penelitian tentang Analisis Pengaruh *Heat Treatment* Dengan Media Air Dan Oli Terhadap Struktur Mikro (*Metalography*) Bahan *Piston* Dan Dinding Silinder (*Cylinder Linier*) Pada Motor Bakar. *Heat treatment* menggunakan media air dan oli dengan variabel terikat pengamatan struktur mikro dan variabel bebas adalah media *heat treatment*, waktu *holding*, dan temperatur. Alat uji yang digunakan adalah *Microscope* dengan bahan berupa 3 buah *piston* motor bebek, 3 buah *cylinder linier* motor bebek, media oli, air, dan pemanasnya. Hasil dari pengamatan struktur mikro dan rata-rata analisa pada *heat treatment piston* didapat kadar tertinggi untuk *pearlite* adalah pada *heat treatment* oli yaitu 42,2%, sedangkan untuk *ferrit* pada *heat treatment* tanpa perlakuan yaitu 32,3% dan kadar *graphit* yang tertinggi adalah pada *heat treatment* air yaitu 43,4%, sedangkan *cylinder liner* didapat kadar tertinggi untuk *pearlit* adalah pada *heat treatment* tanpa perlakuan yaitu 46,5%, sedangkan untuk *ferrit* pada *heat treatment* air yaitu 31,2% dan kadar *graphit* yang tertinggi adalah pada *heat treatment* oli yaitu 41,6%. Berikut grafik hasil uji foto mikro :



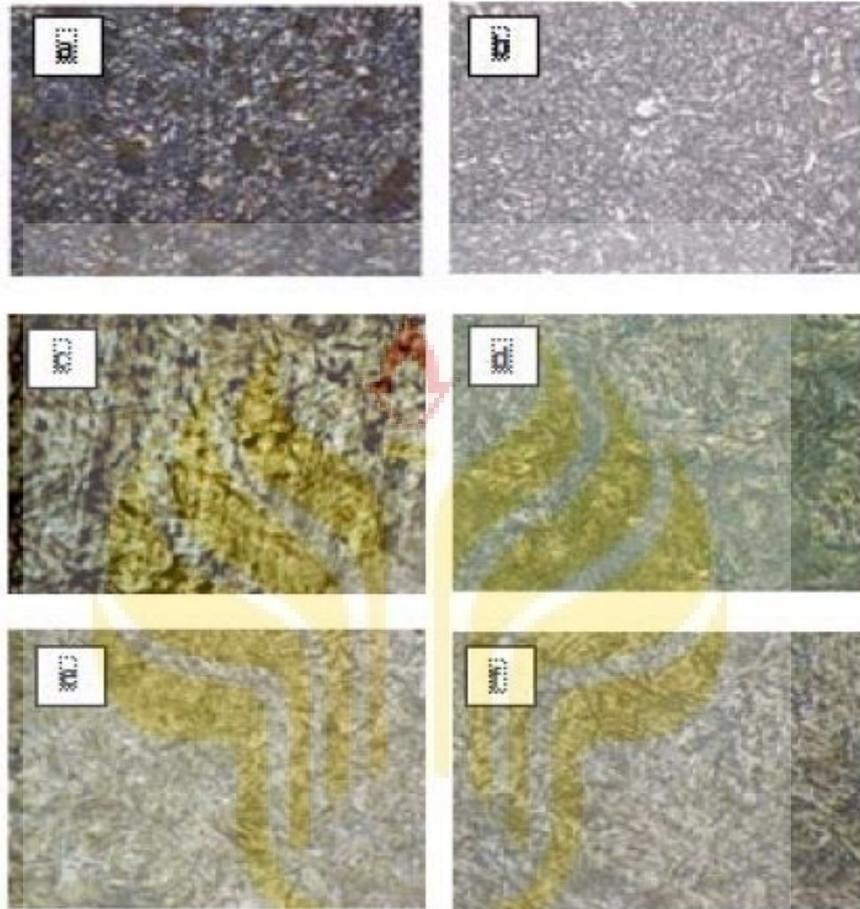
Gambar 2. 15 Grafik Hasil Pengamatan Rata-Rata Mikrostruktur Piston



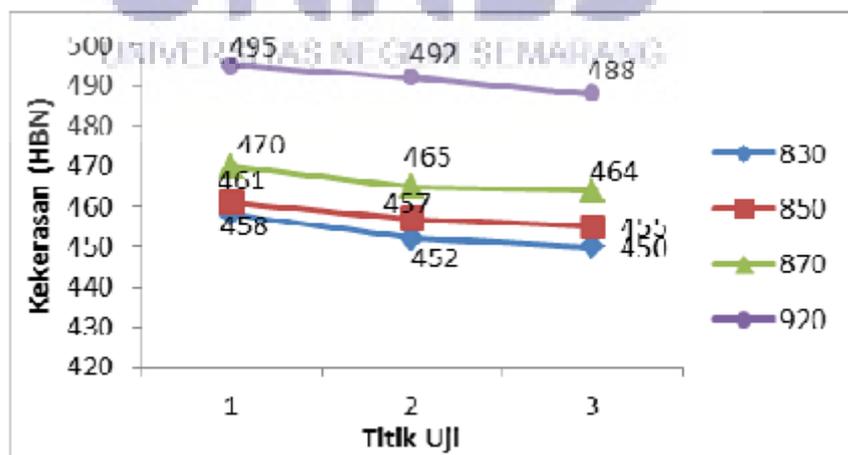
Gambar 2. 16 Grafik Hasil Pengamatan Rata-Rata
Mikro struktur Cylinder Liner

3. Husain, F. A dan Yuli setyorini (2013) telah melakukan penelitian tentang Pengaruh Variasi Temperatur Austenisasi Pada Proses *Heat Treatment Quenching* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro *Friction Wedge* AISI 340. Pengujian dilakukan dengan uji mikrografi dan uji kekerasan *brinell*. Metode yang digunakan adalah *heat treatment quenching* dengan variasi temperatur austenisasi 830°C, 850°C, 870°C dan 920°C dengan waktu penahanan 20 menit, kemudian didinginkan cepat dengan media pendingin oli. Hasil dari penelitian ini adalah semua spesimen hasil *treatment* memenuhi standar kekerasan *friction wedge*. Nilai kekerasan naik seiring naiknya temperatur austenisasi. Hasil paling baik didapat dari spesimen *heat treatment quenching* dimedia pendingin oli pada temperatur austenisasi 830°C dengan nilai kekerasan 458 BHN, tidak ada *crack* yang terjadi dan memiliki nilai *elongasi* yang paling rendah yaitu 0,43%, sehingga bisa tahan pada temperatur kerja dari pada spesimen yang lain. Struktur mikro yang dihasilkan berupa *martensite* dan *austenite* sisa. Pada pengujian XRD

didapatkan fasa Fe_{1.91} C_{0.09} (*Martensite* BCT) dan Fe_{15.1} C (*Austenite* FCC). Berikut gambar struktur mikro setelah *heat treatment* :

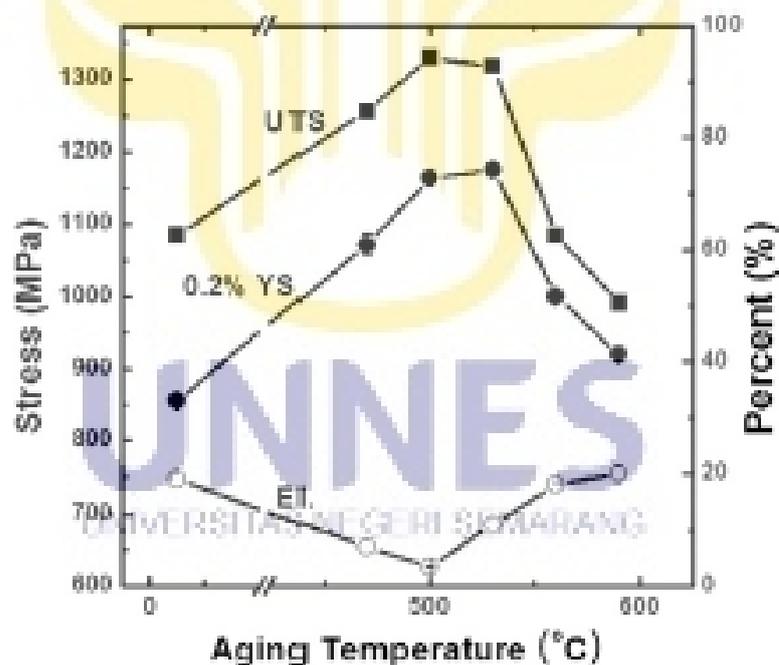


Gambar 2. 17 Struktur Mikro Permukaan (a) *As Cast*, (b) *As Quench (Crack)*, (c) *Oil Quench 830°C*, (d) *Oil Quench 850°C*, (e) *Oil Quench 870°C*, (f) *Oil Quench 920°C* .

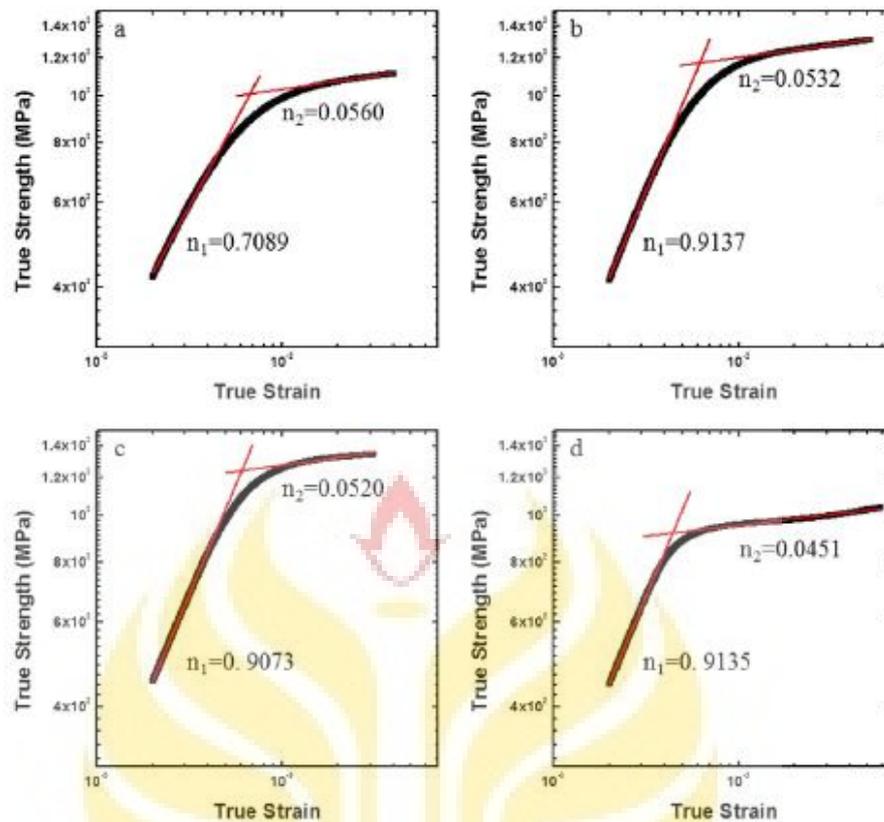


Gambar 2. 18 Grafik Nilai Distribusi Kekerasan Spesimen Hasil *Quenching*

4. Jong-ho shin, dkk (2014) telah melakukan penelitian tentang *Microstructural Evolution And The Variation Of Tensile Behavior After Aging Heat Treatment Of Precipitation Hardened Martensitic Steel*. Analisis mikroskopis menggunakan mikroskop elektron transmisi (TEM) dikombinasikan dengan analisis *themicrostructural* menggunakan difraksi sinkrotron X-ray (XRD) untuk mengkarakterisasi *evolusi themicrostructural* dengan suhu penuaan. Puncak kekerasan diperoleh dengan pengendapan Ni₃Al memerintahkan fase. Setelah penuaan pada kisaran suhu 420-590 ° C, bola Ni₃Al presipitat dan karbida M₂₃C₆ *ellipsoidal* diamati dalam *laths* dan pada batas reng, masing-masing. Perilaku pengerasan regangan dianalisis dengan persamaan *Ludwik*.



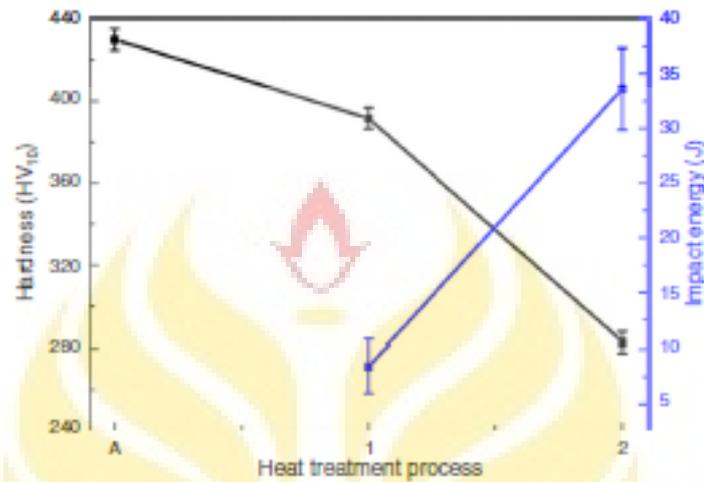
Gambar 2. 19 Variasi Sifat Tarik dengan Suhu Penuaan.



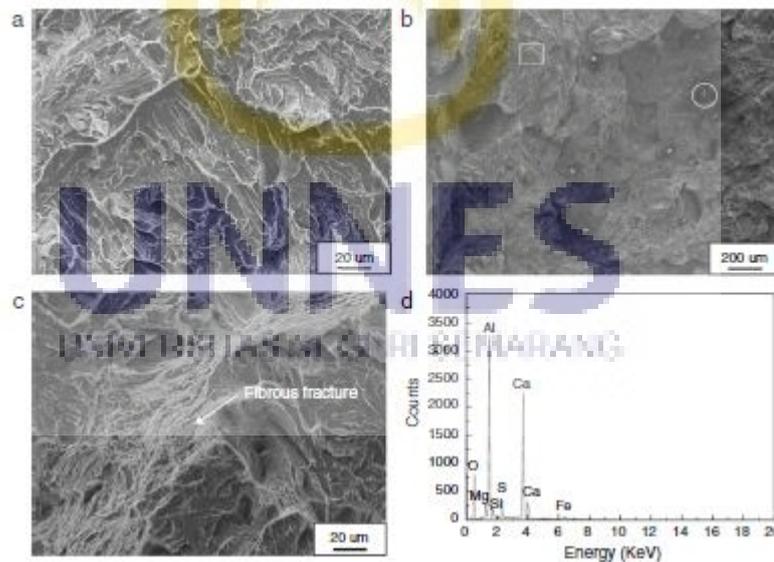
Gambar 2. 20 Log Benar Kekuatan-Log Plot Regangan Benar untuk Spesimen (a) Air Padam dan Spesimen Berusia Selama 5 Jam Pada (b) 470 ° C, (c) 530 ° C, dan (d) 590 ° C.

5. Xingong tao, dkk (2015) telah melakukan penelitian tentang *Microstructure Evolution And Mechanical Properties Of X12 crmowvbn 10-1-1 Steel During Quenching And Tempering Process*. Baja as-terima *austenitized* 1080°C selama 16 jam dan didinginkan dalam tungku, berikut marah dalam dua langkah, yaitu di 570°C selama 18 jam kemudian di 690°C selama 24 jam. Sampel *austenitized* memiliki *martensite* reng khas *structure with* beberapa *austenite* sisa dan tidak ada *ferrit delta* diamati setelah *austenitization*. Setelah *tempering* pertama di 570°C, tidak ada *austenite* tetap tetapi mengakibatkan pembentukan endapan, seperti Cr-kaya M7C3, Cr-kaya M23C6, Cr-kaya M2N, MN Nb kaya, dan subgrain, serta sebagai pengurangan kerapatan dislokasi. Namun, *microstructure observation* setelah *tempering sekunder* terbukti pengaturan

lebih lanjut dari dislokasi, pertumbuhan sub-butir dan menjadi kasar endapan. Kekerasan dan dampak tes dilakukan *outfor* membangun korelasi antara struktur mikro dan sifat mekanik. Analisis *fractographic acareful* sampel dampak, telah dilakukan dengan menggunakan SEM dan EDS.

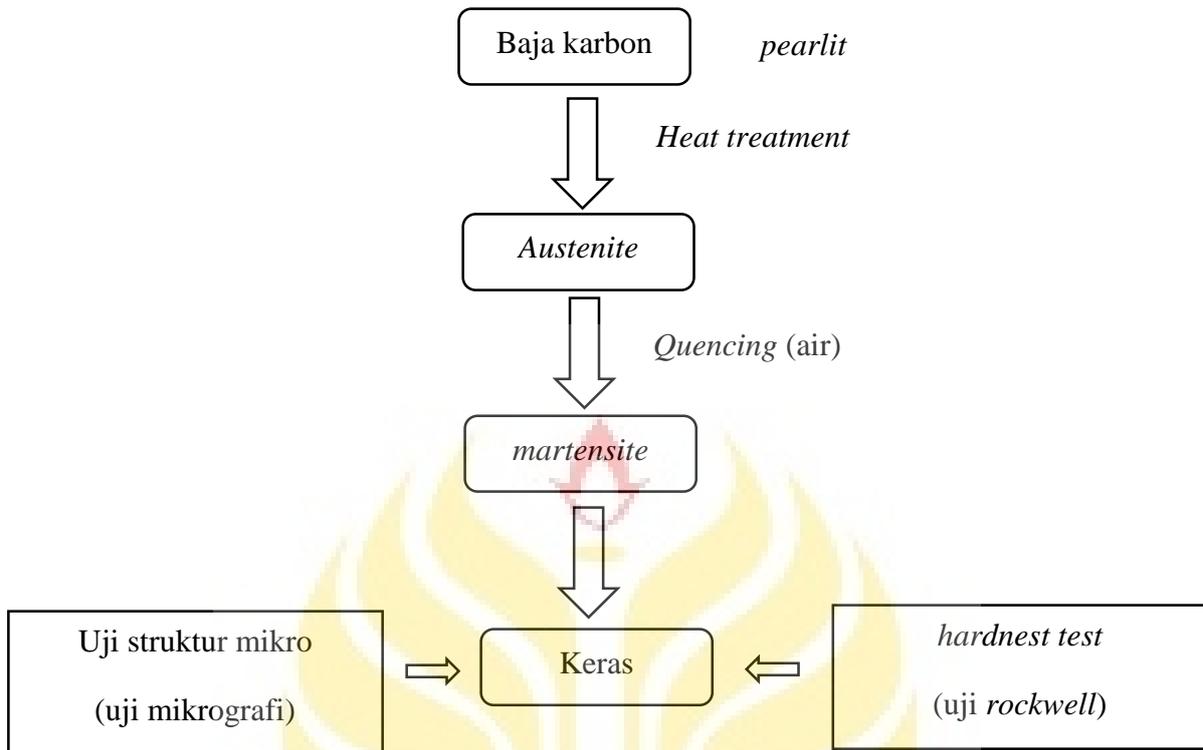


Gambar 2. 21 Grafik Menunjukkan Variasi dalam Sifat Mekanik dalam Menanggapi Proses Perlakuan Panas.



Gambar 2. 22 Mikrograf SEM Permukaan Fraktur Sampel Dampak 1 (a), 2 (b), (c) adalah Tampilan yang diperbesar dari Sebuah Kotak di (b) dan (d) EDS Spektrum Inklusi Non-Logam dilingkari (b) .

C. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 2. 23 Kerangka Pikir Penelitian

Perlakuan panas adalah proses pemanasan baja sampai pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu pula. Tujuan perlakuan panas adalah untuk meningkatkan kekerasan, melunakkan baja, menghaluskan butir kristal. Apabila baja karbon dipanaskan didaerah kritis akan menghasilkan struktur yang halus, sedang pendinginan secara perlahan-lahan dari suhu yang lebih tinggi akan menghasilkan struktur yang lebih kasar.

Salah satu tujuan dari perlakuan panas adalah untuk mendapatkan kekerasan pada permukaan baja yaitu dengan cara *hardening*. *Hardening* adalah usaha untuk meningkatkan sifat material terutama kekerasan dengan cara celup cepat (*quenching*) yang sudah dipanaskan kedalam suatu media *quenching* berupa air.

Proses *hardening* dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu : temperatur, kandungan karbon, waktu penahanan dan media pendinginan. Sedangkan baja yang dapat digunakan untuk *hardening* adalah baja yang mempunyai kadar karbon 0,3 % - 0,6 %. Proses *hardening* tergantung dari suhu, kandungan karbon, waktu dan media pendinginan. Pada waktu awal struktur baja masih berupa *pearlit*, setelah dipanaskan dengan beberapa variasi temperatur, struktur baja berubah menjadi *austenite* kemudian didinginkan dengan media air, struktur baja berubah menjadi *martensite* dan baja menjadi keras.

Nilai kekerasan bahan dapat diketahui dengan melakukan pengujian kekerasan pada benda kerja. Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode pengujian kekerasan *rockwell*. Besarnya suhu pada saat pemanasan menggunakan 3 variasi yaitu 700° C, 825° C, dan 900° C. Adanya variasi suhu pada saat *hardening* tersebut untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap kekerasan dan bentuk struktur mikro baja karbon sedang dengan besar *holding time* yang disesuaikan dengan temperatur. Sedangkan untuk mengetahui bentuk struktur mikro baja setelah dilakukan proses *hardening* maka diperlukan pengujian uji struktur mikro dengan metode foto mikro.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin UGM dengan 10 spesimen uji dengan uraian yaitu 9 spesimen *hardening* dan 1 *non hardening*, variasi suhu yang digunakan dalam *hardening* yaitu 700° C, 825° C dan 900° C kemudian dilakukan uji foto mikro dan pengujian kekerasan dengan menggunakan metode uji kekerasan *rockwell*. Kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Ada pengaruh variasi suhu *hardening* terhadap struktur mikro baja karbon AISI 1045. Menurut hasil pengujian struktur mikro, pada spesimen suhu 700° C memiliki struktur yaitu *ferrite*, *pearlite* dan *martensite* dalam jumlah kecil. Pada spesimen 825° C memiliki struktur *ferrite*, *pearlite* dan *martensite* dalam jumlah banyak. Pada spesimen 900° C memiliki struktur *ferrite*, *pearlite* dan *martensite* dalam jumlah paling banyak. Semakin tinggi suhu *hardening* semakin banyak jumlah struktur *martensite*.
2. Ada pengaruh variasi suhu *hardening* terhadap kekerasan permukaan baja AISI 1045. Menurut hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan, pada suhu 700° C memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 7,94 HRC. Pada 825° C memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 45,93 HRC. Pada suhu 900° C memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 53,83 HRC. Semakin tinggi suhu *hardening* semakin keras permukaan baja AISI 1045.

B. Saran

Berdasarkan simpulan di atas, saran yang dapat direkomendasikan peneliti adalah sebagai berikut :

1. Untuk menghasilkan kekerasan yang tinggi dalam proses *hardening* dengan media air terhadap baja karbon sedang, diperlukan suhu yang tinggi.
2. Diperlukan penelitian lanjutan untuk mengetahui kekerasan baja karbon sedang dengan suhu di atas 900° C.



DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H dan Daryanto. 1999. *Ilmu bahan*. Jakarta : Bumi Aksara
- Arifin, S. 1976. *Ilmu Logam*. Padang : Ghalia Indonesia
- Dieter, G. E. 1986. *Metalurgi mekanik*. Translated by Djaprie, S. 1987. Jakarta : penerbit Erlangga
- Haryadi, G.D. 2005. Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460. *Jurnal Rotasi UNDIP* : Vol 7
- Husain, F. A dan Yuli setyorini. 2013. Pengaruh Variasi Temperatur Austenisasi Pada Proses Heat Treatment Quenching Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Friction Wedge AISI 340. *JURNAL TEKNIK POMITS* Vol. 2, No. 2.
- Iqbal, M. 2008. Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis pada Proses Pengarbonan Pada Baja Karbon Rendah. *Jurnal SMARTek*. Vol 6 no 2
- Jong-ho shin, dkk. 2014. Microstructural evolution and the variation of tensile behavior after aging heat treatment of precipitation hardened martensitic steel. *Journal Elsevier*. Changwon 642-792, Republic of Korea
- Karyanto, E dan Emon Paringga. 2003. *Teknik Mesin Pendingin*. Jakarta : CV Restu Agung3
- Lely Susita R.M., dkk. 1996 . Karakterisasi Struktur Mikro Stainless-Steel Hasil Implant Asi Ion Nitrogen. Yogyakarta : PPNY Batan
- Love, G. 1986. *kerja logam*. Translated by Harun A.R. 1986. Jakarta : Erlangga
- Nofik, M dkk. 2014. Analisis Pengaruh *Heat Treatment* Dengan Media Air Dan Oli Terhadap Struktur Mikro (*Metalography*) Bahan *Piston* Dan Dinding Silinder (*Cylinder Linier*) Pada Motor Bakar. *Jurnal Widya Teknika* Vol.22 No.2.
- Nugroho, S dan Haryadi, G. D . Pengaruh Media *Quenching* Air Tersirkulasi (*Circulated Water*) Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Baja Aisi 1045. UNDIP . Vol 7
- Sardjono, KP. K. 2009. Pengaruh Hardening Pada Baja JIS G 4051 GRADE S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *Jurnal sains dan teknologi* vol. 11 no 2
- Sucahyo, B. 1999. *Ilmu Logam*. Solo: PT Tiga Serangkai Mandiri

- Sudira, T. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Pratama
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R & D*. Bandung : Alfabeta Bandung
- Sujitno, T dan Mujiman, S. 1996. Pengaruh Suhu Dan Waktu Nitridasi Terhadap Kekerasan Permukaan Baja Karbon Rendah AISI 1010 Yang Dinitridasi Dengan Teknik Plasma Lucutan Pijar. Yogyakarta, PPNY-BATAN
- Xingong tao, dkk. 2015. Microstructure evolution and mechanical properties of X12CrMoWVNbN10-1-1 steel during quenching and tempering process. *Journal of materials research and technology*. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, Chinaa

