



**PENGARUH MEDIA PENDINGIN TERHADAP  
STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN LAJU  
KOROSI PADA *HARDENING* BAJA KARBON  
SEDANG**

**SKRIPSI**

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

**UNNES**  
oleh

UNIVERSITAS YAHYA ABDUL MATIEN SEMARANG

5201412019

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

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Yahya Abdul Matien







NIM : 5201412019

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin, S1

Judul Skripsi : Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Laju Korosi pada *Hardening* Baja Karbon Sedang

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

Panitia Ujian

	Tanggal	Tanda Tangan
Ketua	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. 14/6.2016 NIP.197403211999031002	(  )
Sekretaris	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. 14/6.2016 NIP.197403211999031002	(  )
Pembimbing	: Drs. Masugino, M.Pd. 14/6.2016 NIP. 195207211980121001	(  )
Penguji Utama 1	: Drs. Sunyoto M.Si. 14/6.2016 NIP. 196511051991021001	(  )
Penguji Utama 2	: Dr. Rahmat Doni Widodo ST, MT 14/6.2016 NIP: 197509272006041002	(  )
Penguji Pendamping	: Drs. Masugino, M.Pd. 14/6.2016 NIP. 195207211980121001	(  )

Ditetapkan tanggal:

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Teknik

  
UNNES  
Dr. Nur Qadus M.T  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Yahya Abdul Matien  
NIM : 5201412019  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1  
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Laju Korosi pada Hardening Baja Karbon Sedang**" ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 20 Juni 2016

Yang membuat pernyataan



Yahya Abdul Matien

NIM. 5201412019

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### Motto

1. Jika kamu menolong agama Allah, niscaya Dia akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu (Qs. Muhammad: 7)
2. Cukuplah Allah tempat berserah diri bagi kami, sebaik-baik pelindung kami dan sebaik-baik penolong kami.
3. Janganlah kalian tertipu oleh angan-angan kalian. Jangan pula kalian tertipu oleh buku-buku yang kalian baca dan amalan-amalan sunnah yang kalian lakukan sehingga anda melupakan kewajiban besar. (Syaiikh Dr. Abdullah Azzam Rohimahullah)
4. Hidup mulia atau mati syahid.

### Persembahan

Skripsi ini kupersembahkan untuk:

1. Bapak dan ibu tercinta
2. Teman-teman PTM Unnes 2012
3. Almameterku Teknik Mesin Unnes
4. Tema-teman FLSI Ulin Nuha dan Nur Hikmah

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## ABSTRAK

**Matién, Yahya Abdul.** Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Laju Korosi Pada *Hardening* Baja Karbon Sedang. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Drs. Masugino, M.Pd.

Kata Kunci: Media Pendingin, *Hardening*, Struktur Mikro, Kekerasan, Laju Korosi

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh media pendingin terhadap struktur mikro, kekerasan dan laju korosi baja karbon sedang dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air dengan *dromus oil*.

Bahan penelitian adalah baja karbon sedang (kadar karbon 0,414%) berbentuk balok dengan ukuran 30 mm × 25,4 mm × 25,4 mm. Proses *Hardening* dilakukan pada temperatur 840° C dengan *holding time* 2 jam 45 menit, dilanjutkan *quenching* dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air dengan *dromus oil*, kemudian dilakukan foto mikro, pengujian kekerasan (HRC) dan uji laju korosi metode elektrokimia dari masing-masing spesimen dari *raw material* dan tiga media pendingin.

Hasil penelitian yang diperoleh adalah *hardening* air kelapa memiliki rata-rata nilai kekerasan paling tinggi sebesar 35,7 HRC dengan struktur mikro *martensite* berukuran kecil, padat, halus, sedangkan laju korosi spesimen ini paling rendah dengan nilai 5,43 mm/y. *Hardening radiator coolant* memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 26,3 HRC dengan struktur mikro *martensite* berbentuk kasar, sedangkan laju korosi spesimen ini sebesar 5,68 mm/y. *Hardening* kombinasi *dromus oil* dan air memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 9,2 HRC dengan struktur mikro *martensite* berukuran besar dan tidak teratur, sedangkan laju korosi spesimen ini sebesar 6,59 mm/y. Kemudian spesimen yang memiliki nilai kekerasan paling rendah dan laju korosi paling tinggi adalah *raw material*, dengan nilai kekerasan 3 HRC dan kandungan struktur mikro yang didominasi *ferrite*, sedangkan laju korosi sebesar 7,17 mm/y.

Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang kandungan air kelapa, karena memiliki laju pendinginan cepat dan tingkat laju korosi paling lambat.

## PRAKATA

Puji syukur peneliti panjatkan kepada Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Laju Korosi pada *Hardening* Baja Karbon Sedang”.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan hambatan, akan tetapi berkat bimbingan serta kerjasama dari semua pihak sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu peneliti sampaikan hormat dan terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
4. Drs. Masugino, M.Pd. Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya skripsi ini.
5. Drs. Sunyoto M.Si. Dosen Penguji 1 yang telah memberikan masukan dan pengarahan hingga selesainya skripsi ini.
6. Dr. Rahmat Doni Widodo ST. MT. Dosen Penguji 2 yang telah memberikan masukan dan pengarahan hingga selesainya skripsi ini.
7. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Unnes yang telah memberikan ilmu selama ini.
8. Semua pihak tanpa terkecuali yang telah banyak membantu selesainya penulisan skripsi ini.

Akhirnya peneliti berharap semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca.

Semarang, 3 Juni 2016

  
Peneliti



**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>PRAKATA</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	4
C. Pembatasan Masalah .....	4
D. Rumusan Masalah .....	5
E. Tujuan .....	6
F. Manfaat .....	6
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	8
A. Kajian Teori .....	8
1. Sifat-sifat logam .....	8
2. Korosi .....	10



3. Baja.....	12
4. Struktur baja .....	13
5. <i>Heat treatment</i> .....	16
6. <i>Hardening</i> .....	17
7. Media pendingin.....	19
8. Foto mikro .....	21
9. Uji kekerasan .....	23
10. Uji laju korosi .....	26
B. Kajian Penelitian Relevan .....	29
C. Kerangka Pikir.....	32
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>34</b>
A. Jenis Penelitian .....	34
B. Jenis Penelitian .....	34
C. Bahan Penelitian.....	35
D. Alat dan Skema Peralatan Penelitian.....	36
E. Waktu dan Pelaksanaan Penelitian .....	41
F. Prosedur Penelitian.....	41
1. Diagram Alir Penelitian.....	42
2. Proses Penelitian.....	43
3. Data Penelitian .....	51
4. Analisis Data Penelitian .....	51
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN.....</b>	<b>52</b>
A. Hasil Penelitian .....	52
1. Foto mikro .....	52

2. Nilai kekerasan .....	56
3. Laju korosi.....	62
B. Pembahasan .....	66
1. Foto mikro .....	66
2. Nilai kekerasan .....	68
3. Laju korosi.....	70
C. Keterbatasan Penelitian.....	72
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>74</b>
A. Kesimpulan.....	74
B. Saran.....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>77</b>



## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol	Arti
$\sigma_t$	Kekuatan tarik ( $\text{Kg/mm}^2$ )
HRC	<i>Hardness Rockwell C</i> ( $C = 150 \text{ Kg}$ )
mV	Mili Volt
$i_{kor}$	Rapat arus korosi
$\eta_c$	Perpotongan garis tafel reaksi reduksi
$E_{kor}$	Garis potensial korosi
$\eta_a$	Tafel reaksi oksidasi
$i_c$	Arus pada reaksi katoda
$i_a$	Arus pada reaksi anoda
$\beta_c$	Gradien tafel reaksi katoda
$\beta_a$	Gradien tafel reaksi anoda
NaCl	Natrium Clorida
mpy	Mili inch per <i>year</i> ( tahun)
mm/y	Mili meter / <i>year</i> ( tahun)
$\mu\text{m/yr}$	Mikrometer / <i>year</i> ( tahun)
nm/yr	Nanometer / <i>year</i> ( tahun)
pm/sec	petameter / <i>second</i>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Terbentuknya <i>atoda</i> dan <i>katoda</i> .....	11
Tabel 2.2 <i> Holding Time</i> .....	17
Tabel 2.3 Perbandingan celup cepat dan pendinginan lambat.....	19
Tabel 2.4 Komposisi dan sifat kimia <i>dromus oil</i> .....	20
Tabel 2.5 Spesifikasi Pertamina <i>Radiator Coolant</i> .....	20
Tabel 2.6 Skala Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	24
Tabel 3.1 Daftar Spesimen.....	36
Tabel 3.2 Hasil Uji Komposisi Kimia.....	43
Tabel 3.3 Waktu <i> Holding Time</i> berdasarkan jenis baja.....	44
Tabel 4.1 Nilai Kekerasan <i>Raw Material</i> .....	57
Tabel 4.2 Nilai kekerasan <i>QuenchingRadiator Coolant</i> .....	58
Tabel 4.3 Nilai kekerasan <i>Quenching Air Kelapa</i> .....	59
Tabel 4.4 Nilai kekerasan <i>QuenchingDromus Oil</i> .....	60
Tabel 4.5 Hasil uji kekerasan semua material.....	61
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Rapat Arus.....	64
Tabel 4.7 Hasil Uji Laju Korosi .....	65
Tabel 4.8 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi .....	72

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Kristal logam.....	13
Gambar 2.2 Struktur <i>Ferrite</i> Baja lunak .....	14
Gambar 2.3 Struktur <i>Pearlite</i> .....	15
Gambar 2.4 Struktur <i>Sementite</i> .....	15
Gambar 2.5 Struktur <i>Martensite</i> .....	16
Gambar 2.6 Diagram Fe-C / fasa .....	18
Gambar 2.7 Perbandingan dimensi penekanan pengujian kekerasan .....	23
Gambar 2.8 Pengujian <i>Rockwell</i> .....	25
Gambar 2.9 Skema alat uji korosi tipe sel 3 elektroda.....	27
Gambar 2.10 Diagram kurva potensial vs logaritma intensitas arus.....	28
Gambar 2.11 Kerangka Pikir.....	33
Gambar 3.1 Spesimen baja karbon sedang .....	35
Gambar 3.2 Mesin uji komposisi .....	37
Gambar 3.3 Foto Mikro .....	38
Gambar 3.4 Alat uji kekerasan <i>Hardness Rockwell Tester</i> .....	39
Gambar 3.5 Skema pengujian laju korosi .....	40
Gambar 3.6 <i>Furnace</i> .....	40
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian.....	42
Gambar 3.8 Diagram Fe-C.....	45
Gambar 3.9 Grafik hubungan waktu dan temperatur <i>Hardening</i> .....	46

Gambar 3.10	Proses uji kekerasan <i>Rockwell</i> (HRC).....	47
Gambar 3.11	Titik Indentasi .....	47
Gambar 3.12	Hasil Pembangkaian.....	48
Gambar 3.13	Proses Foto mikro .....	48
Gambar 3.14	Spesimen Uji korosi .....	49
Gambar 3.15	Alat uji sel 3 elektroda .....	50
Gambar 3.16	Skema alat uji laju korosi sel 3 elektroda.....	50
Gambar 4.1	Grafik nilai kekerasan <i>raw material</i> .....	52
Gambar 4.2	Grafik nilai kekerasan <i>Quenching Radiator Coolant</i> .....	53
Gambar 4.3	Grafik nilai kekerasan <i>Quenching</i> air kelapa .....	53
Gambar 4.4	Grafik nilai kekerasan <i>Quenching dromus oil</i> .....	54
Gambar 4.5	Grafik rata-rata nilai kekerasan <i>Quenching</i> .....	54
Gambar 4.6	Standar foto mikro baja karbon sedang sebelum perlakuan.....	55
Gambar 4.7	Foto mikro <i>raw material</i> perbesaran 200x.....	55
Gambar 4.8	Foto mikro <i>Quenching radiator coolant</i> perbesaran 100x.....	56
Gambar 4.9	Foto mikro <i>Quenching radiator coolant</i> perbesaran 200x.....	57
Gambar 4.10	Foto mikro <i>Quenching</i> air kelapa perbesaran 100x .....	58
Gambar 4.11	Foto mikroFoto mikro <i>Quenching</i> air kelapa perbesaran 200x.	59
Gambar 4.12	Foto mikro <i>Quenching dromus oil</i> perbesaran 100x.....	60
Gambar 4.13	Foto mikro <i>Quenching dromus oil</i> perbesaran 200x.....	62
Gambar 4.14	Kurva potensial vs log intensitas arus <i>quenchingraw material</i> .	63
Gambar 4.15	Kurva potensial vs log intensitas arus <i>quenchingr. coolant</i> .....	63

Gambar 4.16 Kurva potensial vs log intensitas arus <i>quenching</i> dromus oil ....	63
Gambar 4.17 Kurva potensial vs log intensitas arus <i>quenching</i> air kelapa.....	64
Gambar 4.18 Grafik hasil laju korosi.....	65



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
1	Surat Tugas Pembimbing dan penguji	80
2	Surat Ijin Penelitian	82
3	Data Hasil Uji Komposisi	85
4	Data Hasil Uji Kekerasan	86
5	Data Hasil Uji Laju Korosi	87
6	Foto-Foto Penelitian	88





# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Baja karbon sedang merupakan logam yang digunakan untuk memproduksi komponen mesin berkekuatan sedang seperti poros, roda gigi, mandrel. Karena memiliki kandungan karbon sedang baja ini mudah dikerjakan dengan berbagai peralatan pemesian maupun perkakas dan dibentuk sesuai kebutuhan, karena sifatnya yang ulet dan lunak. Harga baja karbon sedang lebih murah dan mudah ditemukan di pasar material logam dibandingkan baja lainnya. Baja karbon sedang kandungan karbonnya 0,3%-0,6% . Berdasarkan kandungan karbon tersebut baja karbon sedang mempunyai potensi yang cukup besar untuk digunakan sebagai material baku komponen mesin namun karena kandungan karbonnya dibawah 0,6% maka baja tersebut harus diberi *heat treatment* (perlakuan panas) untuk memperoleh sifat-sifat sesuai penggunaannya dari sifat lunak hingga sifat keras.

Proses perlakuan panas secara umum terdiri dari proses *hardening*, *tempering*, *carburizing* dan *annealing*. Faktor yang mempengaruhi kekerasan *heat treatment* adalah temperatur, *holding time* (waktu penahanan) dan media pendingin. Pada penelitian ini akan fokus pada *hardening* khususnya pada penggunaan media pendingin proses *quenching*. "*quenching* (celup cepat) adalah salah satu perlakuan panas dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan dalam suatu media pendingin misal air atau oli untuk memperoleh sifat mekanik yang lebih keras" (Bahtiar *et al.*,2008).

Media pendingin yang digunakan berpengaruh terhadap laju pendinginan dalam terbentuknya struktur *martensite* hasil transformasi *austenite*. *Martensite* inilah yang akan menentukan seberapa jauh peningkatan sifat mekanis hasil perlakuan panas. Media pendingin selain mempengaruhi sifat mekanis dapat mempengaruhi sifat fisis. Pada penelitian Rabiatul Adawiyah *et al* (2014), Variasi media pendingin terhadap struktur mikro pada media air garam memiliki harga *ferrit* 29,8% dan *martensit* 70,2% sedangkan media pendingin oli memiliki harga *ferrit* 37% dan *martensit* 63% dan media air biasa memiliki harga *ferrit* 38,3% dan *martensit* 61,7%. Selain mempengaruhi sifat fisis dan mekanis media pendingin juga berpengaruh terhadap korosi suatu material dikarenakan material bersentuhan langsung dengan cairan saat *quenching* padahal korosi sendiri memberikan kerugian 5% dalam perusahaan. Salah satu penyebab terjadinya korosi pada baja dan logam adalah perlakuan panas. Perlakuan panas pada baja akan mempengaruhi pada korosi sebagai akibat adanya pengendapan fasa lain atau peningkatan dan penurunan tegangan, suatu endapan dapat bersifat anodik atau katodik terhadap matriks logamnya, dengan perlakuan panas bila timbul endapan akan terbentuk anoda dan katoda yang menyebabkan timbulnya korosi (Supardi R.,1997:169).

Pada penelitian sebelumnya untuk mencapai sifat-sifat logam yang sesuai variasi yang dilakukan adalah temperatur, variasi *holding time* (waktu penahanan) serta media pendingin oli, air garam dan air. Pada penelitian ini penulis menggunakan media pendingin yang memiliki nilai kekentalan rendah seperti air tetapi lebih cepat menyerap panas dan ramah terhadap logam. Media pendingin tersebut adalah air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air dengan *dromus oil*,

dipilihnya air kelapa muda karena air kelapa muda mempunyai kandungan elektrolit yang lebih besar dibanding air putih biasa. Berdasarkan penelitian Hendi Saputra *et al* (2014), Kekuatan tarik baja St 37 pasca pengelasan dengan media pendingin air kelapa didapatkan nilai kekuatan tarik terendah rata-rata 49,764 kg/mm<sup>2</sup> dibanding media oli bekas dan air garam, maka patut diduga air kelapa dapat digunakan sebagai media pendingin *hardening*. Kombinasi air dromus oil dipilih dikarenakan cairan ini memiliki nilai kekentalan yang rendah dan sebanding dengan air kelapa dan air serta didesain khusus sebagai pendingin yang berinteraksi langsung dengan logam dalam keadaan temperatur tinggi. Pada penelitian Wahyu Candra (2014), diperoleh Hasil penelitian nilai rata-rata kekuatan tarik baja St 60 pada proses *hardening tempering* menggunakan kadar dromus oil 10% dalam media pendingin adalah 1560.986 MPa, nilai rata-rata kekuatan tarik baja St 60 dengan kadar dromus oil 20% adalah 1546.402 MPa dan nilai rata-rata kekuatan tarik baja St 60 dengan kadar dromus oil 30% adalah 1528.353 MPa. Menindaklanjuti penelitian tersebut maka penggunaan dromus oil sebagai media pendingin dapat dikaitkan dengan nilai kekerasan yang diperoleh dengan bahan yang berbeda.

Penggunaan *radiator coolant* sebagai media pencelupan *quenching* dikarenakan *radiator coolant* mengandung *ethylene glycol* dan *additive* yang berguna menaikkan titik didih dan mencegah terjadinya korosi.

Berdasarkan identifikasi tersebut perlu diadakan penelitian “**Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Laju Korosi pada *Hardening* Baja Karbon Sedang**”.

## B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, ditemukan berbagai permasalahan yang muncul dalam penelitian ini. Masalah tersebut adalah :

1. Perlakuan *hardening* suatu material dipengaruhi oleh temperatur yang ditentukan, pemilihan media pendingin, metode pendinginan, dan waktu penahanan temperatur.
2. Baja karbon sedang setelah *hardening* akan menimbulkan perubahan sifat fisis berupa warna, struktur mikro, bentuk dan sifat mekanis berupa kekerasan, ketangguhan, dan keuletan.
3. Media pendingin yang sering dipakai pada penelitian sebelumnya adalah oli, air garam, dan air yang dihubungkan dengan kekerasan, ketangguhan tapi tidak mempertimbangkan korosi material.
4. Media pendingin *hardening* menimbulkan perubahan sifat fisis berupa warna, struktur mikro, bentuk dan mekanis berupa kekerasan, ketangguhan, dan keuletan berbeda.
5. Salah satu penyebab timbulnya korosi pada material baja karbon adalah perlakuan panas dengan pendinginan cepat.

## C. Pembatasan Masalah

Setelah semua masalah teridentifikasi langkah selanjutnya adalah membatasi masalah supaya sesuai dengan variabel-variabel yang ditentukan:

1. Proses *hardening* dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satu faktor yang menjadi penelitian ini adalah media pendingin yang digunakan.

2. Media pendingin yang digunakan adalah air kelapa muda, *radiator coolant* dan kombinasi air dan *dromus oil* dengan perbandingan air 80% dan *dromus* 20%.
3. Identifikasi perubahan dan perbandingan sifat fisis berupa struktur mikro sedangkan mekanis nilai kekerasan disertai laju korosi dari spesimen yang diambil dari masing-masing media pendingin.
4. Metode untuk mengamati struktur mikro menggunakan mikroskop metalurgi dan metode uji kekerasan adalah *rockwell*.
5. Bahan yang digunakan adalah baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,3%-0,6% berbentuk Balok.

#### **D. Rumusan Masalah**

Masalah-masalah yang telah diuraikan pada identifikasi masalah telah dibatasi pada pembatasan masalah sampai menghasilkan permasalahan utama. Permasalahan yang akan diungkap dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana struktur mikro yang terdiri dari *ferrite*, *pearlite* dan *martensite* dari spesimen baja karbon sedang setelah *hardening* (pengerasan) dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air *dromus oil*.
2. Berapa besar nilai kekerasan spesimen baja karbon sedang setelah *hardening* (pengerasan) dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air *dromus oil*.
3. Berapa besar laju korosi yang ditimbulkan spesimen baja karbon sedang setelah *hardening* (pengerasan) dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air *dromus oil*.

## E. Tujuan

1. Mengetahui struktur mikro yang terdiri *ferrite*, *pearlite* dan *martensite* dari spesimen baja karbon sedang setelah *hardening* dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air *dromus oil*.
2. Mengetahui nilai kekerasan spesimen baja karbon sedang setelah *hardening* dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air *dromus oil*.
3. Mengetahui laju korosi yang ditimbulkan spesimen baja karbon sedang setelah *hardening* dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air *dromus oil*.

## F. Manfaat

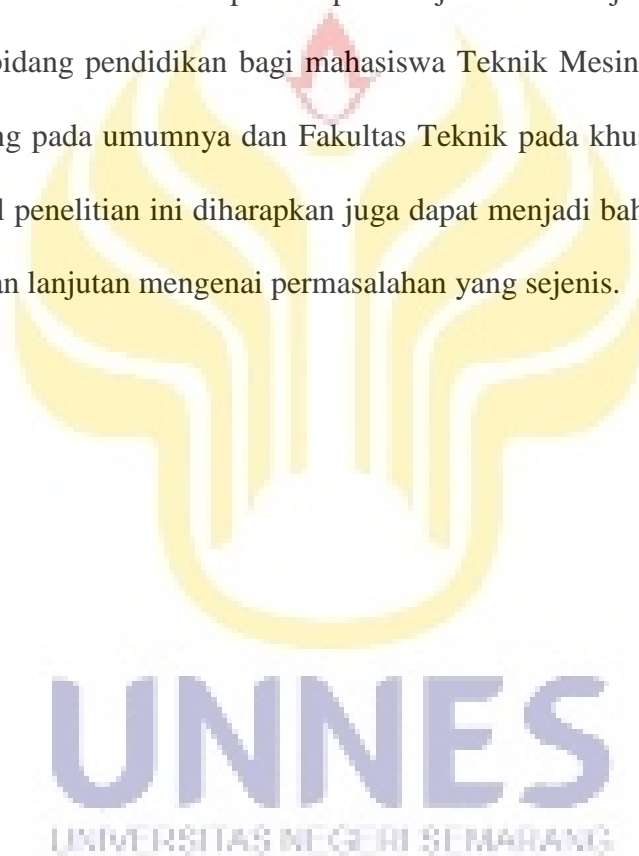
### Teoritis

1. Dari penelitian ini dihasilkan beberapa spesimen baja karbon sedang setelah *hardening* dengan media pendingin yang berbeda dengan hasil nilai kekerasan, kandungan struktur mikro dan laju korosi yang berbeda. Dari hasil tersebut pekerja yang hendak memproduksi suatu komponen dapat menjadikan acuan dalam memilih material yang sudah *hardening* dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi air *dromus oil*.
2. Setelah didapatkan hasil yang berbeda tentang karakteristik nilai kekerasan, struktur mikro dan laju korosi dari setelah *hardening* dengan media pendingin yang berbeda. Diharapkan ada perkembangan yang berkelanjutan. Misalnya analisis kerapuhan, keuletan, ketangguhan dari material yang

berbeda dan variasi material Tembaga, Al dan besi dengan kandungan karbon yang berbeda.

### **Praktis**

1. Memberikan sumbangan pemikiran yang mengarah pada ilmu bahan khususnya pada pihak yang bergerak dibidang perancangan maupun lembaga pendidikan dan pelatihan Teknik Mesin.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan kajian maupun referensi ilmiah bidang pendidikan bagi mahasiswa Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang pada umumnya dan Fakultas Teknik pada khususnya. Di samping itu, hasil penelitian ini diharapkan juga dapat menjadi bahan penelitian untuk penelitian lanjutan mengenai permasalahan yang sejenis.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Kajian Teori

##### 1. Sifat-sifat Logam

Setiap jenis dan tipe logam mempunyai daya tahan terhadap berbagai perlakuan, mulai dari pembebanan, perlakuan panas, interaksi dengan cairan, menerima gaya dari luar dan lain sebagainya. Dari berbagai perlakuan tersebut akan berpengaruh terhadap sifat-sifat logam. Sifat-sifat logam antara lain sebagai berikut :

###### a. Sifat Mekanis

Sifat mekanis adalah kemampuan bahan untuk menerima pembebanan atau untuk menahan beban yang diterimanya baik beban statis maupun beban dinamis. Sifat mekanis terdiri dari aspek-aspek berikut:

###### 1) Kekuatan (*strenght*)

Kekuatan ditentukan berdasarkan pembebanan, untuk mendeteksi kekuatan material khususnya baja diperlukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik untuk menentukan kualitas bahan adalah: Pengujian tarik, pengujian bending, pengujian *impact*, pengujian densitas dll.

###### 2) Kelelahan

Kelelahan merupakan kemampuan maksimal suatu bahan ketika menerima beban yang berganti-ganti secara terus-menerus dalam jangka waktu tertentu. Patahan lelah disebabkan oleh tegangan yang berulang dan dijumpai pada tegangan kurang dari 1/3 kekuatan tarik statik pada bahan struktur tanpa



konsentrasi tegangan. Semua patahan disebabkan kelelahan melalui tahapan proses: terjadi retakan lelah → perambatan retakan lelah → patahan statik terhadap luas penampang sisa (Surdia T.,1987:36).

### 3) Keausan

Keausan adalah friksi atau gesekan yang diakibatkan pergerakan relatif dengan tekanan pada bidang kontak. Setelah terjadi gesekan berlanjut menjadi abrasi yang akan merusak ketelitian komponen dan berkembang menjadi lebih parah sampai komponen mesin kehilangan fungsinya (Surdia T.,1987:37-39).

### 4) Mulur

Mulur terjadi apabila diberikan suatu tegangan melampaui batas elastik, maka perpanjangan permanen terjadi pada batang uji tersebut. Perpanjangan tersebut dinamakan deformasi plastis dan tegangan terendah dimana deformasi plastis terjadi disebut mulur (Surdia T.,1987:10).

### 5) Kekerasan (*hardness*)

Kekerasan (*hardness*) didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya. Menurut Djapri (1986:31). Pada umumnya kekerasan adalah ketahanan terhadap deformasi plastis dan permanen. Pada proses *heat treatment* yang memengaruhi tingkat kekerasan baja adalah kecepatan pendinginannya karena makin cepat laju pendinginan maka kekerasan semakin tinggi.

### b. Sifat Fisis

Sifat fisis adalah sifat karena mengalami peristiwa fisika, seperti adanya pengaruh panas dan listrik.

- 1) Sifat karena pengaruh panas antara lain mencair, perubahan ukuran dan struktur mikro karena proses pemanasan, untuk melihat perubahan struktur mikro melalui proses uji struktur mikro dengan alat foto mikroskop.
- 2) Sifat listrik yang sering ditemui adalah tahanan dari suatu bahan terhadap aliran listrik atau sebaliknya.

c. Sifat Kimia.

Sifat kimia suatu bahan mencakup kelarutan bahan tersebut pada larutan basa atau garam, dan pengoksidan bahan tersebut. Hampir semua sifat kimia erat hubungannya dengan kerusakan secara kimia. Kerusakan tersebut berupa korosi dan ketahanan bahan terhadap serangan korosi.

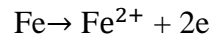
## 2. Korosi

Korosi juga dapat diartikan proses degradasi atau deteorisasi atau perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekelilingnya, yang dimaksud lingkungan sekelilingnya dapat berupa udara dengan sinar matahari, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan tanah (Supardi R., 1997:1).

Korosi pada logam terjadi akibat reaksi kimia dimana pada temperatur tinggi antara logam dan gas atau terjadi elektrokimia dalam lingkungan air atau udara basah. Reaksi kimia adalah reaksi  $O_2$  dari udara dan terjadi saat temperatur tinggi, hingga terjadi lapisan oksida. Lapisan oksida berpengaruh pada korosi berikutnya seperti korosi temperatur tinggi pada penempaan logam dll.

Selain reaksi kimia penyebab korosi logam adalah reaksi elektrokimia karena pengaruh air, uap air atau elektrolit lainnya seperti garam, asam, basa yang akan larut dalam air kemudian dalam air terjadi ionisasi. Disebut reaksi

elektrokimia karena pada reaksi itu terjadi muatan listrik dan elektron (Supardi,1997:141-142).



Salah satu penyebab korosi pada baja atau besi adalah adanya perlakuan panas, hal ini terjadi akibat adanya pengendapan fasa lain dan peningkatan atau penurunan tegangan. Suatu tegangan bersifat anodik atau katodik terhadap matriks logamnya. Perlakuan panas bila timbul endapan maka akan terbentuk *katoda* dan *anoda* yang menjadi penyebab timbulnya korosi (Supardi,1997:169).

Tabel 2.1 Terbentuknya *anoda* dan *katoda*

Kondisi	Anoda	Katoda
Logam berbeda: Fe – Cu	Fe	Cu
Zn – Cu	Zn	Fe
Fasa berbeda : $\alpha$ - $\text{Fe}_3\text{C}$	A	$\text{Fe}_3\text{C}$
Suhu	Panas	Dingin
Tegangan	tegang	Rileks
Butiran logam	Halus	Kasar
Kadar $\text{O}_2$	Rendah	Tinggi
Kotoran (debu)	Tengah	Pinggir

(Sumber: Rachmad Supardi,1997:6)

Pengerjaan akhir perlakuan panas adalah *quenching* (pencelupan) dalam media cair sehingga kecepatan korosi dalam hal ini akan naik dan korosinya dalam keadaan maksimal. Korosi terjadi karena terbentuknya  $\text{Fe}_3\text{C}$  (pada  $400^\circ\text{C}$ ) dan akan diserang korosi disekitarnya, hingga  $\text{Fe}_3\text{C}$  akan habis akibat terjadinya korosi. Pada saat mendinginkan baja karbon dari  $\gamma$  pada temperatur  $700^\circ\text{C}$  akan terbentuk *pearlite*, karena terbentuk *pearlite* baja karbon *pearlite* mempunyai

kecepatan korosi yang lambat meskipun masih ada *sementite* (Supardi R.,199:168-169).

### 3. Baja

Baja didefinisikan suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya. Disamping itu baja mengandung unsur campuran lainnya seperti sulfur (S) 0,05%, fosfor (P) 0,5%, silikon (Si) 0,1-0,3%, mangan (Mn) > 1% dan kandungan karbon sekitar 0,1 - 1,7 % sedangkan unsur lainnya dibatasi khusus (Amanto,1999:22). Menurut kandungan karbonnya (C) baja karbon diklasifikasikan menjadi menjadi tiga macam :

#### a. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah merupakan bukan baja yang keras karena kadar karbonnya sedikit. Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas yang mengandung karbon kurang dari 0,3%. Baja ini dapat dijadikan mur, baut, ulir sekrup dan lain-lain (Amanto, 1999:33).

#### b. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang merupakan baja dengan kandungan karbon 0,3–0,6%, cukup keras dibandingkan dengan baja karbon rendah. Baja ini memungkinkan untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang digunakan untuk roda gigi, poros engkol, ragum dan sebagainya (Amanto, 1999:33).

#### c. Baja karbon Tinggi

Baja karbon tinggi mempunyai kandungan karbon 0,6–1,5%, baja ini sangat keras namun keuletannya rendah, biasanya digunakan untuk alat potong seperti gergaji, pahat, kikir dan lain sebagainya. Karena baja karbon tinggi sangat

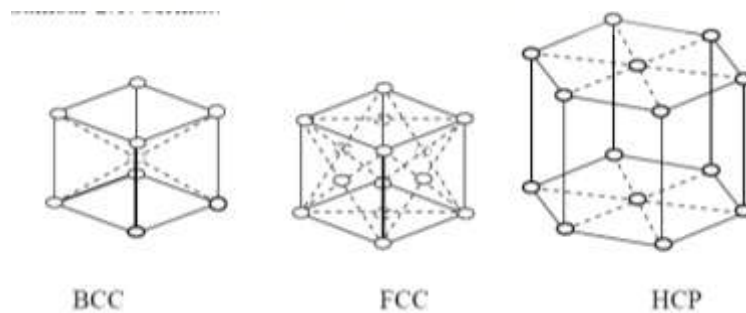
keras, maka jika digunakan untuk produksi harus dikerjakan dalam keadaan panas (Amanto, 1999:33).

#### 4. Struktur Baja

Struktur adalah bangun dalam dari suatu macam zat. Kebanyakan zat itu tersusun dari atom-atom atau molekul-molekul (Rohyana,1999:76). “Logam terdiri dari atom-atom yang tersusun secara teratur dan membentuk sel-sel satuan kemudian membentuk kristal-kristal yang berbentuk butiran” (Arifin,1977:72).

Kristal yang timbul pada suatu logam akan membesar bersama-sama, karena kristal yang timbul membesar bersama-sama, maka kristal yang terjadi kecil-kecil dan bersambungan rapat antara satu dengan yang lain sehingga logam menjadi kuat dan kokoh. Kristal-kristal yang timbul pada suatu logam mempunyai 3 macam bentuk sebagai berikut :

- a. Kubus berpusat sisi (muka) atau *face centered cubic* yang disingkat FCC, pada setiap atom kristal dikelilingi oleh 12 atom lainnya.
- b. Kubus berpusat badan (dalam) atau *body centered cubic* yang disingkat BCC, pada setiap atom kristal dikelilingi oleh 8 atom lainnya.
- c. *Hexagonal* rapat atau *hexagonal close packet* yang disingkat dengan HCP, pada setiap atom kristal dikelilingi oleh 12 atom lainnya (Arifin,1977:75).



Gambar 2.1 Kristal logam

Macam-macam struktur logam :

a. Struktur *ferrite*

Struktur *ferrite* sering disebut juga besi murni. Struktur *ferrite* dapat berubah-ubah apabila dipanaskan :

1) Besi murni atau besi alfa ( $\alpha$ )

Struktur besi murni *ferrite* atau besi alfa, dibawah suhu  $723^{\circ}\text{C}$ , sifatnya magnetis dan lunak serta susunan kristalnya berbentuk kubus pusat ruang (BBC), seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur *ferrite* baja lunak

2) Besi beta ( $\beta$ )

Struktur *ferrite* pada suhu  $768^{\circ}\text{C}$ - $910^{\circ}\text{C}$  mulai berubah sifat dari magnetis menjadi tidak magnetis yang disebut besi beta, susunan kristalnya mulai berubah dari kubus pusat ruang (BCC) menjadi kubus pusat bidang (FCC).

3) Besi gamma (besi  $\gamma$ )

Struktur *ferrite* pada suhu  $910^{\circ}\text{C}$ - $1391^{\circ}\text{C}$  mulai berubah menjadi struktur *austenite* (besi gamma) yang mempunyai sifat tidak magnetis serta susunan kristalnya dalam bentuk kubus pusat bidang (FCC) .

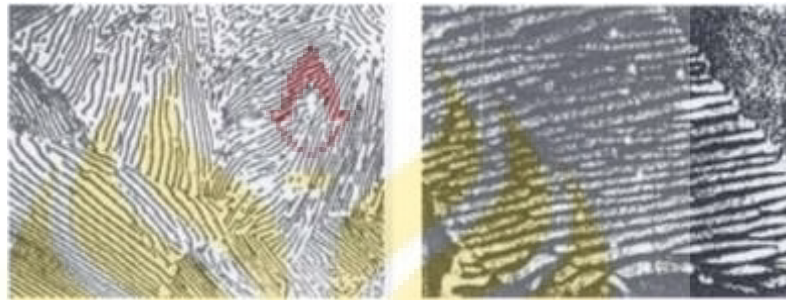
4) Besi delta (besi  $\delta$ )

Struktur *ferrite* yang sudah menjadi struktur *austenite* pada suhu  $1392^{\circ}\text{C}$  sampai mencair pada suhu  $1539^{\circ}\text{C}$  berubah menjadi besi delta yang susunan

kristalnya sama dengan besi dalam bentuk kubus pusat ruang (BCC) tapi jarak antar atomnya lebih besar (Kurniawan,2007).

b. Struktur *Pearlite*

*Pearlite* adalah campuran *eutektoid* dari *ferrite* dan *sementite* yang mengandung 0,83%C. Fase ini terjadi dibawah temperatur 723°C. Sifat-sifat besi ini lebih keras dan lebih kuat dari pada *ferrite* (Arifin,1977:94).



Gambar 2.3. Struktur *pearlite*

c. Struktur *Sementite*

*Sementite* disebut juga karbid besi atau  $Fe_3C$  yang mengandung 6,67 % C. Sifat-sifat besi ini keras, rapuh dan magnetis sampai pemanasan 210°C tapi diatas temperatur 210°C tidak megnetis lagi (Arifin,1977:94).



Gambar 2.4. Struktur *sementite*

d. Struktur *Austenite*

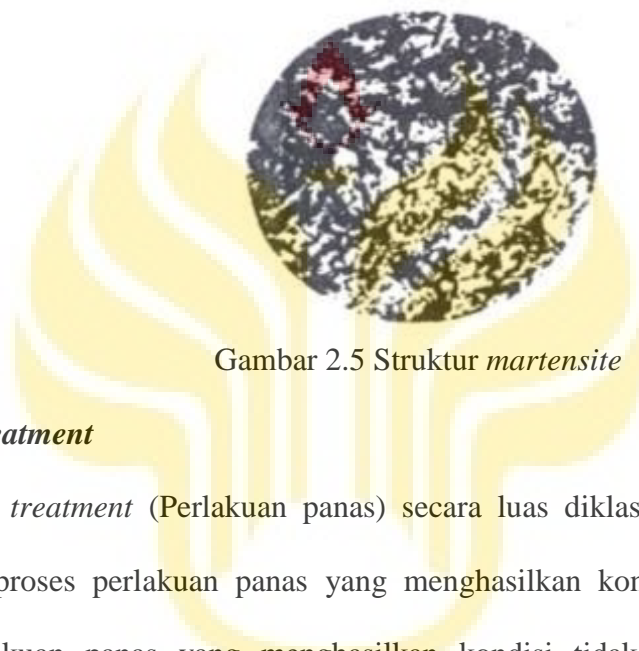
*Austenite* yaitu besi gamma ( $\gamma$ ) yaitu larutan padat dari karbon pada besi dengan sel kubus berpusat sisi atau muka. Fase ini diatas temperatur 723°C. Sifat-



sifat dari baja *austenite* adalah lunak, tidak magnetis dan dapat ditempa (Arifin,1977:94).

#### e. Struktur *Martensite*

Struktur *martensite* sifatnya sangat keras dengan susunan kristalnya berbentuk kubus pusat tetragonal (BCT). Struktur *martensite* seperti terlihat pada Gambar 2.5 dibawah ini (Kurniawan,2007).



Gambar 2.5 Struktur *martensite*

## 5. *Heat Treatment*

*Heat treatment* (Perlakuan panas) secara luas diklasifikasikan atas dua jenis yaitu proses perlakuan panas yang menghasilkan kondisi seimbang dan proses perlakuan panas yang menghasilkan kondisi tidak seimbang. Dalam kondisi seimbang baja mempunyai kekuatan dan kekerasan yang kurang, tetapi kekenyalannya lebih tinggi kondisi yang tidak seimbang. Perlakuan panas yang seimbang adalah proses *annealing* (pemijaran dingin), proses ini didefinisikan sebagai pemanasan pada suhu yang sesuai diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang sesuai. Kemudian perlakuan panas yang tidak seimbang adalah *hardening* (pengerasan) dan *tempering* (penyepuhan), pada proses *hardening* baja dipanaskan untuk menghasilkan struktur austenit dan selanjutnya didinginkan. Sedangkan *tempering* (penyepuhan) baja dipanaskan kembali pada suhu kritis terendah setelah dilakukan pengerasan untuk memperbaiki kekuatan dan



kekenyalannya (Amanto,1999:72). Pada penelitian ini jenis perlakuan panas yang digunakan adalah perlakuan panas yang menghasilkan kondisi yang tidak seimbang yaitu *hardening*.

## 6. *Hardening* (Pengerasan)

Proses *hardening* (pengerasan) berguna untuk memperbaiki kekerasan dari baja tanpa mengubah komposisi kimia secara keseluruhan (Bahtiar *et al.*,2004). Temperatur Baja karbon rendah *hipoeutektoid* sekitar 20-50°C diatas garis A3, berdasarkan diagram Fe-C garis A3 temperaturnya antara 840°C-900°C. Setelah dipanaskan mencapai temperatur *austenite*, temperatur ditahan atau *holding time* untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan. Pedoman untuk menentukan waktu penahanan dari berbagai baja dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 *Holding Time*

Jenis Baja	Waktu Tahan <i>Holding Time</i>
Baja karbon rendah dan paduan rendah	5 – 15 menit
Baja paduan menengah	15 – 25 menit
<i>Low alloy tool steel</i>	10 – 30 menit
<i>High alloy tool steel</i>	10 – 60 menit
<i>Hot- work tool steel</i>	15 – 30 menit

(Sumber:Agus Pramono,2011:34)

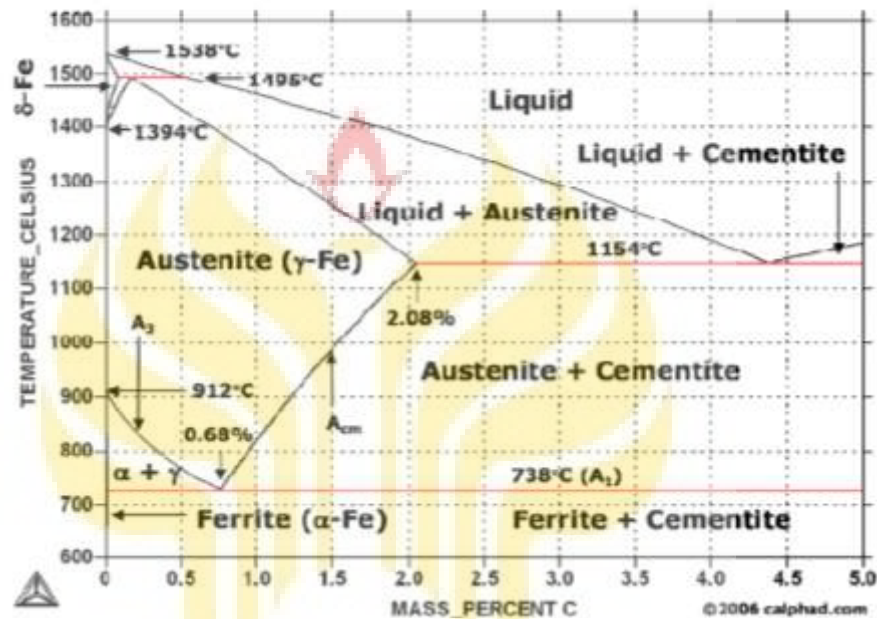
Ketebalan benda uji juga mempengaruhi waktu penahan pada proses *hardening*. Secara matematis pemberian waktu penahanan terhadap benda uji dapat ditulis pada persamaan berikut.

$$T = 1,4 \times H$$

T = Waktu penahanan (menit)

H = Tebal benda kerja (mm)

Sifat-sifat dalam baja terbentuk karena dipengaruhi ketebalan bahan, temperatur, waktu penahanan, kandungan karbon berdasarkan diagram Fe-C, dan media pendingin yang digunakan, untuk pendinginan yang cepat biasanya digunakan air garam, soda api yang dimasukkan ke dalam air (Amanto, 1999: 77-79).



Gambar 2.6 Diagram Fe-C / fasa

Setelah material dipanaskan sampai temperatur *austenited* dan temperturnya ditahan langkah berikutnya adalah *quenching* (celup cepat). Metode *quenching* merupakan salah satu metode pendinginan dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan dalam suatu media pendingin berbentuk cairan. Supaya memperoleh sifat mekanik yang lebih keras. Untuk baja karbon rendah dan baja karbon sedang biasanya dilakukan pencelupan dengan media pendingin air, sedangkan untuk baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pencelupan, dikarenakan minyak laju pendinginannya tidak secepat air (Bahtiar *et al*, 2008).

Pada praktik di lapangan media pendingin air memiliki laju pendinginan yang cepat dibandingkan media pendingin minyak. Pada penelitian *Md. Arefin Kowser* (2015) Laju pendinginan air lebih cepat daripada minyak dan kekerasan media pendingin air untuk spindel *endmill* lebih keras dibanding minyak.

Tabel 2.3 Perbandingan celup cepat dan pendinginan lambat.

Sifat	Celup Cepat	Pendinginan Lambat
Keras	Lebih keras	Lebih lunak
Kekuatan	Lebih kuat	Kurang kuat
Sifat	Getas	Ulet
Struktur	<i>Martensite</i>	<i>Ferrit,pearlite,sementite</i>
Ukuran butir	Butiran halus	Butiran logam besar

(Sumber: Rachmad Supardi, 1997:63)

## 7. Media pendingin

Media pendingin yang dipakai dalam proses *hardening* mengakibatkan perubahan sifat fisis, sifat mekanis dan sifat kimia. Pada penelitian ini media pendingin *hardening* menggunakan air kelapa, *radiator coolant*, dan kombinasi *dromus oil*. Media pendingin ini dipilih karena memiliki kekentalan yang rendah sehingga menghasilkan laju pendinginan yang cepat, sehingga dengan laju pendinginan yang cepat menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi. Media pendingin *dromus oil* mengandung zat aditif yang berfungsi menghambat laju korosi, sedangkan *radiator coolant* memiliki zat *ethylene* dan *glycool* yang berguna mempercepat pendinginan dan memperlambat laju korosi.

*Dromus oil* adalah minyak mineral hasil penyulingan dan aditif, komposisi dan sifat kimianya pada tabel 2.4. Dalam pengerjaan pemesinan *dromus oil* berperan melindungi logam dari karat. *Dromus oil* mempunyai kelarutan tingkat tinggi terhadap air sehingga dapat diemulsikan dengan rasio air:dromus oil

biasanya 20:1 sampai 40:1 dengan demikian memungkinkan dimanfaatkan sebagai pendinginan pada pengerasan baja (Zainuddin,2013).

Tabel 2.4 Komposisi dan sifat kimia *dromus oil*.

Komposisi		Sifat kimia
Nama	Kadar	
<i>Sodium sulphonate</i>	1 – 4,9%	Titik didih awal : > 100 °C
<i>Polyolefin ether</i>	1 – 3%	Titik didih dadakan : > 100 °C
<i>Alkyl amide</i>	1 -3 %	Berat jenis : 930 Kg/m <sup>3</sup> at 15 °C
<i>Long chain alkenyl amide borate</i>	1 – 2,4%	Kecepatan mengalir 400 mm <sup>2</sup> /sec

(Sumber: Wahyu Candra,2014)

*Radiator coolant* merupakan cairan radiator pada motor bakar yang berfungsi untuk menaikkan titik didih air radiator mesin dan menjaga suhu kerja mesin supaya tetap ideal serta menghindari mesin dari *overheating* dan karat. Pada penelitian ini digunakan *radiator coolant* sebagai media pencelupan karena *radiator coolant* mengandung *ethylene glycol* dan *additive* yang berguna menaikkan titik didih dan mencegah terjadinya korosi sehingga diharapkan dapat memberikan laju pendinginan yang cepat dibanding air dan menghambat laju korosi yang terjadi pada logam tersebut. *Radiator coolant* yang dipakai adalah produksi pertamina dengan spesifikasi berikut.

Tabel 2.5 Spesifikasi Pertamina *Radiator Coolant*

Spesifikasi	Ketentuan
Titik didih °C	165 °C
Titik beku 50 vol%	-36,6
Titik beku 20 °C, g/cm <sup>3</sup>	1,129
Tingkat pH	7,9
<i>Foaming Property</i> , ml	0
Kadar air, %	4,2

(Sumber: Material Safety data Sheet:3)

Air kelapa dipilih sebagai media pendingin hardening dikarenakan pada penelitian Hendi Saputra (2014) diperoleh hasil bahwa dengan menggunakan media pendingin air garam didapatkan rata-rata nilai kekuatan tariknya yakni  $52.396 \text{ kg/mm}^2$ , dengan menggunakan media pendingin air kelapa didapatkan nilai rata-rata kekuatan tariknya yaitu  $49.764 \text{ kg/mm}^2$ , sedangkan untuk media pendingin oli bekas didapatkan nilai rata-rata kekuatan tariknya yaitu  $53.158 \text{ kg/mm}^2$ . Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa air kelapa memiliki tingkat kekuatan tarik rendah dikarenakan proses pendinginannya cepat dibanding yang lain. Pendinginan yang cepat memberikan nilai kekuatan tarik dan ketangguhan yang rendah, akan tetapi memberikan nilai kekerasan yang tinggi. Untuk memperoleh nilai kekerasan yang tinggi pada penelitian ini mencoba menggunakan air kelapa sebagai media pendingin atau pencelupan.

## 8. Foto mikro(Uji struktur mikro)

Kondisi fisik dari logam bisa dideteksi melalui pengujian metalurgi. Dengan pengujian metalurgi dapat diketahui tegangan dalam logam yang dilihat dengan mikroskop. Selain itu bahan-bahan liar non logam, fase-fase sekunder, *crack*, jahitan tertutupan, bebas butiran, *dentrinite*, *slip bend* dan yang lain bisa dideteksi dengan pengujian struktur dengan mikroskop. Jenis pengujian fisis ada tiga, yaitu:

### a. Pengujian *Mikrografi*

Pengujian *Mikrografi* dilakukan bila ukuran struktur atau kondisi yang dipelajari cukup besar dan bisa dilihat dengan mata telanjang atau perbesaran rendah, sebagaimana struktur las-lasan, retak, jahitan, kekeroposan dan kekeroposan.

## b. Pengujian Mikroskop

Pengujian Mikroskop dilakukan bila ukuran struktur membutuhkan perbesaran tinggi. Tergantung struktur yang dipertanyakan. Perbesaran mulai dari 1000 sampai 2000 kali bahkan 50.000 kali. Prinsip kerja mikroskop dimulai dengan cahaya yang ditangkap oleh cermin yang memiliki dua jenis yaitu cermin datar dan cekung kemudian cahaya dari sumber cahaya dipantulkan dari sumber cahaya ke kondensor (Gunawarman,2013:16). Kondensor berfungsi mengumpulkan dan memfokuskan cahaya dari sumber cahaya yang masuk ke lensa kemudian cahaya yang terkumpul di kondensor dipancarkan ke objek.

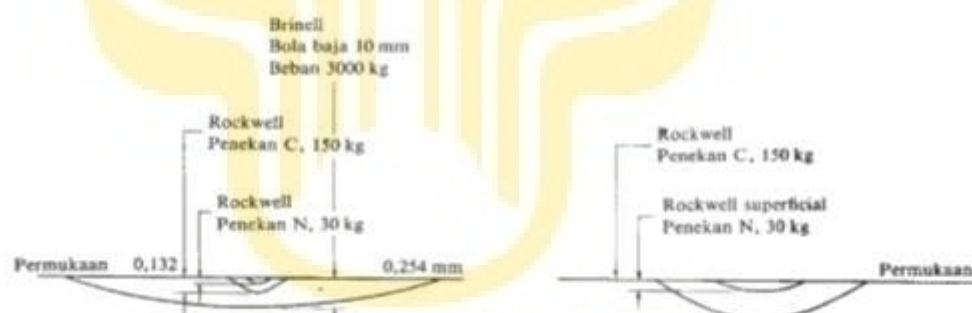
## c. Fotomikrograf.

Fotomikrograf fungsinya memperbesar gambar bayangan struktur pada mikroskop untuk diperbesar lebih dari 10 kali. Alat ini merekam gambar struktur logam secara permanen (Suharto,1995:161-162).

Pengujian Struktur mikro pada penelitian ini pada prinsipnya benda kerja yang sudah menjalani proses *hardening* dengan media pendingin air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi *dromus oil* dideteksi strukturnya dengan alat khusus berupa mikroskop logam. Sebelum benda dilihat dengan mikroskop benda kerja harus diampelas menggunakan ampelas dari yang paling kasar sampai ampelas paling halus, setelah pengampelasan benda dicelupkan ke dalam larutan *etsa* (campuran 2,5%  $\text{HNO}_3$  dengan 97,5% alkohol) untuk mengkorosikan lapisan butir selanjutnya benda difoto dengan mikroskop.

## 9. Uji kekerasan

Pada penelitian ini uji sifat mekanis yang digunakan adalah uji kekerasan. Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Pengujian yang sering dipakai adalah dengan menekankan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya, cara ini dinamakan kekerasan penekanan. Selanjutnya ada cara lain dengan menjatuhkan bola dengan ukuran tertentu dari ketinggian tertentu di atas benda uji dan diperoleh tinggi pantulannya. Pengujian kekerasan ada tiga jenis yaitu *Brinell*, *Rockwell* dan *Vicker*.



Gambar 2.7 Perbandingan dimensi penekanan pengujian kekerasan.

### a. Pengujian Kekerasan *Brinell*.

Pengujian kekerasan *brinell* merupakan pengujian standar secara industri, tetapi karena penekannya dibuat dari bola baja yang berukuran besar dengan beban besar, maka bahan lunak atau keras sekali tidak dapat diukur kekerasannya (Surdia T.,1987:31). Beban untuk logam besi 3000 Kg untuk 10 detik dan untuk logam non besi, lunak sekitar 500 Kg selama 30 detik.

b. Pengujian Kekerasan *Rockwell*.

Pengujian kekerasan *rockwell* cocok untuk suatu material yang keras atau lunak, penggunaannya sederhana dan penekanannya dapat dengan leluasa. Indentor yang dipakai adalah bola baja keras atau kerucut intan yang disebut konis berpuncak yang berbentuk konis dan mempunyai puncak (Suharto,1995:188-189).

Tabel 2.6 menunjukkan bagaimana memilih skala *rockwell*.

Tabel 2.6 Skala kekerasan *rockwell*.

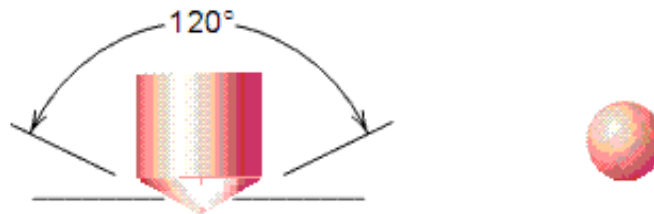
Skala	Penekan	Beban Utama	Dial
B	Bola baja 1/16"	100	Merah
C	Intan	150	Hitam
A	Intan	60	Hitam
D	Intan	100	Hitam
E	Bola baja 1/8"	100	Merah
F	Bola baja 1/16"	60	Merah
G	Bola baja 1/16"	150	Merah
H	Bola baja 1/8"	60	Merah
K	Bola baja 1/8"	150	Merah
L	Bola baja 1/4"	60	Merah
M	Bola baja 1/4"	100	Merah
P	Bola baja 1/4"	150	Merah
R	Bola baja 1/2"	60	Merah
S	Bola baja 1/2"	100	Merah
V	Bola baja 1/2"	150	Merah

(Sumber: Tata Surdia, 1987:32)

Skala kekerasan B, C dan A adalah untuk bahan logam, skala A dapat dipakai untuk bahan sangat keras seperti karbida tungsten, skala D dan dibawahnya dipakai untuk batu gerinda sampai plastik. Pengujian *rockwell* superfisial mempergunakan beban yang ringan untuk memperbaiki ketelitian dari penekan dengan cara penggunaan yang sama, juga dapat mengukur kekerasan permukaan dari bahan yang dikeraskan kulitnya. Gb. 2.7 menunjukkan ukuran



perbandingan dari penekanan pada pengujian bahan yang sama dengan berbagai pengujian kekerasan.



Gambar 2.8 Pengujian *rockwell*.

c. Pengujian Kekerasan *Vickers*.

Pengujian *vickers* adalah pengujian kekerasan dengan indentasi berbentuk intan piramid. “Prinsip pengujian *vickers* adalah beban dari 5 Kg hingga 100 Kg yang ditekan pada indenter berbentuk piramida berbentuk 136°” (Suharto,1995:189).

Pengujian kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode *rockwell* yang paling banyak dipergunakan di Amerika Serikat. Hal ini disebabkan oleh sifat - sifatnya, yaitu cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu membedakan kekerasan pada baja yang diperkeras, ukuran bekas penekannya relatif kecil, sehingga bagian yang mendapatkan perlakuan panas, dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji ini mengukur kedalaman bekas penekanan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan.

Pertama diberikan beban awal sebesar 10 kgf. Hal ini untuk memperkecil kecenderungan terjadinya penumbukan keatas atau penurunan yang disebabkan oleh penekanan. Kemudian diberikan beban yang besar sebagai beban utama. Secara otomatis kedalaman bekas penekanan akan terekam pada

*gauge* penunjuk yang menyatakan angka kekerasan. “Penunjuk tersebut terdiri dari 100 bagian dan 130 bagian, mempunyai kedalaman penekanan sebesar 0,002032 mm atau 0,00008 inchi” (Djaprie 1986:335). Bila kedalaman masuknya penekanan pada benda uji satu strip berarti kekerasan bahan tersebut sangat tinggi. Pengujian kekerasan *Rockwell* didasarkan pada kedalaman masuknya penekanan pada bahan uji. Makin keras bahan yang akan diuji, makin dangkal masuknya penekanan tersebut. Sebaliknya, makin dalam masuknya penekanan pada bahan uji maka bahan uji tersebut makin lunak. Cara *rockwell* sangat disukai karena dengan cepat dapat diketahui kekerasan tanpa mengukur dan menghitung seperti pada cara *brinell* dan cara *vickers*. Nilai kekerasan dapat langsung dibaca setelah beban utama dihilangkan, dimana beban awal masih menekan bahan tersebut.

## 10. Uji Laju Korosi

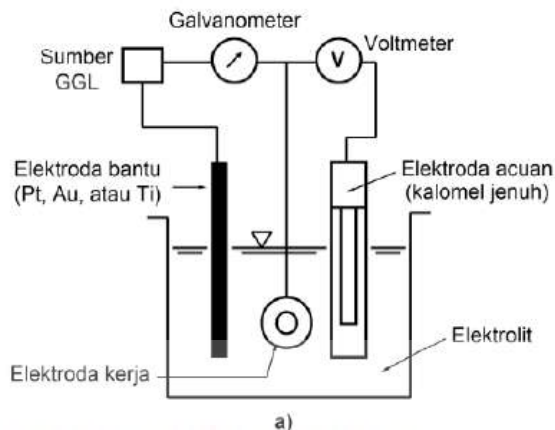
Laju korosi adalah peristiwa merambatnya proses korosi yang terjadi pada suatu material (Gita Anggaretno, 2012:125). Dapat diartikan material yang hilang dalam satuan waktu. Satuan laju korosi bermacam-macam sesuai satuan yang digunakan antara lain mm/y (standar internasional) atau mpy (*mpy, british*). Metode yang digunakan untuk mengukur laju korosi logam adalah metode kehilangan berat, mengukur dimensi dan densitas arus korosi.

Pada penelitian ini alat uji laju korosi metode elektrokimia alat tipe sel 3 elektroda (Pengujian laju korosi yang dipercepat) dengan polarisasi dari potensial korosi bebasnya dapat dihitung menggunakan persamaan *faraday* (Gaguk J. et al.).

$$\text{Laju korosi (mpy)} = (0,00327 \times I_{kor} \times EW) / D$$

- K : Konstanta (0.129 untuk mpy, 0,00327 untuk mmpy )  
 $I_{kor}$  : kerapatan arus ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )  
 D : densitas logam terkorosi ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

EW : ekivalen (g/ekivalen)

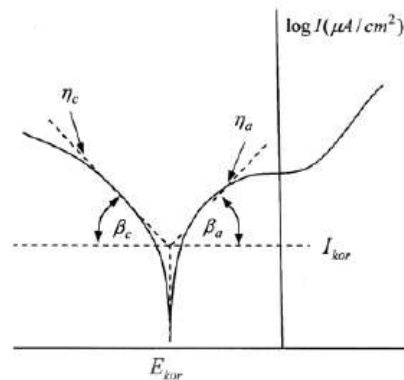


Gambar 2.9 Skema alat uji korosi tipe sel 3 elektroda.

Pengujian ini menggunakan tiga elektroda :

- Elektroda kerja (*working electrode*). Elektroda kerja sebagai elektroda yang akan diteliti.
- Elektroda pembantu (*auxiliary electrode*). Elektroda bantu adalah elektroda kedua yang khusus untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian.
- Elektroda acuan (*reference electrode*). Elektroda acuan adalah elektroda yang digunakan sebagai titik dasar yang sangat mantap untuk mengacu pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini kecil sekali sehingga dapat diabaikan.

Ketiga elektroda tersebut dicelupkan ke dalam larutan elektrolit dalam tabung elektrokimia dan terhubung dengan potensiostat/galvanostat. Proses korosi dimulai dengan pemberian potensial pada elektroda kerja dari -2000 mV sampai 2000 mV dan di-*scanning* dengan kecepatan tertentu kemudian diplot pada diagram kurva potensial vs logaritma intensitas arus seperti pada Gambar 10 (Victor Malau :2011).



Gambar 2.10 Diagram kurva potensial vs logaritma intensitas arus

Proses yang terjadi pada elektroda kerja adalah sebagai berikut:

- a. Elektroda kerja diberi potensial negatif (Polarisasi katodik)

Elektroda kerja mengalami reaksi reduksi yang ditunjukkan dengan gradien negatif pada grafik sebelah kiri. Reaksi ini terjadi saat diberi potensial -2000 mV dan diperbesar sampai dengan arus reduksi mencapai nol pada potensial korosi ( $E_{kor}$ ) tertentu. Proses reduksi berakhir ketika arus mencapai nilai nol.

- b. Elektroda kerja diberi potensial positif (Polarisasi anodik)

Elektroda kerja mengalami reaksi oksidasi setelah reaksi reduksi berakhir, ditunjukkan dengan gradien positif pada grafik sebelah kanan. Reaksi ini terjadi saat diberi potensial dan arus yang semakin besar. Potensial yang biasanya diberikan sampai dengan 2000 mV. Rapat arus korosi ( $I_{kor}$ ) diperoleh dari hasil ekstrapolasi kurva potensial lawan logaritma intensitas arus yaitu dengan cara menentukan titik perpotongan garis Tafel reaksi reduksi ( $\eta_c$ ) dan garis Tafel reaksi oksidasi ( $\eta_a$ ) pada garis potensial korosi ( $E_{kor}$ ). Nilai  $\eta_a$  dan  $\eta_c$  ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\eta_a = \beta_a \log \frac{i_a}{i_0} \quad \text{dan} \quad \eta_c = \beta_c \log \frac{i_c}{i_0}$$

$\eta_c$  = tafel reaksi reduksi,  $\eta_a$  = tafel reaksi oksidasi,  $i_c$  = arus pada reaksi katoda,  $i_a$  = arus pada reaksi anoda,  $i_0 = i_a = -i_c = i_{kor}$  = arus perubahan reaksi reduksi menuju reaksi oksidasi,  $\beta_c$  = gradien tafel reaksi katoda,  $\beta_a$  = gradien tafel reaksi anoda.

## B. Kajian Penelitian Relevan

Penelitian pengaruh macam-macam media pendingin terhadap struktur mikro, kekerasan dan laju korosi pada *hardening* baja karbon sedang ada hubungan dengan penelitian terdahulu. Adapun penelitian tersebut adalah :

1. Rabiatul adawiyah *et al*, (2014) melakukan penelitian pengaruh perbedaan media pendingin terhadap struktur mikro dan kekerasan pegas daun dalam proses *hardening*. Proses penelitian adalah dengan jalan memanaskan pegas daun sampai suhu didaerah atau diatas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat dengan media pendingin oli, air garam dan air biasa. Setelah pengujian kekerasan dan mikrostruktur dilakukan maka didapatkan hasil kekerasan dari berbagai variasi media pendingin yaitu media oli HRC 97,2 kg/mm<sup>2</sup>, media air garam HRC 99,13 kg/mm<sup>2</sup>, media air biasa HRC 96,5 kg/mm<sup>2</sup>, dan pembanding HRC 94,7 kg/mm<sup>2</sup>, jadi dapat disimpulkan bahwa media air garam lebih tinggi harga kekerasannya di dibandingkan dengan media lainnya. kekerasan baja tersebut akan bertambah setelah melalui proses perlakuan panas dan dengan pendinginan yang tiba – tiba (celup cepat).
2. Bahtiar *et al*, (2014) melakukan penelitian Pengaruh media pendingin minyak pelumas SAE 40 pada proses *quenching* dan *tempering* terhadap ketangguhan baja karbon rendah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh

media pendingin minyak pelumas SAE 40 pada proses *quenching* dan tempering terhadap sifat mekanis baja karbon rendah. Proses *quenching* dilakukan dengan holding time 7 menit, 1 jam dan 2 jam dengan pada emperatur 925°C. Selanjutnya dilanjutkan proses tempering dengan holding time 14 menit, 1 jam dan 2 jam pada pada temperatur 450°C. Bahan baku untuk spesimen adalah baja ST 42. Pengujian impak menggunakan metode charpy mengacu pada standar ASTM E23-02. Hasil pengujian impak didapatkan nilai ketangguhan tertinggi untuk proses perlakuan panas kemudian diquencing sebesar 2033 KJ/m<sup>2</sup>, pada temperatur pemanasan 925°C dengan *holding time* 7 menit, nilai terendah sebesar 523 KJ/m<sup>2</sup>. Hasil pengujian impak didapatkan nilai ketangguhan tertinggi untuk proses perlakuan panas kemudian diquencing dan diberikan perlakuan tempering dengan suhu 450°C sebesar 2607 KJ/m<sup>2</sup>, pada temperatur pemanasan 925°C dengan holding time 7 menit dan waktu tahan tempering 14 menit, nilai terendah sebesar 776 KJ/m<sup>2</sup>, pada temperatur pemanasan 925°C dengan holding time 2 jam menit dan waktu tahan tempering 2 jam.

3. Viktor malau dan Nelson Seleman Lupp (2011) melakukan penelitian Pengaruh Variasi Waktu dan konsentrasi larutan *NaCl* terhadap kekerasan dan laju korosi dari lapisan Nikel *elektroplating* pada permukaan baja karbon sedang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi lama elektroplating (0, 5, 10, 15 menit) dan konsentrasi larutan NaCl (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 %) terhadap kekerasan dan laju korosi baja karbon sedang. Spesimen yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 12 mm dan tebal 4 mm. Proses nikel elektroplating dilakukan dalam larutan elektrolit yang

mengandung nikel dengan variasi lama elektroplating (0, 5, 10, 15 menit) pada tegangan 12 volt, suhu 40°C dan kuat arus 3 A/dm<sup>2</sup>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam dasar (baja karbon sedang) mempunyai kekerasan sebesar 205,4 VHN<sub>0,01</sub> dan laju korosi sebesar 90,76 mpy. Lapisan nikel meningkatkan kekerasan dan menurunkan laju korosi secara signifikan. Kekerasan meningkat, tetapi laju korosi menurun seiring dengan naiknya lama elektroplating. Laju korosi meningkat jika konsentrasi larutan NaCl naik. Lapisan mempunyai kekerasan tertinggi sebesar 329,6 VHN<sub>0,01</sub> dengan laju korosi terendah sebesar 8,08 mpy untuk lama elektroplating 15 menit dan konsentrasi larutan NaCl sebesar 0,2 %. Lama elektroplating yang diperlukan adalah minimum 10 menit agar dihasilkan laju korosi relatif rendah untuk berbagai konsentrasi larutan NaCl.

4. *Md. Arefin Kowser dan Md. Abdul Motalleb (2015)* melakukan penelitian *Effect of Quenching Medium on Hardness of Carburized low Carbon Steel for Manufacturing of Spindle Used in Spinning Mill* (Pengaruh *Quenching* terhadap kekerasan baja karbon rendah yang digunakan untuk spindle di perusahaan). Pemanasan atau pendinginan dari logam dapat merubah struktur mikro itu, yang menyebabkan variasi dalam sifat mekanik dan fisik serta mempengaruhi perilaku logam dalam pengolahan dan operasi. Dengan menggunakan perlakuan panas, sifat logam dapat ditingkatkan untuk aplikasi di bidang teknik terutama Suku cadang. mesin pemintalan di pabrik tersedia di bangladesh. Spindle merupakan bagian penting dari pabrik pemintalan. Bahan baku lokal yang tersedia adalah baja karbon rendah dari yang spindle dapat dilakukan melalui pengembangan properti dengan perlakuan panas.

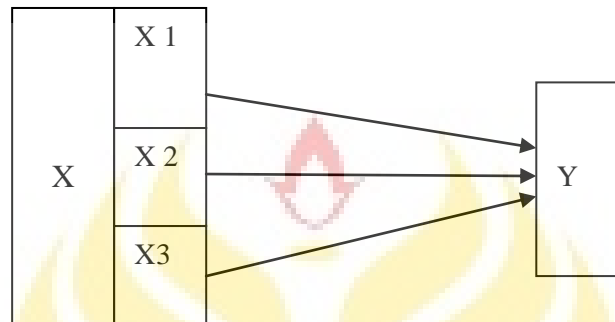
Tetapi untuk mencapai kekerasan dan kekuatan yang diinginkan tanpa spindle menekuk sangat sulit karena di perlakuan panas panjang dari spindle terlalu panjang sementara diameternya kecil. Waktu dan suhu karburasi, pendinginan adalah masalah yang sangat sensitif untuk mendapatkan pekerjaan suara dengan sifat keinginan. Dalam penelitian ini suhu pendinginan, waktu dan mempertimbangkan dalam proses perlakuan panas. Salah satu hasil dari penelitian ini adalah nilai kekerasan dari media pendingin air adalah 60 HRC dan media pendingin oli 51 HRC.

### C. Kerangka Pikir

Berdasarkan studi kepustakaan diatas, maka ada beberapa variabel yang berkaitan yaitu macam-macam media pendingin *hardening* sebagai variabel independen dan perubahan sifat fisis, mekanis dan laju korosi sebagai variabel dependen. Perubahan sifat fisis, mekanis dan laju korosi pada proses *hardening* dengan material baja karbon rendah dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur, *holding time* dan jenis media pendingin atau *quenching*. Dalam penelitian faktor yang menjadi fokus adalah penggunaan jenis media pendingin, karena yang dilihat perubahannya adalah sifat fisis dengan uji struktur mikro, sifat mekanis berupa kekerasan dan uji laju korosi dikarenakan logam bersentuhan dengan zat cair. Dengan menggunakan macam-macam media pendingin berupa air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi *dromus oil* dengan air. Dengan menggunakan tiga media pendingin yang memiliki kadar kekentalan rendah nantinya setelah diuji menghasilkan benda baja karbon rendah yang memiliki tingkat kekerasan paling tinggi dan tingkat laju korosi paling rendah.



Dari uraian di atas terdapat adanya hubungan variabel, yaitu adanya pengaruh penggunaan macam-macam media pendingin yang terdiri dari air kelapa, *radiator coolant* dan kombinasi *dromus oil* dengan air terhadap struktur logam, kekerasan dan laju korosi baja karbon rendah. Secara sistematis kerangka pikir dapat dirumuskan sebagai berikut.



Gambar 2.11 Kerangka Pikir

X : Pengaruh media pendingin *hardening* baja karbon rendah

X1 : Air kelapa

X2 : *Radiator coolant*

X3 : *Dromus oil*

Y : Struktur mikro, nilai kekerasan dan laju korosi

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil pembahasan tentang pengaruh media pendingin terhadap struktur mikro, kekerasan dan laju korosi pada *hardening* baja karbon sedang, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ditinjau dari struktur mikro, spesimen yang paling keras adalah spesimen *hardening* dengan media pendingin air kelapa dengan dominasi struktur *martensite* berbentuk kecil halus. Selanjutnya, spesimen *hardening* dengan media pendingin *radiator coolant* memiliki nilai kekerasan dibawah spesimen *hardening* dengan air kelapa dengan dominasi struktur *martensite* yang berukuran lebih besar dari spesimen *hardening* dengan air kelapa. Selanjutnya, spesimen *hardening* dengan media pendingin kombinasi air dengan *dromus oil* memiliki nilai kekerasan dibawah spesimen *hardening* dengan media pendingin *radiator coolant* dengan dominasi struktur *martensite* berukuran besar dan tidak teratur. Spesimen yang memiliki nilai kekerasan paling rendah adalah *raw material* dengan struktur mikro *ferrite* dan *pearlite*.
2. Ditinjau dari kekerasan, Spesimen *hardening* dengan media pendingin air kelapa memiliki nilai kekerasan paling tinggi dengan rata-rata 35,7 HRC. Selanjutnya, spesimen *hardening* dengan media pendingin *radiator coolant* memiliki nilai kekerasan dibawah spesimen yang *hardening* dengan media pendingin air kelapa dengan rata-rata 26,3 HRC. Selanjutnya, spesimen *hardening* dengan media pendingin kombinasi air dan *dromus oil* memiliki

nilai kekerasan dibawah spesimen yang *hardening* dengan media pendingin *radiator coolant* dengan rata-rata 9,2 HRC, dan nilai kekerasan yang paling rendah adalah spesimen *raw material* dengan rata-rata 3 HRC.

3. Ditinjau dari korosi spesimen yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi memiliki tingkat korosi paling rendah. Hasil uji laju korosi dari yang paling rendah adalah: spesimen *hardening* dengan media pendingin air kelapa sebesar 5,43 mm/y, spesimen *hardening* dengan media pendingin *radiator coolant* sebesar 5,68 mm/y, spesimen *hardening* dengan media pendingin kombinasi *dromus oil* sebesar 6,58 mm/y dan spesimen *raw material* memiliki tingkat kekerasan paling rendah memiliki tingkat laju korosi paling tinggi sebesar 7,17 mm/y.

Setelah penelitian disimpulkan masing-masing media pendingin memiliki kelebihan dan kekurangan. Media pendingin *hardening* air kelapa memiliki kelebihan laju pendinginan cepat dan laju korosi paling lambat, tapi memiliki kekurangan kesulitan menyediakan media pendingin. Media pendingin *hardening radiator coolant* memiliki kelebihan laju pendinginan cepat, kemudian dari segi kekurangan memiliki laju pendinginan dibawah media pendingin air kelapa. Media pendingin kombinasi *dromus oil* dengan air memiliki kelebihan mudah ditemukan dan diemulsikan, sedangkan kekurangannya memiliki laju pendinginan lambat dan ketahanan korosi rendah.

## **B. Saran**

1. Kandungan air kelapa diteliti lebih lanjut dan diaplikasikan sebagai bahan media pendingin yang ramah terhadap logam, karena media pendingin

*hardening* dengan air kelapa menghasilkan nilai kekerasan tinggi dan laju memiliki laju korosi rendah.

2. Perlu adanya identifikasi sifat mekanis secara keseluruhan dari variasi media pendingin yang digunakan pada proses *hardening*.
3. Dalam jangka pendek untuk mencapai nilai kekerasan yang tinggi, air kelapa dapat digunakan sebagai media pendingin *hardening*, karena air kelapa memiliki laju pendinginan paling cepat dan laju korosi paling rendah dibanding *radiator coolant* dan *dromus oil*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah R., Murdjani, A. Hendrawan. 2014. Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pegas Daun dalam Proses *Hardening*. *Jurnal POROS TEKNIK* 6(2): 55-102
- Amanto, Hari. 1999. *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Angkasa
- Anggaretno G., I. Rochani, dan H. Supomo. 2012. Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Laju Korosi Pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl<sub>3</sub>. *Jurnal Teknik ITS* 1(1):124-128
- Arifin, Syamsul. 1976. *Ilmu Logam*. Jakarta: Ghalia Indonesia
- Budianto A., K. Purwantini, dan BA. T. Sujitno. 2009. Pengamatan Struktur Mikro pada Korosi antar Butir dari Material Baja Tahan Karat Austenitik Setelah Mengalami Proses Pemanasan. *JNF* 3(2):107-130
- Bahtiar, M. Iqbal, Supramono. 2014. Pengaruh Media Pendingin Minyak Pelumas SAE40 Pada Proses *Quenching* dan *Tempering* Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah. *Jurnal Mekanikal* 5(1):455-463
- Candra, W. 2014. Pengaruh Kadar Dromus Oil Dalam Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Baja St 60 Yang Mengalami Proses *Hardening* *Tempering*. <http://wahyukend.blogspot.co.id>. 25 Januari 2016 (09.35)
- Djapri, S. 1987. Terjemahan dari *Mechanical Metallurgy*. Jakarta, Erlangga: *Metalurgi Mekanik*
- Firmansyah, A. A. 2014. Analisa Struktur Mikro dan Kekerasan Baja S45C Pada Proses *Quench-Temper* dengan Media Pendingin Air. *JTM* 3(1): 113-119
- Iqbal M. 2008. Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis Pada Proses Pengarbonan Padat Baja Karbon Rendah. *Jurnal SMARTek* 6(2):104-112
- Jatisukanto G., V. Malau, M.N. Iلمان, dan P.T. Iswanto. 2011. Perbaikan Sifat Korosi Baja Tahan Karat AISI 410 dengan Perlakuan Implantasi Ion Tin. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M* 5(1): 14-19
- Karuniawan P.I. 2007. Perbedaan Nilai Kekerasan Pada Proses *Double Hardening* dengan Media Pendingin Air dan Oli SAE 20 Pada Baja Karbon Rendah. *Skripsi*. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang (UNNES). Semarang.

- Kowser Md.A., dan Md.A.2015. *Effect of Quenching Medium on Hardness of Carburezed Low Carbon Steel for Manufacturing of Spindle Used in Spinning Mill. Jurnal Procedia Engineering* 6(105):814-820
- Malau V., dan Luppia N.S. 2011. Pengaruh Variasi Waktu dan Konsentrasi Larutan *NaCl* Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi dari Lapisan Nikel *Elektroplating* pada Permukaan Baja Karbon Sedang. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi* (2): 147-152
- Margono, 2008. Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil ( *Holding Time*) Terhadap Kekerasan Logam. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah* 6(3):156-160
- Pramono A.,2011. Karakteristik Mekanik Proses *Hardening* Baja AISI 1045 Media *Quenching* untuk Aplikasi *Sprocket* Rantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M* 5(1):32-38
- Rohyana, Solih. 1999. *Pengetahuan & Pengolahan Bahan SMK*. Jakarta: HUP
- Saputra H., A. Syarif, Y. Maulana. 2014. Analisa Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam* 3(2):91-98
- Scott, David A. 1991. *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*. Singapore. Association with Archetyepe Books
- Sidiq, M. F. 2011. 2011. Analisa Pengendalian Laju Korosi Pada Pipa Minyak Bumi Lepas Pantai. *Jurnal Sain dan Tek. Maritim* 10(1): 1-12
- Suharto. 1995. *Teori Bahan dan Pengaturan Teknik*. Jakarta: Rineka Cipta
- Supardi, Rochmad. 1997. *Korosi*. Bandung: Tarsito
- Surdia T, Saito S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan Ke empat*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Sutowo C., dan Susilo B. A.2013. Pengaruh Proses *Hardening* Pada Baja HQ 7 AISI 4140 dengan Media Oli dan Air Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *SINTEK* 7(1): 58-69
- Wirjoadi, L. Susita, B. Siswanto, dan Sudjadmoko. 2013. Pengaruh Proses Nitridasi pada Biomaterial Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Korosi. *Jurnal Prosiding dan Pertemuan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya* 13:25-36

Yunaidi dan Saptyaji Harnowo. 2015. Pengaruh Viskositas Oli Sebagai Cairan Pendingin terhadap Sifat Mekanis pada Proses *Quenching* Baja ST 60. *Jurnal Teknik UJB* 5(1)

Zainuddin. 2013. Pengaruh Sudut Penyayatan dan Sudut Mata Sayat *Endmill Cutter* Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja ST 40 Hasil Pemesinan CNC *Milling Tosuro* Kontrol GSK 983 Ma-H. *Skripsi*. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret (UNS). Surakarta.

Z.M. Muhammad. 2011. Pengaruh Karburasi dengan Variasi Media Pendingin Terhadap Micro Structur Baja Karbon. *Jurnal MEKTEK* 13(2):75-79

