



**PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PROSES  
*QUENCHING* TERHADAP KEKERASAN, STRUKTUR  
MIKRO, DAN KEKUATAN *BENDING* BAJA AISI 1010**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar**

**Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

**oleh**

**Aryo Aji Prabowo**

**NIM. 5201414089**

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Aryo Aji Prabowo

NIM : 5201414089

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Media Pendingin Pada Proses *Quenching* Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan *Bending* Baja AISI 1010

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 9 Oktober 2019

Dosen Pembimbing



Drs. Sunyoto, M.Si.

NIP.196511051991021001

## HALAMAN PENGESAHAN

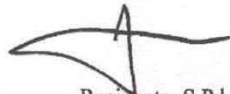
Skripsi dengan judul “Pengaruh Media Pendingin Pada Proses *Quenching* Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan *Bending* Baja AISI 1010” telah LEMBAR dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal ... bulan ..... tahun .....

Oleh

Nama : Aryo Aji Prabowo  
NIM : 5201414089  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

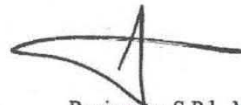
Panitia

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 19740321 1999031002

Sekretaris



Rusiyanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 19740321 1999031002

Pembimbing 1



Drs. Sunyoto, M.Si.  
NIP.196511051991021001

Penguji 1



Dr. Heri Yudianto S.Pd., M.T.  
NIP 196707261993031003

Penguji 2



Dr. Rahmat Doni W, ST., M.T.  
NIP.197509272006041002

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES




Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 8 Oktober 2019  
Yang membuat pernyataan,



Aryo Wij Prabowo  
NIM. 5201414089

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO:**

1. MELU KRENTEG E ATI INSYAALLAH DIPARINGI BERKAHIPUN  
GUSTI
2. URIP KUI URUP, MANFAAT KANGGO WONG LIYO BAKALE DADI  
MULYO.
3. TETAPLAH HIDUP WALAU TAK BERGUNA, DAN TUNGGULAH SAAT  
DIRIMU AKAN BERGUNA.

### **PERSEMBAHAN**

1. Keluarga besar Bapak Supriyanto yang tak kenal lelah memberikan support dan doa hingga skripsi ini berakhir.
2. Keluarga besar Mbah Radmo Radi yang selalu menuntun dan memberikan semangat agar jangan mudah menyerah.
3. CHL Corp. yang berisi teman teman yang selalu bekerja sama dan membantu apa yang saya butuhkan.
4. Seluruh mahasiswa UNNES beserta jajaran tenaga pendidik yang telah memberikan sebuah ilmu dan pengalaman yang sangat berharga.

## ABSTRAK

**Prabowo, Aryo Aji**, 2019. Pengaruh Media Pendingin Pada Proses *Quenching* Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan *Bending* Baja AISI 1010. Skripsi. Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Drs. Sunyoto, M.Si.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh media pendingin pada proses *quenching* terhadap kekerasan, struktur mikro, dan kekuatan *bending* poros roda mobil listrik. Variasi media pendingin yang digunakan adalah air aquades, oli *quench*, dan campuran air aquades dan garam perbandingan 50% : 50% Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, dengan menggunakan teknik analisis data statistik deskriptif, selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan metode *microvikers* dan pengamatan struktur mikro, dan pengujian bending metode *three point joint*.

Hasil penelitian menunjukkan nilai yang paling tinggi kekerasannya adalah campuran air aquades dan garam perbandingan 50% : 50% yaitu 334 kg/mm<sup>2</sup>, kemudian disusul air aquades dengan rata-rata sebesar 298,8 kg/mm<sup>2</sup> dan oli *quench* kekerasannya yaitu 263,1 kg/mm<sup>2</sup>. Pada pengamatan struktur mikro terdapat tiga fasa yaitu *ferit*, *perlit* dan *martensit*. Dari hasil uji struktur mikro terdapat perubahan struktur yakni bertambahnya struktur mikro *martensite*. Sedangkan hasil pengujian tegangan maksimum tertinggi yaitu campuran air aquades dan garam perbandingan 50% : 50% sebesar 599,7 N/mm<sup>2</sup>, kemudian disusul spesimen air aquades mempunyai sebesar 488 N/mm<sup>2</sup> dan oli *quench* sebesar 304,8 N/mm<sup>2</sup>.

**Kata kunci:** *quenching*, media pendingin, bending, kekerasan

## PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Pengaruh Media Pendingin Pada Proses *Quenching* Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan *Bending* Baja AISI 1010”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M. T., IPM., Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S. Pd., M. T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Rusiyanto, S. Pd., M. T., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin. atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Drs. Sunyoto, M. Si., Dosen Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ilmiah ini.
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT. UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Proposal Skripsi ini dapat bermanfaat.

Semarang, 8 oktober 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>PRAKATA</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Pembatasan Masalah .....	4
1.4 Rumusan Masalah .....	5
1.5 Tujuan Penelitian .....	6
1.6 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	8
2.1 Kajian Pustaka.....	8
2.2 Landasan Teori .....	14



2.2.1 Heat Treatment.....	14
2.2.2 <i>Quenching</i> .....	16
2.2.3 <i>Holding Time</i> .....	24
2.2.4 Media Pendingin .....	25
2.2.5 Diagram Fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	28
2.2.6 Sifat Mekanik Baja.....	30
2.2.7 Struktur mikro baja .....	32
2.2.8 Uji Struktur Mikro .....	37
2.2.9 Baja Karbon .....	41
2.2.10 Baja AISI 1010.....	44
2.2.11 Poros.....	45
2.2.12 Pengujian <i>Bending</i> .....	47
2.2.12 Uji Kekerasan Vickers .....	52
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>59</b>
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	59
3.2 Desain Penelitian .....	59
3.2.1 Diagram Alur Penelitian .....	60
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	64
3.3.1 Alat Penelitian.....	64
3.3.2 Bahan Penelitian.....	67
3.4 Variabel Penelitian .....	67
3.4.1 Variabel Bebas .....	67

3.4.2 Variabel Terikat .....	67
3.4.3 Variabel Kontrol .....	68
3.5 Teknik Pengumpulan Data .....	69
3.6 Teknik Analisis Data .....	70
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	71
4.1 Hasil Penelitian .....	71
4.1.1 Deskripsi Data .....	71
4.1.2 Analisis Data .....	72
4.2 Pembahasan.....	97
4.2.1 Pengujian Kekerasan Vickers .....	97
4.2.2 Pengujian Struktur Mikro.....	99
4.2.3 Pengujian <i>Bending</i> .....	102
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	104
5.1 Kesimpulan .....	104
5.2 Saran.....	105
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	107
<b>LAMPIRAN</b> .....	109

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Jenis baja dan waktu tahan yang dibutuhkan pada proses perlakuan panas ....	25
2.2 Koefisien Media Pendingin Pada Perpindahan Panas.....	27
2.3 Kelebihan dan Kekurangan Metode Uji <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> .....	49
2.4 Standar Uji Kekerasan Vickers .....	58
3.1 Tabel Kebutuhan Spesimen.....	63
3.2 Lembar Hasil Pengujian <i>Bending</i> .....	68
3.3 Lembar Hasil Pengujian Kekerasan .....	69
4.1 Kode Material Pengujian.....	71
4.2 Hasil Uji Komposisi Kimia <i>Raw Material</i> .....	72
4.3 Kekerasan <i>Raw material</i> .....	73
4.4 Nilai Kekerasan Media Pendingin Oli <i>Quench</i> .....	75
4.5 Hasil Uji Kekerasan Media Pendingin Air Aquades .....	77
4.6 Hasil uji kekerasan campuran air aquades dan garam dengan persentase 50% : 50 % .....	79
4.7 Hasil Nilai Kekerasan Keseluruhan .....	82
4.8 Hasil Nilai Beban Maksimum <i>Bending</i> .....	89
4.9 Nilai Tegangan Maksimum <i>Bending</i> .....	92
4.10 Nilai Modulus Elastisitas <i>Bending</i> .....	94
4.11 Nilai Defleksi <i>Bending</i> .....	95

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Contoh Kegagalan Pada Poros .....	2
2.1 Diagram temperatur terhadap waktu .....	15
2.2 Isothermal Tranformation Diagram .....	18
2.3 Continuos Cooling Transformation Diagram .....	20
2.4 Diagram fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	29
2.5 Struktur kubik pemusatan ruang logam .....	33
2.6 Struktur kubik pemusatan sisi pada logam .....	33
2.7 Struktur mikro ferit .....	35
2.8 Struktur mikro perlit.....	35
2.9 Struktur mikro bainit.....	36
2.10 Struktur mikro plat martensit .....	37
2.11 Struktur mikro sementit.....	37
2.12 Mikroskop optik Alat <i>optical emission spectrometer(OES)</i> .....	41
2.13 Macam-macam bentuk poros .....	46
2.14 <i>Three Point Bending</i> .....	50
2.15 <i>Four point Bending</i> .....	51
2.16 Mesin Uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	54
2.17 Skema Pengujian <i>Vickers Hardness</i> .....	57
2.18 Tipe-tipe lekukan piramida intan .....	57

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	59
3.2 Spesimen Uji Kekerasan Dan Struktur Mikro .....	61
3.3 Spesimen Uji <i>Bending</i> .....	62
3.4 Desain poros roda mobil listrik.....	62
3.5 <i>Furnace</i> .....	64
3.6 Bak <i>quenching</i> .....	65
3.7 <i>Micro Vickers Machine</i> .....	66
3.8 Mikroskop Uji Struktur Mikro .....	66
3.9 Mesin Uji <i>Bending</i> .....	67
4.1 Grafik Uji Kekerasan <i>Raw material</i> .....	74
4.2 Grafik Uji Kekerasan Media Pendingin Oli <i>Quench</i> .....	76
4.3 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan Spesimen Media Pendingin Oli <i>Quench</i> ...	77
4.4 Grafik Uji Kekerasan Media Pendingin Air Aquades .....	78
4.5 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan Spesimen Media Pendingin Air Aquades .	79
4.6 Grafik Uji Kekerasan Media Pendingin Campuran Air Aquades Dan Garam	81
4.7 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan Spesimen Media Pendingin Campuran Air Aquades Dan Garam .....	81
4.8 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan Semua Media Pendingin .....	82
4.9 Struktur Mikro ASM <i>Internasional</i> .....	84
4.10 Hasil Foto Mikro <i>Raw material</i> .....	85
4.11 Struktur Mikro Media Pendingin Air Aquades.....	85
4.12 Struktur Mikro Media Pendingin Oli <i>Quench</i> .....	86

4.13 Struktur Mikro Media Pendingin Campuran.....	87
4.14 Struktur Mikro Raw Material EMS 45.....	88
4.15 Grafik Nilai Beban Maksimum <i>Bending</i> .....	91
4.16 Nilai Tegangan Maksimum <i>Bending</i> .....	93
4.17 Nilai Modulus Elastisitas <i>Bending</i> .....	95
4.18 Nilai Defleksi <i>Bending</i> .....	97

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Usulan Topik Skripsi .....	109
2. Usulan Dosen Pembimbing.....	110
3. Surat Keputusan Dosen Pembimbing.....	111
4. Persetujuan Seminar Proposal.....	112
5. Surat Tugas Dosen Penguji.....	113
6. Undangan Seminar Proposal.....	114
7. Presensi Seminar Proposal Skripsi.....	115
8. Berita Acara Seminar Proposal Skripsi.....	116
9. Lembar Pernyataan Selesai Revisi Proposal Skripsi.....	117
10. Surat Izin Penelitian .....	118
11. Gambar Proses Pembuatan dan <i>Quenching</i> Spesimen.....	119
12. Proses Pengujian Spesimen.....	121
13. Grafik Hasil Pengujian Bending .....	122
14. Sertifikat bahan EMS 45 .....	126

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Pada era sekarang ini, di zaman modern semua lini kehidupan sudah berkembang pesat atau berkembang lebih maju menjadi lebih baik. Tak terkecuali dunia industri logam yang bisa dikatakan sebagai produsen dalam skala besar. Semua itu menyebabkan industri-industri logam terdorong untuk berusaha terus menerus meningkatkan mutu dari produk-produk logam yang dihasilkan. Manufaktur, penelitian, dan perancangan merupakan suatu cara dimana akan mendapat jalan keluar atau sebuah hasil yang jelas.

Industri logam yang bekerja sama dengan industri otomotifpun sering mendapat permintaan dari konsumen yakni kebutuhan logam yang kuat dan tahan terhadap keausan atau kerusakan karena pada komponen otomotif cenderung berbahan logam. Oleh sebab itu, para perancang dan industri otomotif juga telah berupaya meningkatkan kualitas rancangan dengan cara mengoptimasi disain. Meskipun demikian, kegagalan atau kerusakan suatu produk masih sering terjadi yang disebabkan oleh insiden dan bukan insiden. Kegagalan karena insiden umumnya terjadi karena beban yang melebihi kekuatan komponen atau struktur, misalnya beban kejut (*shock*) karena benturan, beban berlebih (*over load*), dan lain sebagainya. Sedangkan kegagalan yang bukan insiden disebabkan karena umur operasi yang telah melampaui batas waktu. Salah satu bentuk kegagalan dari



komponen otomotif adalah kegagalan yang terjadi pada sebuah poros roda belakang. Seperti halnya pada komponen poros roda, rangka badan, komponen mesin, dan lain-lain. Memperbaiki sifat logam agar tahan terhadap keausan dapat dilakukan dengan meningkatkan kekerasan dari logam itu sendiri.



Gambar 1.1 Contoh Kegagalan Pada Poros

*Quenching* merupakan salah satu cara yang bisa digunakan untuk meningkatkan kekerasan logam. *Quenching* adalah salah satu proses perlakuan panas baja dengan cara pemanasan pada suhu tertentu berkisar bergantung pada kandungan karbon yang dimiliki oleh baja itu sendiri, kemudian setelah mencapai suhu maksimal yang ditentukan ditahan selama beberapa saat, lalu di dinginkan secara mendadak dengan media pendingin seperti air, oli, air garam, minyak maupun pendingin lainnya. Proses *quench* adalah pendinginan secara cepat berupa pencelupan baja yang telah berada pada temperatur pengerasannya pada udara, air, air garam, oli dan lainnya sebagai media pendingin. Kemampuan jenis media pendingin dalam mendinginkan sebuah spesimen uji bisa berbeda-beda, jika semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat logam tersebut (Trihutomo, 2015:29).

Perlakuan panas *quenching* akan optimal atau sempurna jika memperhatikan faktor dari temperatur dan media pendingin yang dipergunakan.

Temperatur proses *hardening* akan menentukan terhadap tingkat ketahanan dan kekuatan material tersebut. Pemanasan material hingga suhu di daerah atau diatas daerah kritis 900°C akan terbentuk struktur *austenite* yang merupakan larutan solid dari karbon dalam baja. Struktur *austenite* ini akan berubah menjadi struktur *martensite* saat benda didinginkan atau dicelupkan ke media pendingin. Struktur *martensite* itu sendiri akan terbentuk menjadi optimal atau sempurna tergantung laju pendinginannya. Laju pendinginan itu sendiri bergantung pada media *quenching* yang dipergunakan, karena setiap media pendingin mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda-beda (Syuffi dan Irfa'i, 2014:107).

Pada dunia industri khususnya industri otomotif penggunaan baja karbon sudah tidak asing lagi. Benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini baja AISI 1010 adalah salah satu dari baja karbon rendah. Bahan ini termasuk dalam golongan baja karbon rendah karena dalam komposisinya mengandung karbon sebesar 0,08%-0,20%. Sedangkan untuk material baja AISI 1010 mempunyai kandungan unsur sebagai berikut Fe sebesar 99,158%, C 0,12%, Si 0,135%, Mn 0,278%, Cr 0,298%. Baja karbon rendah sering digunakan dalam komponen mesin-mesin industri seperti gear, rantai, skrup dan poros (Nofri dan Acang, 2017:189-199).

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan variasi media pendingin yaitu air aquades, *quenching oil*, dan campuran air aquades 50% : garam 50 % pada proses *quenching* untuk mengetahui nilai kekerasan baja AISI 1010 dan struktur mikro baja tersebut yang akan di aplikasikan ke dudukan roda mobil listrik.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas dapat didefinisikan beberapa faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan dan struktur mikro pada produk poros roda mobil listrik ialah:

- a. Proses perlakuan *quenching* suatu material dipengaruhi oleh temperatur yang ditentukan, pemilihan media pendingin, metode pendinginan, dan waktu penahanan temperatur.
- b. Penggunaan bahan dasar pada pembuatan komponen otomotif seringkali kurang memperhatikan kualitas bahan yang digunakan, hal ini menyebabkan keausan atau kerusakan pada komponen tersebut seperti poros roda mobil listrik. Oleh sebab itu memperbaiki sifat logam agar tahan terhadap keausan dapat dilakukan dengan meningkatkan kekerasan dari logam itu sendiri.
- c. Media pendingin untuk *quenching* menyebabkan perubahan sifat fisis berupa warna, struktur mikro, bentuk dan sifat mekanisnya berupa kekerasan, ketangguhan, kelenturan, dan keuletan yang berbeda.
- d. Perlakuan panas *quenching* akan optimal atau sempurna jika memperhatikan faktor dari temperatur dan media pendingin yang dipergunakan.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Kegiatan penelitian ini dibatasi oleh beberapa aspek antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah yaitu baja AISI 1010 yang akan diaplikasikan sebagai poros roda mobil listrik.
- b. Pemanasan pada proses *furnace* dilakukan pada suhu 900°C dengan durasi penahanan waktu 14 menit kemudian di *quenching*.
- c. Media pendingin yang digunakan pada penelitian ini ialah air aquades, air garam 50%, dan *quenching oil* (Merk Pikoli).
- d. Pembebanan pada pengujian *bending* menggunakan *three point bending* dengan mesin berkapasitas 600 kN dengan standar ASTM E290-14
- e. Pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah pengujian nilai kekerasan menggunakan uji kekerasan *microvikers* dan struktur mikro menggunakan mikroskop metalurgi dengan standar ASTM E3.

#### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang diatas, maka beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam kegiatan penelitian ini adalah:

- a. Bagaimanakah pengaruh variasi media pendingin air aquades, *quenching oil*, dan campuran air aquades 50% : garam 50 % terhadap nilai kekerasan pada baja AISI 1010?
- b. Bagaimanakah pengaruh variasi media pendingin air aquades, *quenching oil*, dan campuran air aquades 50% : garam 50 % terhadap struktur mikro pada baja AISI 1010?

- c. Bagaimanakah pengaruh variasi media pendingin air aquades, *quenching oi*, dan campuran air aquades 50% : garam 50 % terhadap tegangan maksimum *bending* pada baja AISI 1010?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Dari permasalahan yang telah diketahui, maka tujuan dari penelitian yang akan dilakukan ialah :

- a. Untuk mengetahui variasi media pendingin air aquades, *quenching oil*, dan campuran air aquades 50% : garam 50 % terhadap nilai kekerasan pada baja AISI 1010.
- b. Untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin air aquades, *quenching oil*, dan campuran air aquades 50% : garam 50 % terhadap struktur mikro pada baja AISI 1010.
- c. Untuk mengetahui variasi media pendingin air aquades, *quenching oil*, dan campuran air aquades 50% : garam 50 % terhadap tegangan maksimum *bending* pada baja AISI 1010.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan dan memperkaya hasil penelitian dalam perlakuan panas khususnya *quenching* yang telah ada.
2. Untuk mengkaji, mempelajari pengaruh pemberian media pendingin terhadap kekerasan suatu spesimen penelitian.

3. Memberikan pengetahuan tentang adanya pengaruh media pendingin pada proses *quenching* terhadap struktur mikro suatu spesimen penelitian.
4. Memberikan pengetahuan tentang adanya pengaruh media pendingin pada proses *quenching* terhadap tegangan maksimum bending suatu spesimen penelitian.
5. Mengetahui tentang pemilihan jenis media *quenching* yang sesuai sehingga mampu menghasilkan produk yang dibutuhkan oleh konsumen dan produk yang berkualitas tinggi.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Menurut Adawiyah (2014) dalam penelitian yang berjudul pengaruh perbedaan media pendingin terhadap struktur mikro dan kekerasan pegas daun dalam proses *hardening* menyimpulkan bahwa media air garam lebih tinggi harga kekerasannya dibandingkan dengan media pendingin lainnya. Pegas daun yang berasal dari salah satu materialnya pada penelitian ini adalah JIS (*Japanese industrial standars*) SUP 9A. Media pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah oli, air garam dan air biasa. Hasil dari eksperimen tersebut setelah dilakukan pengujian kekerasan *Hardness Rockwell* (HR) dan mikrostruktur maka didapatkan hasil kekerasan dari berbagai variasi media pendingin yaitu media oli 97,2 kg/mm<sup>2</sup>, media air garam 99,13 kg/mm<sup>2</sup>, media air biasa 96,5 kg/mm<sup>2</sup>, dan pembanding 94,7 kg/mm<sup>2</sup>. Kekerasan baja tersebut akan bertambah setelah melalui proses perlakuan panas dan dengan pendinginan yang tiba-tiba (celup cepat).

Penelitian yang dilakukan oleh Ismanhadi dan Setyorini (2013) tentang pengaruh media pendingin pada proses *hardening* terhadap struktur mikro baja mangan *hadfield* (*American Iron & Steel Institue*) AISI 3401 PT Semen Gresik menyimpulkan bahwa jenis media pendingin yang bervariasi mempengaruhi perubahan *austenit* menjadi *martensit*. Setelah proses *hardening* dilakukan pendinginan yang relatif cepat dengan menggunakan media pendingin air, oli,

*polivinylalcohol* 10%, dan *polyvinylalcohol* 40% bertujuan untuk mendapatkan nilai kekerasan *vickers* yang lebih tinggi yakni dengan pendinginan air  $275 \text{ kg/mm}^2$  sedangkan tanpa perlakuan  $206 \text{ kg/mm}^2$ . Viskositas dari media pendingin yang berbeda-beda berpengaruh terhadap laju pendinginan pada baja *mangan hadfield*. Strukturmikro yang terbentuk pada baja mangan *hadfield* yang mengalami proses *hardening* tampak butir-butir kristal yang seluruhnya martensit, sedangkan pada baja mangan *hadfield* yang tanpa mendapatkan perlakuan tampak karbida mangan lamellar dengan *matriks austenit*.

Menurut Kadhim (2016) dalam penelitiannya yang berjudul *effect of quenching media on mechanical properties for medium carbon steel* menyimpulkan bahwa Nilai tertinggi kekuatan tarik yang didapat yaitu  $998.6 \text{ N/mm}^2$  dan kekerasan *microvickers*  $360,4 \text{ kg/mm}^2$  untuk baja yang pendinginan dalam air dingin. Material yang digunakan dalam penelitian ini baja AISI 1039 yang diberi perlakuan *quenching* dengan media pendingin yang terdiri dari air dingin, air, oli *quenching* dan air panas. Dalam penelitian ini diperoleh data bahwa kekuatan tarik dan kekerasan meningkat dengan meningkatnya nilai suhu pemanasan proses perlakuan panas serta pendinginan dalam air dingin memiliki efek yang besar.

Peningkatan temperatur dan waktu penahanan *partitioning* akan meningkatkan persentase pertambahan panjang (elongation), persentase penyusutan area (*reduction area*), dan ketangguhan baja JIS S45C, namun yield strength, kekuatan tarik (UTS), dan kekerasan menurun (Sains dan Wijanarko, 2017). Proses perlakuan panas *quenching-partitioning* dilakukan pada baja JIS S45C dengan pemanasan dalam dapur sampai temperatur austenisasi  $900^\circ\text{C}$  dengan



waktu tahan 4 jam. Proses dilanjutkan dengan *quenching* ke dalam air selama 10 detik hingga mencapai temperatur 230°C lalu di-*partition* dalam furnace berisi campuran  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ , dan  $\text{NaNO}_2$ , pada temperatur *partitioning* yang divariasikan 275°C, 300°C, 325°C, dan 350°C dengan variasi waktu penahanan 10 detik, 100 detik, dan 1000 detik kemudian di-*quench* kembali ke dalam air. Judul pada ini adalah studi eksperimental pengaruh variasi temperatur dan waktu penahanan *partitioning* pada proses *quenching-partitioning* baja JIS S45C di bawah temperatur *martensite star*.

Penelitian yang dilakukan oleh Syuffi dan Irfa'i (2014) tentang pengaruh variasi temperatur *hardening* terhadap kekerasan baja S45C dengan media pendingin air menyimpulkan bahwa penggunaan variasi temperatur *hardening* terhadap kekerasan baja S45C dengan media pendingin air dan temperatur yang paling optimal terjadi pada temperature 930°C dengan media pendingin air yang memiliki rata-rata nilai kekerasan 57,9  $\text{kg/mm}^2$ . Pada penelitian ini variasi temperature *hardening* yaitu 930°C, 955°C, 980°C dengan lama waktu penahanan adalah 30 menit. Pengujian nilai kekerasan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan standar *Hardness Rockwell Cone* (HRC). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan Rockwell pada temperature 930°C mempunyai rata-rata nilai kekerasan 57,9  $\text{kg/mm}^2$ . Lalu pada temperature 955°C mempunyai rata-rata nilai kekerasan 48,6  $\text{kg/mm}^2$ . Dan temperatur 980°C mempunyai rata-rata nilai kekerasan 43,4  $\text{kg/mm}^2$ .

Menurut Septianto dan Setiyorini (2013) dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh media pendingin pada *heat treatment* terhadap struktur mikro dan sifat

mekanik *friction wedge* AISI 1340 menyimpulkan bahwa Dari hasil uji , performa paling baik pada temperatur 300°C dihasilkan pada pendinginan quench oli (*Society of Automotive Engineers*) SAE 20 W, dengan pertambahan panjang sebesar 0,65%. Kekerasan yang dihasilkan oleh media pendingin air adalah 556,6 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan *quench* oli dan polimer 461,8 kg/mm<sup>2</sup> dan 416 kg/mm<sup>2</sup>. Pada pendinginan udara dihasilkan kekerasan di bawah 300 kg/mm<sup>2</sup>.

Murtiono (2012) menyatakan bahwa pada penelitian yang berjudul pengaruh *quenching* dan *tempering* terhadap kekerasan dan kekuatan tarik serta struktur mikro baja karbon sedang untuk mata pisau pemanen sawit menyimpulkan bahwa proses *tempering* dapat menurunkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa nilai kekerasan optimum adalah 825,6 kg/mm<sup>2</sup> setelah *quenching* pada suhu 830°C dan 333 kg/mm<sup>2</sup> setelah di-*temper* selama 1 jam pada suhu 550°C. Hasil pengujian tarik diperoleh tegangan luluh (*yield strength*) 607,72 MPa dan tegangan batas (*ultimate strength*) 939 MPa. Besarnya kenaikan butiran dari raw material 5,6 µm menjadi 5,9 µm setelah *quenching*, dan setelah *tempering* naik menjadi 6,12 µm, 6,93 µm, dan 7,15 µm. Sementara hasil mikro struktur memperlihatkan bahwa diameter butiran bahan menunjukkan kenaikan diameter butiran selama proses *heat treatment*. Dimana korelasi antara diameter butiran dan sifat mekanis adalah berbanding terbalik sesuai dengan rumus yang dikemukakan oleh *Hall and Petch method*.

Penelitian yang dilakukan Putra dan Winangun (2017) yang berjudul pengaruh variasi media *quenching* hasil penyisipan baja *bearing*, piringan cakram, dan pegas daun pada sisi potong (*cutting edge*) terhadap sifat kekerasan produk

pande besi menyimpulkan bahwa pendinginan menggunakan media *quenching* air garam terbentuk fasa *ferit*, *austenite* dan *martensite* yang lebih rapat dan menyebar merata dibandingkan sampel uji media *quenching* air dan air kapur sehingga nilai kekerasannya meningkat. Proses pemanasan dilakukan pada temperatur 800°C selama 30 menit, lalu proses *quenching* dengan variasi media pendingin 100% air, air garam, dan air kapur. Hasil uji kekerasan sampel dengan media *quenching* air pada sisipan baja *bearing*, cakram, dan pegas daun masing-masing sebesar 70,6 kg/mm<sup>2</sup>, 16 kg/mm<sup>2</sup>, 59,3 kg/mm<sup>2</sup> pada media *quenching* air garam masing-masing sebesar 75 kg/mm<sup>2</sup>, 22,6 kg/mm<sup>2</sup>, 67 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada media *quenching* air kapur nilai kekerasan masing-masing sebesar 73,6 kg/mm<sup>2</sup>, 17,6 kg/mm<sup>2</sup>, dan 60 kg/mm<sup>2</sup>.

Menurut Trihutomo (2015) dalam penelitian yang berjudul analisa kekerasan pada pisau berbahan baja karbon menengah hasil proses *hardening* dengan media pendingin yang berbeda menyimpulkan bahwa bahwa proses pembuatan pisau menggunakan media pendingin oli adalah yang terbaik karena menghasilkan pisau dengan tingkat kekerasan yang cukup tinggi disertai dengan tingkat keuletan yang baik sehingga tidak getas. Baja karbon menengah yang digunakan setelah dilakukan uji komposisi menggunakan (*Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-ray*) SEM-EDX menunjukkan kandungan karbon sebesar 7,52 % wt atau sama dengan 0,63% C berarti termasuk baja karbon sedang. Bahan pisau yang terbuat dari baja karbon menengah, diberikan perlakuan *hardening* pada temperatur 800°C dengan lama waktu pemanasan selama 30 menit. Kemudian dilakukan pendinginan dengan menggunakan media pendingin yang

berbeda yaitu air, air garam, oli dan udara. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan mesin uji kekerasan *Micro Vickers*. Hasil analisa data menunjukkan bahwa pisau yang menggunakan media pendingin air memiliki nilai rata-rata kekerasan  $652,64 \text{ kg/mm}^2$ , pisau yang menggunakan media pendingin air garam rata-rata nilai kekerasannya  $836,56 \text{ kg/mm}^2$ , pisau yang menggunakan media pendingin oli mempunyai nilai rata-rata kekerasan  $600 \text{ kg/mm}^2$  dan pisau yang menggunakan media pendingin udara memiliki rata-rata nilai kekerasan  $335,44 \text{ kg/mm}^2$ .

Nofriady dan Sudarisman (2015) menyatakan bahwa pada penelitiannya yang berjudul pengaruh perlakuan panas baja AISI 1029 dengan metoda *quenching* dan media pendingin terhadap sifat mekanik dan makro struktur menyimpulkan bahwa nilai kekerasan yang optimal didapat oleh media pendingin air dengan temperatur perlakuan panasnya  $820^\circ\text{C}$ . Kekerasan bahan tertinggi terdapat pada spesimen uji yang diberi perlakuan panas pada temperatur  $820^\circ\text{C}$  dengan media pendingin air yaitu  $299 \text{ kg/mm}^2$ . Kekerasan bahan terendah terdapat pada specimen uji yang diberikan perlakuan panas pada temperatur  $785^\circ\text{C}$  dengan media pendingin oli yaitu  $180 \text{ kg/mm}^2$ . Secara makro struktur permukaan patah menunjukkan patah ulet adalah sampel dengan media pendingin oli dan sebaliknya patah getas pada media air.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Heat Treatment**

*Heat Treatment* (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada elektrik *furnace* (tungku pemanasan) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli, dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan (Adawiyah dkk, 2014; 89).

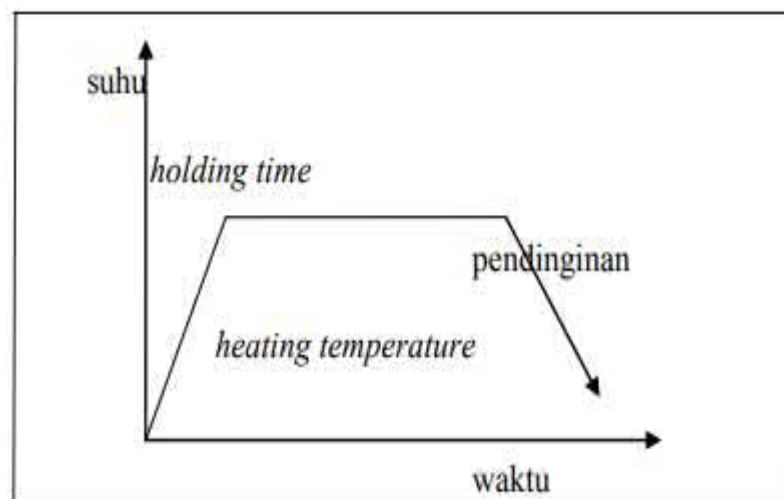
Adanya sifat *alotropik* dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari berbagai jenis logam. *Alotropik* itu sendiri adalah merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Pada temperatur di bawah  $910^{\circ}\text{C}$  sel satuannya *Body Center Cubic* (BCC), temperatur antara  $910^{\circ}\text{C}$  dan  $1392^{\circ}\text{C}$  sel satuannya *Face Center Cubic* (FCC) sedangkan temperatur di atas  $1392^{\circ}\text{C}$  sel satuannya kembali menjadi BCC.

Adapun tujuan dari *heat treatment* adalah:

- a. Mempersiapkan material untuk pengolahan berikutnya.
- b. Mempermudah proses pemesinan.

- c. Mengurangi kebutuhan daya pembentukan dan kebutuhan energi.
- d. Memperbaiki keuletan dan kekuatan material.
- e. Mengeraskan logam sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat.
- f. Menghilangkan tegangan dalam.
- g. Memperbesar atau memperkecil ukuran butiran agar seragam.
- h. Menghasilkan permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet.

Skema pada proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui diagram temperatur terhadap waktu seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Temperatur Terhadap Waktu

(Sumber : Karmin dan Ginting, 2012).

Ketiga kondisi proses di atas tergantung dari sifat yang ingin dicapai.

Selama pemanasan dan pendinginan diharapkan didalam logam terjadi perubahan struktur mikro yang pada akhirnya akan diperoleh sifat baru yang kita inginkan.

Perlu kita ketahui bahwa struktur mikro yang terjadi pada akhir proses perlakuan panas dipengaruhi oleh :

1. Komposisi unsur dalam material dan *hardenability*.
2. Proses perlakuan panas yang dilakukan pada bahan.
3. Struktur/ kondisi awal material.

### **2.2.2 Quenching**

*Quenching* adalah salah satu proses perlakuan panas baja dengan cara pemanasan pada suhu tertentu berkisar bergantung pada kandungan karbon yang dimiliki oleh baja itu sendiri, kemudian setelah mencapai suhu maksimal yang ditentukan ditahan selama beberapa saat, lalu di dinginkan secara mendadak dengan media pendingin seperti air, oli, air garam, minyak maupun pendingin lainnya. *Quenching* itu sendiri merupakan suatu bagian dari proses *hardening*. *Quenching* dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan, dan *strength* yang lebih baik. Kekerasan yang dihasilkan juga tergantung pada kandungan karbon dan kekeerasan yang terjadi tergantung pada temperature pemanasan, *holding time*, laju pendinginan yang dilakukan dan ketebalan sampel. Untuk memperoleh kekerasan yang baik (martensit yang keras) maka pada saat pemanasan harus dapat dicapai struktur austenit, karena hanya austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit.

Perlakuan panas *hardening* adalah proses kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu (Trihutomo 2015: 29) . Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan, jangka waktu penghentian yang memadai pada suhu pengerasan dan pendinginan (pengejukan) berikutnya secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis. Akibat pengejukan dingin dari daerah

suhu pengerasan ini, dicapailah suatu keadaan paksaan bagi struktur baja yang merangsang kekerasan, oleh karena itu maka proses pengerasan ini disebut pengerasan kejut.

Setelah proses *hardening* selanjutnya akan di lakukan proses pendinginan. *Quench* merupakan pendinginan secara cepat suatu logam dengan pencelupan pada media pendingin. Kekerasan maksimum dapat terjadi dengan mendinginkan secara mendadak sampel yang telah dipanaskan sehingga mengakibatkan perubahan struktur mikro. Laju pendinginan tergantung pada beberapa faktor yaitu temperatur medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktivitas termal medium, viskositas, dan agitasi (aliran media pendingin). Laju pendinginan tergantung pada beberapa faktor yaitu medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktivitas termal medium, viskositas, dan agitasi (aliran media pendingin). Kecepatan pendinginan dengan air lebih besar dibandingkan pendinginan dengan oli, sedangkan pendingin dengan udara memiliki kecepatan yang paling kecil (Syaefudin, 2001).

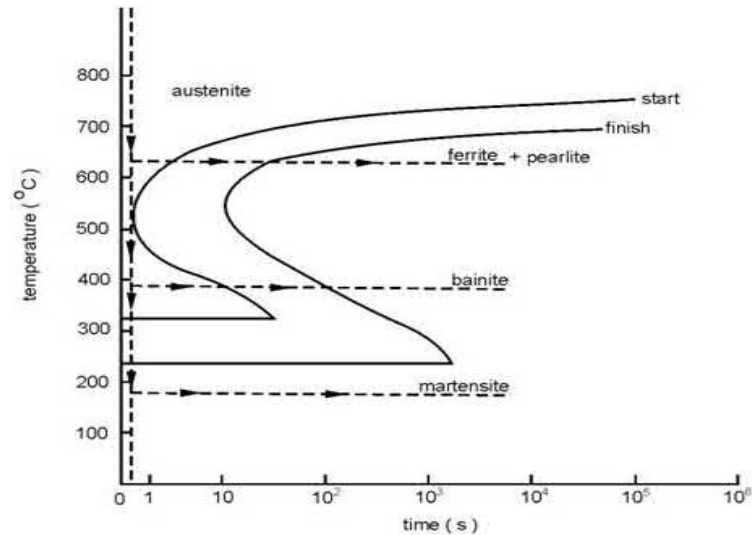
Proses *quenching* melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan. Pertama yaitu jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua adalah komposisi kimia dan *hardenability* dari logam tersebut. *Hardenability* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*.

#### 1. Pendinginan tidak menerus

Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan



menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada diagram *Isothermal Transformation Diagram* di bawah ini.



Gambar 2.2 *Isothermal Transformation Diagram*

Berikut beberapa penjelasan tentang diagram di atas :

- Bentuk diagram tergantung dengan komposisi kimia terutama kadar karbon dalam baja tersebut.
- Untuk baja dengan kadar karbon kurang dari 0,83% yang ditahan suhunya dititik tertentu dan letaknya dibagian atas dari kurva C, akan menghasilkan struktur perlit dan ferit.
- Jika ditahan suhunya pada titik tertentu bagian bawah kurva C tapi masih disisi sebelah atas garis horizontal, maka akan mendapatkan struktur mikro Bainit (lebih keras dari perlit).
- Bila ditahan suhunya pada titik tertentu di bawah garis horizontal, maka akan mendapat struktur Martensit (sangat keras dan getas).

- e) Semakin tinggi kadar karbon, maka kedua buah kurva C tersebut akan bergeser kekanan.
- f) Ukuran butir sangat dipengaruhi oleh tingginya suhu pemanasan, lamanya pemanasan dan semakin lama pemanasannya akan timbul butiran yang lebih besar. Semakin cepat pendinginan akan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil.

## 2. Pendinginan Terus Menerus

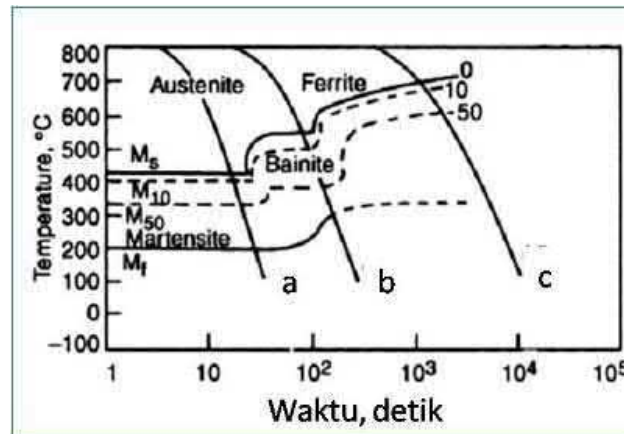
Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan terus menerus terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat dari diagram *Continuous Cooling Transformation Diagram*.

Penjelasan diagram *Continuous Cooling Transformation Diagram* :

Kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara kontinyu yang sangat cepat dari temperature austenite sekitar 920 °C ke temperatur 200°C. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa *austenite* menjadi *martensit*. Fasa *Austenite* akan mulai terdekomposisi menjadi martensit pada Temperature MS (*Martensite Start*). Sedangkan akhir pembentukan *martensite* akan berakhir ketika pendinginan mencapai temperature MF (*martensite finish*).

Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju sedang/medium dari temperature 920°C ke 250°C. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa austenite terdekomposisi menjadi struktur bainit. Kurva pendinginan (c) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan

lambat dari temperatur 920°C ke 250°C. Pendinginan lambat ini menyebabkan fasa *austenite* terdekomposisi menjadi fasa ferit dan perlit.



Gambar 2.3 *Continuous Cooling Transformation Diagram*.

Proses *hardening* yang lainnya sebagai berikut :

#### A. *Tempering*

*Tempering* adalah proses pemanasan kembali sampai temperatur di bawah temperatur kritis bawah, hal tersebut dimaksudkan agar dapat mengurangi tegangan dalam, keuletan serta ketangguhannya naik kembali (Supriyanto dan Bowo 2012: 47). *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh/getas dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses

ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses *anil* (*annealing*) karena sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat.

Pada suhu 200°C sampai 300°C laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Di antara suhu 500°C dan 600°C difusi berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang berdifusi di antara atom besi dapat membentuk *cementit*.

Menurut tujuannya proses *tempering* dibedakan sebagai berikut :

1. *Tempering* pada suhu rendah ( 150° – 300°C ) .

*Tempering* ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

2. *Tempering* pada suhu menengah ( 300° - 550°C ).

*Tempering* pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500°C pada proses *tempering*.

3. *Tempering* pada suhu tinggi ( 550°C - 650°C ).

*Tempering* suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.

## B. *Annealing*

Proses penganilan (*annealing*) pada baja adalah proses pemanasan logam baja hingga tinggi suhu tertentu, kemudian dipertahankan suhunya tetap dalam waktu tertentu dan diikuti dengan pendinginan lambat dalam tungku yang dimatikan

(Pujiastut, dkk 2015: 14). Tujuan annealing adalah untuk mendapatkan baja dengan kadar karbon tinggi tetapi dapat dikerjakan mesin/mampu mesin atau pengerjaan dingin, memperbaiki keuletan, menurunkan/menghilangkan ketidak homogenan struktur, memperhalus ukuran butir, menghilangkan tegangan dalam dan menyiapkan struktur baja untuk proses perlakuan panas. Semakin tinggi suhu pemanasan maka struktur mikro baja karbon akan berubah dan besar ukuran butir bertambah besar sehingga baja karbon semakin ulet dan kekerasan menurun.

Bertambahnya suhu *annealing* maka kekerasan akan menurun. Kekerasan juga akan menurun dengan dengan bertambahnya waktu tahan. Logam dipanaskan sekitar 25°C di atas temperatur kritis bagian atas, ditahan dalam beberapa waktu, kemudian didinginkan pelan-pelan di tungku perapian. Proses ini digunakan untuk memindahkan tekanan internal penuh sebagai hasil proses pendinginan. Berikutnya pendinginan logam diatur kembali di dalam sama besar untuk menurunkan energi bentuk wujud, tegangan yang baru dibebaskan dibentuk dan pertumbuhan butir dukung. Tujuannya untuk menghilangkan *internal stress* pada logam dan untuk menghaluskan *grain* (batas butir) dari atom logam, serta mengurangi kekerasan, sehingga menjadi lebih ulet. *Annealing* terdiri dari 3 proses yaitu :

1. Fase *recovery*

Fase *recovery* adalah hasil dari pelunakan logam melalui pelepasan cacat kristal (tipe utama dimana cacat linear disebut dislokasi) dan tegangan dalam.

2. Fase *rekristalisasi*

Fase *rekristalisasi* adalah fase dimana butir *nucleate* baru dan tumbuh untuk menggantikan cacat- cacat oleh tegangan dalam.

### 3. Fase *grain growth* (tumbuhnya butir)

Fase *grain growth* (tumbuhnya butir) adalah fase dimana mikro struktur mulai menjadi kasar dan menyebabkan logam tidak terlalu memuaskan untuk proses pemesinan.

### C. *Normalizing*

*Normalizing* adalah suatu proses yang dilakukan dengan cara memanaskan baja hingga mencapai temperatur *austenite*, kemudian pada temperatur tersebut ditahan untuk beberapa saat, lalu di dinginkan perlahan-lahan dengan menggunakan media pendingin udara. Tujuan dari perlakuan *normalizing* ini adalah meningkatkan keseragaman dan mengeleminasi tegangan sisa. Temperatur pemanasan *normalizing* sekitar 50° C di atas temperatur kritis atas Ac3 untuk baja *hypoeutectoid* agar diperoleh *austenite* yang homogen (Kohar, R. 2014: 60)

Pada proses pendinginan ini temperatur logam terjaga untuk sementara waktu sekitar 2 menit per mm dari ketebalannya hingga temperatur spesimen sama dengan temperatur ruangan, dan struktur yang diperoleh dalam proses ini diantaranya *perlit (eutectoid)*, *perlit brown ferrite (hypoeutectoid)* atau *perlit brown cementite (hypereutectoid)*. *Normalizing* digunakan untuk menyuling struktur butir dan menciptakan suatu *austenite* yang lebih homogen ketika baja dipanaskan kembali.

### 2.2.3 *Holding Time*

*Holding time*  adalah suatu proses mempertahankan suhu pada waktu tertentu sehingga temperaturnya merata dan perubahan strukturnya terjadi secara merata pula. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur *austenitnya* homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam *austenite*, difusi karbon dan unsur paduannya. Baja perlu ditahan pada suhu *austenite* untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogen *austenite*.

Waktu penahanan sangat berpengaruh pada saat transformasi karena apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak homogen selain itu waktu tahan terlalu pendek akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini dikarenakan tidak cukupnya jumlah karbida yang larut dalam larutan (Pramono, A. 2011 :32-38). Pedoman untuk menentukan waktu penahanan dari berbagai jenis baja dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Jenis baja dan waktu tahan yang dibutuhkan pada proses perlakuan panas

Jenis Baja	Waktu tahan (menit)
Baja karbon dan baja paduan rendah	5-15
Baja paduan menengah	15-25

<i>Low alloy tool steel</i>	10-30
<i>High alloy chrome steel</i>	10-60
<i>Hot work tool steel</i>	15-30

Ketebalan benda uji sangat mempengaruhi pemberian waktu penahanan pada saat proses austenisasi. Secara matematis pemberian waktu penahanan terhadap ketebalan benda uji dapat ditulis pada persamaan berikut :

$$T = 1,4 \times H \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.1)}$$

dengan : T = waktu penahanan (menit)

H = tebal benda kerja (mm)

#### **2.2.4 Media Pendingin**

Media pendingin yaitu suatu bahan yang digunakan untuk mendinginkan suatu spesimen yang sudah dipanaskan pada proses perlakuan panas. Media pendingin ini diperlukan untuk merubah sifat mekanik baja agar mendapatkan sifat yang lebih keras dari sebelumnya. Ada banyak media yang dipakai untuk proses perlakuan panas ini diantaranya air, oli, udara, dan air garam. Namun seiring dengan berkembangnya dunia pendidikan media pendingin banyak ditemukan untuk digunakan pada proses perlakuan panas. Berbagai bahan media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain:

1. Air



Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia  $H_2O$ . Air memiliki sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Air memiliki titik beku  $0^{\circ}C$  dan titik didih  $100^{\circ}C$ . Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (minyak) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari minyak. Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak (Gary, 2011).

## 2. 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 pendinginan pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan minyak bakar atau oli. Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan sampel. Oli yang mempunyai viskositas lebih rendah memiliki kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas lebih tinggi karena penyerapan panas akan lebih lambat.

## 3. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendinginan 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.

#### 4. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendinginan 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. Cairan garam merupakan larutan garam dan air, titik didih larutan akan lebih tinggi daripada pelarut murninya. Keuntungan menggunakan air garam sebagai media pendingin adalah pada proses pendinginan suhunya merata pada semua bagian permukaan, tidak ada bahaya oksidasi, karburasi atau dekarburasi.

Tabel 2.2. Koefisien media pendingin pada perpindahan panas

(Sumber: Totten, 2007: 567)

Media Pendingin	Koefisien Perpindahan Panas (W/m <sup>2</sup> K)
Udara	35
Minyak	2000
Air	5000

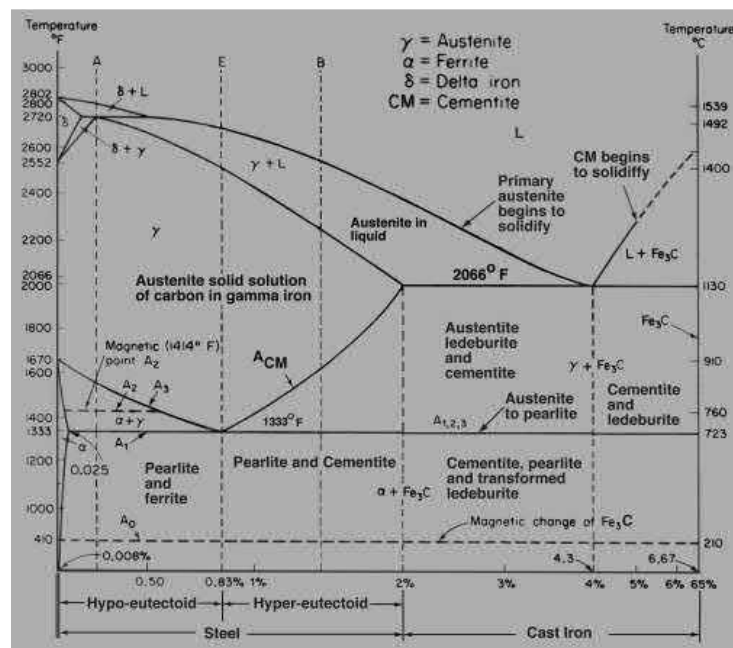
#### 2.2.5 Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

Diagram fasa besi-besi karbida dapat dilihat pada Gambar 2.3. Diagram ini dihasilkan pada proses pendinginan lambat. Baja dan besi yang ada kebanyakan berupa paduan besi dengan karbon, dimana karbonnya berupa senyawa *interstitial* (sementit). Sementit merupakan struktur logam yang stabil. Selain unsur karbon pada besi dan baja terkandung kurang lebih 0,25% Si, 0,3%-1,5% Mn serta unsur pengotor lain seperti P, dan S. Karena unsur-unsur tadi tidak digunakan dengan

menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. Melalui diagram keseimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C secara garis besar baja dapat juga dikelompokkan sebagai berikut:

1. Baja *hypo-eutectoid* dengan kandungan karbon 0,008%-0,80%.
2. Baja *eutectoid* dengan kandungan karbon 0,8%.
3. Baja *hypereutectoid* dengan kandungan karbon 0,8%-2%.

Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C sangat penting dibidang metalurgi karena sangat bermanfaat dalam menggambarkan perubahan-perubahan fasa pada baja seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4 Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

Dari gambar di atas dapat diterangkan atau dibaca diantaranya :

1. Pada kandungan karbon mencapai 6,67% terbentuk struktur mikro dinamakan sementit Fe<sub>3</sub>C (dapat dilihat pada garis vertikal paling kanan). Sifat – sifat sementit diantaranya sangat keras dan sangat getas.

2. Pada sisi kiri diagram dimana pada kandungan karbon yang sangat rendah, pada suhu kamar terbentuk struktur mikro ferit.
3. Pada baja dengan kadar karbon 0,83%, struktur mikro yang terbentuk adalah Perlit, kondisi suhu dan kadar karbon ini dinamakan titik *eutectoid*.
4. Pada baja dengan kandungan karbon rendah sampai dengan titik *eutectoid*, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara ferit dan perlit.
5. Pada baja dengan kandungan titik *eutectoid* sampai dengan 6,67%, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara perlit dan sementit.
6. Pada saat pendinginan dari suhu leleh baja dengan kadar karbon rendah, akan terbentuk struktur mikro ferit delta lalu menjadi struktur mikro *austenite*.
7. Pada baja dengan kadar karbon yang lebih tinggi, suhu leleh turun dengan naiknya kadar karbon, peralihan bentuk langsung dari leleh menjadi *austenite*.

Pada Gambar 2.3 ditampilkan diagram kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C, fasa-fasa yang terdapat pada diagram di atas dapat dijelaskan seperti berikut. A1 adalah temperatur reaksi *eutectoid* yaitu perubahan fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha$ +Fe<sub>3</sub>C (perlit) untuk baja *hypoeutectoid*. A2 adalah titik *currie* (pada temperatur 769°C), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik. A3 adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha$  (ferit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur. Acm adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi Fe<sub>3</sub>C (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur. Sedangkan pada A1,2,3 adalah temperatur transformasi  $\gamma$  menjadi  $\alpha$ +fe<sub>3</sub>C (perlit) untuk baja *hypereutecoid*.

### 2.2.6 Sifat Mekanik Baja

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban yang dikenakan padanya. Beban-beban tersebut dapat berupa beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi (Murtiono, Arief. 2012 : 59).

Sifat-sifat mekanik yang terpenting antara lain :

1. Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain dapat dilihat dari kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok.
2. Kekerasan (*hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk bertahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
3. Kekenyalan (*elasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
4. Kekakuan (*stiffness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk

(deformasi) atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting daripada kekuatan.

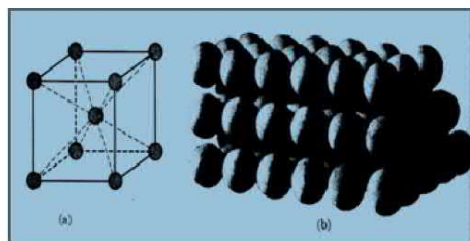
5. Plastisitas (*plasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis yang permanen tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, *forging*, *rolling*, *extruding* dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan/kekenyalan (*ductility*).
6. Ketangguhan (*toughness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit untuk diukur.
7. Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.
8. Keretakan (*creep*) merupakan kecenderungan suatu logam mengalami deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tersebut menerima beban yang besarnya relatif tetap.

### 2.2.7 Struktur Mikro Baja

Struktur mikro adalah kumpulan dari fasa-fasa yang hanya bisa dilihat dengan menggunakan alat bantuan mikroskop optik dan mikroskop electron dengan menggunakan teknik metalografi. Sebagian besar logam memiliki kisi kubik pemusatan ruang (kpr) atau kisi pemusatan sisi (kps) :

a. *Body Centered cubic (BCC)*

Bisa disebut juga logam kubik pemusatan ruang, besi mempunyai struktur kubik. Pada suhu ruang sel satuan besi mempunyai atom pada tiap titik sudut kubus dan satu atom pada pusat kubus. Besi merupakan logam yang paling umum dengan struktur kubik pemusatan ruang. Tiap atom besi dalam struktur kubik pemusatan (kpr) ini dikelilingi oleh delapan atom tetangga hal ini berlaku untuk setiap atom, baik yang terletak pada titik sudut maupun dipusat sel satuan.

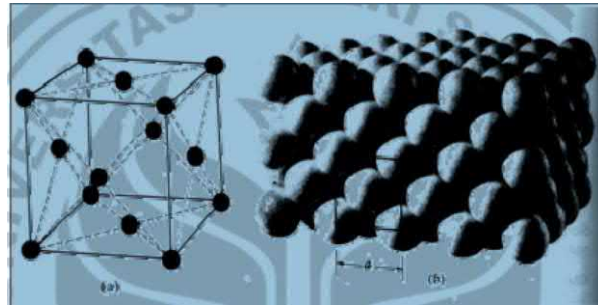


Gambar 2.5 Struktur kubik pemusatan ruang logam.

b. *Face Centered Cubic (FCC)*

Basa disebut logam kubik pemusatan sisi dimana terdapat sebuah atom ditengah setiap bidang permukaan, namun tak satupun dititik pusat kubus. Struktur kubik pemusatan sisi ini lebih sering dijumpai pada logam antara lain alumunium, tembaga timah hitam, perak dan nikel yang mempunyai pengaturan atom seperti ini (demikian pula halnya dengan besi pada suhu tinggi). Logam dengan struktur kubik pemusatan sisi mempunyai empat kali lebih banyak atom. Kedelapan atom pada

titik sudut menghasilkan satu atom, dan keenam bidang sisi menghasilkan tiga atom per sel satuan.



Gambar 2.6 Struktur kubik pemusatan sisi pada logam.

Suatu baja dapat diketahui struktur mikronya dengan memberikan perlakuan panas pada temperatur tertentu. Dengan menggunakan alat bantuan mikroskop maka struktur mikro yang terjadi pada baja berbeda-beda adapun struktur yang terlihat pada baja yaitu austenite. Menurut Rhifai, R (2010 : 16) berikut ini adalah fasa-fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon:

#### 1. *Austenite*

*Austenite* adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya *austenite* berubah menjadi ferit, perlit dan sementit. Sifat *austenite* adalah lunak, lentur dengan ketahanan tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%.

#### 2. *Ferit*

Ferit ini disebut alpha ( $\alpha$ ), ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon. Oleh sebab itu daya larut karbon dalam ferit rendah kurang dari 1 atom karbon per 1000 atom besi. Pada suhu ruang, kadar



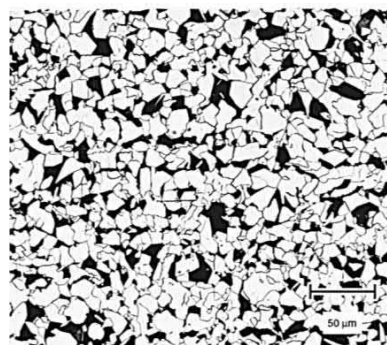
karbonnya 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025%, pada suhu 723°C. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768°C. Ferit lunak dan liat, kekerasan dari ferit berkisar antara 140-180 HVN (*Hardness Vickers Number*).



Gambar 2.7 Struktur mikro ferit  
(ASM International, 2004: 1440)

### 3. Perlit

Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon 0,025% dan sementit alam bentuk lamelar (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi perlit merupakan struktur mikro. Kekerasan dari perlit kurang lebih berkisar antara 180-250 HVN.

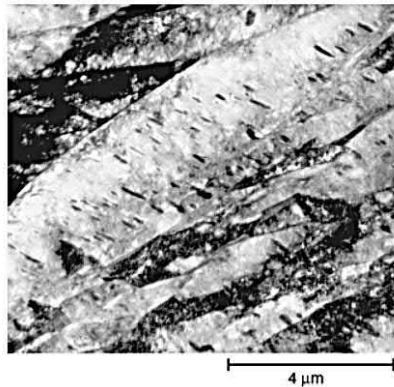


Gambar 2.8 Struktur mikro perlit

(ASM International, 2004: 1438)

#### 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 campuran fasa ferit dan sementit (Fe<sub>3</sub>C). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300-400 HVN (*Vicker Hardness Number*).

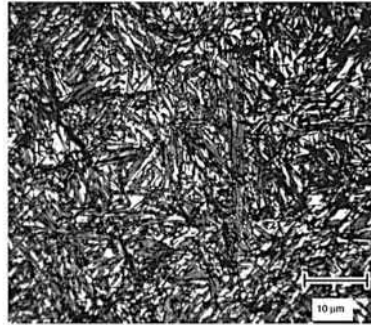


Gambar 2.9 Struktur mikro bainit  
(ASM International, 2004: 1450)

#### 5. Martensit

Martensit merupakan fasa dimana ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan dalam *lamellar*, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk dari *austenite* stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat. Terjadinya hanya presipitasi Fe<sub>3</sub>C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi *isothermal* pada 260°C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam matriks ferit. Martensit bilah (*lath martensite*) terbentuk jika kadar karbon dalam baja sampai 0,6% sedangkan di atas 1% C akan terbentuk martensit pelat (*plate martensite*). Perubahan dari tipe bilah

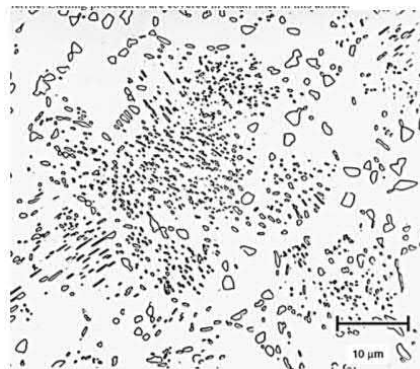
ke pelat terjadi pada interval 0,6% C-1,08%. Kekerasan dari martensit lebih dari 500 HVN.



Gambar 2.10 Struktur mikro plat martensit  
(ASM International, 2004: 1452)

#### 6. Sementit (karbida besi)

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (sementit). Karbida besi mempunyai komposisi kimia  $Fe_3C$ . Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Kekerasan sementit adalah 800 HVN.



Gambar 2.11. Struktur mikro sementit  
(ASM International, 2004: 1445)

### 2.2.8 Uji Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat diamati dengan berbagai cara bergantung pada sifat informasi yang dibutuhkan. Salah satu cara dalam mengamati struktur suatu bahan yaitu dengan teknik *metalografi* (pengujian mikroskopik). Mikroskop mikro yang digunakan untuk mengamati struktur bahan ditunjukkan pada Gambar 2.5.

#### a. Metalografi

Metalografi adalah ilmu yang berkaitan dengan penyusun dari mikrostruktur logam dan paduan yang dapat dilihat langsung oleh mata maupun dengan bantuan peralatan seperti mikroskop optik, mikroskop elektron SEM (*Scanning Electron Microscope*), dan difraksi sinar-X. Metalografi tidak hanya berkaitan dengan struktur logam tetapi juga mencakup pengetahuan yang diperlukan untuk preparasi awal permukaan bahan. Sampel metalografi harus memenuhi criteria yaitu mewakili sampel, cacat dipermukaan minimum bebas goresan, lubang cairan lengket, inklusi, presipitat, fasa terlihat jelas, permukaan sampel datar sehingga perbesaran maksimum mampu dicapai, dan permukaan sampel bagian pinggir tidak rusak (Noviani, 2010). Dalam preparasi sampel untuk pengujian mikroskopik dilakukan melalui lima tahapan yaitu:

##### 1. Pemotongan

Sampel untuk pengujian metalografi biasanya diambil dari material induk dengan melibatkan operasi pemotongan. Proses pemotongan induk dikerjakan dengan material *abrasive-wheel cutting* atau gergaji sehingga diperoleh sampel

dengan dimensi sesuai dengan yang dikehendaki. Sampel yang dipotong tersebut harus memenuhi kriteria persyarataan untuk metalografi.

## 2. Pembungkaiian

Tujuan dari pembungkaiian adalah untuk kenyamanan dalam menangani sampel dengan bentuk dan ukuran yang sulit selama proses penggerindaan, pemolesan, dan pengamatan metalografi. Tujuan kedua adalah melindungi ujung-ujung ekstrim dan cacat permukaan selama proses metalografi. Selain itu pembungkaiian juga digunakan sebagai sarana untuk menangani sampel radioaktif.

## 3. Penggerindaan

Penggerindaan dilakukan untuk mengeliminasi sisi-sisi tajam dan goresan dari sampel akibat proses pemotongan. Proses penggerindaan dilakukan dengan menggunakan kertas gerinda dari *grade* kasar ke *grade* halus dengan penggantian bertahap. Ketika dilakukan penggantian kertas gerindra posisi sampel harus diputar 90° dari posisi sampel ketika menggunakan kertas gerindra *grade* sebelumnya. Perlakuan ini ditujukan untuk menghilangkan goresan yang mungkin terbentuk ketika dilakukan penggerindaan.

## 4. Pemolesan

Pemolesan merupakan tahapan yang dilakukan untuk menyempurnakan hasil dari proses penggerindaan. Pada proses ini akan terjadi penghapusan goresan goresan halus yang mungkin tersisa dari proses penggerindaan. Sehingga melalui proses pemolesan ini akan didapatkan sampel yang bebas dari goresan yang

dapat menyebabkan hasil tidak maksimal saat metalografi. Pada umumnya pemolesan dilakukan dengan pasta *abrasive* seperti dengan menggunakan pasta alumina dan pasta intan.

## 5. Pengetsaan

Pengetsaan adalah suatu proses yang dilakukan untuk menampakkan batasbatas butir yang terbentuk pada logam. Prinsip dasar pengetsaan adalah melalui proses korosi terkendali. Pengendalian ini dapat berupa pengendalian waktu dan pengendalian bahan korosif yang digunakan. Proses terjadinya perbedaan warna, besar butir, bentuk dan ukuran butir yang mendasari penentuan dari jenis dan sifat fasa pada hasil pengamatan foto mikro adalah di akibatkan adanya proses pengetsaan. Salah satu jenis bahan yang digunakan dalam pengetsaan adalah *Aqua Regia*. Prinsip dari pengetsaan sebenarnya merupakan proses pengikisan mikro terkendali yang menghasilkan alur pada permukaan akibat *crystal faceting* yaitu orientasi kristal yang berbeda (batas butir), akan terjadi reaksi kimia yang berbeda intensitasnya. Maka atom atomnya akan lebih mudah terlepas sehingga terkikis lebih aman. Akibatnya adanya perbedaan ini dan bergantung pada arah cahaya pantulan yang tertangkap oleh lensa maka akan tampak bahwa fasa yang lebih lunak akan terlihat lebih terang dan fasa yang lebih keras akan terlihat gelap. Begitu juga akan terlihat bentuk dan ukuran butirannya sehingga dapat dibedakan fasa-fasa yang terlihat dalam bahan yang akan diuji (Van Vlack, 1992).

Secara umum prinsip kerja mikroskop optik adalah sinar datang yang berasal dari sumber cahaya melewati lensa kondensor, lalu sinar datang itu menuju

*glass plane* yang akan memantulkannya menuju sampel. Sebelum mencapai sampel, sinar datang melewati beberapa lensa pembesar. Kemudian sinar datang tersebut sebagian akan dipantulkan kembali, sedangkan sebagian lagi akan menyimpang akibat mengenai permukaan yang telah terkorosi pada saat pengetsaan. Sinar datang yang dipantulkan kembali ke mikroskop optik akan diteruskan ke lensa okuler sehingga dapat diamati.



Gambar 2.12. Mikroskop optik Alat *optical emission spectrometer* (OES)

### 2.2.9 Baja Karbon

Baja adalah logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,1% hingga 1,7% sesuai tingkatannya.. Karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, adalah elemen-elemen yang ada pada baja karbon. Selain itu, ada elemen lain yang ditambahkan untuk membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya: mangan, nikel, krom, molybdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium.

Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya kita dapat mendapatkan kualitas baja yang kita inginkan. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur peneras dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Sedangkan Mangan dipadukan dalam baja karbon dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan luluh dengan kandungan tidak lebih dari 0,5 % untuk dapat mencegah terjadinya kegetasan pada suhu tinggi (*hot shortness*) dan untuk mempermudah proses *rolling* saat pembentukan *raw material*. Untuk *Phosphor* (P) dan Sulfur (S) kedua unsur ini sedapat mungkin diminimalisir dalam paduan baja karbon, karena pada dasarnya sulit untuk mendapatkan paduan baja karbon tanpa phosphor dan sulfur. *Phosphor* menimbulkan sifat getas dan menurunkan kekuatan baja dalam menahan beban benturan pada suhu rendah. Sedangkan Sulfur menyebabkan baja menjadi getas pada suhu tinggi.

Karena hal itu, batas maksimal kandungan keduanya tidak boleh melebihi 0,05 %. Menurut (Murtiono,A. 2012) klasifikasi baja dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu:

#### 1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling mudah diproduksi diantara



karbon yang lain, mudah di *machining* dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Sehingga pada penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar, dan lain-lain.

## 2. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,3%C-0,6%C. Baja karbon menengah memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi daripada baja karbon rendah, kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan untuk pengelasan, dan dapat dikeraskan dengan baik. Baja karbon menengah banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi, dan lain-lain.

## 3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kandungan karbon 0,6% C-1,7% C dan memiliki tahan panas yang tinggi, kekerasan tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material perkakas (*tools*). Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji atau pahat potong.

Selain itu, baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji, dan sebagainya.

### **2.2.10 Baja AISI 1010**

Baja karbon rendah atau sangat rendah, seperti telah dijelaskan sebelumnya, banyak digunakan untuk proses pembentukan logam lembaran, misalnya untuk badan dan rangka kendaraan serta komponen-komponen otomotif lainnya. Dari semua baja yang berbeda, baja yang diproduksi dalam jumlah terbesar termasuk dalam klasifikasi rendah karbon. Baja ini umumnya mengandung kurang dari sekitar 0,25% berat C dan tidak responsif terhadap perlakuan panas yang dimaksudkan untuk membentuk martensit; penguatan dicapai dengan kerja dingin. Mikrostruktur terdiri dari konstituen *ferit dan perlit*. *Ferrite* adalah salah satu fasa penting di dalam baja yang bersifat lunak dan ulet. Sebagai konsekuensinya, paduan ini relatif lunak dan lemah tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang luar biasa; selain itu, mereka dapat dimesin, dapat dilas, dan, dari semua baja, adalah yang paling murah untuk diproduksi. Aplikasi yang umum termasuk komponen bodi mobil, bentuk struktural (balok-I, saluran dan besi sudut), dan lembaran yang digunakan pada saluran pipa, gedung, jembatan, dan kaleng. Pada pemilihan material baja AISI 1010 didasarkan karena bahan tersebut sering diaplikasikan pada bidang-bidang permesinan di Indonesia. Menurut (Callister, *et.,al* 2011) klasifikasi material baja AISI 1010 termasuk kedalam karbon rendah karena mengandung carbon kurang dari 0,25% sedangkan jenis material termasuk baja AISI 1010 karena

unsur pembentuknya memenuhi klasifikasi dimana standar kadar karbon (C) 0.08-0.13%, kadar mangan (Mn) 0.30-0.60 %.

### **2.2.11 Poros**

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Peranan utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros. Dalam bab ini akan dibicarakan hal poros penerus daya dan pasak yang dipakai untuk meneruskan momen dari atau kepada poros.

#### **1. Macam- macam poros.**

Poros untuk meneruskan daya diklasifikasikan menurut pembebanannya sebagai berikut :

a. Poros transmisi.

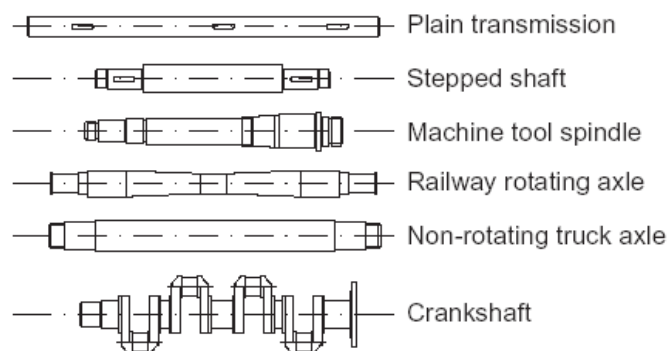
Poros macam ini mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, puli, sabuk atau sproket rantai.

b. Spindel.

Poros transmisi yang relatif pendek seperti poros utama mesin perkakas dimana beban utamanya berupa puntiran, disebut spindel. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti.

c. Gandar.

Poros seperti yang dipasang di antara roda-roda kereta barang, dimana tidak mendapat beban puntir, bahkan kadang-kadang tidak boleh berputar, disebut gandar. Gandar ini hanya mendapat beban lentur, kecuali jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir juga.



Gambar 2.13 Macam-macam bentuk poros

## 2. Hal-hal penting dalam perencanaan poros

Merencanakan sebuah poros harus memperhatikan beberapa hal, hal-hal berikut ini yang perlu diperhatikan:

### a. Kekuatan poros.

Suatu poros transmisi dapat mengalami beban puntir atau lentur atau gabungan antara puntir dan lentur. Selain itu ada juga poros yang mendapat beban tarik atau tekan seperti poros baling-baling kapal atau turbin. Kelelahan, tumbukan, atau pengaruh konsentrasi tegangan bila diameter poros diperkecil (poros berongga) atau bila poros mempunyai alur pasak, harus diperhatikan. Sebuah poros harus direncanakan hingga cukup kuat untuk menahan beban-beban di atasnya.

### b. Kekakuan poros.

Meskipun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup tetapi jika lenturan atau defleksi puntirnya terlalu besar akan mengakibatkan ketidak-efektifan atau getaran dan suara. Oleh karena itu disamping kekuatan poros, kekakuannya juga harus diperhatikan dan disesuaikan dengan macam mesin yang akan dilayani poros tersebut.

c. Putaran kritis.

Bila putaran suatu mesin dinaikkan pada suatu harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya. Putaran ini disebut putaran kritis. Hal ini dapat terjadi pada turbin, motor torak, motor listrik dan dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian lainnya. Jika mungkin poros harus direncanakan sedemikian rupa hingga putaran kerjanya lebih rendah dari putaran kritisnya.

d. Korosi.

Bahan-bahan tahan korosi (termasuk plastik) harus dipilih untuk poros propeler dan pompa bila terjadi kontak dengan fluida yang korosif. Demikian pula untuk poros-poros yang terancam kavitasi dan poros-poros mesin yang sering berhenti lama. Sampai batas-batas tertentu dapat pula dilakukan perlindungan terhadap korosi.

### **2.2.12 Pengujian *Bending***

Alat uji *bending* adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekuatan lengkung (*bending*) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat uji *bending* memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, *point bending* dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi

pada saat melakukan uji *bending*. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). *Point bending* berfungsi sebagai tumpuan benda uji dan juga sebagai penerus gaya tekan yang dikeluarkan oleh alat tekan. Panjang pendek tumpuan *point bending* berpengaruh terhadap hasil pengujian. Alat ukur adalah suatu alat yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji. Uji *bending* adalah suatu proses pengujian material dengan cara di tekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu material yang di uji. Proses pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian, yaitu 3 *point bending* dan 4 *point bending*.

#### a. *Point Bending*

*Point bending* adalah suatu sistem atau cara dalam melakukan pengujian lengkung (*bending*). *Point bending* ini memiliki 2 tipe, yaitu: *three point bending* dan *four point bending*. Perbedaan dari kedua cara pengujian ini hanya terletak dari bentuk dan jumlah *point* yang digunakan, *three point bending* menggunakan 2 *point* pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 1 *point* pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan sedangkan *four point bending* menggunakan 2 *point* pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 2 *point* (penekan) pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan. Selain itu juga terdapat beberapa kelebihan dan kelemahan dari cara pengujian *three point* dan *four point*.

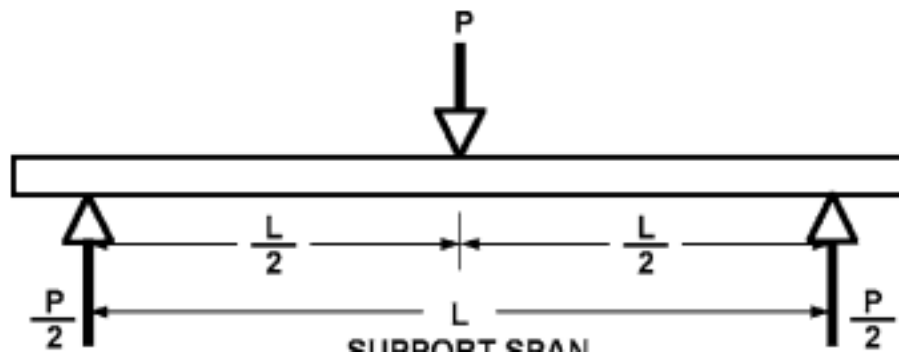
Tabel 2.3. Kelebihan dan Kekurangan Metode Uji *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* (Khamid, 2011)

<i>Three Point Bending</i>	<i>Four Point Bending</i>
Kelebihan	
1) Kemudahan persiapan spesimen dan pengujian.	1) Penggunaan rumus perhitungan lebih mudah.
2) Pembuatan <i>point</i> lebih mudah.	2) Lebih akurat hasil pengujiannya.
Kekurangan	
1) Kesulitan menentukan titik tengah persis, karena jika posisi tidak di tengah persis penggunaan rumus berubah.	1) Pembuatan <i>point</i> lebih rumit. 2) 2 <i>point</i> atas harus bersamaan menekan benda uji. Jika salah satu <i>point</i> lebih dulu menekan benda uji maka terjadi <i>three point bending</i> , sehingga rumus yang digunakan berbeda.
2) Kemungkinan terjadi pergeseran, sehingga benda yang diuji pecah/patah tidak tepat di tengah maka rumus yang digunakan kombinasi tegangan lengkung dengan tegangan geser	

Secara umum proses pengujian *bending* memiliki 2 cara pengujian, yaitu *three point bending* dan *four point bending*. Kedua cara pengujian ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing karena tiap cara pengujian memiliki cara perhitungan yang berbeda-beda.

### 1. Three Point Bending

*Three point bending* adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan.



Gambar 2.14. *Three Point Bending (ASTM Internasional)*

Perhitungan yang digunakan :

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.2)}$$

Keterangan rumus (*ASTM Internasional*) :

$\sigma_f$  = Kekuatan *bending* (MPa)

P = Beban (N)

L = Jarak tumpuan spesimen (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

h = Tebal spesimen (mm)

Menentukan tegangan maksimum *bending* dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I} \quad \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.3)}$$

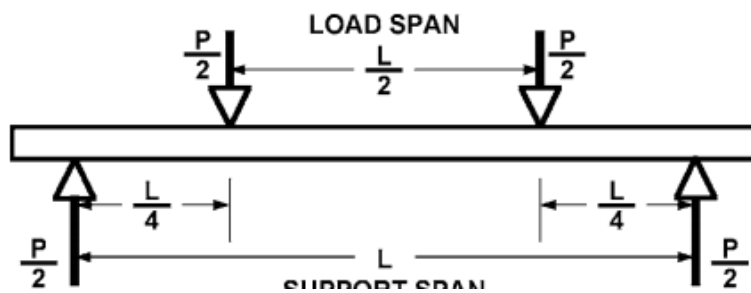
$$= \frac{P}{L} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2} d \Big/ \frac{1}{12} \times b \times d^3$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} x P x L x d \Big/ \frac{1}{12} x b x d^3 \\
 &= \frac{1}{8} x P x L \Big/ \frac{1}{12} x b x d^2 \\
 &= 3 x P x L / 2 x b x d^2 \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.4)}
 \end{aligned}$$

## 2. Four Point Bending

*Four point bending* adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 2 penekan.



Gambar 2.15. *Four point bending (ASTM Internasional)*

Perhitungan yang digunakan (*ASTM Internasional*):

$$\sigma_f = \frac{3PL}{4bh^2} \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.5)}$$

Keterangan:

$\sigma_f$  = Tegangan lengkung (MPa)

P = beban atau Gaya yang terjadi (N)

L = Jarak *point* (mm)

b = lebar benda uji (mm)

$h$  = Ketebalan benda uji (mm)

### 2.2.13 Uji Kekerasan *Microvikers*

Pengujian kekerasan adalah satu pengujian dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang relatif kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi benda uji. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekankan penekanan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk di atasnya (Surdia, 2000).

Secara umum semua sifat mekanik dapat terwakili oleh sifat kekerasan bahan, orang berasumsi bahwa yang keras itu pasti kuat, sehingga jika dibutuhkan bahan yang kuat, maka pilih bahan yang keras. ini merupakan pernyataan yang keliru, bahwa ada suatu bahan yang memiliki kesebandingan antara kekerasan dengan kekuatan itu benar tetapi ada juga sifat yang justru perbandingannya terbalik bahwa bahan yang keras akan rapuh. (Sudjana, 2008: 408).

Pengujian kekerasan merupakan kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam pembebanan yang tepat, sehingga ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji dan karena pengaruh pembebanan benda uji akan mengalami deformasi. Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian, ketiga jenis tersebut adalah kekerasan goresan (*scratch hardness*), kekerasan lekukan (*indentation hardness*) dan kekerasan pantulan (*rebound*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*). Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan

bidang rekayasa. Dapat disimpulkan kekerasan bisa didefinisikan sebagai ketahanan sebuah benda kerja terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (*penetrator*). Pengujian kekerasan dapat diketahui dengan cara mengukur ketahanan suatu benda terhadap penekanan, dengan cara penekanan bola baja atau piramida intan yang dikeraskan pada permukaan benda kerja lalu mengukur bekas penekanan dari penetrator tersebut. Nilai kekerasan suatu benda kerja dapat diketahui dengan pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan (*hardness tester*) menggunakan tiga cara atau metode yang biasanya dilakukan yaitu metode *Brinell, Rockwell dan Vickers*.

a. Kekerasan *Vickers*

Pada prinsipnya pengujian dengan sistem *Vickers* ini tidak jauh berbeda dengan Pengujian kekerasan dengan sistem *Brinell*, salah satu yang berbeda didalam pengujian kekerasan sistem *Vickers* ini ialah pemakaian Indentornya, dimana *Vickers* menggunakan piramida intan dengan sudut puncak piramida adalah 136, Bentuk indentor yang relative tajam dibanding dengan *Brinell* yang menggunakan bola baja, *Vickers* memberikan pembebanan yang sangat kecil yakni dengan tingkatan beban 5, 10, 20, 30, 50 dan 120 kg, bahkan untuk pengujian mikrostruktur hanya ditentukan 10 g, sehingga pengujian kekerasan *Vickers* cocok digunakan pada bahan yang keras dan tipis, sedangkan untuk bahan yang lunak dan tidak homogen seperti besi tuang (*cast Iron*) *Vickers* tidak sesuai untuk digunakan.



Gambar 2.16. Mesin Uji Kekerasan *Vickers*

Pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan mikro *Vickers*. Pengujian mikro *Vickers* adalah metode pengujian kekerasan dengan pembebanan yang relatif kecil yang sulit dideteksi oleh metode pengujian makro *Vickers*. Prinsip pengujian mikro *Vickers* adalah dengan menekankan penetrator pada permukaan benda uji sehingga pembebanan yang dibutuhkan juga relatif kecil yaitu berkisar antara 10-1000 kgf.

Alasan penulis menggunakan metode uji kekerasan ini karena dengan indenter yang berbentuk piramid, sama baik digunakan pada bahan keras maupun lunak, nilai kekerasan suatu spesimen uji dapat diketahui dari penentuan angka kekerasan pada spesimen uji yang kecil dapat diukur dengan mililih gaya yang relatif kecil. Angka kekerasan piramida intan atau angka kekerasan *vickers* (HVN) dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 HVN &= \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \theta}} = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}} \\
 &= \frac{P}{\frac{d^2}{1.854}} = \frac{1,854 \cdot P}{d^2} \text{ (KgF/mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

.....( persamaan 2.6)

Dimana :

$P$  = beban yang diterapkan (KgF)

$A$  = luas penampang indenter pada material (mm<sup>2</sup>)

$d$  = panjang diagonal rata-rata ( $d = \frac{d_1+d_2}{2}$ ) (mm)

$d_1$  = panjang diagonal 1 (mm)

$d_2$  = panjang diagonal 2 (mm)

$\theta$  = sudut antar permukaan indenter intan (136°)

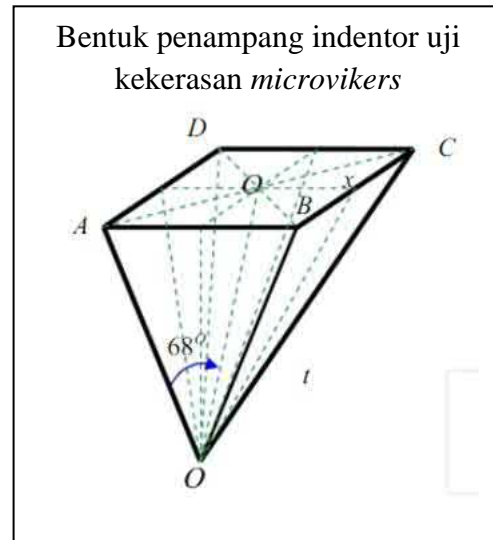
Berikut penjelasan mengenai cara menghitung besar luas penampang indenter pada material :

Ketika indenter menekan permukaan specimen. Luas dari hasil penekanan setara dengan 4 kali luas segitiga BZC. Maka kita harus mencari alas segitiga BZC yaitu BC dan tinggi segitiga BZC yaitu Zx.

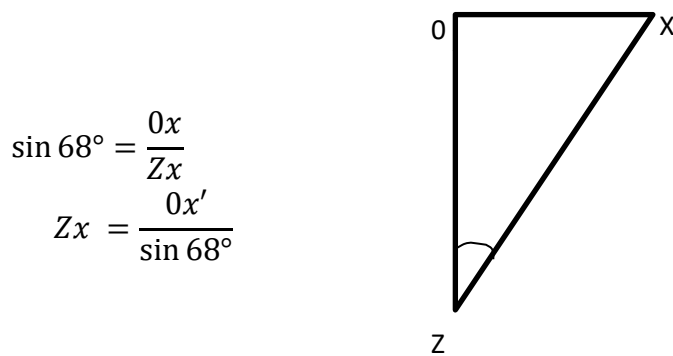
$$\begin{aligned}\cos 45^\circ &= \frac{BC}{AC} \\ BC &= AC \cos 45^\circ \\ &= AC \cdot \frac{1}{2}\sqrt{2} \\ &= \frac{1}{2} \cdot d\sqrt{2}\end{aligned}$$

Sebelum mencari ZX, kita harus mengetahui Ox.

$$\begin{aligned}Ox &= \frac{1}{2} \cdot AB \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot d\sqrt{2} \\ &= \frac{1}{4} \cdot d \cdot \sqrt{2}\end{aligned}$$



Melalui rumus trigonometri, kita mencari Zx.



Maka Luas Bidang BZC:

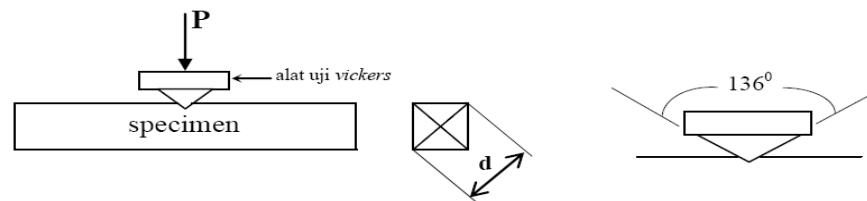
$$BZC = \frac{1}{2} \cdot Ox \cdot BC$$

$$BZC = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot d\sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot d\sqrt{2}}{\sin 68^\circ} = \frac{\frac{1}{8}d^2}{\sin 68^\circ}$$

Ketika menekan spesimen, luas Penampang indenter setara dengan 4x luas bidang BZC, maka

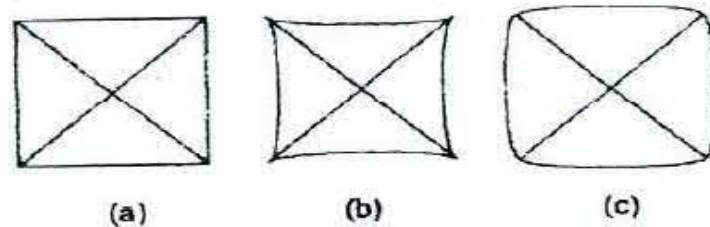
$$A = 4 \cdot BzC$$

$$\begin{aligned}
 &= 4 \cdot \frac{\frac{1}{8}d^2}{\sin 68^\circ} \\
 &= 4 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{d^2}{\sin 68^\circ} \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{0.927} \\
 &= \frac{d^2}{1.854}
 \end{aligned}$$



Gambar 2.17. Skema Pengujian *Vickers Hardness*.

Lekukan yang benar yang dibuat oleh penumbuk intan harus berbentuk bujur sangkar, akan tetapi penyimpangan lekukan bisa terjadi seperti lekukan bantal jarum akibat terjadinya penurunan logam disekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terdapat pada logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan.



Gambar 2.18. Tipe-tipe lekukan piramida intan.

Sumber: (Dieter, 1933: 335).

Gambar a merupakan salah satu tipe lekukan piramid yang sempurna, gambar b merupakan tipe lekukan piramid bantal jarum yang disebabkan karena terjadinya penurunan benda kerja di sekitar permukaan piramida yang datar. Sedangkan gambar c merupakan tipe lekukan piramid berbentuk tong yang disebabkan karena benda kerja mengalami proses pengerjaan dingin.

Tabel 2.4 Standar Uji Kekerasan Vickers

(ASM International, 2000: 460)

Standar Nomor	Judul
ASTM E 92	<i>Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials</i>
BS EN ISO 6507-1	<i>Metallic Materials-Vickers Hardness Test-Part 1: Test Method</i>
BS EN ISO 6507-2	<i>Metallic Materials-Vickers Hardness Test-Part 2: Verification of Testing Machines</i>
BS EN ISO 6507-3	<i>Metallic Materials-Vickers Hardness Test-Part 3: Calibration of Reference Blocks</i>
EN 23878	<i>Hardmetals- Vickers Hardness Test</i>
JIS B 7725	<i>Vickers Hardness-Verification of Testing Machines</i>
JIS B 7735	<i>Vickers Hardness-Calibration of Reference Blocks</i>



JIS Z 2244

*Vickers Hardness-Test Method*

---

*Test Method for Vickers Hardness at Elevated*

JIS Z 2252

*Temperatures*

---

Tabel di atas merupakan referensi dimana kita akan menggunakan panduan yang akan kita pakai untuk uji kekerasan sesuai dengan prosedur buku tersebut.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi media pendingin pada proses *quenching* berpengaruh terhadap nilai kekerasan, diantaranya:
  - a. Nilai kekerasan yang didapat dari hasil pengujian kekerasan spesimen *raw material* AISI 1010 sebesar  $241 \text{ kg/mm}^2$  dan EMS 45  $304,7 \text{ kg/mm}^2$
  - b. Nilai kekerasan pada media pendingin air aquades yakni sebesar  $298,8 \text{ kg/mm}^2$ .
  - c. Nilai kekerasan pada media *oli quench* lebih tinggi dari *raw material* yakni  $263,1 \text{ kg/mm}^2$ .
  - d. Nilai kekerasan pada media pendingin campuran air aquades 50% dengan garam 50% lebih tinggi dari *raw material* keduanya dan yang paling tinggi nilai kekerasannya yakni  $334 \text{ kg/mm}^2$ .

Berdasarkan uraian diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa media pendingin yang menghasilkan nilai kekerasan paling tinggi dari proses *quenching* adalah media pendingin campuran air aquades 50% dengan garam 50% yaitu  $334 \text{ kg/mm}^2$ .

2. Variasi media pendingin berpengaruh pada struktur mikro pada proses *quenching*. Hal ini dibuktikan dengan adanya :
  - a. Adanya perubahan struktur mikro dari *raw material* yang awalnya hanya memiliki struktur *ferrite* dan *pearlite* namun, setelah proses *quenching* bertambah struktur *martensite*.
  - b. Struktur *martensite* yang terbentuk memiliki persebaran luasan yang tidak sama antar media pendingin. Media pendingin antara campuran air aquades dan garam dengan perbandingan 50% : 50 % memiliki persebaran struktur *martensite* yang paling dominan merata.
3. Variasi media pendingin berpengaruh pada kekuatan bending pada proses *quenching*. Hal ini dibuktikan dengan adanya :
  - a. Nilai beban maksimum tertinggi raw material EMS 45 yaitu 20,2 kN.
  - b. Nilai tegangan maksimum tertinggi yang didapat dari hasil pengujian bending spesimen dengan media air garam yaitu 599,7 N/mm<sup>2</sup>.
  - c. Nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada spesimen raw material EMS 45 dengan 11,8 Gpa.
  - d. Nilai defleksi yang didapatkan setelah pengujian dilakukan yang paling tinggi adalah spesimen raw material AISI 1010 dengan 28,7 mm.

## 5.2 Saran

Berdasarkan simpulan diatas, maka saran yang dapat direkomendasikan peneliti sebagai berikut :

- a. Diharapkan penelitian kedepannya melakukan pengembangan pada variasi media pendingin yang lebih variatif , suhu, dan holding time.
- b. Untuk mendapatkan hasil struktur mikro yang baik, sebaiknya untuk spesimennya dijaga agar tidak berkarat atau cacat.
- c. Dalam proses meng-etsa spesimen harus sesuai panduan agar tidka menghasilkan hasil yang buruk atau gosong.
- d. Untuk penyimpanan spesimen setelah di etsa harus diperhatikan karena permukaan yang sudah di etsa jika tegores sedikitpun akan memberikan luka atau muncul goresan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, R. dan Ahmad, H. "Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Strukturmikro Dan Kekerasan Pegas Daun Dalam Proses Hardening." *Jurnal Poros Teknik* 6.2 (2014): 96-102.
- ASM International. 1991. *ASM Handbook*. Volume 4 Heat Treating. United States of America: ASM International Handbook Committee.
- Callister, Jr., William D. dan D. G. Rethwisch. 2011. "Material Science and Engineering an Introduction". Amerika: John Wiley and Sons, Inc.
- Eni Pujiastut, Christina, Dody Prayitno, dan Joko Riyono. 2015 "Model matematik: Pengaruh Suhu Dan Waktu Tahan Pada Proses Annealing Terhadap Kekerasan Baja Karbon." *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV*.
- H, Nofriady. dan Sudarisman. 2015. Pengaruh Perlakuan Panas Baja Aisi 1029 Dengan Metoda Quenching Dan Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Dan Makro Struktur. *Jurnal Teknik Mesin* 5 (1) : 59-64.
- Ismanhadi, M. dan Y. Setyorini. 2013. Pengaruh Media Pendingin pada Proses Hardening terhadap Strukturmikro Baja Mangan Hadfield AISI 3401 PT Semen Gresik. *Jurnal Teknik POMITS* 2 (2) : 224-228.
- Kadhim, Zeyad D. 2016. Effect of Quenching Media on Mechanical Properties for Medium Carbon Steel. *Journal of Engineering Research and Application* 6(8): 26-34.
- Kohar, R. (2014). Pengaruh Perbedaan Kedalaman Potong Pada Proses Bubut dan Perlakuan Panas Normalizing Terhadap Perubahan Sifat Mekanik Baja Karbon Menengah (HQ 760). *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 2(1).
- Murtiono, A. (2012). Pengaruh Quenching Dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit. *Jurnal e-Dinamis*. 2 (2) : 57-70.
- Nofri, M. dan Acang, T. 2017. Analisis Sifat Mekanik Baja Skd 61 Dengan Baja St 41 Dilakukan Hardening Dengan Variasi Temperatur. *Bina Teknik* 13(2) : 189-199.
- Noviani. 2010. *Pembuatan dan Karakterisasi Paduan Zr dengan Kadar Timah Putih Rendah*. Tugas Akhir. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Yogyakarta. Hal 31-32.

- Pramono, A. 2011. Karakterisrik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 5 (1) :32-38.
- Putra, W. T. dan Winangun, K. 2017. pengaruh variasi media quenching hasil penyisipan baja bearing, piringan cakram, dan pegas daun pada sisi potong (*cutting edge*) terhadap sifat kekerasan produk pande besi. Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT) 5 : 382-388.
- Rhifai, R. (2010). Pengaruh heat treatment ( quenching , aging , annealing ) terhadap perubahan sifat fisis dan mekanis poros roda gigi reduser type CCM , CEA. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sains, K. dan W. Wijanarko. 2017. Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Penahanan *Partitioning* pada Proses *Quenching-Partitioning* Baja Jis S45c Di Bawah Temperatur *Martensite Start*. *Jurnal Teknik ITS* 6 (1) : 191-195.
- Septianto, B. A. dan Y. Setiyorini. 2013. Pengaruh Media Pendingin pada *Heat Treatment* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340. *JURNAL TEKNIK POMITS* 2 (2) : 342-348.
- Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Supriyanto, Yulian Adi Bowo. "Kajian Pengaruh Tempering Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pengelasan Stainless Steel." *Jurnal Teknik Vol 2* (2012).
- Surdia, T., & Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Article, cet 4(pengetahuan bahan teknik), 372.
- Syuffi, R. F. dan M. A. Rifa'i. 2014. Pengaruh Variasi Temperatur *Hardening* Terhadap Kekerasan Baja S45C Dengan Media Pendingin Air. *JTM* 3(1): 106-112.
- Trihutomo, P. 2015. Analisa Kekerasan Pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses *Hardening* Dengan Media Pendingin Yang Berbeda. *Jurnal Teknik Mesin* 23(1): 28-34.
- Yunaidi. 2016. Pengaruh Jumlah Konsentrasi Larutan Garam Pada Proses Quenching Baja Karbon Sedang S45C. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)* 1(3): 70-76.