

**PENGARUH MEDIA PENDINGIN AIR ES DAN *RADIATOR COOLANT*
DENGAN PERLAKUAN PANAS *HARDENING* TERHADAP
KEKERASAN BAJA KARBON SEDANG**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Pendidikan**



**AL ICHSAN
NIM. 2010/55484**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
PADANG
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Pengaruh Media Pendingin Air Es dan *Radiator Coolant*
Dengan Perlakuan Panas *Hardening* Terhadap Kekerasan
Baja Karbon Sedang

Nama : Al Ichsan

Nim/Bp : 55484/2010

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2018

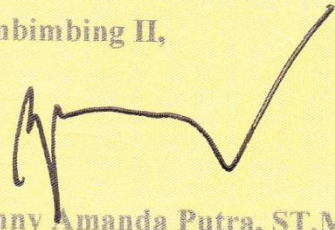
Disetujui Oleh:

Pembimbing I,



Dr. Ir. Arwizet K, ST.MT
NIP.19690920 199802 1 001

Pembimbing II,



Ir. Zonny Amanda Putra, ST.MT
NIP. 19651023 199601 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin FT UNP



Dr. Ir. Arwizet K, ST.MT
NIP.19690920 199802 1 001

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

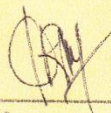
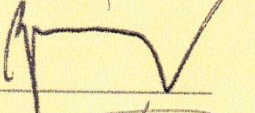
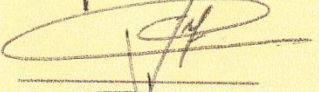
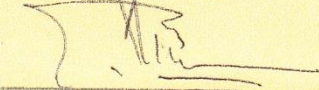
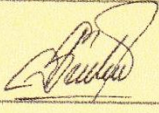
Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang

Judul : Pengaruh Media Pendingin Air Es dan Radiator Coolant
Dengan Perlakuan Panas Hardening Terhadap
Kekerasan Baja Karbon Sedang

Nama : Al Ichsan
Nim/Bp : 55484/2010
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2018

Tim Penguji :

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Dr. Ir. Arwizet K, ST.MT.	
Sekretaris	: Ir. Zonny Amanda Putra, ST.MT.	
Anggota	: Dr. Refdinal, M.T.	
Anggota	: Drs. Nelvi Erizon, M.Pd.	
Anggota	: Drs. Syahrul, M.Si.	

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini menerangkan bahwa:

Nama : Al Ichsan
TM / NIM : 2010 / 55484
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Konsentrasi : Konstruksi

Dengan ini saya meyakini bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak dapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, Februari 2018
Yang menyatakan



Al Ichsan
NIM/BP. 55484/2010

ABSTRAK

Al Ichsan : Pengaruh Media Pendingin Air Es Dan Radiator Coolant Dengan Perlakuan Panas *Hardening* Terhadap Kekerasan Baja AISI 1045

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh media pendingin air es dan *radiator coolant* dengan perlakuan panas *hardening* terhadap kekerasan baja AISI 1045. Baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang yang mengandung karbon sebesar 0,42%-0,50%C dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan dengan pengerjaan perlakuan panas.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Objek penelitian berupa spesimen uji yang berjumlah 9 buah dan akan didinginkan dengan media pendingin yang berbeda yaitu air es dan *radiator coolant*. Spesimen uji akan dikelompokkan menjadi 3 kelompok dengan jenis media pendingin yang berbeda-beda, maka setiap kelompok menggunakan tiga buah spesimen. Kelompok I dengan 3 buah spesimen uji yang tidak diberikan perlakuan panas dan akan digunakan sebagai kontrol, kelompok II dengan 3 buah spesimen yang akan di *quenching* dengan media pendingin air es dan kelompok III dengan 3 buah spesimen yang akan di *quenching* dengan media pendingin *radiator coolant*.

Hasil pengujian kekerasan dengan metode *brinell* menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan kekerasan pada spesimen yang di *quenching* dengan media pendingin air es sekitar 24,99%, pada spesimen yang di *quenching* dengan media *radiator coolant* kekerasannya meningkat sekitar 47,68%. *Quenching* dengan media air es dan *radiator coolant* ternyata dapat mempengaruhi terjadinya peningkatan kekerasan, dengan telah dilakukannya penelitian dan analisis persentase peningkatan kekerasan maka dapat diketahui media pendingin yang memberikan peningkatan kekerasan yang paling tinggi yaitu *quenching* dengan media pendingin *radiator coolant*, yang memberikan peningkatan kekerasan sekitar 47,68% dengan BHN analisa mencapai 478,04 bila dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan (kontrol) yang hanya memiliki kekerasan 204,53 dengan BHN analisa 239,02.

Kata kunci: media pendingin, *hardening*, kekerasan dan baja AISI 1045.

KATA PENGANTAR



Berkat Rahmat dan Kurnia Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Media Pendingin Air Es dan *Radiator Coolant* Dengan Perlakuan Panas *Hardening* Terhadap Kekerasan Baja Karbon Sedang”**. Shalawat beserta salam tidak lupa pula penulis ucapkan kepada Nabi Besar Muhammad Salallahu Alaihi Wasalam yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah ke zaman yang berilmu pengetahuan seperti sekarang ini.

Penulisan skripsi ini merupakan syarat menyelesaikan Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

1. Bapak Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Padang sekaligus Dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan waktu, bantuan, dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Zonny Amanda Putra, S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan waktu, bantuan, dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Refdinal, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen penguji I.

4. Bapak Drs. Nelvi Erizon, M.Pd. selaku Dosen penguji II.
5. Bapak Drs. Syahrul, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Padang sekaligus Dosen penguji III.
6. Seluruh Dosen, Staf dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
7. Kedua orang tua yang selalu mendoakan dan memberi semangat, dukungan moril, materil, serta kasih sayang yang tidak ternilai harganya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu dengan segala kerendahan hati. Penulis harapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi sempurnanya penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi penulis khususnya dan semua pihak pada umumnya.

Padang, Februari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
 BAB II KAJIAN PUSTAKA	
A. Baja	7
1. Baja Karbon	7
2. Baja Paduan	11
B. Diagram keseimbangan besi karbon	13
1. Perubahan Fasa Besi-Karbon	15
C. Perlakuan Panas (<i>heat treatment</i>).....	19
1. <i>Annealing</i> (Pelunakan)	20
2. <i>Normalizing</i> (Penormalan)	21
3. <i>Hardening</i> (Pengerasan).....	21
4. <i>Tempering</i> (Penyepuhan)	22
D. Media Pendingin	24
1. Air Es.....	24
2. Radiator coolant	25

E. Sifat Mekanik Logam	25
1. Pengujian Kekerasan (<i>hardness tester</i>)	26
a. Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	28
F. Kerangka Konseptual	30
G. Pertanyaan Penelitian	31

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian	32
B. Tempat dan Waktu Penelitian	33
C. Objek Penelitian	33
D. Jenis dan Sumber Data	35
1. Jenis Data	35
2. Sumber Data	35
E. Instrumen Pengumpulan Data	35
F. Alat dan Bahan	36
1. Peralatan Utama Penelitian	36
2. Peralatan Penunjang Penelitian	36
3. Bahan Penelitian	36
G. Prosedur Penelitian	36
1. Persiapan Bahan Pengujian	36
2. Pemotongan Bahan	37
3. Pembuatan Spesimen	37
4. Perlakuan Panas <i>Hardening</i>	37
5. Proses Pengujian	38
6. Prosedur Penelitian	38
H. Teknik Analisa Data	40
1. BHN Analisa	40
2. Mendiagnosis Data dengan Dasar <i>Mean</i>	40

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Penelitian	42
B. Pembahasan Hasil Pengujian	47

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan..... 51

B. Saran..... 52

DAFTAR PUSTAKA 53

LAMPIRAN..... 55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Baja Karbon.	10
2. Jadwal Penelitian.....	33
3. Jumlah Spesimen Uji.....	34
4. Spesifikasi Baja Sedang	35
5. Tabulasi Data.....	41
6. Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Keseimbangan Besi Karbon	14
2. Struktur Mikro Baja Pada Fasa Ferrite	15
3. Struktur Mikro Baja Pada Fasa Austenite	16
4. Struktur Mikro Baja Pada Fasa Sementit	17
5. Struktur Mikro Baja Pada Fasa Perlit	18
6. Struktur Mikro Baja Pada Fasa Martensit	19
7. Temperatur Perlakuan Panas Untuk Baja	23
8. Alat Uji Kekerasan	27
9. Macam-macam Teknik Pengujian Kekerasan	28
10. Pengujian <i>Brinell</i>	29
11. Kerangka Konseptual	30
12. Spesimen Uji Kekerasan	34
13. Diagram Penelitian	39
14. Grafik Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan	43
15. Grafik Kekerasan Spesimen Dengan <i>Quenching</i> Media Air Es.....	44
16. Grafik Kekerasan Spesimen Dengan <i>Quenching</i> Media <i>Radiator Coolant</i>	45
17. Grafik Kekerasan Rata-rata Spesimen	46
18. Grafik Rata-rata Kekerasan dan BHN Analisa.....	48
19. Grafik Persentase Kenaikan Kekerasan	49
20. Grafik temperatur dan waktu <i>quenching</i>	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Analisa Pengujian.....	55
2. Dokumentasi.....	59
3. Surat Izin Penelitian	66

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sejarah peradaban manusia selalu mengalami perkembangan, terutama di bidang sains dan teknologi. Penggunaan bahan logam di semua jenis peralatan yang digunakan di kehidupan manusia merupakan bukti pesatnya perkembangan sains dan teknologi di bidang penggunaan dan pengolahan baja. Baja karbon banyak digunakan terutama untuk membuat alat-alat perkakas, alat-alat pertanian, komponen-komponen otomotif, kebutuhan rumah tangga. Aplikasi pemakaiannya, semua struktur logam akan terkena pengaruh gaya luar berupa tegangan-tegangan gesek sehingga menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Usaha agar logam lebih tahan gesekan atau tekanan adalah dengan perlakuan panas pada baja, hal ini memegang peranan penting dalam meningkatkan kekerasan baja sesuai dengan kebutuhan. Proses ini meliputi pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media tertentu pula. Perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butiran kristal, meningkatkan kekerasan, meningkatkan tegangan tarik logam dan sebagainya, tujuan ini akan tercapai seperti apa yang diinginkan jika memperhatikan faktor yang mempengaruhinya, seperti suhu pemanasan dan media pendingin yang digunakan.

Baja biasanya mengandung beberapa unsur paduan, unsur yang paling dominan pengaruhnya terhadap sifat-sifat baja adalah unsur karbon, meskipun unsur-unsur lainnya tidak bisa diabaikan begitu saja. Besar kecilnya prosentase unsur karbon akan berdampak pada sifat mekanik dari baja tersebut, misalnya dalam hal kekerasan. Tingkat kekerasan baja karbon tergantung pada kandungan karbon yang terdapat didalamnya. Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari baja yang berkaitan dengan ketahanan aus.

Selama ini sering di jumpai komponen-komponen yang mengalami gesekan terus menerus dalam fungsi kerjanya, sehingga cepat mengalami keausan. Komponen-komponen itu antara lain sproket, roda gigi, piston dan poros. Komponen-komponen tersebut kerjanya bersinggungan dengan komponen lainnya sehingga akan mengalami keausan dan menyebabkan komponen tersebut akan mudah rusak. Untuk mengatasi masalah ini maka perlu dilakukan suatu proses yang berguna untuk mengeraskan komponen sehingga tahan terhadap gesekan. Proses pengerasan merupakan suatu proses perlakuan panas untuk meningkatkan kualitas produk. Tujuannya adalah meningkatkan kekerasan. Sebagai contoh sproket, komponen ini harus dikeraskan karena komponen ini kerjanya bersinggungan dengan komponen yang lainnya. Apabila kekerasannya rendah, maka sproket akan menjadi cepat aus. Pada penelitian ini salah satu perlakuan panas pada baja adalah pengerasan (*hardening*), yaitu proses pemanasan baja sampai suhu di daerah

atau diatas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat dinamakan *quench*, (Sriati,1995)

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978:62), *hardening* atau pengerasan adalah proses perlakuan panas untuk mengeraskan baja dengan pemanasan sampai perubahan fasa yang homogen kemudian diikuti pendinginan cepat sampai terjadi struktur yang disebut martensit. Perlakuan ini terdiri dari memanaskan baja sampai temperatur pengerasannya (Temperatur austenisasi) dan menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu dan kemudian didinginkan dengan laju pendinginan yang sangat tinggi atau di *quenching* agar diperoleh kekerasan yang diinginkan. Alasan memanaskan dan menahannya pada temperatue austenisasi adalah untuk melarutkan sememtit dalam austenit kemudian dilanjutkan dengan proses *quenching*.

Quenching merupakan proses pencelupan baja yang telah berada pada temperatur pengerasnya (temperatur austenisasi), dengan laju pendinginan yang sangat tinggi (di*quench*), agar diperoleh kekerasan yang diinginkan. Pada tahap ini, karbon yang terperangkap akan menyebabkan tergesernya atom-atom sehingga terbentuknya struktur tetragonal yang terpusat (*bodycenter tetragonal*). Struktur yang bertegangan ini di sebut martensit yang bersifat sangat keras dan getas. Biasanya baja yang dikeraskan diikuti dengan proses penemperan yang menurunkan tegangan yang ditimbulkan akibat *quenching* karena adanya pembentukan martensit (Suratman, 1994). Tujuan utama proses pengerasan adalah untuk

meningkatkan kekerasan benda kerja dan meningkatkan ketahanan aus. Makin tinggi kekerasan akan suatu benda semakin tinggi pula ketahanan ausnya.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi masalah-masalah yang ada yaitu sebagai berikut:

1. Tingginya harga material yang berkualitas tinggi untuk memproduksi komponen yang baik, maka diperlukan perlakuan panas pada material sedang untuk mendapatkan kualitas yang baik
2. Masih banyaknya material yang digunakan dalam industri otomotif (sproket) yang tidak memiliki ketahanan aus yang baik
3. Perlunya perlakuan panas yaitu *hardening* untuk meningkatkan ketahanan aus dari suatu material
4. Belum diketahui media pendingin yang tepat untuk mendapatkan ketahanan aus yang baik terhadap material yang diberikan perlakuan panas

C. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan diatas, maka penulis membatasi masalah yang akan di teliti yaitu “pengaruh media pendingin air es dan *radiator coolant* dengan perlakuan panas *hardening* terhadap kekerasan baja karbon sedang”.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah “Seberapa besar pengaruh perbedaan media pendingin Air Es dan *Radiator Coolant* pada perlakuan panas *hardening* terhadap kekerasan baja karbon sedang”.

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh media pendingin Air Es dan *Radiator Coolant* dengan perlakuan panas *hardening* terhadap kekerasan baja karbon sedang.
2. Mengetahui seberapa besar perbedaan penggunaan media pendingin Air Es dan *Radiator coolant* pada perlakuan panas *hardening* terhadap kekerasan baja karbon sedang.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan setelah penelitian ini adalah:

1. Sebagai syarat penulis untuk menyelesaikan pendidikan di Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
2. Memberikan kontribusi terhadap pengetahuan tentang karakteristik kekerasan pada bahan baja karbon sedang yang dihasilkan dari proses perlakuan panas *hardening* dengan media pendingin Air Es dan *Radiator Coolant*.

3. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu bahan dan konstruksi.
4. Memberikan wawasan baru bagi perancangan suatu produk yang membutuhkan kekerasan dan tahan aus.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Baja

Menurut R.S. Khurmi and R.K. Gupta (2005: 26) *“Steel is an alloy of iron and carbon, with carbon content up to a maximum of 1.5%. The carbon occurs in the form of iron carbide, because of its ability to increase the hardness and strength of the steel.”*

Baja adalah campuran besi dan karbon, dengan kandungan karbon maksimum 1,5%. Karbon terjadi dalam wujud karbid besi, sehingga meningkatkan kekerasan baja. Baja merupakan paduan besi dan karbon yang dapat berisi konsentrasi dari elemen campuran lainnya. Ada ribuan campuran logam lainnya yang mempunyai komposisi berbeda. Sifat mekanis dari baja sangat sensitif terhadap kandungan karbon, yang mana secara normal kurang dari 1,5%. sebagian dari baja digolongkan menurut konsentrasi karbon, yakni ke dalam baja karbon rendah, medium dan jenis karbon tinggi.

1. Baja karbon

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 46), baja karbon adalah paduan besi karbon dimana unsur karbon sangat menentukan sifat-sifatnya, sedangkan unsur-unsur paduan lainnya yang biasa terkandung di dalamnya terjadi karena proses pembuatannya. Sifat baja karbon ditentukan oleh persentase karbon dan struktur mikro.

Disamping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang

jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentasi karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja.

Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan presentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

a. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk martensit.

Baja ini dapat dijadikan mur, baut, ulir sekrup, peralatan senjata, alat pengangkat presisi, batang tarik, perkakas silinder, dan penggunaan yang hampir sama (Hari Amanto dan Daryanto, 1999).

b. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3% -0,6%C dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah

Baja karbon sedang digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, poros penghubung, poros engkol dan alat angkat presisi (Hari Amanto dan Daryanto, 1999).

c. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi(*hight carbon steel*)mengandung karbon 0,6% -1,5%C dan memiliki kekerasan yang tinggi namun keuletannya lebih rendah hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas.

Baja ini dibuat dengan cara digiling panas. Apabila baja ini digunakan untuk bahan produksi maka harus dikerjakan dalam keadaan panas dan digunakan untuk peralatan mesin-mesin berat, batang-batang pengontrol, alat-alat tangan seperti palu, obeng, tang, dan kunci mur, baja pelat, pegas kumparan dan sejumlah peralatan pertanian, seperti cangkul dan bajak. (Hari Amanto dan Daryanto, 1999).

Tabel 1. Klasifikasi Baja Karbon

Jenis dan Kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	↑Baja lunak khusus 0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	pelat tipis
	Baja sangat lunak 0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	batang, kawat
	Baja lunak 0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum.
	Baja setengah lunak 0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
Baja karbon sedang	↑Baja setengah keras 0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin.
Baja Karbon tinggi	↓Baja keras 0,04-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas
	Baja sangat keras 0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel, pegas, dan kawat piano

Sumber: Harsono Wiryosumarto (2008: 90)

Sifat meknis baja juga di pengaruhi oleh cara mengadakan ikatan karbon dengan besi. Menurut Schonmetz (1985) terdapat 2 bentuk utama kristal saat karbon mengadakan ikatan besi, yaitu :

- 1) Ferit, yaitu besi murni (Fe) teletak rapat saling berdekatan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. Ferit merupakan bagian baja yang paling lunak, ferit murni tidak akan cocok digunakan sebagai bahan untuk dikerjakan yang menahan beban karena kekuatannya kecil.
- 2) Perlit, merupakan campuran antara ferit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur perlitis mempunyai kristal ferit tersendiri dari serpihan sementit halus yang paling berdampingan dalam lapisan tipis mirip amel.

2. Baja Paduan

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 47), baja paduan adalah baja yang mengandung sebuah unsur lain atau lebih dengan kadar yang berlebih dari pada kadar biasanya dalam baja karbon. Unsur-unsur yang biasanya terdapat dalam baja karbon adalah C, Mn, Si, P dan S. untuk memperoleh sifat-sifat yang lebih baik maka kadar Mn atau Si ditambah, atau unsur-unsur lain seperti Cr, Ni, Mo, Co, Ti, W dan sebagainya. Dengan demikian selain memperbaiki sifat-sifat mekanisnya juga memperbaiki sifat tahan korosi, tahan suhu tinggi, tahan aus dan sifat-sifat listrik serta magnetiknya.

Unsur-unsur paduan yang dipakai dalam pembuatan baja paduan terdiri dari satu macam unsur atau lebih dengan kadarnya yang berbeda-beda, tergantung dari keperluan sehingga baja paduan menjadi banyak macam dan jenisnya.

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 47), Menurut kadar unsur paduan, baja paduan dapat dibagi dalam dua golongan yaitu baja paduan rendah dan baja paduan tinggi atau baja paduan khusus. Baja paduan rendah adalah baja yang sedikit mengandung unsur paduan dibawah 10%, sedangkan baja paduan tinggi dapat mengandung unsur paduan diatas 10%. Baja paduan rendah dapat dklasifikasikan sebagai berikut:

1) Baja paduan rendah kekuatan tinggi

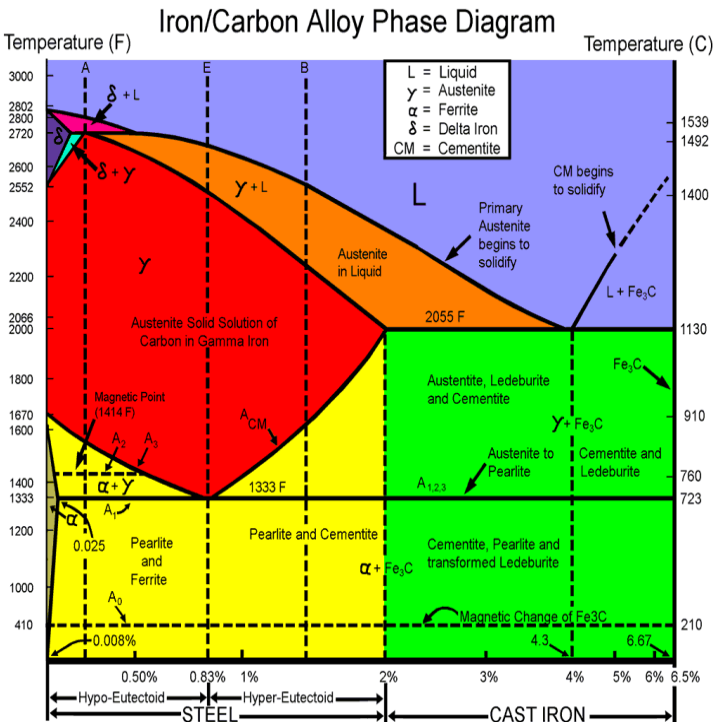
Baja paduan rendah berkekuatan tinggi mempunyai sifat mekanis dan tahan korosi yang lebih baik, dari pada baja paduan rendah biasa. Baja paduan rendah dibuat melalui proses pengerolan, baik dalam keadaan dilunakkan atau dinormalkan. Karena kadar karbonnya yang rendah baja ini relatif lunak dan liat, sehingga memudahkan dalam pembentukan dan pengelasan. Silisium, mangan, nikel, khrom ditambahkan dalam baja ini sebagai unsur paduan dengan jumlah total tidak melebihi 5%. Unsur-unsur ini membentuk larutan padat dengan ferit sehingga menambah kekuatan baja.

2) Baja paduan rendah biasa

Baja paduan rendah biasa umumnya mengandung paling sedikit 0,3% karbon yang dengan mudah baja dapat dikeraskan. Karena adanya unsur-unsur nikel, chrom, mangan dan molibdenum maka baja ini mempunyai sifat dapat dikeraskan yang baik. Bila dikeraskan dan ditemper sampai kekerasan tertentu atau bila mana seluruhnya berstruktur martensit, maka baja-baja seperti ini mempunyai gejala yang menunjukkan sifat mekanis yang sama dengan baja karbon biasa yang berkadar karbon sama.

B. Diagram Keseimbangan Besi-Karbon (*The Iron-Carbon Equilibrium Diagram*)

Diagram kesetimbangan besi-karbon adalah sebuah gambaran yang semestinya digunakan sebagai dasar untuk melaksanakan perlakuan panas. Penggunaan diagram ini relatif terbatas karena beberapa metode perlakuan panas digunakan untuk menghasilkan struktur yang tidak seimbang (*non-equilibrium*). Akan tetapi pengetahuan mengenai perubahan fasa pada kondisi seimbang memberikan ilmu pengetahuan dasar untuk melakukan perlakuan panas. Pada diagram Fe-C material yang mengandung karbon dibawah 2% menjadi perhatian utama dalam perlakuan panas baja. Kandungan karbon yang lebih dari 2% tergolong pada baja tuang. Metode perlakuan panas baja didasarkan pada perubahan fasa austenite pada sistem Fe-C. Transformasi austenite selama perlakuan panas ke fasa lain akan menentukan struktur mikro dan sifat yang didapatkan pada baja (George Krauss: 1989).



Gambar 1. Diagram Keseimbangan Besi-Karbon (*the iron-carbon equilibrium diagram*) (George Krauss, 1989: 2)

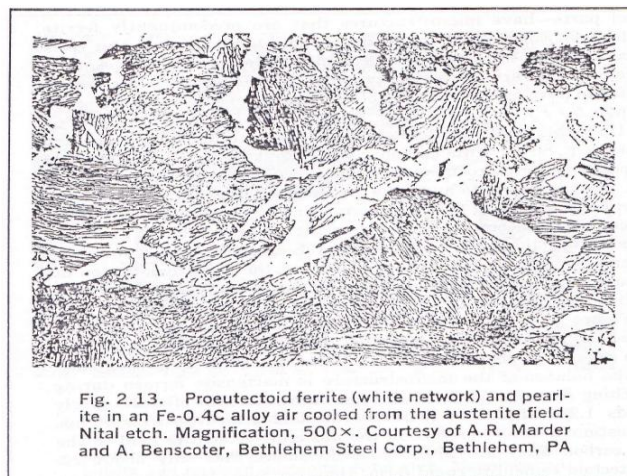
Baja merupakan logam *Allotropic*: At atmospheric pressure artinya baja lebih dari sekedar zat padat yang mengkristal tergantung pada temperaturnya. Pada suhu kurang dari 912 °C (1674 °F) berupa besi *alpha* (α). Pada suhu antara 912-1394 °C (1674-2541 °F) berupa besi *gamma* (γ). Pada suhu 1394-1538 °C (2541-2800 °F) merupakan besi *delta* (δ).

1. Perubahan Fasa Besi Karbon (Fe-C)

Dalam diagram fasa Fe-C terjadi beberapa perubahan fasa yaitu perubahan fasa *ferrite* (α -Fe), *austenite* (γ -Fe), sementit, perlit dan martensit.

a. Ferrite atau Besi Alpha (α -Fe)

Ferrite merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur BCC dengan sifat lunak dan ulet.

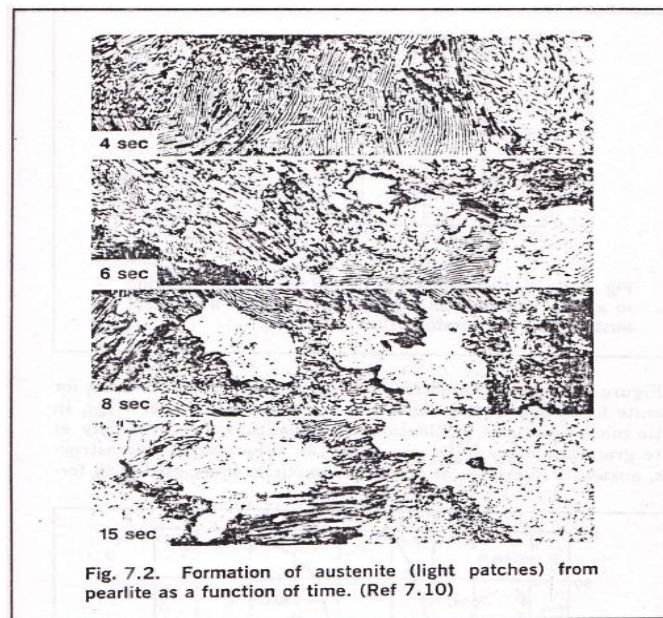


Gambar 2. Struktur Mikro Baja pada Fasa Ferrite atau Besi Alpha (α -Fe)

Fasa ferrite mulai terbentuk pada temperatur antara 300 °C hingga mencapai temperatur 727 °C. kelarutan karbon pada fasa larutan padat lainnya. Saat fasa ferrite terbentuk, kelarutan karbon dalam besi *alpha* hanyalah sekitar 0,02% C.

b. Austenite atau Besi Gamma (γ -Fe)

Fase austenite merupakan larutan padat intertisi antara karbon dan besi yang memiliki struktur FCC. Fase austenite terbentuk antara temperatur 912 °C sampai dengan temperatur 1394 °C. kelarutan karbon pada saat berada pada fase austenite lebih besar hingga mencapai kelarutan karbon sekitar 2,14% C. keadaan struktur mikro besi pada fase austenite dapat dilihat pada gambar 3.

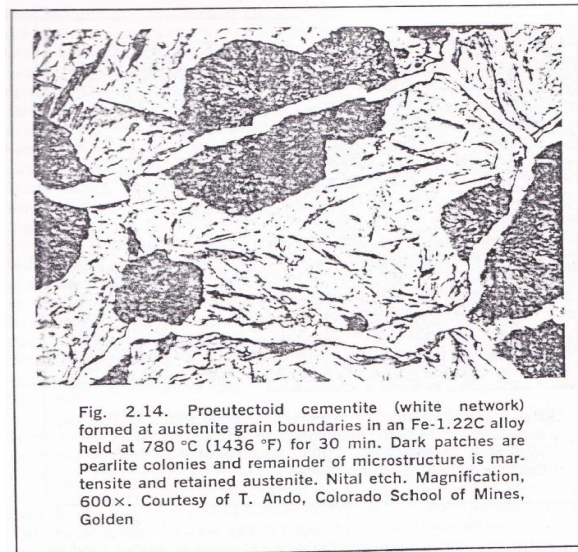


Gambar 3. Struktur Mikro Baja pada Fase Austenite atau Besi Gamma (γ -Fe)

c. Sementit atau Besi Karbida

Karbida besi adalah paduan besi karbon dimana pada kondisi ini karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fase kedua atau karbida besi yang memiliki komposisi Fe_3C dan memiliki struktur kristal BCT. Karbida pada ferit akan meningkatkan kekerasan pada baja, hal ini dikarenakan sementit memiliki sifat

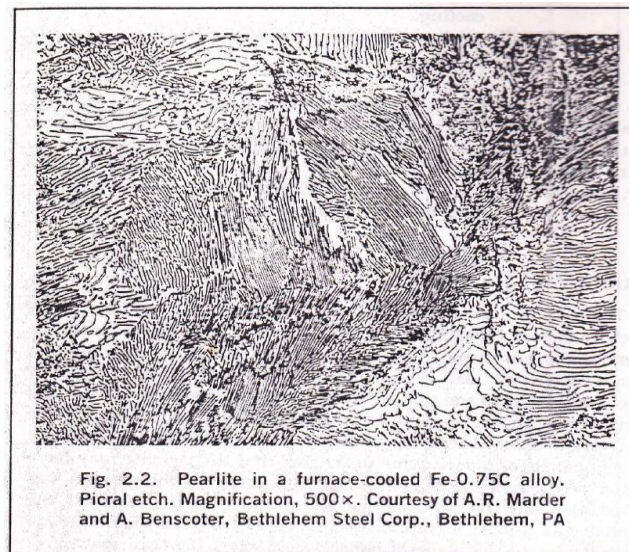
dasar yang sangat keras. Di fasa ini kelarutan karbon bisa mencapai 6.70% C pada temperatur dibawah 1400°C , akan tetapi baja ini bersifat getas. Keadaan struktur mikro besi pada fasa sementit dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Struktur Mikro Baja pada Fasa Sementit atau Besi Karbida

d. Perlit

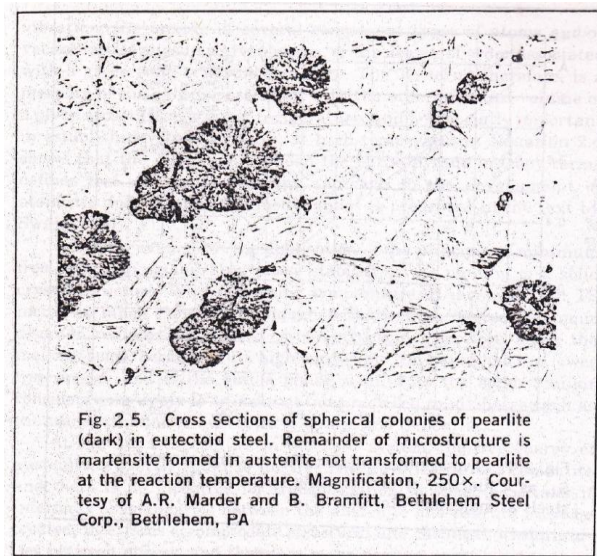
Perlit merupakan campuran antara ferit dan sementit yang berbentuk seperti pelat-pelat yang disusun secara bergantian antara sementit dan ferit. Fase perlit ini terbentuk pada saat kandungan karbon mencapai 0.76% C, besi pada fase perlit akan memiliki sifat yang keras, ulet dan kuat. Keadaan struktur mikro besi pada fasa perlit dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Struktur Mikro Baja pada Fasa Perlit

e. Martensit

Martensit adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat sekali. Jenis fasa martensit tergolong ke dalam bentuk struktur kristal BCT. Pada fasa ini tidak terjadi proses difusi hal ini dikarenakan terjadinya pergerakan atom secara serentak dalam waktu yang sangat cepat sehingga atom yang tertinggal pada saat terjadi pergeseran akan tetap berada pada larutan padat. Besi yang berada pada fase martensit akan memiliki sifat yang kuat dan keras, akan tetapi besi ini juga bersifat getas dan rapuh. Keadaan struktur mikro besi pada fase martensit dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Struktur Mikro Baja pada Fasa Martensit

C. Perlakuan Panas (*heat treatment*)

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 59), Perlakuan panas pada baja adalah proses pemanasan baja sampai temperatur tertentu dan selama waktu tertentu kemudian diikuti dengan proses pendinginan menurut laju pendinginan tertentu untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan dalam batas kemampuan baja yang berbeda dari sifat semula.

Perlakuan panas merupakan proses pemanasan atau pendinginan sebuah logam atau logam paduan untuk mengubah sifat mekanik yang diinginkan dari baja tersebut. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan potong meningkat atau dapat dilunakkan untuk dapat mempermudah proses pemesinan lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan

perlakuan panas tepat, komposisi kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis (Anrinal, 2013).

Dari penjelasan tentang perlakuan panas di atas maka dapat didefinisikan perlakuan panas adalah proses pemanasan atau pendinginan sebuah logam atau logam paduan untuk mengubah sifat mekaniknya dalam keadaan padat.

Proses perlakuan panas secara garis besar bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik diantaranya menyangkut:

- 1) Meningkatkan kekerasan dan ketangguhan
- 2) Menghilangkan tegangan
- 3) Melunakkan baja
- 4) Menormalkan keadaan baja biasa dari akibat pengaruh-pengaruh pengerjaan dan perlakuan panas sebelumnya.
- 5) Menghaluskan butir-butir Kristal atau kombinasi dari beberapa sifat mekanik tersebut

Beberapa jenis perlakuan panas (*heat treatment*) pada baja adalah sebagai berikut:

1. *Annealing* (Pelunakan)

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 62), *Annealing* adalah proses perlakuan panas untuk memperoleh baja yang lunak dengan mikrostruktur tertentu dan mempunyai sifat fisik dan mekanik yang baik. *Full annealing* atau pelunakan penuh adalah proses

pelunakan baja yaitu memanaskan sampai temperatur austenite yang homogen dan didinginkan perlahan-lahan. bilamana proses ini digunakan untuk menghilangkan tegangan-tegangan yang ada biasanya dipakai proses yang disebut pelunakan antar proses dengan suhu lebih rendah, sedang *sphrodizing* (pelunakan) adalah untuk menghasilkan karbid-karbid bulat dalam matrik ferit (*spherodizecementite*) sehingga mempunyai sifat mekanis lebih baik.

2. ***Normalizing (Penormalan)***

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 62), *Normalizing* adalah proses perlakuan panas sampai austenite yang homogen yang diikuti dengan pendinginan di udara sampai mencapai perlit dan ferit atau sementit seperti pada baja biasa yang normal.

Normalizing merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk memperhalus dan menyeragamkan ukuran serta distribusi ukuran butir logam. Proses ini diperlukan untuk komponen atau material yang mengalami proses pembentukan seperti pengerolan dingin, tempa dingin dan pengelasan.

3. ***Hardening (Pengerasan)***

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 62), *Hardening* atau pengerasan adalah proses perlakuan panas untuk mengeraskan baja dengan pemanasan sampai perubahan fasa yang homogen kemudian diikuti pendinginan cepat sampai terjadi struktur yang disebut martensit.

Hardening atau pengerasan dan disebut juga penyepuhan merupakan salah satu proses perlakuan panas yang sangat penting dalam produksi komponen-komponen mesin. Untuk mendapatkan struktur baja yang halus, keuletan, kekerasan yang diinginkan, dapat diperoleh melalui proses perlakuan panas *hardening*. Biasanya dalam proses perlakuan panas *hardening* baja di panaskan mencapai suhu 770°C - 830°C kemudian di tahan pada suhu tersebut selama beberapa saat dan didinginkan secara mendadak dengan mencelupkan kedalam media pendingin.

Menurut Kenneth Budinski (1999: 167), pengerasan baja membutuhkan perubahan struktur kristal dari *Body-Centered Cubic (BCC)* pada suhu ruangan ke struktur kristal *Face-Centered Cubic (FCC)*. Dari diagram keseimbangan besi karbon dapat diketahui besarnya suhu pemanasan logam yang mengandung karbon untuk mendapatkan struktur *FCC*. Logam tersebut harus dipanaskan sampai daerah austenit.

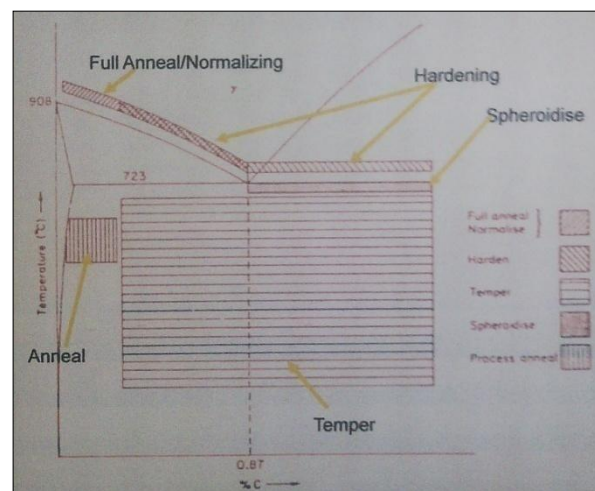
4. *Tempering (Penyepuhan)*

Menurut George Krauss (1989: 205) *Tempering* adalah proses perlakuan panas terhadap baja keras dengan tujuan untuk menurunkan kegetasan dan meningkatkan ketangguhan. Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 63), *tempering* adalah proses pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan (*hardening*). Dalam hal ini martensit yang telah terjadi berangsur-angsur berubah menjadi fasa sementit yang bulat-bulat dalam matrik ferit. Makin tinggi suhu pemanasan makin besar

butiran sementit dan ferit. Struktur ini disebut sorbit atau martensit bulat. Tujuan perlakuan panas *tempering* adalah untuk mengurangi kegetasan baja dan menambah keliatannya.

Menurut Amanto dan Daryanto (2003: 80), “*tempering* adalah proses memanaskan baja kembali pada suhu *tempering*, setelah mengalami proses pengerasan (*hardening*) untuk memperbaiki kekuatan dan kekenyalannya, dan dilanjutkan dengan proses pendinginan”

Tempering merupakan suatu proses pemanasan baja hingga mencapai temperatur dibawah temperatur kritis dan menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu. Kemudian baja tersebut didinginkan menggunakan media udara. Proses perlakuan panas *tempering* bertujuan untuk mengurangi kegetasan atau kerapuhan dan meningkatkan ketangguhan.



Gambar 7. Temperatur Perlakuan Panas untuk Baja

Menurut W.O. Alexander (1991: 59) “suhu temper adalah suhu kritis, yaitu antara 200⁰ C dan 300⁰ C laju difusi lambat dan hanya

sebagian kecil karbon dibebaskan. Sehingga sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Diantara suhu 500°C dan 600°C , difusi berlansung lebih cepat, dan atom karbon yang berdifusi diantara atom besi dapat membentuk sementit. Perubahan sifat mekanis yang mencolok akibat temper martensit baja karbon 0,4%.”

D. Media Pendingin

Media pendingin merupakan suatu media yang digunakan untuk mendinginkan spesimen uji setelah mengalami proses perlakuan panas. Untuk mendinginkan bahan dikenal berbagai macam bahan untuk memperoleh pendinginan yang merata maka bahan pendingin tersebut hampir semuanya disirkulasi. Beberapa media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan spesimen uji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Air Es

Air adalah media yang sangat banyak digunakan untuk *quenching*, karena biayanya yang murah, dan mudah digunakan serta pendinginan yang cepat. Air khususnya digunakan pada baja karbon rendah yang memerlukan penurunan temperatur dengan cepat dengan tujuan untuk memperoleh kekerasan dan kekuatan yang baik. Namun dalam penelitian kali ini peneliti akan menggunakan media air es. Air es memberikan pendinginan yang sangat cepat, menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retakan

2. *Radiator Coolant*

Secara umum *coolant* adalah media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan benda kerja dan alat potong pada saat proses pemesinan. Digunakan pula untuk melumasi alat potong sehingga memiliki umur pakai yang panjang.

Radiator coolant merupakan cairan hasil campuran ethylene glycol atau propylene glycol dan air. Biasanya rasio perbandingan zat mineral itu sebesar 50/50. *Ethylene glycol* atau *propylene glycol* mampu menaikkan titik didih air menjadi sekitar 120° celcius dan mampu mencegah benda dari korosi.

E. Sifat Mekanik Logam

Dalam penelitian ini yang akan diteliti hanyalah sifat mekanik. Dalam penelitian sifat mekanik yang akan diteliti adalah pengujian kekerasan baja karbon sedang.

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 9), sifat mekanik suatu logam adalah kemampuan atau kelakuan logam untuk menahan beban-beban yang dikenakan kepadanya, baik pembebanan statis atau dinamis pada suhu biasa, suhu tinggi ataupun suhu dibawah .”

Beban statis yaitu beban yang tetap baik besar maupun arahnya pada setiap saat. Sedangkan yang dimaksud dengan beban dinamis yaitu beban yang besar dan arahnya berubah menurut waktu. Beban statis dapat berupa beban tarik, tekan, lentur, punter, geser dan kombinasi dari beban tersebut. Sedangkan beban dinamis dapat berupa beban tiba-tiba, berubah-

ubah, dan beban jalar. Sifat mekanis logam ditentukan oleh keadaan pembebanan yaitu statis dan dinamis yang menyangkut frekuensi pembebanan, kecepatan, lamanya pembebanan, keadaan lingkungan, suhu, tekanan dan besar pembebanan.

Menurut Ach. Muhib Zainuri (2008: 104), sifat-sifat mekanik logam diantaranya berupa kekakuan (*stiffness*), kekuatan (*strenght*), elastisitas (*elasticity*), keuletan (*ductility*), kegetasan (*brittleness*), kelunakan (*malleability*), ketangguhan (*tough-ness*), dan kelenturan (*resilience*)”.

1. Pengujian Kekerasan (*hardness test*)

Menurut Bondan T. Sofyan (2010: 34), kekerasan merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi plastis terlokalisasi (misal: “Indentasi kecil” atau gores). Pengujian kekeerasan yang terdahulu adalah uji kekerasan Mohs, berdasarkan skala kemampuan material untuk menggores material lain (dari 1= talk sampai dengan 10 = intan). Pada saat ini terdapat berbagai metode pengujian kekerasan, sperti Brinell, Vickers, dan Rockwell. Pada metode pengujian kekerasan tersebut, umumnya, digunakan *indentor* kecil (Berbentuk bola atau piramid) yang ditekan kepermukaan bahan dengan mengontrol besar beban dan laju pembebanan. Indentasi (besar jejak) kemudian diukur dengan mikroskop ukur.

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang paling efektif karena dengan pengujian ini, kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran dari sifat mekanis suatu material yaitu kekerasan. Meskipun

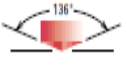
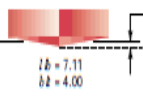
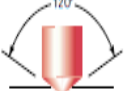
pengukuran kekerasan dapat dilakukan pada suatu titik yang telah ditentukan, atau daerah tertentu saja, tetapi hasil pengukuran dapat mencerminkan tingkat kekerasan yang hampir sama dengan titik atau daerah yang lain pada sebatang logam yang sama.



Gambar 8. Alat uji kekerasan

Dengan melakukan pengujian kekerasan kita dapat dengan mudah menggolongkan material tersebut ulet atau getas. Pengujian kekerasan dengan cara penekanan banyak digunakan dalam bidang industri. Hal ini dikarenakan proses pengujiannya sangat cepat dan mudah dalam memperoleh angka kekerasan dari material tersebut apabila dibandingkan dengan dengan metode pengujian lainnya. Pengujian kekerasan yang menggunakan metode ini terdiri dari tiga jenis, yaitu pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell*, *Brinell* dan *Vickers*. Ketiga metode pengujian ini memiliki kelebihan dan kekurangannya, serta perbedaan dalam menentukan angka kekerasannya.

Jenis indenter pada masing-masing metode pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar berikut:

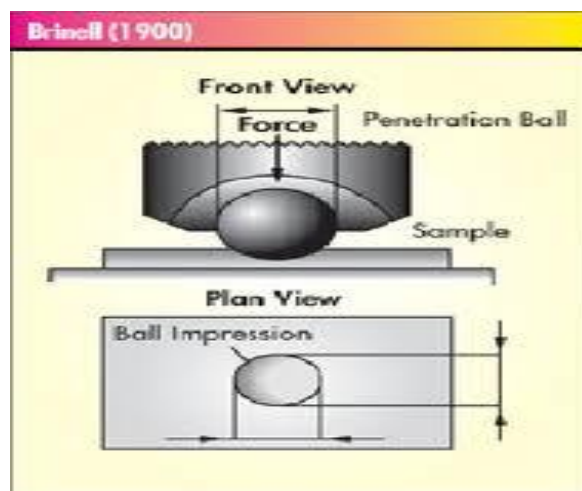
Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone 1/16, 1/8, 1/4 in. diameter steel spheres	 	 	{ 60 kg 100 kg 150 kg Rockwell { 15 kg 30 kg 45 kg Superficial Rockwell	

Gambar 9. Macam-macam Teknik Pengujian Kekerasan
(William D. Calister, Jr: 2001)

a. Pengujian Kekerasan *Brinell*

Bondan Tiara Sofyan (2010:36) mengemukakan, Pengujian kekerasan *brinell* adalah dengan memberikan beban konstan, umumnya antara 500 dan 3000 kgf dengan indenter baja yang dikeraskan berdiameter 5 atau 10 mm pada permukaan spesimen yang rata. Metode pengujian kekerasan seperti *brinell* menggunakan indenter kecil berbentuk bola baja yang terbuat dari baja yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu. Cara kerja dari pengujian *brinell* ini dengan cara penekanan bola baja kepada permukaan logam yang diuji tanpa sentakan. Apabila kita memakai bola baja

untuk uji *brinell*, biasanya yang terbuat dari baja krom yang telah disepuh atau *cermentite carbide*. Standar dari bola *brinell* yaitu mempunyai Ø 10 mm dengan penyimpangan maksimal 0,005 mm. Selain yang telah distandarkan terdapat juga bola-bola *brinell* dengan diameter lebih kecil (Ø 5 mm, Ø 2,5 mm, Ø 2 mm, Ø 1,25 mm, Ø 1 mm, Ø 0,65 mm) yang juga mempunyai toleransi-toleransi tersendiri.



Gambar 10. Pengujian *brinell*

Sebelum dilakukan pengujian permukaan logam yang akan diuji harus rata dan bersih. Setelah gaya tekan diiadakan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, kemudian diukur jejak tekannya dengan menggunakan mikroskop ukur yang kemudian dipakai untuk menentukan kekerasan logam yang diuji dengan persamaan:

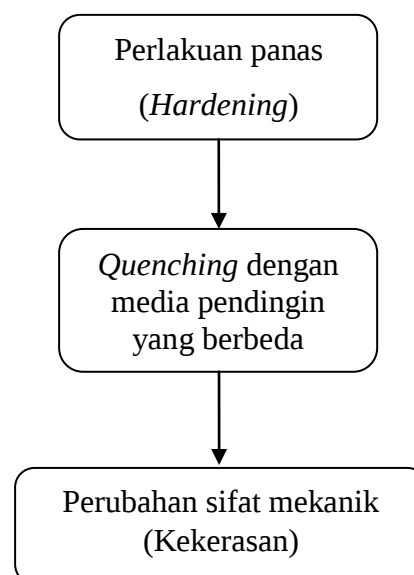
$$\text{BHN} = \frac{P}{D^2 - d^2} \dots\dots\dots$$

Dimana :

- P : Beban (kg)
- D : Diameter bola indenter (mm)
- d : Diameter jejak (mm)

F. Kerangka Konseptual

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh media pendingin air es dan radiator coolant dengan perlakuan panas *hardening* terhadap kekerasan baja karbon sedang. Sifat mekanik yang diteliti adalah uji kekerasan. Pada penelitian ini baja karbon sedang dilakukan pengujian sifat mekanik tanpa mengalami perlakuan panas sebelumnya dan menganalisis hasil pengujiannya. Kemudian dengan baja karbon yang sama (Baja Karbon Sedang) diberikan perlakuan panas *hardening*, lalu di*quenching* dengan media pendingin yang berbeda (air es dan radiator coolant), kemudian dilakukan pengujian sifat mekaniknya dan menganalisis data hasil pengujian guna mengetahui perbedaan sifat mekanik baja karbon sedang sebelum dan sesudah mengalami proses *hardening* yang didinginkan dengan media pendingin yang berbeda. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 11. Kerangka Konseptual

G. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan kajian teori dan kerangka konseptual, maka dapat diambil pertanyaan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh media pendingin Air Es dengan perlakuan panas *hardening* terhadap kekerasan baja karbon sedang?
2. Seberapa besar pengaruh media pendingin *Radiator coolant* dengan perlakuan panas *hardening* terhadap kekerasan baja karbon sedang?

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data penelitian yang telah dibahas pada bagian muka, yaitu pengaruh media pendingin air es dan *radiator coolant* dengan perlakuan panas *hardening* terhadap kekerasan baja karbon sedang, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. peningkatan kekerasan pada spesimen yang diberi perlakuan panas *hardening* dan *diquench* dengan media pendingin air es meningkat sekitar 13,78% dari spesimen awal atau spesimen tanpa perlakuan (kontrol)
2. peningkatan kekerasan pada spesimen yang diberi perlakuan panas *hardening* dan *diquench* dengan media pendingin *radiator coolant* meningkat sekitar 16,23% dari spesimen awal atau spesimen tanpa perlakuan (kontrol)
3. Peningkatan kekerasan spesimen yang paling tinggi terdapat pada kelompok spesimen yang diberikan perlakuan panas *hardening* dan *diquenching* dengan media pendingin *radiator coolant* yang memberikan peningkatan kekerasan pada baja karbon sedang sekitar 16,23%.

B. Saran

1. Perlu adanya ketelitian dalam proses persiapan spesimen mulai dari proses pengukuran sampai pada tahap pengujian, karena hal ini dapat berpengaruh terhadap data hasil pengujian.
2. Menentukan temperatur yang pas dalam menggunakan media air es sebagai media pendingin terhadap perlakuan panas *hardening*.
3. Perlu diadakannya penelitian lebih lanjut mengenai unsur *ethilene glycol* dan *prophilene glycol* pada *radiator coolant* yang dapat memuat baja karbon sedang lebih keras setelah di *hardening* dari pada air es.
4. Dalam melakukan pemotongan spesimen harus diperhatikan sudut pemotongan, untuk mendapatkan permukaan spesimen uji yang datar agar tidak terlalu lama pada proses pengikiran
5. Siapkan tempat yang tidak mudah terbakar (kaleng tiner) dan media pendingin terlebih dahulu sebelum memulai proses perlakuan panas.