

**PENGARUH TEMPERATUR *TEMPERING* TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1045
YANG DI*QUENCHING* DALAM MEDIA PENDINGIN
TERSIRKULASI**

(Skripsi)

Oleh

HANIF MUSTOFA



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2020**

ABSTRAK

PENGARUH TEMPERATUR *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1045 YANG DI*QUENCHING* DALAM MEDIA PENDINGIN TERSIRKULASI

Oleh

Hanif Mustofa

Baja AISI 1045 adalah baja yang tergolong sebagai baja karbon sedang karena memiliki kadar karbon 0,45 %. Karakteristik pada baja sendiri terkadang tidak sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan, oleh karena itu baja tersebut membutuhkan perlakuan lain untuk merubah sifat dan struktur baja AISI 1045. Karakteristik pada baja dapat di rubah dengan memberikan perlakuan panas, salah satu proses yang dilakukan adalah proses *quenching tempering*. *Quenching* adalah proses pengerjaan logam dengan pendinginan secara cepat pada variasi media yang telah ditentukan dengan tujuan untuk meningkatkan kekerasan baja AISI 1045, sedangkan *tempering* merupakan proses pemanasan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh keuletan dan ketangguhan yang tinggi.

Proses *quenching* menggunakan suhu 800 °C dengan lama waktu tunggu 60 menit kemudian didinginkan secara cepat dengan variasi solar, air, dan air garam dengan proses tersirkulasi 180°. Sedangkan variasi temperatur *tempering* yang digunakan adalah 450 °C, 550 °C, dan 650 °C dengan lama waktu tunggu 60 menit. Hasil dari uji kekerasan menggunakan metode *rockwell*. pada pengujian raw material mendapatkan nilai kekerasan sebesar 61,33 HRB. Hasil *quenching* yang tersirkulasi pada media solar yaitu (80,6 HRB, 79,3 HRB, 81,3 HRB), nilai kekerasan pada media air (89,3 HRB, 89 HRB, 89,6 HRB), dan media air garam yaitu (94,6 HRB, 96 HRB, 94,6 HRB). Nilai kekerasan variasi temperatur *temper* 450 °C media solar (72,6 HRB 73 HRB, 72,6 HRB), media air (83,6 HRB, 82,6 HRB, 83 HRB), air garam yaitu (86,3 HRB, 86,6 HRB, 87,3 HRB). Nilai kekerasan temperatur *temper* 550 °C media solar yaitu (70,3 HRB, 70,3 HRB, 70,6 HRB) media air yaitu (81,3 HRB, 81,3 HRB, 80,6 HRB) media air garam (84,3 HRB, 83,6 HRB, 84,6 HRB). Nilai kekerasan variasi temperatur *temper* 650 °C, media solar yaitu (68,3 HRB, 68,6 HRB, 68,6 HRB) media air (79 HRB, 79,3 HRB, 79,3 HRB) dan media air garam (81,3 HRB, 81,6 HRB, 82 HRB). Struktur mikro yang didapatkan pada *quenching* yaitu struktur *martensite* dan *tempering* strukturnya *temper martensite*.

Kata kunci: AISI 1045, *quenching*, *tempering*, *martensite*, *ferrit*, *pearlite*, HRB.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF TEMPERING TEMPERATURE ON VIOLENCE AND MICRO STRUCTURE OF AISI 1045 STEEL STEQUED WHICH IS INQUENCHING IN CIRCULATED COOLING MEDIA

By

Hanif Mustofa

AISI 1045 steel is steel classified as medium carbon steel because it has a carbon content of 0.45%. The characteristics of steel itself are sometimes not in accordance with the needs required, therefore the steel requires other treatments to change the properties and structure of steel AISI 1045. The characteristics of steel can be changed by giving heat treatment, one of the processes carried out is the quenching tempering process. Quenching is a metal working process with rapid cooling to a predetermined variety of media with the aim of increasing the hardness of AISI 1045 steel, while tempering is the process of reheating hardened steel with the aim of obtaining high tenacity and toughness.

The quenching process uses a temperature of 800 ° C with a waiting time of 60 minutes and then cooled quickly with variations of diesel, water, and salt water with a 180 ° circulating process. While the tempering temperature variations used are 450 ° C, 550 ° C, and 650 ° C with a waiting time of 60 minutes. The results of the hardness test using the Rockwell method. in raw material testing get a value of 61.33 HRB hardness. The quenching results circulated in the solar media are (80.6 HRB, 79.3 HRB, 81.3 HRB), the value of violence in the water media (89.3 HRB, 89 HRB, 89.6 HRB), and salt water media (94 , 6 HRB, 96 HRB, 94.6 HRB). The hardness value of temperature temperament 450 ° C solar media (72.6 HRB 73 HRB, 72.6 HRB), water media (83.6 HRB, 82.6 HRB, 83 HRB), salt water (86.3 HRB, 86.6 HRB, 87.3 HRB). Temper temperature hardness value of 550 ° C solar media namely (70.3 HRB, 70.3 HRB, 70.6 HRB) water media (81.3 HRB, 81.3 HRB, 80.6 HRB) salt water media (84 , 3 HRB, 83.6 HRB, 84.6 HRB). The hardness value of temperature variation of 650 ° C, solar media are (68.3 HRB, 68.6 HRB, 68.6 HRB) water media (79 HRB, 79.3 HRB, 79.3 HRB) and salt water media (81 , 3 HRB, 81.6 HRB, 82 HRB). The microstructure obtained in quenching is the martensite structure and the tempering structure is temper martensite.

Keywords: AISI 1045, quenching, tempering, martensite, ferrite, pearlite, HRB

**PENGARUH TEMPERATUR *TEMPERING* TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1045
YANG DI*QUENCHING* DALAM MEDIA PENDINGIN
TERSIRKULASI**

Oleh

Hanif Mustofa

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2020**

Judul Skripsi : **PENGARUH TEMPERATUR *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1045 YANG DI *QUENCHING* DALAM MEDIA PENDINGIN TERSIRKULASI**

Nama Mahasiswa : **Hanif Mustofa**

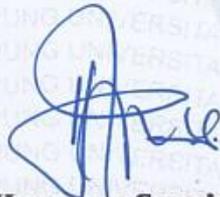
Nomor Pokok Mahasiswa : 1315021027

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Harnowo Supriadi, S.T., M.T.
NIP 19690909 199703 1 002



Zulhanif, S.T., M.T.
NIP 19730402 200003 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

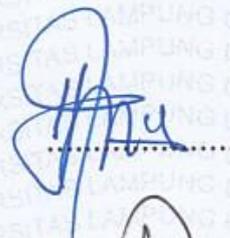


Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003

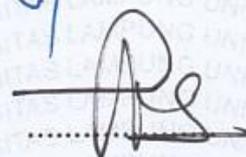
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

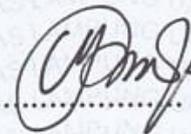
Ketua Penguji : **Harnowo Supriadi, S.T., M.T.**



Anggota Penguji : **Zulhanif, S.T., M.T.**



Penguji Utama : **Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D.**



2. Dekan, Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP.19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **28 Januari 2020**

PERNYATAAN PENULIS

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR No. 3187/H26/DT/2010

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



Handwritten signature of Hanif Mustofa in black ink.

Hanif Mustofa
NPM : 1315021027

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Kebun Dalam, Kecamatan Way Serdang, Kabupaten Mesuji, Provinsi Lampung pada tanggal 28 April 1994, sebagai anak kelima dari enam bersaudara dan dari pasangan Hasim dan Sri Hariyati. Penulis mengawali jenjang di sekolah Dasar yaitu di SD Negeri 01 Kebun Dalam, Kecamatan Way Serdang, Kabupaten Mesuji, Lampung pada tahun 2001 dan lulus pada tahun 2007. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP MMT Kebun Dalam, Kab. Mesuji dan lulus pada tahun 2010. Penulis pada tahun 2013 berhasil menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 01 Way Serdang, Kab. Mesuji, Lampung.

Pada tahun 2013 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP).

Selama menjadi Mahasiswa, penulis aktif di Organisasi Internal seperti di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin 2015-2016 menjabat sebagai anggota divisi penelitian dan bakat. Penulis telah melaksanakan Kerja Praktik di PTPN7 Lampung Selatan pada bulan Februari 2017 dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Sidodadi, Kecamatan Pardasuka, Kab. Pringsewu. Lampung pada bulan Januari-Februari 2018. Pada Skripsi ini penulis

melaksanakan penelitian dalam bidang konsentrasi rekayasa material yang berjudul “ Pengaruh Temperatur *Tempering* Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1045 Yang *Diquenching* Dalam Media Pendingin Tersirkulasi ” di bawah bimbingan Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. dan Bapak Zulhanif, S.T., M.T. dan sebagai pembahas Bapak Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D.

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan Segala Kerendahan Hati

Dan Harapan Meraih Ridho Allah SWT

Kupersembahkan Hasil Karya Yang Sederhana Ini Untuk Orang-Orang Yang Berjasa Besar

Dalam hidupku :

“kedua orang tuaku yang aku cintai”

“Bapak dan Mamak”

Yang Selalu Memberikan Kasih Sayangnya Yang Tak Terhingga Dan Cinta Yang Keluar Dari Kedalaman Hati Paling Dalam Dan Ketulusan MembesarkanKu Sampai Sekarang Ini.

“Saudaraku”

Kakak Dan Adikku Tercinta

“Keluarga Besar Teknik Mesin Universitas Lampung”

Keluarga BesarKu Dan Sahabat Terbaik Yang Selalu Memberi Warna Dan Ilmu Dalam Hidupku

“Almamater Tercinta Teknik Mesin Universitas Lampung”

Motto

Jangan Katakan Pada Allah ‘Aku Punya Masalah Besar’ Tetapi Katakan Pada Masalah Bahwa ‘Aku Punya Allah Yang Maha Besar’

(Ali Bin Abi Thalb)

Orang Yang Takut Kepada Allah Atau Bertaqwa KepadaNya, Maka Sesungguhnya Allah Pasti Akan Membimbingmu Dalam Menjalankan Kehidupan Di Dunia Dengan Benar.

(Al-Baqarah: 282)

“Berpacu Pada Arus Melodi Kehidupan Yang Harus Dijalani Dengan Keyakinan Dan Menikmati Jalannya Melodi Tersebut. Yakin Tanpa Gentar Menantanginya Demi Kelayakan Untuk Kedepannya..”

“Ketika Kau Mulai Merasa Lelah, Dan Seakan Ingin Menyerah. Ketahuilah, Bahwa Sesungguhnya Pertolongan Allah Hanya Berjarak Antara Kening Dan Sajadah...”

“Maka Bersujudlah”

SANWANCANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur hanya milik Allah SWT tuhan semesta alam atas rahmat dan pertolongan-Nya, skripsi ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang menunjukkan kepada umat manusia jalan yang lurus, dan kepada para sahabatnya, keluarganya, serta para pengikutnya yang selalu istiqamah diatas kebenaran agama Islam hingga hari ajal menjemput.

Dalam penyusunan Skripsi ini penulis banyak memperoleh bantuan baik itu moral maupun material dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T., selaku pembimbing utama tugas akhir, atas banyak waktu, ide, dan perhatian yang telah diberikan untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak mencurahkan waktu dan pikirannya bagi penulis.

6. Bapak Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D selaku pembahas tugas akhir ini, yang telah banyak memberi kritik dan saran yang sangat bermanfaat bagi penulis.
7. Seluruh Dosen Staff pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. Kedua Orang Tuaku, Bapak, Mamak, serta Kakak dan Adikku yang selalu memberikan doa yang terbaik bagi penulis.
9. Sahabat-sahabatku Faisal, Bastian, Joe Kasui, Wiwit, Weldy, Pak eko Novlin, Bang Adi, Andik, Kak Nurhud, Bang Petra, Rendra H.P, om Arif, Abah, dan Egi serta seluruh saudara seperjuangan Teknik Mesin 2013 yang selalu memberikan semangat bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan serta kekurangan. Penulis menyadari hal tersebut dengan segala kerendahan hati akan menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca untuk kesempurnaan skripsi ini, yang tentunya akan lebih mendorong kemajuan penulis dikemudian hari.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi penulis khususnya bagi pembaca pada umumnya. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Bandar Lampung, 28 Januari 2020

Penulis

Hanif Mustofa

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	v
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Batasan Masalah	5
D. Sistematis Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Baja Karbon	7
2.1 Klasifikasi Baja	7
2.2 Struktur Mikro Baja	8
B. Baja AISI 1045.....	11
C. Sifat Mekanik Baja.....	13
D. <i>Heat Treatment</i>	15
E. <i>Quenching</i>	16
F. Media Pendingin	17
G. <i>Tempering</i>	18
H. Diagram Fasa Fe ₃ C.....	22
I. Kekerasan.....	23
J. Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	24
K. Gambar Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	26
L. Struktur Mikro.....	27
M. Perubahan Fasa Dari <i>Austenite</i> Ke <i>Martensite</i>	28

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
A. Tempat Dan Waktu	31
B. Alat Dan Bahan	31
C. Prosedur Penelitian.....	38
D. Diagram Alur Pengambilan Data	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
A. Hasil	43
B. Pembahasan	48
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	61
A. Simpulan	61
B. Saran.....	62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Temperatur Terhadap Waktu	16
Gambar 2. Proses <i>Quenching</i> – <i>Tempering</i>	21
Gambar 3. Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	22
Gambra 4. Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	26
Gambar 5. Struktur Mikro <i>Lath</i> Dan <i>Plate Martensite</i>	30
Gambar 6. Alat Instalasi <i>Quenching</i> Sistem Media Pendingin Yang Tersirkulasi	31
Gambar 7. Baja AISI 1045.....	32
Gambar 8. <i>Furnace</i>	33
Gambar 9. Air	34
Gambar 10. Larutan Air Garam	34
Gambar 11. Solar (HSD).....	35
Gambar 12. <i>Universal Hadeness Tester</i>	35
Gambar 13. Alat Uji Struktur Mikro.....	36
Gambar 14. Mesin Potong Logam	36
Gambar 15. Amplas	37
Gambar 16. <i>Autosol</i>	37
Gambar 17. Larutan <i>Etsa</i>	38
Gambar 18. Grafik Variasi Media Pendingin Saat <i>Quenching</i>	52
Gambar 19. Grafik Variasi Temperatur <i>Tempering</i> 450 °C.....	53
Gambar 20. Grafik Variasi Temperatur <i>Tempering</i> 550 °C.....	54

Gambar 21. Grafik Variasi Temperatur <i>Tempering</i> 650 °C.....	55
Gambar 22. Grafik <i>Quenching</i> Dan Perbedaan Temperatur <i>Tempering</i>	56
Gambar 23. Kurva <i>quenching</i> dan perbandingan temperatur <i>tempering</i>	57
Gambar 24. Struktur Baja AISI 1045 Tanpa Perlakuan (<i>Raw Material</i>).....	57
Gambar 25. Struktur Baja AISI 1045 <i>Quenching</i> Media Air Garam.....	58
Gambar 26. Struktur Baja AISI 1045 <i>Tempering</i> Temperatur 650 °C.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 1045	11
Tabel 2. Sifat-Sifat Mekanis Baja Karbon AISI 1045	12
Tabel 3. Nilai Kekerasan <i>Raw Material</i> Baja AISI 1045.....	43
Tabel 4. Data <i>Quenching</i> Hasil Uji Kekerasan Pengujian Media Air.....	44
Tabel 5. Data <i>Quenching</i> Hasil Uji Kekerasan Pengujian Media Air Garam.....	44
Tabel 6. Data <i>Quenching</i> Hasil Uji Kekerasan Pengujian Media Solar	44
Tabel 7. Data <i>Tempering</i> Temperatur 450 °C Media Air.....	45
Tabel 8. Data <i>Tempering</i> Temperatur 550 °C Media Air.....	45
Tabel 9. Data <i>Tempering</i> Temperatur 650 °C Media Air.....	45
Tabel 10. Data <i>Tempering</i> Temperatur 450 °C Media Air Garam.....	46
Tabel 11. Data <i>Tempering</i> Temperatur 550 °C Media Air Garam.....	46
Tabel 12. Data <i>Tempering</i> Temperatur 650 °C Media Air Garam.....	46
Tabel 13. Data <i>Tempering</i> Temperatur 450 °C Media Solar.....	47
Tabel 14. Data <i>Tempering</i> Temperatur 550 °C Media Solar.....	47
Tabel 15. Data <i>Tempering</i> Temperatur 650 °C Media Solar.....	47

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Baja karbon AISI 1045 merupakan jenis baja yang tergolong dalam baja paduan karbon sedang yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti poros, gear, dan batang penghubung piston pada kendaraan bermotor. Baja karbon sedang merupakan salah satu material yang sering banyak digunakan dan diproduksi dan digunakan untuk membuat alat-alat atau bagian-bagian mesin, karena baja karbon sedang memiliki sifat yang dapat dimodifikasi sedikit ulet (*ductile*) dan tangguh (*toughness*) (Sastrawan, 2010).

Heat treatment adalah suatu proses kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan suatu logam untuk menghasilkan sifat-sifat tertentu dari logam tersebut. Perlakuan panas dengan metode *Quenching* yaitu suatu proses pemanasan suatu logam atau baja sampai pada temperatur *austenite* kemudian didinginkan secara cepat sehingga akan menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi. Proses *Quenching* pada baja AISI 1045 dapat menghasilkan sifat mekanik yang lebih tangguh dari sebelumnya, hal tersebut disebabkan oleh

berubahnya struktur baja AISI 1045 dari struktur *austenite* ke *martensit*, dimana *austenite* merupakan fasa tidak stabil suatu logam dan memerlukan suatu perlakuan lain untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik, sedangkan *martensit* adalah fasa yang terbentuk dari suatu logam yang mengalami perlakuan panas yang memiliki sifat kekerasan pada logam tersebut.

Tempering adalah proses dimana baja yang sudah dikeraskan, dipanaskan kembali pada temperatur tertentu dan ditahan selama waktu tertentu untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan mengembalikan sebagai keuletan dan ketangguhannya. Kembalinya sebagai keuletan dan ketangguhannya ini didapat dengan mengorbankan sebagian kekuatan dan kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan.

Temperatur *temper* pada *tempering* mempunyai pengaruh yang cukup besar dalam memperoleh kembali keuletan dari baja. Oleh karena itu kita perlu mengetahui dan memahami beberapa tinggi temperatur pada *tempering* yang harus dilakukan untuk mendapatkan baja dengan karakteristik dan sifat mekanis tertentu. Proses *tempering* juga berubah struktur mikro dari baja. Dengan berubahnya struktur mikro maka sifat mekanis pada baja juga akan mengalami perubahannya.

Menurut penelitian sebelumnya dengan proses *Quenching* menggunakan baja AISI 1045 yang tersirkulasi dengan pengujian metode *vickers* diperoleh

sebagai berikut Q1 pengujian RAW material mendapatkan hasil 130 HVN, Q2 tanpa agitasi ($V=0$ m/s) dengan kekerasan 308 VHN, Q3 dengan kecepatan ($V=0,597$ m/s) dengan kekerasan 417,6 VHN, Q4 dengan kecepatan ($V=0,696$ m/s) dengan kekerasan 429,3 VHN, dan Q5 dengan kecepatan ($V=0,833$ m/s) dengan kekerasan 735 VHN. (Sri N, 2005: 25).

Berdasarkan penelitian dari Mizhar tentang Analisa Kekerasan dan Struktur Mikro Terhadap Variasi Temperatur Pada Baja AISI 4140. Dengan variasi temperatur *tempering* yaitu 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, dan 600 °C dengan waktu tahan 2 jam. Proses *normalizing* mendapatkan nilai kekerasan 38,2 HRC, nilai mengalami kenaikan setelah di *hardening* menjadi 52 HRC kenaikan sekitar 26%. Proses *tempering* dengan suhu 200 °C nilai kekerasan tidak mengalami penurunan malah sebaliknya sekitar 0,5%, pada temperatur 300 °C nilai kekerasan mengalami penurunan sekitar 3% menjadi 50 HRC, *temper* 400 °C nilai kekerasan menurun sekitar 8% menjadi 47,4 HRC, *temper* 500 °C turun sekitar 23% menjadi 40 HRC dan pada *temper* 600 °C kekerasan penurunan yang sangat drastis sekitar 33% menjadi 34,5 HRC.

Oleh Gunawan Dwi, Haryadi yang berjudul Pengaruh Suhu *Tempering* Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. Dengan material dasar yang berbeda yaitu dengan baja K-460, proses *tempering* dengan variasi suhu yang berbeda dengan data 100 °C kekuatan tarik maksimumnya 2014,8 Mpa, dan suhu 200 °C, 300 °C, dan 400 °C

masing masing kekuatan tarik maksimumnya adalah 1671,1 Mpa, 1444,6 Mpa, dan 1023,3 Mpa.

Dalam penelitian ini yang menggunakan spesimen baja AISI 1045 dengan proses *Quencing – Tempering*. Proses *Quencing* dengan temperatur 800 °C waktu penahan 60 menit, variasi media pendinginan menggunakan solar, air, dan air garam 25% yang tersirkulasi, selanjutnya *tempering* dengan temperatur 450 °C, 550 °C, dan 650 °C dengan waktu penahan 60 menit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan struktur mikro pada baja AISI 1045. Maka judul penelitian ini adalah “ Pengaruh Temperatur *Tempering* Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 1045 Yang *Diquenching* Dalam Media Pendingin Tersirkulasi”

B. Tujuan

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui pengaruh temperatur *tempering* dengan media pendingin (air, larutan garam 25%, dan solar) yang tersirkulasi terhadap perubahan nilai kekerasan pada baja AISI 1045.
2. Untuk mengetahui pengaruh temperatur *tempering* dengan media pendingin (air, larutan garam 25%, dan solar) yang tersirkulasi pada struktur mikro baja AISI 1045.

C. Batasan Masalah

Adapun penelitian ini membatasi masalah adalah sebagai berikut

1. Menggunakan spesimen jenis baja AISI 1045
2. Media *Quencing* yang digunakan adalah air tanah, larutan garam 25%, dan solar.
3. Metode *Quencing* dilakukan dengan media pendingin tersirkulasi.
4. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kekerasan menggunakan metode *Rockwell*, dan uji struktur mikro.
5. Proses *tempering* dengan variasi temperatur pada 450 °C, 550 °C, 650 °C..

D. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian adalah

1. BAB I. PENDAHULUAN

Bab I berisi tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan yang digunakan.

2. BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisi tentang landasan teori dan teori-teori dasar yang berhubungan dengan penelitian (proses *quenching*) dan temperatur *tempering*.

3. BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab III ini berisi tentang penjelasan metode yang digunakan dalam pengambilan data, alat dan bahan apa saja yang digunakan serta diagram alur pengambilan data.

4. BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV ini berisi tentang hasil yang didapatkan setelah pengambilan data dan pembahasan tentang data tersebut serta menganalisa dan membandingkan dari data-data yang didapatkan.

5. BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V ini berisi tentang kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini dan memberikan saran dan masukan untuk penelitian ini agar lebih baik lagi jika dilanjutkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

Berisikan sumber-sumber yang menjadi referensi penulis dalam menyusun laporan penelitian tugas akhir.

7. LAMPIRAN

Memuat beberapa hal yang berhubungan dengan materi yang dibahas sebagai pelengkap laporan penelitian tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. 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% - 1,7% sesuai tingkatnya. Proses pembuatan baja akan terdapat suatu unsur-unsur lain, selain karbon yang akan tertinggal di dalam baja seperti mangan (Mn), silikon (Si), kromium (Cr), vanadium (V), dan unsur lainnya. Berdasarkan komposisi dalam praktiknya baja terdiri dari beberapa macam yaitu: Baja Karbon (*Carbon Steel*), dan Baja Paduan (*Alloy Steel*).

2.1 Klasifikasi Baja

Menurut salah seorang peneliti yang bernama Anggi karbon memiliki klasifikasi yang mengacu berdasarkan tingkatan kandungan karbon (C) itu terhadap berat besi (Fe) pada baja tersebut. Adapun klasifikasi dari baja karbon adalah :

- a) Baja Karbon Rendah (*low Carbon Steel*) mengandung karbon antara 0,10 s/d 0,30 %. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan atau profit.
- b) Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*) mengandung karbon antara 0,30 % - 0.60 % C. Baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat - alat perkakas bagian mesin ini juga dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas dan sebagainya.
- c) Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*) mengandung kadar karbon antara 0,60% - 1,7% C. Baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti: palu gergaji atau pahat potong (Anggi, 2012).

2.2 Struktur Mikro Baja

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon adalah

a. *Austenite*

Austenite adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk dalam pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya *austenite* berubah menjadi *ferrit* dan *perlit* dan *sementit*. Sifat *austenite* adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kelarutan maksimal kandungan karbon

sebesar $\pm 2,06\%$ pada suhu $1148\text{ }^{\circ}\text{C}$, struktur kristal FCC (*face center cubic*). Sifat ketangguhan tinggi dan tidak stabil pada suhu ruang.

a. *Ferit*

Ferit fasa ini disebut alfa (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon $\pm 0,025\%$ C pada temperatur $723\text{ }^{\circ}\text{C}$, struktur Kristal BCC (*body center cubic*). Pada suhu ruang, kadar kelarutan karbonnya $\pm 0,008\%$ sehingga dapat dianggap besi murni. *Ferit* bersifat *magnetic* sampai suhu $768\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sifat-sifat *ferrit* adalah ketangguhan rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram Fe_3C .

b. *Perlit*

Perlit adalah campuran *eutectoid* antara *ferit* dengan *sementit* yang terbentuk pada suhu $723\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan kandungan karbon $0,83\%$. Fasa *perlit* merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu *ferit* dengan kadar karbon $0,025\%$ dan *sementit* dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon $6,67\%$ yang berselang seling rapat terletak bersebelahan. Jadi, *perlit* merupakan struktur mikro dari reaksi *eutectoid lamellar*.

c. *Bainit*

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa *austenit* ke suhu antara 250 – 550 °C dan ditahan pada suhu tersebut (*isothermal*). *Bainit* merupakan struktur mikro dari reaksi *eutectoid* (γ + Fe₃C) *non lamellar*. *Bainit* merupakan struktur mikro campuran fasa *ferit* dan *sementit* (Fe₃C). kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300 – 400 HVN.

d. *Martensit*

Martensit merupakan fasa diantara *ferit* dan *sementit* bercampur, tetapi bukan lamellar. Melainkan jarum-jarum *sementit*. Fasa ini terbentuk austenite meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadi hanya Fe₃C unsur paduan lainnya tetapi larutan transformasi *isothermal* pada 260 °C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dan matriks *ferit*.

b. *Sementit* (karbida besi)

Sementit merupakan paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe₃C. Dibandingkan dengan *ferit*, *sementit* sangat keras. Karbida besi dalam *ferit* akan meningkatkan 16 kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh itu kurang kuat (Maulana D, 2017).

B. Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 - 0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat tabel dibawah

Tabel 1. Komposisi kimia baja AISI 1045 (Pramono A, 2011).

Kode	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	S%
AISI 1045	0,4-0,45	0,1-0,3	0,60-0,90	0,025	0,04 max	0,05 max

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan *nomenklatur* yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (*Society of automotive engineers*). Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukkan *plain* karbon kemudian kode xxx setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon. Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau *plain carbon steel* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Pada aplikasinya ini baja tersebut harus mempunyai ketahanan *aus* yang baik karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan *aus* didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan (Pramono A, 2011, hal 32), Pada umumnya ketahanan *aus* berbanding lurus dengan kekerasan.

Baja AISI 1045 termasuk dalam baja karbon sedang karena memiliki kadar karbon 0,45%. Pengaplikasiannya biasanya dalam pembuatan komponen pemrosesan dimana dapat dilakukan dengan cara pengelasan gesek (Maulana D, 2017). AISI merupakan kepanjangan dari (*American Institute For Steel And Iron*) cara pembacanya dari AISI 1045 yaitu angka 10 menunjukkan kandungan paduan baja sedangkan untuk angka 45 menunjukkan kadar karbon.

Tabel 2. Sifat-sifat mekanis baja karbon AISI 1045 (Maulana D, 2017).

No	Hardness (BHN)	Tensile Strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation %
1	190 - 270	640 – 850	500 – 650	8

Table 2.4 Unsur kimia baja AISI 1045 (Brammer Standard Company, Inc).

Element	%	Element	%
Carbon	0.457	Aluminum	0.002
Manganese	0.75	Antimony	(0.002)
Phosphorus	0.016	Arsenic	(0.005)
Sulfur	0.024	Boron	(0.0004)
Silicon	0.34	Calcium	0.0012
Copper	0.22	Cobalt	0.009
Nickel	0.056	Nitrogen	0.0090
Chromium	0.058	Tin	0.029
Molybdenum	0.012	Titanium	0.002
Vanadium	0.013	Tungsten	<0.005

C. 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, punter, atau beban kombinasi. 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 berapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain 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 dari pada 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 dibawah 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 (RY Novianto, 2013).

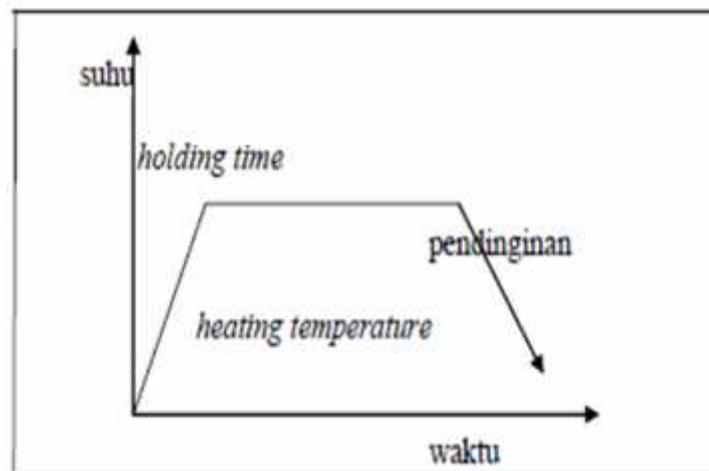
D. *Heat Treatment*

Proses perlakuan panas pada umumnya untuk memodifikasi struktur mikro baja sehingga meningkatkan sifat mekanik, salah satunya yaitu kekerasan. Perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan menggunakan variasi media dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam paduan dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Perubahan sifat tersebut terjadi karena ada perubahan struktur mikro selama proses pemanasan dan pendinginan dimana sifat logam atau paduan sangat dipengaruhi oleh struktur mikro.

Proses perlakuan panas terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari proses pemanasan bahan hingga pada suhu tertentu dan selanjutnya didinginkan juga dengan cara tertentu. Tujuan dari perlakuan panas adalah mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dan sesuai dengan yang diinginkan seperti meningkatkan kekuatan dan kekerasan, mengurangi tegangan, melunakkan, mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada keuletan bahan. Secara umum, proses perlakuan panas adalah:

1. Memanaskan logam/paduannya sampai pada suhu tertentu.
2. Mempertahankan pada suhu pemanasan tersebut dalam waktu tertentu.

3. Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu. Skema pada proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui diagram temperatur terhadap waktu seperti Gambar dibawah ini :



Gambar 1. Diagram Temperatur Terhadap Waktu (Mustofa Z, 2016).

E. *Quenching*

Quenching merupakan proses pengerjaan logam dengan pendinginan secara cepat. Sehingga melalui *quenching* akan mencegah adanya proses yang dapat terjadi pada pendinginan lambat seperti pertumbuhan butir. Secara umum, *quenching* akan menyebabkan menurunnya ukuran butir dan dapat meningkatkan nilai kekerasan pada suatu paduan logam. Pada umumnya baja yang telah mengalami proses *quenching* memiliki kekerasan yang tinggi serta dapat mencapai kekerasan yang maksimum tetapi agak rapuh. Dengan adanya sifat yang rapuh, maka kita harus menguranginya dengan melakukan proses lebih lanjut seperti *tempering*. Dalam penelitian ini proses *quenching* yang

digunakan adalah *quenching* agitasi Berikut ini adalah faktor - faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan pada proses *quenching*:

1. Komposisi kimia spesimen
2. Media pendingin
3. Waktu pemanasan
4. Kecepatan agitasi

Semakin tinggi kecepatan air yang mengalir pada spesimen maka nilai kekerasan yang dihasilkan akan semakin besar (jurnal waluyo, 2010: 26).

F. Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam. Berbagai bahan media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain:

1. Air

Air adalah media pendinginan yang paling umum digunakan. Air menghasilkan tingkat pendinginan mendekati tingkat maksimum. Keunggulan air sebagai media pendingin adalah murah, mudah tersedia, mudah dibuang dengan minimal polusi atau bahaya kesehatan. Air juga efektif dalam menghilangkan *scaling* dari permukaan bagian baja yang di *quenching*. Oleh karena itu air sering digunakan sebagai media *quenching* karena tidak mengakibatkan *distorsi* berlebihan atau retak. Air banyak

digunakan untuk pendinginan logam *nonferrous*, baja tahan karat *austenit*, dan logam lainnya yang telah diperlakukan panas.

2. Larutan garam

Garam dipakai sebagai media pendingin disebabkan memiliki sifat pendingin yang teratur dan cepat. Air garam memiliki nilai *viskositas* yang rendah dan masa jenis yang besar sehingga laju pendinginan cepat.

3. Solar

Solar digunakan sebagai media pendingin proses *quenching* karena memiliki nilai *viskositas* yang rendah dibandingkan dengan oli, dengan harapan mendapatkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dari pada oli.

G. Tempering

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan kurang cocok digunakan. Melalui *temper*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan. Proses *temper* terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dipanaskan atau dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lunak, proses ini berbeda dengan proses *anil* karena disini sifat-sifat dapat dikendalikan dengan cermat. *Temper* dimungkinkan oleh karena sifat struktur *martensit* yang tidak stabil (Jurnal Haryadi D, 2006 hal: 2).

Struktur logam yang tidak stabil tidak berguna untuk tujuan penggunaan, karena dapat mengakibatkan pecah. Dengan penemperan, tegangan dan kegetasan diperlunak dan kekerasan sesuai dengan penggunaan. Ketinggian

suhu penemperan dan waktu penghentian benda kerja tergantung pada jenis baja dan kekerasan yang dikehendaki. Sebagai pedoman berlaku, bahwa benda kerja *ditemper* sejauh tercapainya keuletan setinggi-tingginya pada kekerasan yang memadai.

Penemperan harus dilakukan segera setelah pengejutan karena tegangan kekerasan pada umumnya baru timbul beberapa saat setelah pengejutan. Jika *penemperan* tidak dapat langsung mengikuti pengejutan maka bahaya pembentukan retak dapat dikurangi dengan jalan memasukan benda kerja ke dalam air yang mendidih untuk beberapa jam lamanya. *Temper* pada suhu rendah antara 150 °C – 230 °C tidak akan menghasilkan penurunan yang berarti, karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu. Penemperan pada suhu hingga 200 °C ini disebut penuaan buatan. Baja yang memperoleh perlakuan seperti ini memiliki ukuran yang tetap untuk waktu lama pada suhu ruangan.

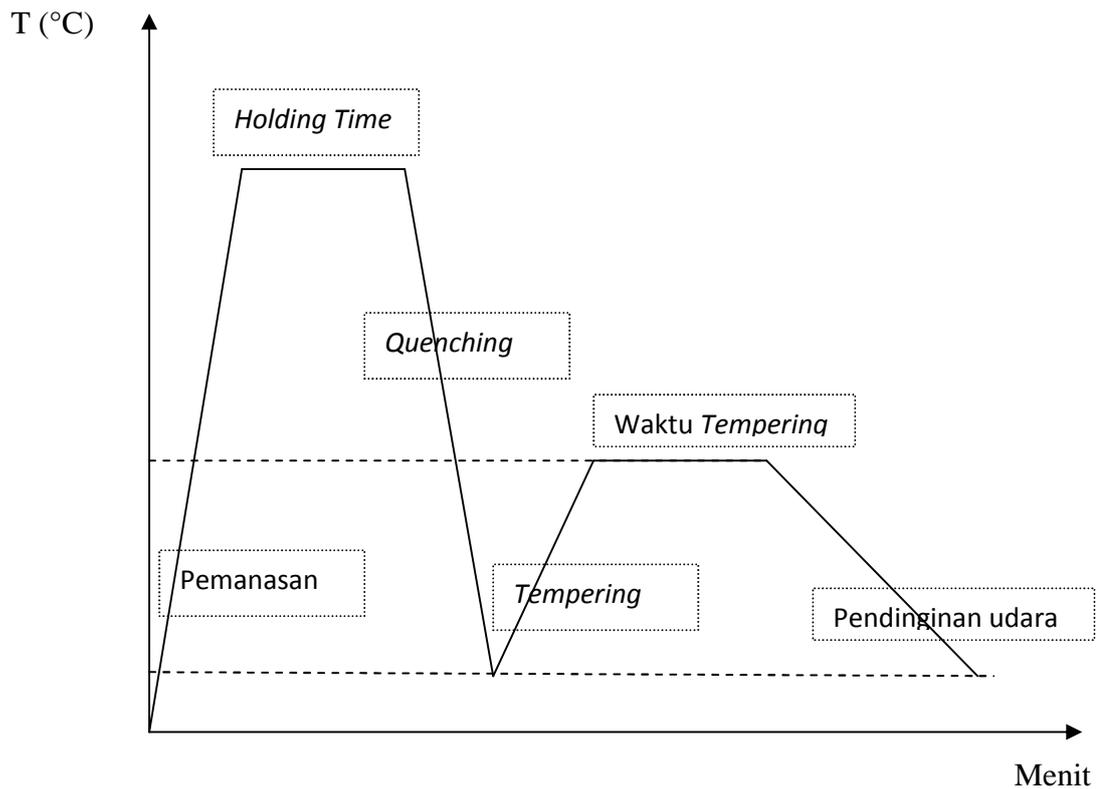
Penemperan antara suhu 200 °C – 380 °C untuk memperlunak kekerasan yang berlebihan dan meningkatkan keuletan, sedangkan perubahan ukuran yang terjadi pada pengejutan diperkecil. Penemperan pada suhu antara 550 °C – 650 °C untuk meningkatkan kekerasan dengan menguraikan *karbid*. Penemperannya hanya pada baja perkakas paduan tinggi. Penemperan baja bukan paduan berlangsung pada suhu penemperan yang berpedoman pada karbon dan kekerasan yang dikehendaki.

Proses *temper* pada pemanasan sampai suhu temperatur tertentu (temperatur kritis) dan didinginkan dengan lambat. Pemanasan dilakukan sampai temperatur yang diperlukan, biasanya antara 200 °C–600 °C tergantung pada keperluan. Makin tinggi temperatur pemanasan makin besar penurunan kekerasan sedangkan kekenyalannya bertambah (jurnal Haryadi D, 2006 hal 3).

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 °C – 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 °C – 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.



Gambar 2 Proses *Quenching–Tempering* (Jurnal Haryadi D, 2006)

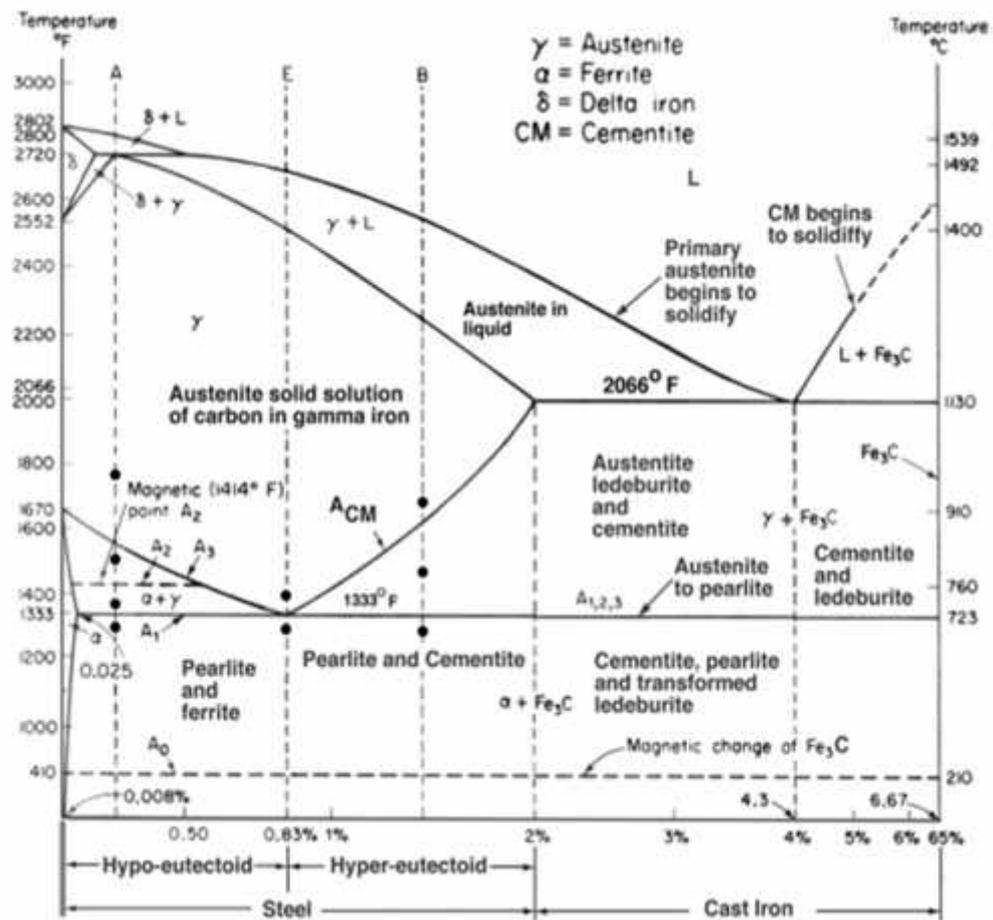
Proses *tempering* adalah proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, keuletan, dan ketangguhan yang tinggi. Pada proses ini, material dipanaskan sampai temperatur *austenite* kemudian setelah itu dilakukan penahanan waktu pada temperatur tertentu dan dinginkan di udara terbuka. Proses ini merupakan proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan karena sebelumnya telah dilakukan proses pengerasan baja (*hardening*).

Tujuannya dilakukan proses *tempering* yaitu mengembalikan keuletannya atau meningkatkan keuletannya tapi kekerasan dan kekuatannya menurun. Pada sebagian besar baja struktur, proses *tempering* dimaksudkan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, keuletan dan ketangguhan yang

tinggi. Dengan demikian, proses *tempering* yang dilakukan setelah proses *hardening* akan menjadikan baja lebih bermanfaat karena adanya struktur yang lebih stabil.

H. Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram fasa Fe-Fe₃C merupakan diagram yang menjelaskan mengenai perubahan fasa



Gambar 3 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (ASM Handbook Vol.4:4, 1991)

Beberapa istilah dalam diagram fasa Fe-Fe₃C dan fasa-fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-Fe₃C (Maulana D, 2017).

1. A1 adalah temperatur reaksi *eutectoid* yang perubahan fasa menjadi + Fe₃C *pearlite* untuk baja *hypoeutectoid*.
2. A2 adalah titik *Currie* (pada temperatur 769 derajat *celcius*), dimana sifat magnetik besi berubah dari *feromagnetik* menjadi *paramagnetic*.
3. A3 adalah temperatur dari fasa menjadi (*ferrit*) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunya temperatur.
4. Acm adalah temperatur tranformasi menjadi Fe₃C *cementite* yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunya temperatur.
5. A123 adalah temperatur transformasi menjadi + Fe₃C *pearlite* untuk baja *hypereutectoid*

I. Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mangalami gesekan (*frictional force*), dalam hal ini bidang keilmuan yang berperan penting mempelajarinya adalah Ilmu Bahan Teknik (*Metallurgy Engineering*). Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material

untuk menahan beban *indentasi* atau penetrasi (penekanan). Kekerasan merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap *deformasi* tekan. *Deformasi* yang terjadi dapat berupa kombinasi perilaku elastis dan plastis. Pada permukaan dari dua komponen yang saling bersinggungan dan bergerak satu terhadap lainnya akan terjadi *deformasi* elastis maupun plastis. *Deformasi* elastic kemungkinan terjadi pada permukaan yang keras, sedangkan *deformasi plastis* terjadi pada permukaan yang lebih lunak. Pengaruh deformasi bergantung pada kekerasan permukaan bahan (logam).

Nilai kekerasan berkaitan dengan kekuatan luluh atau tarik logam, karena selama indentasi (penjejakan) logam mengalami *deformasi* sehingga terjadi regangan dengan persentase tertentu. Nilai kekerasan *Vickers* didefinisikan sama dengan beban dibagi luas jejak piramida (indentor) dalam kg/mm^2 dan besarnya kurang lebih tiga kali besar tegangan luluh untuk logam-logam yang tidak mengalami pengerjaan pengerasan cukup berarti. Keras-lunak permukaan bahan logam di setiap lokasi penjejakan akan berbeda-beda karena faktor kehalusan permukaan, *porositas*, jenis perlakuan maupun perbedaan unsur-unsur paduan (Yusman F, 2018).

J. Uji Kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan menurut *Rockwell* diukur kedalaman pembenaman (t) penekan. Sebagai penekan pada baja yang dikeraskan digunakan sebuah kerucut intan. Untuk menyeimbangkan ketidakrataan yang diakibatkan oleh permukaan yang tidak bersih, maka kerucut intan ditekankan keatas bidang

uji, pertama dengan beban pendahuluan 100 kg. Setelah itu, beban ditingkatkan menjadi 150 kg sehingga tercapai kedalaman pembedaan terbesar. Sebagai ukuran digunakan kedalaman pembedaan menetap t dalam mm yang ditinggalkan beban tambahan. Sebagai satuan untuk ukuran t berlaku $e = t$ dalam 0,002 mm.

Kekerasan *Rockwell*

$$\text{HRC} = 100 - \frac{t}{0,002} \dots \dots \dots (1)$$

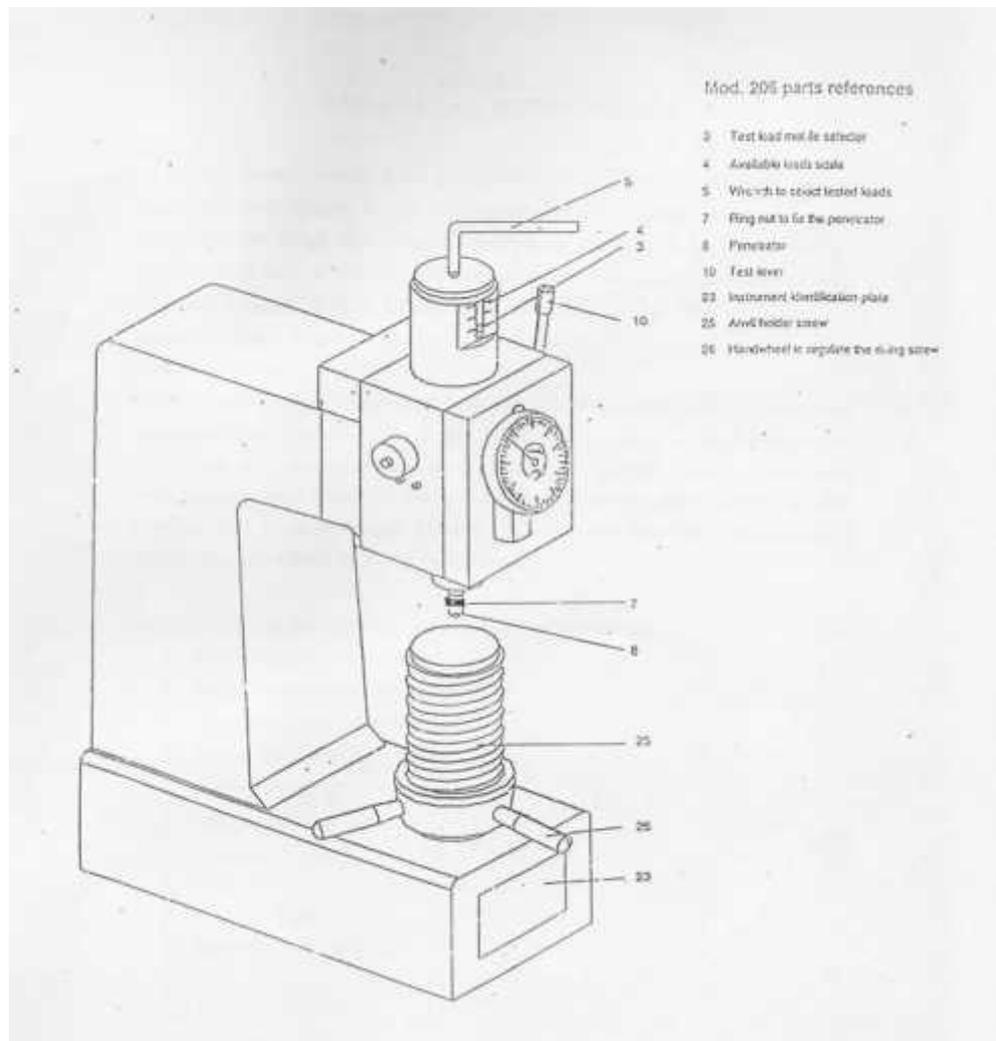
Contoh :

$$T = 0,07$$

$$\begin{aligned} \text{HRC} &= 100 - \frac{0,07}{0,002} \\ &= 100 - 35 = 65 \text{ HRC} \end{aligned}$$

Pengujian *Rockwell* HRC sebagai cara yang paling cocok untuk pengujian bahan yang keras. Makin keras bahan yang diuji, makin dangkal masuknya penekan dan sebaliknya makin lunak bahan yang diuji, makin dalam masuknya. Cara *Rockwell* sangat disukai karena dengan cepat dapat diketahui kekerasannya tanpa menghitung dan mengukur. Nilai kekerasan dapat dibaca setelah beban utama dilepaskan, dimana beban awal masih menekan bahan (Haryadi. D, 2006).

K. Gambar Alat Uji Kekerasan Rockwell



Gambar 4 Alat Uji Kekerasan *Rockwell*

Alat yang dipergunakan untuk melakukan uji kekerasan suatu logam yang dilakukan dengan menggunakan uji kekerasan *rockwell* digunakan alat yang bernama *Rockwell Hardness Test*. Berikut ini merupakan spesifikasi beserta data dari mesin uji kekerasan *rockwell*:

Nama alat : *Rockwell Hardness Test*

Merk : AFFRI Seri 206.RT-206.RTS

<i>Loading</i>	: <i>Maximum</i> 150 KP dan <i>Minimum</i> 60 K
<i>Indentor</i>	: Kerucut Diamond 120°
HR B <i>Load</i>	: 100 KP
Indentor	: <i>Steel Ball</i> 1/16"
HR A <i>Load</i>	: 60 KP

L. Struktur Mikro

Struktur mikro adalah butiran - butiran suatu benda logam yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, sehingga perlu menggunakan alat yang bernama mikroskop optik atau mikroskop elektron untuk pemeriksaan butiran - butiran logam tersebut. Struktur material berkaitan dengan komposisi, sifat, sejarah dan kinerja pengolahan, sehingga dengan mempelajari struktur mikro akan memberikan informasi yang menghubungkan komposisi dan pengolahan sifat serta kinerjanya.

Analisis struktur mikro digunakan untuk menentukan apakah parameter struktur berada dalam spesifikasi tertentu dan didalam penelitian digunakan untuk menentukan perubahan - perubahan struktur mikro yang terjadi sebagai akibat komposisi atau perlakuan panas. *Metalografi* merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikro struktur suatu logam dan paduannya serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan paduannya tersebut. Ada beberapa metode yang dipakai yaitu: mikroskop (optik maupun elektron), difraksi (sinar-X, *electron* dan *neutron*), analisis (*X-ray fluorescence*, *elektron mikroprobe*) dan juga *stereometric metalografi*.

Analisa mikro adalah suatu analisa mengenai struktur logam melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan analisa mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses *deformasi*, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat fisis sangat dipengaruhi oleh mikro struktur logam dan paduannya, disamping komposisi kimianya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (*deformasi*) dari logam yang akan diuji (USU Institutional Repository, 2011).

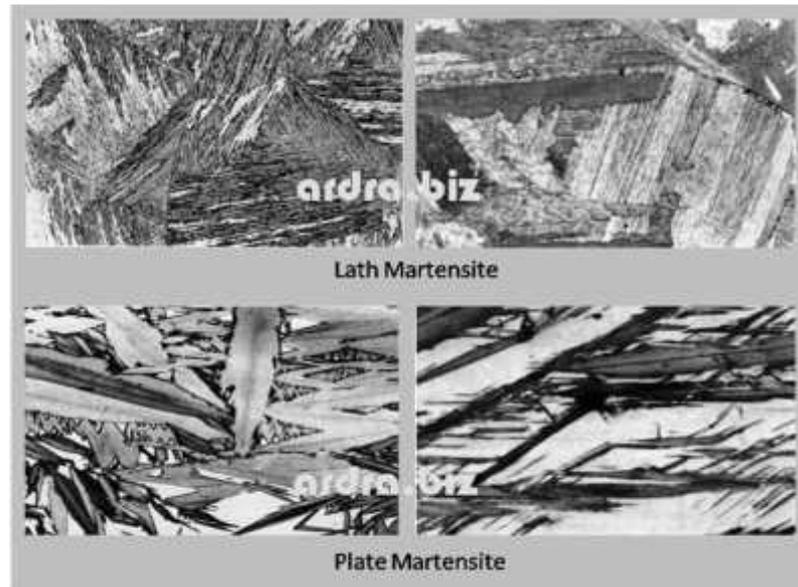
M. Perubahan Fasa dari *Austenite* ke *Martensite*

Pada laju pendinginan yang sangat cepat dari temperatur *austenite* ke temperatur ruang, akan menyebabkan terjadinya transformasi fasa dari fasa *austenite* menjadi fasa *martensite*. Transformasi pembentukan *martensite* ini akan berakhir pada temperatur dibawah nol *celcius*, sehingga bila baja didinginkan dengan cepat sampai temperatur ruang masih terdapat sisa *austenite*. Hal ini menyebabkan pengerasan baja menjadi tidak optimal. *Austenite* sisa tergantung pada kandungan karbon. Semakin tinggi kandungan karbon semakin besar pula kemungkinan terdapatnya *austenite* sisa.

Untuk dapat menghilangkan *austenite* sisa ini, maka dilakukan perlakuan yang disebut dengan *subzero treatment* yaitu pendinginan lanjut dibawah nol *celcius*. Dengan perlakuan ini semua *austenite* sisa dapat bertransformasi menjadi *martensite*. Cara lain adalah dengan perlakuan panas *tempering* atau

penemperan. Pada pendinginan cepat tidak cukup waktu bagi karbon untuk berdifusi keluar dari larutan padat *austenite*, sehingga transformasi terjadi dengan pergeseran atom-atom dari kisi kubus pemusatan sisi, *Face Centered Cubic*, *FCC*, menjadi *tetragonal* pemusatan ruang yang lewat jenuh, *Body Centered Tetragonal*, *BCT*. Transformasi geser atom ini menyebabkan kisi Kristal mengalami *distorsi*. Dua dimensi dari unit sel *BCT* mempunyai ukuran yang sama, sedangkan dimensi yang ketiga lebih besar. Selama pergeseran, atom karbon yang tidak sempat berdifusi ini terperangkap pada posisi *octahedral*, sehingga parameter kisi *c* mengalami ekspansi lebih besar dibanding kisi *a*.

Austenit akan bertransformasi menjadi *martensit* pada temperatur di bawah temperatur kristis *Ms*, *Martensite Star*. Temperatur *Ms* dipengaruhi oleh kandungan paduan yang terdapat dalam baja. Struktur *martensit* untuk paduan besi-karbon mempunyai dua bentuk yaitu: *lath martensite* dan *plate martensite*. Struktur *lath martensite* terbentuk pada baja karbon rendah sampai sedang, atau baja dengan kandungan karbon kurang daripada 0,6 persen. Sedangkan *plate martensit* terbentuk pada baja karbon tinggi, atau baja dengan kandungan karbon lebih daripada 0,6 persen. Perbedaan struktur martensit di bawah pengamatan mikroskop optik dapat dilihat pada gambar di bawah menunjukkan gambar struktur mikro *lath* dan *plate martensite*.



Gambar 5. Struktur Mikro *Lath* Dan *Plate Martensite*

(<https://ardra.biz/sain-teknologi/metalurgi/perlakuan-panas-logam/pembentukan-martensite/>)

Nilai kekerasan *lath martensite* lebih rendah daripada *plate martensite*. Namun dengan kandungan karbon yang tinggi, *plate martensit* cenderung lebih getas atau rapuh dari baja dengan struktur *lath martensite*. Baja dengan struktur *plate martensite* banyak digunakan untuk aplikasi teknik seperti baja perkakas dan struktur karburisasi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik, Fakultas Teknik Universitas Lampung dan LIPI Tanjung Bintang Lampung Selatan, dilaksanakan pada bulan Februari 2019 – Oktober 2019.

B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Alat instalansi *Quenching* sistem media pendingin yang disirkulasikan



Gambar 6. Alat Instalansi *Quenching* Media Yang Disirkulasikan

2. Baja AISI 1045



Gambar 7. Baja AISI 1045

Pada gambar di atas yang merupakan jenis baja AISI 1045 termasuk jenis baja karbon sedang dengan kadar karbon 0,45%. Baja AISI 1045 digunakan karena berdasarkan teori-teori atau referensi yang didapat dari penelitian sebelumnya dan juga baja AISI 1045 sering digunakan untuk keperluan sehari-hari dan pada dunia industri baja AISI 1045 digunakan untuk komponen-komponen alat industri.

Adapun beberapa ukuran dimensi spesimen yang digunakan adalah

a. Dimensi spesimen uji kekerasan

Dimensi dari spesimen baja AISI 1045 yang digunakan adalah

Panjang = 33 mm

Lebar = 25 mm

Tinggi = 4 mm

b. Dimensi spesimen uji struktur mikro

Dimensi dari spesimen baja AISI 1045 yang digunakan adalah

Panjang = 10 mm

Lebar = 10 mm

Tinggi = 4 mm

3. *Furnace* (Tungku Pembakaran)



Gambar 8. *Furnace*

Furnace (tungku pembakaran) yang merupakan *oven* pemanas, pada penelitian ini digunakan untuk memanaskan spesimen baja AISI 1045 sampai temperatur 800°C dan ditahan selama 60 menit agar mendapatkan nilai kekerasan yang terbaik.

4. Air tanah



Gambar 9. Air tanah

Air tanah digunakan sebagai variasi dari media fluida pendingin pada proses *quenching*. Adapun volume air tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 8 liter.

5. Larutan Garam 25%



Gambar 10. Larutan Air Garam 25%

Garam yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan garam dapur Cap Bintang Berlian. Air garam 25% digunakan sebagai variasi dari media fluida pendingin pada proses *quenching*. Adapun volume air garam

25% yang dan larutan air garam digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 8 liter.

6. Solar (HSD)



Gambar 11. Solar

High Speed Diesel (HSD) merupakan BBM jenis solar digunakan sebagai media variasi dari media fluida pendingin pada proses *quenching*. Adapun volume solar yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 8 Liter.

7. *Universal Hardness Tester*



Gambar 12. *Universal Hardness Tester*

Universal Hardness tester merupakan alat uji kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Rockwell* skala B dimana dengan menggunakan diameter bola baja 1/16”.

8. Alat Uji Struktur Mikro



Gambar 13. Mikroskop Optik

Mikroskop optik yang akan digunakan untuk melihat struktur mikro pada baja AISI 1045, pembesaran yang digunakan adalah 200X pembesaran

9. Mesin Potong Logam



Gambar 14. Mesin Potong Logam

Mesin potong logam berfungsi untuk membentuk dimensi yang diinginkan dari spesimen material baja AISI 1045 yang digunakan dalam penelitian ini.

10. Amplas



Gambar 15. Amplas

Amplas berfungsi sebagai penghalus permukaan baja AISI 1045 agar permukaan menjadi halus dan bersih. Tingkatan amplas yang digunakan adalah 80, 120, 240, 320, 500, 1000 dan 1500.

11. Autosol



Gambar 16. Autosol

Autosol digunakan untuk mengkilapkan permukaan spesimen baja AISI 1045 sebelum dilakukan proses etsa.

12. Larutan Etsa



Gambar 17. Larutan Etsa

Larutan etsa merupakan campuran antara ethanol dengan *nitrit acid* dengan perbandingan 19 : 1. Berfungsi untuk membuka pori – pori baja AISI 1045 agar terlihat struktur mikro dari baja tersebut.

C. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian memiliki beberapa tahapan yang dimulai dari perencanaan, pengujian alat instalansi sistem air yang disirkulasikan, pembuatan spesimen uji, perlakuan terhadap spesimen pengujian, melakukan pengujian spesimen sampai pengambilan data pengujian. Dengan demikian prosedur penelitian adalah:

1. Pengujian Alat Instalansi *Quenching* Dengan Air Yang Disirkulasikan.
Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui kapasitas dan suatu kemampuan alat *quenching* dengan metode air yang disirkulasikan sehingga dalam pengujian dapat diketahui parameter yang mempengaruhinya, adapun parameter yang diuji antara lain sebagai berikut:

- a. Kecepatan aliran
- b. Media yang akan digunakan untuk proses *quenching*
- c. Perhitungan kecepatan pendinginan

2. Pembuatan Spesimen Baja AISI 1045

Adapun tahapan pembuatan dari spesimen baja AISI 1045 adalah

- a. Pemotongan bahan baja AISI 1045 yang masih utuh dari pabrik menggunakan mesin pemotong.
- b. Spesimen baja AISI 1045 hasil potongan berbentuk plat persegi empat.
- c. Spesimen pengujian yang memiliki ukuran panjang 33 mm, lebar 25 mm, dan tinggi 4 mm untuk proses pengujian.

3. Perlakuan *Quenching* Terhadap Spesimen Baja AISI 1045

Adapun tahapan perlakuan yang dilakukan adalah

- a. Baja AISI 1045 yang telah dipotong lalu dibersihkan terlebih dahulu kemudian dipanaskan ke dalam *furnace* sampai temperatur 800 °C
- b. Kemudian dengan waktu penahan (*holding time*) 60 menit

- c. Kemudian dilakukan proses *quenching*.
 - d. Mencelupkan spesimen baja AISI 1045 ke fluida yang disirkulasikan pada variasi media pendingin air, air garam, dan solar.
 - e. Pencelupan pertama menggunakan media air selama 20 menit.
 - f. Kemudian dilanjutkan dengan media air garam selama 20 menit, dan terakhir dengan media solar selama 20 menit.
 - g. Kemudian setelah selesai waktu 20 menit, yaitu mengangkat spesimen baja AISI 1045 lalu dikeringkan
 - h. Kemudian setelah kering, baja AISI 1045 dilakukan proses penghalusan permukaan dengan cara diamplas
 - i. Tahapan amplas yang dilakukan adalah (80, 400, 500, 1000, dan 1500).
 - j. Setelah selesai pengamplasan dilakukan pengujian kekerasan metode *Rockwell* skala B.
4. Perlakuan *Tempering* Terhadap Spesimen Baja AISI 1045
- Adapun proses *tempering* yang dilakukan adalah sebagai berikut :
- a. Dilakukan pembersihan terlebih dahulu setelah proses *quenching* sebelum dipanaskan kembali.
 - b. Mengangkat spesimen dari *furnace* lalu dikeringkan dengan temperatur ruangan.
 - c. Dilakukan pada temperatur *temper* 450 °C, 550 °C, dan 650 °C dengan *holding time* 60 menit.

- d. Kemudian setelah kering, baja AISI 1045 dilakukan proses penghalusan permukaan dengan cara diampas dengan menggunakan amplas (500, 1000 dan 1500).
- e. Melakukan pengujian kekerasan dengan metode *rockwell*.

5. Pengujian Spesimen Baja AISI 1045

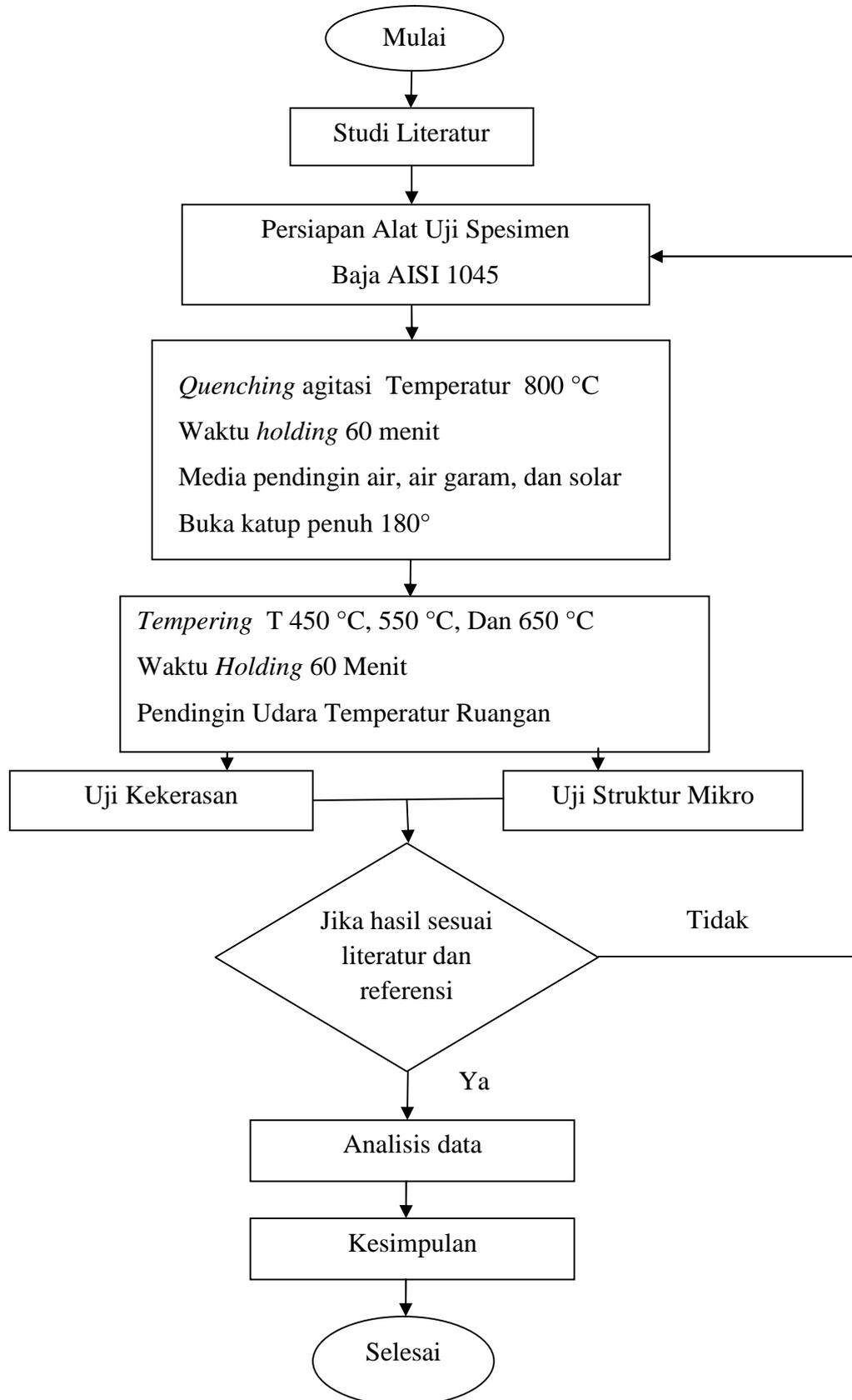
Adapun tahapan pengujian spesimen hasil tempering yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian kekerasan metode *Rockwell* indentor 1/16'' Skala B dengan mesin *universal hardness tester*

Adapun tahapan dari pengujian kekerasan adalah

1. Mengatur beban dari alat uji yaitu yang sebesar 100 kg.
2. Memasang indentor bola baja 1/16'' pada alat uji, indentor bola baja 1/16'' digunakan karena pengujian menggunakan skala merah
3. Meletakkan baja AISI 1045 pada meja uji dari alat
4. Kemudian mengatur *handle* alat uji hingga indentor menyentuh permukaan spesimen
5. Memutar *handle* hingga jarum dari skala minor menunjukkan angka 0. Kemudian tarik tuas beban tungku hingga 10 detik
6. Menarik kembali tuas beban
7. Kemudian baca nilai kekerasan yang dihasilkan dan mencatatnya
8. Menurunkan *handle* landasan hingga indentor tidak lagi menyentuh spesimen
9. Mengulangi langkah dengan spesimen yang berbeda.

D. Diagram Alur Pengambilan Data



V. SIMPULAN DAN SARAN

A. SIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian mengenai pengaruh temperatur *tempering* dan variasi media pendingin yang disirkulasikan pada proses *quenching* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045 adalah sebagai berikut:

1. Nilai kekerasan rata-rata maksimum pada proses *quenching* yaitu pada media air garam sebesar 96 HRB
2. Nilai kekerasan pada baja tanpa perlakuan (*raw material*) sebesar 61,33 HRB
3. Media pendingin air dengan bukaan katup penuh mendapatkan nilai kekerasan masing-masing sebesar 89,3 HRB, 89 HRB dan 89,6 HRB
4. Media pendingin air garam bukaan katup penuh mendapatkan nilai kekerasan masing-masing sebesar 94,6 HRB, 96 HRB dan 94,6 HRB
5. Media pendingin solar dengan bukaan katup penuh mendapatkan nilai kekerasan masing-masing sebesar 80,6 HRB, 79,3 HRB dan 81,3 HRB
6. Variasi media yang paling baik yaitu media air garam karena menghasilkan nilai kekerasan baja dan menghasilkan *martensite* yang banyak

7. Proses *tempering* dari temperatur 450 °C ke temperatur 650 °C mengalami penurunan. Hal tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan, Pengaruh suhu penemperan terhadap sifat-sifat baja adalah apabila suhu *tempering* semakin tinggi maka mempunyai sifat kekerasan yang semakin menurun.
8. Laju pendinginan dan *viskositas fluida* mempengaruhi kekerasan suatu baja, karena semakin lambat laju pendinginan dan semakin tinggi *viskositas* maka kekerasan akan semakin tinggi
9. Struktur mikro yang terbentuk proses *quenching* adalah *martensite* lalu setelah proses *temper* struktur mikro menjadi *temper martensite* serta struktur lain yang terbentuk adalah *austenite* sisa.

B. SARAN

Adapun saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan lagi pengujian mekanik yang lain agar mengetahui nilai kekuatan mekanik yang lain pada baja AISI 1045
2. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan variasi variabel persentase media pendingin yang lebih banyak untuk mengetahui pengaruh media pendingin terhadap proses perlakuan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta. Halaman 63-87.
- Azizi, miftah, 2018. *Pengaruh Suhu Quench Dan Temper Pada Proses Pengerasan Permukaan Baja Aisi 1054*. Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- ASMH and book. 1991. *Heat Treating*. ASMH and book Committee. Volume 4. Page 4.
- Haryadi, Gunawan Dwi, 2006. *Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja K-460*. Volume 8, no 2 april 2006 hal: 1-8
- Joko waluyo. 2009 *Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Pada Proses Karburisasi Cair Terhadap Kekerasan Baja AISI 1025 Dengan Media Pendinginan Air*.
- Kirono Sasi. *Analisa Pengaruh Temperatur Pada Proses Tempering Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Baja AISI 4340*. Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Maulana, Deni. 2017. *Karakterisasi Pengelasan Dissimilar Baja AISI 1045 Dan AISI 4140 Dengan Metode Friction Welding*. Universitas Jember.
- Mizar Susri, 2015. *Analisis Kekerasan Dan Struktur Mikro Terhadap Variasi Temperatur Tempering Pada Baja Aisi 4104*. Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Medan

- M Novry dan Ir. Muslih Nasution. 2016. *Pengaruh Media Quenching Terhadap Kekuatan Baja AISI 1045*. Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Harapan.
- Mustofa Z, 2016. *Analisa Pengaruh Pendingin Terhadap Kekerasan Bahan Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment*. Universitas Nusantara Persatuan Guru Republik Indonesia. UN PGRI Kediri.
- Nugroho, Sri dan Haryadi, Gunawan Dwi. 2005. *Pengaruh media Quenching Air Tersirkulasi (Circulated Water) Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Baja AISI 1045*. Jurnal Rotasi Volume 7 Nomor 1.
- Pranomo, Agus, 2011. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM. Vol. 5. No. 1. April 2011. Hal 32–38. Banten.
- Rozaq, Soeharto, 2013. Jurnal Teknk POMTS Vol 2, No 1, Hal B21-B25. Surabaya
- Sastrawan, 2010. Baja. <https://anzdoc.com/ii-tinjauan-pustaka-baja-adalah-logam-paduan-dimana-logam-be.html>. diakses pada tanggal 1 juli 2018.
- USU. 2011. Repository USU. Dapat di akses pada <http://repository.usu.ac.id> di akses pada tanggal 12 juli 2018.
- Yusman F, 2018. *Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan Dan Strukur Mikro Baja Aisi 1045*. Universitas lampung. Bandar Lampung.