

**ANALISA VARIASI TEMPERATUR *TEMPERING* TERHADAP SIFAT
MEKANIS BAJA KARBON SEDANG**

SKRIPSI

*Diajukan Kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Teknik Mesin
Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan*



Oleh :

ARIA SAPUTRA
NIM/TM : 55512/2010

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2017**

PERSETUJUAN SKRIPSI

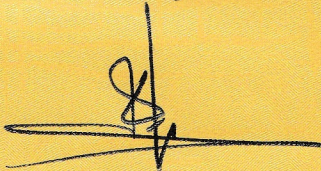
ANALISA VARIASI TEMPERATUR *TEMPERING* TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA KARBON SEDANG

Nama : Aria Saputra
NIM/TM : 55512/2010
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2017

Disetujui Oleh

Pembimbing I,



Drs. Jasman, M.Kes.
NIP.19621228 198703 1 003

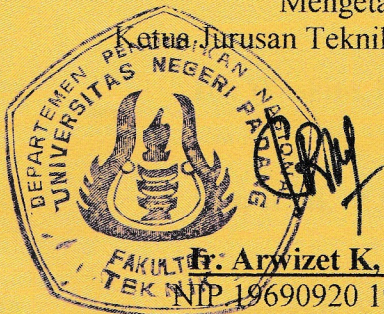
Pembimbing II,



Drs. Syahrul, M.Si.
NIP.19610829 198703 1 003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin FT-UNP



Dr. Arwizet K, S.T., M.T.
NIP.19690920 199802 1 001

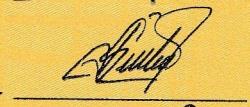
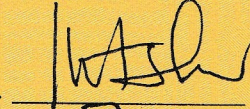
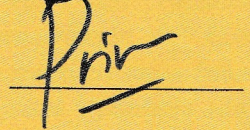
HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Dinyatakan Lulus Setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang

Judul : “Analisa Variasi Temperatur *Tempering* Terhadap Sifat Mekanis Baja Karbon Sedang”
Nama : Aria Saputra
NIM/TM : 55512/2010
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2017

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Drs. Jasman, M.Kes.	1. 
2. Sekretaris	: Drs. Syahrul, M.Si.	2. 
3. Anggota	: Dr. Waskito, MT.	3. 
4. Anggota	: Drs. Irzal, M.Kes.	4. 
5. Anggota	: Primawati, S.Si., M.Si.	5. 



Rasulullah SAW bersabda

"Barang siapa di landa kesusahan dalam suatu masalah
hendaklah dia mengucapkan

Laa Haula wa laa quwata illa bil-laahil 'aliyyil-'azhiim'

"Tiada daya dan tiada kekuatan kecuali dengan pertolongan Allah
Yang Maha Tinggi Lagi Maha Agung".

(H.R. Baihaqi dan Ar Rabi'i)

Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan

Maka..... apabila kamu selesai (dari satu urusan)

Kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain)

Dan hanya kepada Tuhanlah

Hendaknya kamu berharap

(*Alam, Nasrati 6-8*)

Tak ada kekuatan yang lebih besar dari keyakinan

Tak ada dorongan yang lebih kuat dari rasa cinta

Dan tak ada penolong yang lebih sejati dari kesabaran. . .

Ya Allah ...

Dalam keheningan menggapai asa

Ku selalu berharap padaMu... Tuhan Yang Maha Esa

Waktu yang sudah kujalani dengan cerita hidup yang Kau takdirkan untukku, Sedih,
bahagia, dan bertemu orang-orang yang memberikan sejuta pengalaman bagiku, yang telah
memberi warna dalam kehidupanku

Kubersyukur atas kasih sayangMu..

Engkau berikan aku kesempatan untuk bisa sampai di penghujung awal perjuanganku

Segala puji bagi - Mu Ya Allah ...

Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal bagiku

Untuk meraih semua cita-citaku

Tiada wujud syukurku selain berharap Engkau jadikan aku orang yang senantiasa berpikir,
berilmu, beriman dan bersabar

Sebuah karya tulis ini kupersembahkan sepenuh bakti dan kasih buat Ayahanda
Sarbaini dan Ibunda Aisyah. Terima Kasih atas segala pengorbanan dan kasih
sayangmu, keringat dan do'amu yang telah mengantarkan ku melewati suatu babak
kehidupan yang menjadi langkah awalku untuk meraih kesuksesan. Kehadiran adik-
adikku tersayang (Andy, Annisa) yang menjadi penyemangat bagiku untuk terus
maju menuju kesuksesanku. Terima Kasih Untuk Keluarga Besar Irla (Adang,
Angah, Ama, Abuk, Incim, Acik). Untuk Seluruh Saudaraku Terutama Uda Dedet

(Mokasi da), Akak Orin, Ice, Fadhlly, fichi, Ivo, Pisces, Gizeel, Farah, Fazah, Ni Ui, Bang Ujang, Ni Mil, Vivi, Da Riko, Da Putra.

Terima kasih untuk Bapak Drs. Jasman, M.Kes dan Bapak Drs. Syahrul, M.Si yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing dan mendiskusikan serta memberikan motivasi sampai akhirnya penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.

Terima kasih kepada Bapak Dr. Waskito, M.T., Bapak Drs. Irzal, M.Kes dan Ibu Primawati, S.Si dan M.Si, yang telah bersedia hadir di ruang sidang dan memberikan saran serta mendiskusikan tentang karya ini.

Terima kasih untuk seluruh dosen yang telah memberikan ilmu dan berbagi pengalamannya selama menempuh pendidikan serta kepada teknisi dan staf administrasi Jurusan Teknik Mesin FT UNP atas bantuannya.

Turut aku persembahkan, untuk sahabat-sahabat dari berbagai pihak yang turut membantu sehingga karya ini tercipta. Berbagai pihak yang memberikan dorongan semangat, perhatian, senyum dan inspirasi dalam setiap proses penyelesaian karya ini.

Rekan-rekan seperjuangan kampus, Doni Saputra (Wisuda Joo Wak Bos!!), Muhammad Fadhlly (Balap Bana Lah Lai Di), David Kapak, Aulia Putra, Romel, Hotmartua, Rijk, Danel, Uwo, Keong, Riki Sarok, Murdianto, Mul Azmi, Poler, Kancil, Anyak Smokers, Cullay Juanda, dan Kepada Seluruh Mahasiswa Teknik Mesin FT. UNP yang Tidak Disebutkan Satu Persatu. Salam SOLIDARITY FOREVER....

Tarimo Kasih untuak Diyo Wiranata (Nah-nah Marantau Wak Lai), Macen, Alfurqan Yuneldo, Novia Welly, Dessi Merizona, Yopi Mulyono, Ilham Saputra, Chikiang Carbu, Bobbi Nanda, Chapaik, Bang Abo, Sugir, dan yang Alun Tasabuihan Mohion Maaf.

Untuak Kawan-Kawan Kos, Da Roberto (Suhu Tukang Olah), Da Sarir (Tampek Mangadu), Rian Tuex (Wisuda Uda Diak), Bang Rofy Toke, Bang Reza, Si Mas, Bg Frened, Bg Kitiang, Derriza, Rian, Ringgo, Roland, Abdul, Briand, Rendi, dan Rekan-Rekan Satu Atap Lainnya. Tarimo Kasih Atas Kebersamaan dan Keluarganya.

*Spesial Thanks, "Wanita yang Slalu Tersenyum dengan Tulus"
"Kembali ke Jalan Masing-Masing. Jalan yang Penuh Jalanan. Tapi Jalanan Tak Sepenuhnya Penuh. Kita tak Akan Berhenti Sekarang. Semoga di Ujung Pemberhentian Kelak Kita Akan Bertemu Lagi, dengan Ceita-Cerita Perjalanan yang Berujung Pada Kesuksesan Masing-Masing. Semoga".*

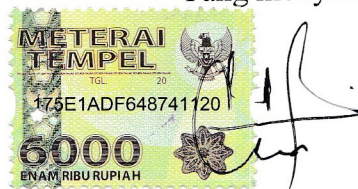
Terima kasih semuanya...

SURAT PERNYATAAN

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

Padang, Februari 2017

Yang menyatakan,



Aria Saputra
NIM. 55512

Abstrak

Aria Saputra : Analisa Variasi Temperatur Tempering terhadap Sifat Mekanis Baja Karbon Sedang.

Perlakuan panas pada baja memiliki peranan sangat penting karena dapat merubah sifat mekanik dari baja tersebut sesuai dengan kebutuhan. Perlakuan panas *hardening* dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kegetasan (*brittleness*) sehingga baja tersebut belum cocok untuk digunakan, maka baja tersebut perlu diberi perlakuan panas *tempering*. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh perlakuan panas *tempering* terhadap perubahan sifat mekanik pada baja dengan variasi temperatur *tempering* 200 °C, 400 °C, dan 600 °C.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan menggunakan bahan baja karbon sedang yang mengandung kadar karbon 0,38-0,45 % C, yaitu baja AISI 4140. Dimulai dengan membuat spesimen sesuai dengan standar alat pengujian kekerasan, pengujian tarik dan pengujian impak. Dengan pengambilan 5 kelompok spesimen, yaitu kelompok tanpa perlakuan, *hardening*, *tempering* 200 °C, *tempering* 400 °C, *tempering* 600 °C.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka didapat nilai rata-rata kekerasan baja AISI 4140 tanpa perlakuan sebesar 326,4 Kg/mm², *hardening* sebesar 455,8 Kg/mm², *tempering* 200 °C sebesar 409,1 Kg/mm², *tempering* 400 °C sebesar 318 Kg/mm², *tempering* 600 °C sebesar 284,5 Kg/mm². Nilai rata-rata tegangan spesimen tanpa perlakuan $1372,2 \times 10^6$ N/m², *hardening* $1124,6 \times 10^6$ N/m², *tempering* 200 °C $1093,4 \times 10^6$ N/m², *tempering* 400 °C $1244,4 \times 10^6$ N/m², *tempering* 600 °C $1193,7 \times 10^6$ N/m². Harga impak spesimen tanpa perlakuan $0,753 \times 10^6$ N/m, *hardening* $0,084 \times 10^6$ N/m, *tempering* 200 °C $0,238 \times 10^6$ N/m, *tempering* 400 °C $1,011 \times 10^6$ N/m, *tempering* 600 °C $1,365 \times 10^6$ N/m. Setelah mengalami perlakuan panas *hardening* kekerasan baja meningkat, sedangkan setelah mengalami proses perlakuan panas *tempering* dengan temperatur 200 °C, 400 °C dan 600 °C ketangguhan baja meningkat. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur *tempering* maka nilai kekerasan baja AISI 4140 menurun bila dibandingkan dengan spesimen *hardening*, sedangkan kekuatan dan ketangguhan material kembali meningkat.

Kata Kunci : Sifat Mekanik, Baja AISI 4140, Variasi Temperatur Tempering

KATA PENGANTAR



Puji syukur, penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Analisa Variasi Temperatur *Tempering* Terhadap Sifat Mekanis Baja Karbon Sedang”** ini dengan baik. Shalawat beserta salam tidak lupa pula penulis hadiahkan kepada Baginda Rasulullah SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah ke zaman yang berilmu pengetahuan seperti saat sekarang ini.

Skripsi ini di tulis dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan dan penulisan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan perhatian dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Jasman, M.Kes, selaku Dosen pembimbing I.
2. Bapak Drs. Syahrul, M.Si, selaku Sekretaris Jurusan sekaligus selaku Dosen pembimbing II.
3. Bapak Dr. Waskito, MT, selaku Dosen Penguji I.
4. Bapak Drs. Irzal, M.Kes, selaku Dosen Penguji II.
5. Ibu Primawati, M.Si, selaku Dosen Penguji III.

6. Bapak Ir. Arwizet K, ST, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Padang.
7. Seluruh Dosen, Staf dan Karyawan Universitas Negeri Padang.
8. Kedua orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan memberi semangat, dukungan moril, materil, serta kasih sayang yang tidak ternilai harganya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik.
9. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Teknik Mesin, khususnya angkatan 2010 semoga sukses selalu.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan Skripsi ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan menjadi amal ibadah dan di terima serta di balas oleh Allah Subhanahu Wata'ala, Amiin. Penulis menyadari dalam penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, kritik dan saran sangat di harapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Padang, Februari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
A. Baja	7
1. Baja Karbon	7
2. Baja Paduan	10
3. Baja AISI 4140	12
B. Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	13

1. <i>Annealing</i>	14
2. <i>Normalizing</i>	15
3. <i>Hardening</i>	15
4. <i>Tempering</i>	18
C. Sifat Mekanik Logam	20
1. Sifat Mekanik	20
a) Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Tester</i>)	23
b) Pengujian Tarik (<i>Tensile Tester</i>)	27
c) Pengujian <i>Impact</i> (<i>Impact Testers</i>)	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian	35
B. Objek Penelitian	36
C. Jadwal dan Tempat Penelitian	38
1. Jadwal Penelitian	38
2. Tempat Penelitian	39
D. Jenis dan Sumber Data	39
1. Jenis Data	39
2. Sumber Data	39
E. Tabulasi Data	40
F. Peralatan Penelitian	42
G. Metode Pelaksanaan	43
1. Pengukuran Bahan	43
2. Pemotongan Bahan	43

3. Pembuatan Spesimen	43
4. Perlakuan Panas <i>Hardening</i>	43
5. Perlakuan Panas <i>Tempering</i>	44
6. Proses Pendinginan	45
7. Pengujian Sifat mekanik	45
a. Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Tester</i>)	45
b. Pengujian Tarik (<i>Tensile Tester</i>)	45
c. Pengujian <i>Impact</i> (<i>Impact Tester</i>)	46
H. Prosedur Penelitian	47
I. Teknik Pengumpulan Data	48
J. Teknik Analisis Data	48

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Objek Penelitian	51
B. Data Hasil Penelitian	52
1. Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	52
2. Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>)	53
3. Pengujian <i>Impact</i>	54
4. Komposisi Kimia Baja AISI 4140	55
C. Grafik Hasil Penelitian	55
1. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan	55
2. Grafik Hasil Pengujian Tarik	56
3. Grafik Hasil Pengujian <i>Impact</i>	57
D. Pembahasan	58

1. Pengujian Kekerasan	58
2. Pengujian Tarik	61
3. Pengujian <i>Impact</i>	63

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	65
B. Saran	67

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Baja Karbon	10
2. Sifat Mekanik Baja AISI 4140	13
3. Komposisi Baja AISI 4140	36
4. Jumlah Spesimen Uji	37
5. Jadwal Penelitian	37
6. Tabulasi Data Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i> Baja AISI 4140	39
7. Tabulasi Data Pengujian Tarik (<i>Tensile Tester</i>) Baja AISI 4140	40
8. Tabulasi Data Pengujian <i>Impact</i> (<i>Impact Tester</i>) Baja AISI 4140	41
9. Data Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i> Baja AISI 4140	51
10. Data Pengujian Tarik (<i>Tensile Tester</i>) Baja AISI 4140	52
11. Data Pengujian <i>Impact</i> (<i>Impact Tester</i>) Baja AISI 4140	53
12. Komposisi Kimia Baja AISI 4140	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	17
2. Temperatur Perlakuan Panas untuk Baja	17
3. Macam-macam Teknik Pengujian Kekerasan	22
4. Kurva Tegangan-Regangan	26
5. Ilustrasi Uji Impak <i>Charpy</i>	31
6. Spesimen Uji Kekerasan (<i>Hardness Test Specimen</i>)	35
7. Spesimen Uji Tarik (<i>Tensile Test Specimen</i>)	35
8. Spesimen Uji <i>Impact</i> (<i>Impact Test Specimen</i>)	36
9. Prosedur Penelitian	46
10. Spesimen Pengujian Kekerasan	50
11. Spesimen Pengujian Tarik	50
12. Spesimen Pengujian <i>Impact</i>	50
13. Grafik Kekerasan Baja AISI 4140 Tanpa Perlakuan, setelah Perlakuan Panas <i>Hardening</i> dan <i>Tempering</i>	54
14. Grafik Tegangan Baja AISI 4140 Tanpa Perlakuan, setelah Perlakuan Panas <i>Hardening</i> dan <i>Tempering</i>	55
15. Grafik Harga <i>Impact</i> Baja AISI 4140 Tanpa Perlakuan, setelah Perlakuan Panas <i>Hardening</i> dan <i>Tempering</i>	56
16. Grafik Rata-rata Kekerasan Baja AISI 4140 Tanpa Perlakuan, setelah Perlakuan Panas <i>Hardening</i> dan <i>Tempering</i>	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Analisa Pengujian Kekerasan	71
2. Analisa Pengujian Tarik	76
3. Analisa Pengujian	79
4. Dokumentasi Penelitian	94

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring perkembangan dunia industri yang semakin maju, banyak kalangan industri yang menggunakan logam sebagai bahan utama operasional atau bahan baku produksinya. Logam yang sering digunakan diantaranya adalah baja. Baja adalah paduan besi dan karbon yang dapat berisi konsentrasi dari elemen campuran lainnya, ada ribuan campuran logam lainnya yang mempunyai komposisi berbeda.

Baja merupakan bahan dasar yang sering digunakan untuk berbagai rekayasa teknik. Baja sering digunakan untuk membuat alat-alat perkakas, alat-alat pertanian, komponen-komponen otomotif, kebutuhan rumah tangga dan lain-lain. Kegunaan dari baja berkaitan dengan sifat mekanik yang dimiliki seperti kekuatan, kekerasan (*hardness*), keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*) yang baik bila dibandingkan dengan material lain.

Baja yang diproduksi oleh industri terdiri dari beragam jenis sesuai dengan kebutuhan. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu baja karbon rendah (*low carbon steel*), baja karbon sedang (*medium carbon steel*), dan baja karbon tinggi (*hight carbon steel*). Sedangkan menurut kadar unsur paduan, baja dapat dibagi dalam dua golongan yaitu baja paduan rendah dan baja paduan tinggi atau baja paduan khusus. Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978: 47), baja paduan rendah adalah baja yang sedikit mengandung unsur paduan di bawah 10%,

sedangkan baja paduan tinggi dapat mengandung unsur paduan di atas 10%. Salah satu baja paduan rendah yang sering digunakan dalam memproduksi komponen mesin yaitu baja AISI 4140.

Menurut AISI (*American Iron and Steel Institute*) baja paduan rendah AISI 4140 didesain dengan menggunakan empat digit angka (*four-digit number*). Hal ini berguna untuk menunjukkan jenis dan persentase komposisi yang terkandung dalam baja tersebut. Angka 4 menunjukkan jenis unsur paduan, yaitu *chromium-molybdenum*. Angka 1 menunjukkan persentase unsur paduan $\pm 1\%$, dan angka 40 menunjukkan persentase kandungan karbon ($\pm 0,40\%$).

Baja AISI 4140 adalah baja yang paduan utamanya *molybdenum* dan *Chromium*. Unsur *molybdenum* adalah unsur yang larut terbatas dalam *austenite* maupun *ferrite* dan juga sebagai unsur pembentuk karbida yang kuat. Unsur ini akan menaikkan *hardenability*, menaikkan kekuatan, dan kekerasan di temperatur tinggi, juga mencegah terjadinya temper *brittleness*. Unsur *chrom* juga larut dalam *ferrite* dan *austenite*, terutama pada baja dengan kadar karbon rendah. Hal ini akan menaikkan kekuatan dan ketangguhan. *Chrom* dapat membentuk karbida bila terdapat cukup karbon dan akan menaikkan sifat keras dan tahan aus.

Baja AISI 4140 termasuk baja dengan kandungan karbon sedang, aplikasinya antara lain digunakan sebagai *shaft, gear, bolt, coupling, spindles, sprockets, hydraulics machine shaft, oil industry drill collars, tools joints and piston pin*. Menurut AISI (*American Iron and Steel Institute*) komposisi

kimia baja AISI 4140 meliputi, (0,80-1,10)% Cr, (0,75-1,0)% Mn, (0,38-0,43)% C, (0,20-0,35)% Si, (0,15-0,25)% Mo, 0,040% S, dan 0,035% P sehingga baja AISI 4140 termasuk baja paduan rendah.

Baja paduan rendah mengandung elemen paduan kurang dari 10% misalnya Mo, Cr, Mn, Ni, dan sebagainya. Berdasarkan kandungan elemen paduannya memungkinkan baja untuk diberi perlakuan panas (*heat treatment*). Perlakuan panas pada baja memiliki peranan sangat penting karena dapat merubah struktur mikro dan sifat mekanik dari baja tersebut sesuai dengan kebutuhan. Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan proses pemanasan bahan hingga temperatur tertentu dan selanjutnya didinginkan dengan cara tertentu pula.

Menurut Avner (1974: 676) mengatakan bahwa perlakuan panas (*heat treatment*) adalah : “*Heating and cooling a solid metal or alloy in such away as to obtain desired conditions or properties. Heating for the sole purpose of hot-working is exclude from the meaning of definition.*” Proses perlakuan panas adalah proses pemanasan dan pendinginan pada sebuah logam atau logam paduan dengan tujuan utama untuk mengubah sifat mekanik dari baja tersebut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketangguhan (*toughness*) dan keuletan (*ductility*) dari baja dapat ditingkatkan.

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. Akibat proses *hardening* pada baja, maka dapat menyebabkan kekerasan (*hardnes*) dan kegetasan (*brittleness*) sehingga baja tersebut belum cocok untuk digunakan. Oleh karena itu, baja tersebut harus diberi perlakuan lanjut yaitu proses *tempering*.

Menurut Wahyudin K dan Wahjoe Hidayat (1978:63), *tempering* adalah proses pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan atau diperkeras. 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. Namun yang menjadi permasalahan sejauh mana sifat-sifat yang memenuhi syarat yang akan membentuk sifat-sifat yang diinginkan melalui proses *tempering*. Oleh karena itu diperlukan pengkajian lebih lanjut untuk memahami proses *tempering* ini. Pengkajian ini dapat dilakukan dengan cara memvariasikan temperatur *tempering* untuk memperbaiki sifat mekanik baja yang dapat dilakukan dengan beberapa uji bahan.

Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian sifat mekanik. Sifat mekanik meliputi uji kekerasan, uji kekuatan tarik, dan uji ketangguhan. Oleh karena itu pengujian ini diberi judul “**Analisa Variasi Temperatur *Tempering* Terhadap Sifat Mekanis Baja Karbon Sedang.**”

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka peneliti dapat mengidentifikasi masalah-masalah yang ada yakni sebagai berikut:

1. Proses perlakuan panas (*hardening*) pada baja akan meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kegetasan (*brittleness*) sehingga belum cocok untuk digunakan dan perlu diberi perlakuan lanjut yaitu *tempering*.
2. Belum diketahui berapa temperatur temper yang tepat yang dapat memperbaiki sifat mekanik baja AISI 4140.
3. Belum diketahui pengaruh variasi temperatur tempering terhadap sifat mekanik pada baja AISI 4140.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang dan identifikasi masalah diatas, maka dalam penelitian ini peneliti membatasi permasalahan hanya pada analisa variasi temperatur *tempering* terhadap sifat mekanis pada baja karbon sedang (AISI 4140). Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian Kekerasan *Brinell*, pengujian Tarik dan pengujian *Impact Charpy*.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah diatas, maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan masalah sebagai berikut “Seberapa besar pengaruh perbedaan temperatur *tempering* terhadap perubahan sifat mekanis baja AISI 4140”.

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui analisa variasi temperatur *tempering* terhadap sifat mekanis pada baja AISI 4140 yang meliputi kekerasan, kekuatan tarik, dan ketangguhan.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengetahuan tentang karakteristik sifat mekanik meliputi nilai kekerasan, nilai kekuatan tarik, dan nilai kekuatan impak, baja AISI 4140 paska mengalami perlakuan panas *tempering*.
2. Menambah pengetahuan peneliti tentang perubahan sifat-sifat mekanik baja AISI 4140 pasca mengalami perlakuan panas *tempering*.
3. Dapat dijadikan sebagai sumber referensi bagi peneliti selanjutnya khususnya penelitian tentang sifat mekanik baja AISI 4140.

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 dan 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.

Selain oleh karbon sifat baja ditentukan pula oleh adanya unsur-unsur lain yang terpadu seperti mangan, silisium, pospor, dan belerang,

yang umumnya berasal dari bahan-bahan seperti pengoksid, bahan bakar sewaktu proses peleburan dan lain-lain. Terkandungnya gas-gas seperti O_2 , N_2 dan H_2 yang terjadi pada waktu proses pembuatan baja, juga bisa mempengaruhi sifat baja.

Pengaruh unsur silisium dan mangan akan mengurangi pengaruh buruk dan oksida besi, karena pada waktu proses pemurnian besi oksida tersebut dibebaskan oleh kedua unsur tersebut. Kadar silisium dalam baja antara 0,35-0,4% dan mangan 0,5-0,8%. Belerang dan posfor memberikan pengaruh buruk terhadap sifat baja, dimana belerang menurunkan sifat mekanis, terutama menurunkan keliatan serta menyebabkan pengaruh tidak baik pada mampu las dan tahan karat pada baja. Namun keberadaannya dalam konsentrasi yang kecil dapat meningkatkan sifat mampu mesin (*machine ability*) dari baja. Kadar belerang berkisar antara 0,06-0,35%. Dengan adanya mangan, pengaruh buruk belerang akan berkurang.

Pospor menimbulkan perubahan struktur kristal sehingga kekuatan tarik dan batas lumer meningkat, tetapi sifat plastis dan keliatannya sangat berkurang. Pospor menjadikan baja menjadi getas dingin. Kadar pospor dalam baja dibatasi antara 0,08-0,25%. Keberadaan posfor juga berperan dalam meningkatkan sifat mampu mesin pada baja.

Pengaruh nitrogen, oksigen dan hidrogen akan menyebabkan turunnya kekuatan pukul dan batas kelelahan. Unsur-unsur ini merupakan kotoran berupa oksida-oksida, nitrida atau senyawa lainnya. Untuk

membatasi unsur-unsur ini penuangan baja kadang dilakukan didalam vakum.

Berdasarkan jumlah kandungan karbon yang terdapat dalam baja, baja dikelompokkan kedalam tiga bagian, yaitu:

a) Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja ini disebut baja lunak (*mild steel*) atau baja perkakas, baja karbon rendah bukan baja yang keras, karena kandungan karbonnya rendah berkisar 0,05-0,30%.

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 (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3-0,6% dan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. 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 (*Hight Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi mengandung karbon 0,6-1,5%, 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)

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 paduan 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
2. Baja paduan rendah biasa

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. 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.

3. Baja AISI 4140

Menurut AISI (*American Iron and Steel Institute*) baja paduan rendah AISI 4140 didesain dengan menggunakan *four-digit number* (empat digit angka). Hal ini berguna untuk menunjukkan perbedaan komposisi yang terkandung dalam baja tersebut. Angka 4 menunjukkan jenis unsur paduan, yaitu *chromium-molybdenum*. Angka 1 menunjukkan persentase unsur paduan $\pm 1\%$, dan angka 40 menunjukkan persentase kandungan karbon ($\pm 0,40\%$).

Baja AISI 4140 merupakan baja konstruksi yang sering digunakan untuk bahan baut, sekrup, roda gigi, batang piston untuk mesin, roda pendaratan, dan komponen *landing gear* pesawat terbang. Menurut standar AISI (*American Iron and Steel Institute*), komposisi kimia baja AISI 4140 meliputi, (0,80-1,10)% Cr, (0,75-1,0)% Mn, (0,38-0,43)% C, (0,20-0,35)% Si, (0,15-0,25)% Mo, 0,040% S, dan 0,035% P sehingga baja AISI 4140 termasuk baja paduan rendah.

Tabel 2. Sifat Mekanik Baja AISI 4140

Properties	Metric	Imperial
Tensile strength	655 MPa	95000 psi
Yield strength	415 MPa	60200 psi
Bulk modulus (typical for steel)	140 GPa	20300 ksi
Shear modulus (typical for steel)	80 GPa	11600 ksi
Elastic modulus	190-210 GPa	27557-30458 ksi
Poisson's ratio	0.27-0.30	0.27-0.30
Elongation at break (in 50 mm)	25.70%	25.70%
Hardness, Brinell	197	197
Hardness, Knoop (converted from Brinell hardness)	219	219
Hardness, Rockwell B (converted from Brinell hardness)	92	92
Hardness, Rockwell C (converted from Brinell hardness. Value below normal HRC range, for comparison purposes only)	13	13
Hardness, Vickers (converted from Brinell hardness)	207	207
Machinability (based on AISI 1212 as 100 machinability)	65	65

Sumber: AISI (American Iron and Steel Institute).

B. 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 dan 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).

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

- a. Meningkatkan kekerasan dan ketangguhan
- b. Menghilangkan tegangan
- c. Melunakkan baja
- d. Menormalkan keadaan baja biasa dari akibat pengaruh-pengaruh pengerjaan dan perlakuan panas sebelumnya.
- e. 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

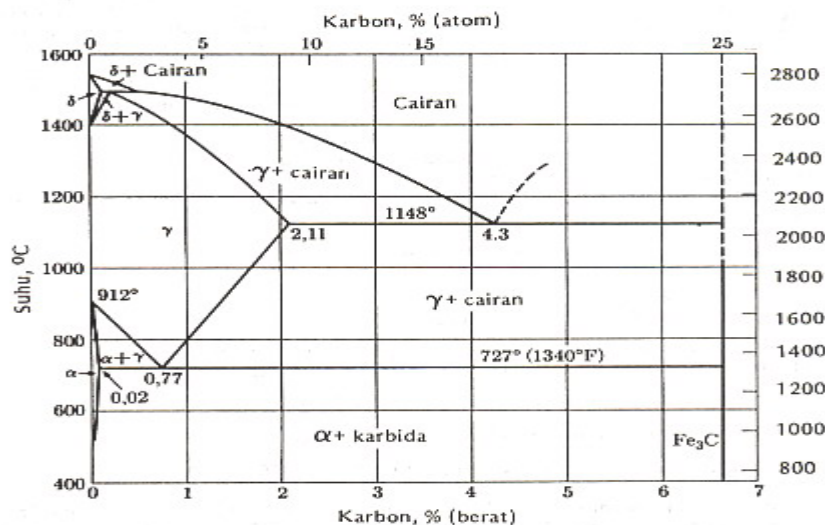
yang halus, keuletan, kekerasan yang diinginkan, dapat diperoleh melalui proses perlakuan panas *hardening*.

Proses *hardening* atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam sehingga mencapai batas austenit yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendingin yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fase lalu yang mertsint, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.

Menurut Gunawan Dwi Haryadi (2005) faktor penting yang dapat mempengaruhi proses *hardening* terhadap kekerasan baja yaitu oksidasi oksigen udara. Selain berpengaruh terhadap besi, oksigen udara berpengaruh terhadap karbon yang terikat sebagai sementit atau yang larut dalam austenit. Oleh karena itu pada benda kerja dapat berbentuk lapisan oksidasi selama proses *hardening*. Pencegahan kontak dengan udara selama pemanasan atau *hardening* dapat dilakukan dengan jalan menambah temperatur yang tinggi karena bahan yang terdapat dalam baja akan bertambah kuat terhadap oksigen. Jadi, semakin tinggi temperatur, semakin mudah untuk melindungi besi terhadap oksidasi

Bila bentuk benda tidak teratur, benda harus dipanaskan perlahan lahan agar tidak mengalami distorsi atau retak. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil pemanasan yang merata. Pada perlakuan panas ini, panas merambat dari luar kedalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga dapat diperoleh struktur yang merata

Benda dengan ukuran yang lebih besar pada umumnya menghasilkan permukaan yang kurang keras meskipun kondisi perlakuan panas tetap sama. Hal ini disebabkan oleh terbatasnya panas yang merambat di bagian dalam. Oleh karena itu kekerasan dibagian dalam akan lebih rendah daripada bagian luar. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet.



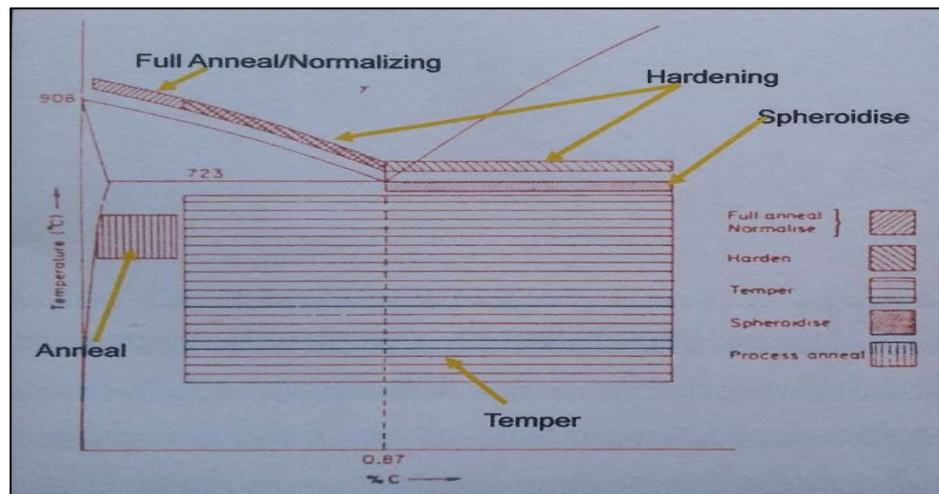
Gambar 1. Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Nur Miftakhuddin, 2006)

4. *Tempering* (Penyepuhan)

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*) atau diperkeras. 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 di bawah 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 2. Temperatur Perlakuan Panas untuk Baja

Menurut W.O. Alexander (1991: 59) “Suhu temper adalah suhu kritis, yaitu antara 200°C dan 300°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 berlangsung 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%.”

Menurut tujuannya proses *tempering* dapat dibedakan sebagai berikut:

- a) *Tempering* pada temperatur rendah ($150\text{--}300^{\circ}\text{C}$)

Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-regangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya digunakan untuk alat-alat potong, mata bor dan lainnya.

- b) *Tempering* pada temperatur sedang ($300\text{--}550^{\circ}\text{C}$)

Tempering ini bertujuan untuk menambah keuletan (*ductility*) dan kekerasannya (*hardness*) sedikit berkurang. Proses tempering ini

digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat dan pegas.

c) *Tempering* pada temperatur tinggi (550-650⁰ C)

Tempering ini bertujuan untuk memberikan daya keuletan (*ductility*) yang besar dan sekaligus kekerasannya (*hardness*) menjadi lebih rendah. Proses ini digunakan pada material roda gigi, poros penggerak, dan lainnya.

C. Sifat Mekanik Logam

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 atau pun suhu di bawah 0⁰C”.

Beban statis yaitu beban yang besar maupun arahnya tetap 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-beban tersebut, 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. Kekakuan (*Stiffness*)

Kekakuan adalah sifat bahan yang mampu renggang pada tegangan tinggi tanpa diikuti regangan yang besar. Ini merupakan ketahanan terhadap deformasi. Kekakuan bahan merupakan fungsi dari modulus elastisitas E . Sebuah material yang mempunyai nilai E tinggi seperti baja, $E = 207.000$ Mpa, akan berdeformasi lebih kecil terhadap beban (sehingga kekakuan lebih tinggi) dari pada material dengan nilai E lebih rendah, misalnya kayu, dengan $E = 7000$ Mpa (Ach. Muhib Zainuri, 2008).

2. Kekuatan (*Strenght*)

Kekuatan adalah sifat bahan yang ditentukan oleh tegangan paling besar material mampu renggang sebelum rusak (*failure*). Ini dapat didefinisikan oleh batas proporsional, titik mulur atau tegangan maksimum. Tidak ada satu nilai yang cukup bisa untuk mendefinisikan kekuatan, karena perilaku bahan berbeda terhadap beban dan sifat bahan (Ach. Muhib Zainuri, 2008).

3. Elastisitas (*Elasticity*)

Elastisitas adalah sifat material yang dapat kembali ke-dimensi awal setelah beban dihilangkan. Sangat sulit menentukan nilai tepat elastisitas dari suatu material (Ach. Muhib Zainuri, 2008).

4. Keuletan (*Ductility*)

Keuletan adalah sifat bahan yang mampu deformasi terhadap beban tarik sebelum benar-benar patah (*rupture*). Material ulet adalah material yang dapat ditarik menjadi kawat tipis panjang dengan gaya tarik tanpa rusak. Keliatan ditandai dengan persen perpanjangan panjang ukur spesimen selama uji tarik dan persen pengurangan luas penampang (Ach. Muhib Zainuri, 2008). Besar keuletan dapat dinyatakan dengan pernyataan sebagai berikut:

$$\text{Regangan (Persen pertambahan)} = \frac{\text{pertambahan panjang}}{\text{panjang ukuran awal}} \times 100\%$$

$$\text{Kontraksi (Persen pengurangan luas)} = \frac{\text{Luas awal} - \text{luas akhir}}{\text{Luas awal}} \times 100\%$$

5. Kegetasan (*Brittleness*)

Kegetasan menunjukkan tidak adanya deformasi plastis sebelum rusak. Material yang getas akan tiba-tiba rusak tanpa adanya tanda terlebih dahulu. Material getas tidak memiliki titik mulur atau proses pengecilan penampang (*necking down process*) dan kekuatan patah sama dengan kekuatan maksimum. Material getas, misalnya besi cor umumnya lemah dalam uji tarik sehingga penentuan kekuatan dilakukan dengan uji tekan (Ach. Muhib Zainuri, 2008).

6. Kelunakan (*Malleability*)

Kelunakan adalah sifat bahan yang mengalami deformasi

plastis terhadap beban tekan yang bekerja sebelum benar-benar patah. Kebanyakan material yang sangat liat juga cukup lunak (Ach. Muhib Zainuri, 2008).

7. Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan adalah sifat material yang mampu menahan beban impak tinggi atau beban kejut. Jika sebuah benda mendapat beban impak, sebagian energi diserap dan sebagian dipindahkan. (Ach. Muhib Zainuri, 2008).

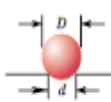
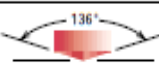
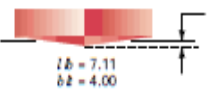
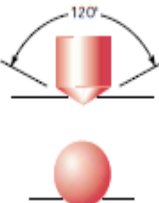
8. Kelenturan (*Resilience*)

Kelenturan adalah sifat material yang mampu menerima beban impak tinggi tanpa menimbulkan tegangan lebih pada batas elastis. Ini menunjukkan bahwa energi yang diserap selama pembebanan disimpan dan dikeluarkan jika material tidak dibebani. Pengukuran kelenturan sama dengan pengukuran ketangguhan (Ach. Muhib Zainuri, 2008).

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, seperti *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell*. Pada metode pengujian kekerasan tersebut, umumnya,

digunakan *indenter* kecil (Berbentuk bola atau piramid) yang ditekan kepermukaan bahan dengan mengontrol besar beban dan laju pembebanan. Indentasi (besar jejak) kemudian diukur dengan mikroskop ukur. 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	$HK = 14.2P/b^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres			60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg }	

Gambar 3. Macam-macam Teknik Pengujian Kekerasan
(William D. Calister, Jr: 2001)

a. Pengujian Kekerasan *Brinell*

Pengujian kekerasan *brinell* adalah dengan memberikan beban konstan, umumnya antara 500, 1000 dan 3000 kgf, dengan indenter baja yang dikeraskan berdiameter 2,5, 5 dan 10 mm, pada permukaan specimen yang rata. Jejak tekan diukur menggunakan mikroskop dan dikonversi ke dalam persamaan:

$$BHN = \frac{2P}{[\pi D(D - (D^2 - d^2)^{1/2})]}$$

Keterangan : P = Beban (kgf)

D = Diameter bola indenter (mm)

d = Diameter jejak (mm).

Diameter indentasi diukur dengan mikroskop berskala 0,05 mm (0,002 inci). Mikroskop harus memiliki skala dan penerangan yang cukup agar mudah dalam pembacaan (Bondan T. Sofyan, 2010).

b. Pengujian Kekerasan *Vickers*

Metode uji kekerasan lain harus digunakan untuk material dengan kekerasan tinggi yang tidak dapat diukur dengan metode *Brinell* (maksimal 450 HRB [48 HRC]), yaitu metode *Vickers*. Indentornya adalah piramid intan yang memiliki dasar berbentuk kotak dengan beban 1-120 kgf. Beban diberikan selama 10-15 detik dan jejak berbentuk intan yang diukur kedua diameternya dalam mm. nilai kekerasan *Vickers* dihitung menggunakan persamaan berikut;

$$HV = \frac{\left[2P \sin\left(\frac{136^0}{2}\right) \right]}{2}$$

$$HV = \frac{[1,8544 P]}{d^2}$$

Keterangan : P = Beban indentasi (kgf)

d = Rata-rata diameter jejak (mm).

Kekerasan *Vickers* dinyatakan dalam nomor *Vickers* dengan symbol “HV” diikuti dengan sufiks yang menyatakan beban (Bondan T. Sofyan, 2010).

c. Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Metode *Rockwell* merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam industri karena sangat sederhana dan tidak memerlukan keahlian khusus untuk melakukannya. Peralatan pengujian sudah terautomatisasi sehingga tidak diperlukan pengukuran jejak. Nilai kekerasan langsung ditampilkan dimesin uji ketika penjejakan telah selesai dilakukan. Berbagai macam kekerasan *Rockwell* tersedia, dengan mengkombinasikan bentuk indentor dan beban. Berikut adalah dua jenis *indentor Rockwell*:

1. Intan berbentuk kerucut dengan sudut 120° (dikenal dengan *indentor brale*). Intan digunakan untuk menguji material yang keras (> 100 HRB dan $> 83,1$ HR30T).
2. Bola baja yang dikeraskan dengan diameter $1/16$, $1/8$, $1/4$, dan $1/2$ inci. Jenis *identor* ini digunakan untuk menguji material yang lunak.

Ada dua jenis pengujian *Rockwell*, antara lain sebagai berikut;

1. *Rockwell*; jenis pengujian yang menggunakan beban minor 10 kgf, dan beban mayor 60, 100, atau 150 kgf.
2. *Superficial Rockwell*; jenis pengujian yang menggunakan beban minor 3 kgf, dan beban mayor 15, 30, atau 45kgf (Bondan T. Sofyan, 2010).

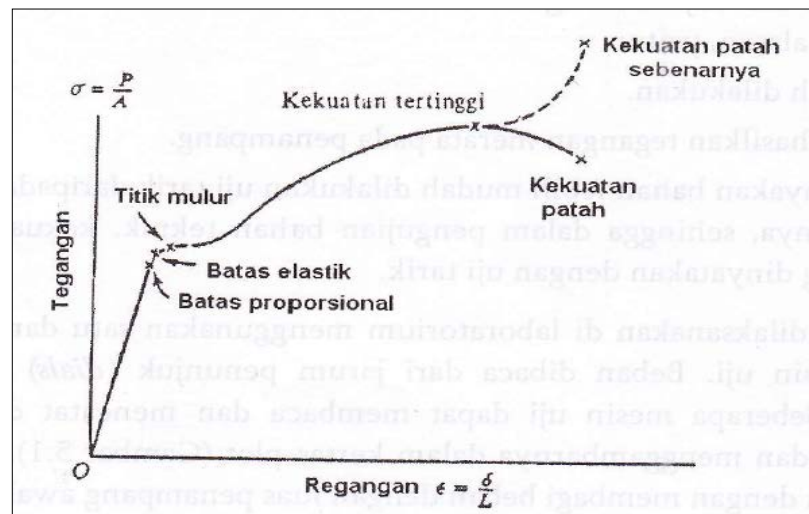
Metode pengukuran kekerasan yang dilakukan menggunakan pengujian *Rockwell C*, melalui penekanan pada permukaan benda uji

dengan pembebanan diberikan secara perlahan tanpa adanya beban kejut (G.Groenendijk: 1984), ditahan selama 10-15 detik. Pengujian ini mengacu kepada ASTM Standar E10-01 Volume 03 01 (2003).

2. Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Kekuatan (*strength*) sebuah material merupakan kemampuan untuk menahan beban tarikan sebelum mengalami kerusakan (*failure*). Kekuatan tarik suatu material dapat diketahui dengan pengujian tarik. Menurut G.Groenendijk (1984: 18), Pengujian tarik adalah peregangan sebuah batang uji yang secara kontinyu bertambah kuat sampai putus. Berdasarkan uraian tersebut dapat diartikan bahwa pengujian tarik merupakan pengujian yang dilakukan dengan jalan memberikan beban sesumbu pada material hingga terjadi kegagalan atau putus.

Pada uji tarik, kedua ujung benda uji dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan ujung lainnya dihubungkan dengan perangkat peregang. Besarnya pembebanan dan pertambahan panjang merupakan variabel utama dalam uji tarik. Hasil pengujian berupa kurva atau diagram tarik yang menggambarkan terjadinya perubahan panjang akibat pembebanan.



Gambar 4. Kurva Tegangan-Regangan (Ach. Muhib Zainuri, 2008: 102)

Menurut Ach. Muhib Zainuri (2008: 102), jika suatu benda ditarik maka akan mulur (*extentions*), terdapat hubungan antara pertambahan panjang dengan gaya yang diberikan. Jika gaya persatuan luas luasan disebut tegangan dan pertambahan panjang disebut regangan maka hubungan ini dinyatakan dengan grafik tegangan dan regangan (*stress-strain graph*).

Berdasarkan kurva tersebut terdapat beberapa pernyataan yang menyatakan keadaan logam pada saat mengalami pengujian tarik, yaitu:

a. Batas Proporsional (*Proportional Limit*)

Dari titik O ke suatu titik yang disebut batas proporsional masih merupakan garis lurus. Pada daerah ini berlaku hukum Hooke, bahwa tegangan sebanding dengan regangan. Kesebandingan ini tidak berlaku diseluruh digram. Kesebandingan ini ber berakhir pada batas proporsional .

b. Batas Elastis (*Elastic Limit*)

Batas elastis merupakan batas tegangan dimana bahan tidak kembali lagi ke bentuk semula apabila beban dilepas tetapi akan terjadi deformasi tetap yang disebut *permanent set*. Untuk banyak material, nilai batas proporsional dan batas elastis hampir sama. Untuk membedakannya, batas elastis selalu lebih besar dari pada batas proporsional.

c. Titik Mulur (*Yield Point*)

Titik mulur adalah titik dimana bahan memanjang memulur tanpa penambahan beban. Gejala mulur khususnya terjadi pada baja struktur (*medium carbon structural steel*).

d. Kekuatan Maksimum (*Ultimate Strength*)

Titik ini merupakan *ordinat* tertinggi pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan.

e. Kekuatan Patah (*Breaking Strength*)

Kekuatan patah terjadi akibat bertambahnya beban mencapai beban patah sehingga beban meregang dengan sangat cepat dan secara simultan luas penampang bahan bertambah kecil.

Kurva hasil pengujian belum memberikan informasi umum mengenai kekuatan tarik bahan. Kurva hanya menjelaskan dimensi perubahan mengenai sifat bahan. data pengujian berupa kurva harus dikonversikan kedalam bentuk tegangan-regangan ($\sigma - \varepsilon$) dengan menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut:

a. Kontraksi (Q)

Pembebanan tarik yang diberikan kepada spesimen uji akan mengakibatkan dimensi penampang spesimen uji akan mengalami penurunan. Penurunan atau pengecilan penampang spesimen uji akibat pembebanan tarik disebut dengan kontraksi (Q). besarnya kontraksi pada penampang spesimen uji setelah putus akibat pembebanan tarik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{A_o - A_i}{A_o} \times 100\% \quad (\text{G.Groenendijk, 1984: 23})$$

Keterangan : Q = Kontraksi

A_o = Luas penampang spesimen sebelum pengujian

A_i = Luas penampang spesimen setelah putus

b. Tegangan (σ)

Pembebanan yang diberikan pada pengujian tarik spesimen merupakan penerapan gaya-gaya aksial (*axial force*) pada ujung-ujung spesimen, yang menimbulkan suatu tarikan yang sama rata pada spesimen sehingga mengalami tarik (*tension*).

Nilai tegangan suatu material dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \quad (\text{G.Groenendijk, 1984: 23})$$

Keterangan : σ = Tegangan (N/m²)

F = Gaya (N)

A₀ = Luas Penampang Spesimen (m²)

c. Regangan (ε)

Spesimen dibebani secara aksial sehingga mengalami perubahan panjang, dimana menjadi lebih panjang akibat tarikan. Pertambahan panjang (*elongation*) yang terjadi merupakan hasil komulatif dari hasil tarikan spesimen pada seluruh panjang L pada spesimen.

Nilai regangan dari suatu material dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\% \text{ (G.Groenendijk, 1984: 23)}$$

Keterangan : ε = Regangan

L_i = Panjang spesimen setelah pengujian (mm)

L₀ = Panjang spesimen sebelum pengujian (mm)

d. Modulus Elastisitas (E)

Menurut G.Groenendijk (1984: 25), Modulus elastisitas merupakan ukuran bagi kekakuan material. Kekakuan material diartikan sebagai ketahanan terhadap deformasi elastis.

Modulus elastisitas (E) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{G.Groenendijk, 1984: 25})$$

Keterangan : E = Modulus Elastisitas (N/m²)

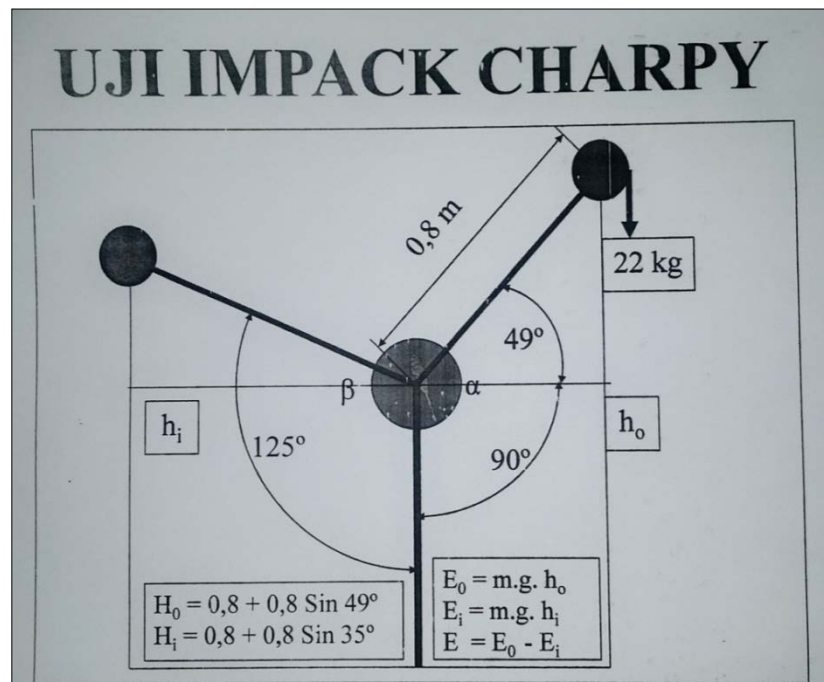
σ = Tegangan tarik (N/m²)

ε = Regangan

3. Pengujian *Impact (Impact Ttest)*

Menurut R.E. Smallman (1999: 217): Material mungkin mempunyai kekuatan tarik tinggi tetapi tidak tahan terhadap beban kejut. Untuk menentukannya perlu dilakukan uji ketahanan *impact*. Ketahanan *impact* biasanya diukur dengan uji *impact Izod* dan *Charpy* terhadap benda uji bertakik atau tanpa takik. Pada pengujian ini beban diayunkan dari ketinggian tertentu dan mengenai benda uji, kemudian diukur energi yang diserap oleh patahan. Pengujian ini berguna untuk memperlihatkan penurunan keuletan dan kekuatan impak material berstruktur bcc pada temperatur rendah.

Pengujian *impact* merupakan pengujian ketahanan material terhadap beban tiba-tiba atau beban kejut. Melalui pengujian ini diperoleh informasi-informasi mengenai besarnya serapan energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen uji. Pengujian *impact* bertujuan untuk mengukur katangguhan material terhadap takik dan beban tiba-tiba atau kecendrungan material mengalami patah getas akibat pembebanan.



Gambar 5. Ilustrasi Uji Impak *Charpy*

Terdapat tiga faktor penting yang mempengaruhi ketangguhan material, yaitu:

- Temperatur, Ketangguhan suatu material akan meningkat bila temperatur dinaikkan.
- Konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh retakan dan takikan.
- Laju regangan atau laju pembebanan.

Sebagian besar energi yang diserap oleh spesimen uji hingga spesimen patah merupakan sebuah nilai *impact* dari suatu material. Harga impak (H_i) adalah sebagian energi serapan persatuan luas, dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\text{Harga Impak (Hi): } H_i = \frac{E}{Af}$$

Keterangan : H_i = Harga *impact* (N/m)

E = Besar energi serapan (Nm)

Af = Luas penampang spesimen (m^2)

Energi Serapan (E)

$$E = E_0 - E_i$$

Dengan $E_0 = m \cdot g \cdot H_0$

$$E_i = m \cdot g \cdot H_i$$

Keterangan : E = Energi Serapan (Nm)

E_0 = Energi Serapan Awal (Nm)

E_i = Energi Serapan Akhir (Nm)

m = Massa pendulum (Kg)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

r = Panjang Lengan Pendulum (m)

α = Sudut Jatuh

β = Sudut Akhir Ayunan

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian mengenai sifat mekanik pada Baja AISI 4140 setelah mengalami perlakuan panas *tempering* dengan temperatur yang berbeda maka penulis menyimpulkan bahwa:

1. Kekerasan (*Hardness*)

- a) Besarnya nilai kekerasan baja AISI 4140 tanpa perlakuan sebesar 326,4 Kg/mm², nilai kekerasan setelah perlakuan panas *hardening* sebesar 455,8 Kg/mm², nilai kekerasan setelah proses perlakuan panas *tempering* 200 °C sebesar 409,1 Kg/mm², nilai kekerasan setelah perlakuan panas *tempering* 400 °C sebesar 318 Kg/mm², dan nilai kekerasan setelah perlakuan panas *tempering* 600 °C sebesar 292,6 Kg/mm².
- b) Kekerasan material mengalami peningkatan setelah mengalami perlakuan panas *hardening* bila dibandingkan dengan material kontrol, namun nilai kekerasan material mengalami penurunan setelah mengalami perlakuan panas *tempering* bila dibandingkan dengan material *hardening*. Dimana semakin tinggi temperatur *tempering* nilai kekerasan material semakin rendah.

2. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

- a) Besarnya nilai rata-rata tegangan Baja AISI 4140 tanpa perlakuan sebesar $1.372,2 \times 10^6$ N/m², pada spesimen dengan perlakuan panas

hardening didapat nilai rata-rata tegangan sebesar $1.124,6 \times 10^6$ N/m², pada spesimen dengan perlakuan panas *tempering* dengan temperatur 200 °C didapat nilai rata-rata tegangan sebesar 1.093×10^6 N/m², pada spesimen dengan perlakuan panas *tempering* dengan temperatur 400 °C didapat nilai rata-rata tegangan sebesar $1.244,4 \times 10^6$ N/m², pada spesimen dengan perlakuan panas *tempering* dengan temperatur 600 °C didapat nilai rata-rata tegangan sebesar $1.193,7 \times 10^6$ N/m².

- b) Kekuatan tarik material mengalami penurunan setelah mengalami perlakuan panas *hardening* dan lebih turun lagi pada perlakuan panas *tempering* rendah bila dibandingkan dengan material kontrol. Namun nilai kekuatan tarik kembali meningkat pada perlakuan panas *tempering* sedang dan *tempering* tinggi bila dibandingkan dengan *tempering* rendah dan perlakuan panas *hardening*, akan tetapi tidak lebih tinggi dari material kontrol.

3. Ketangguhan (*Toughness*)

- a) Besarnya nilai rata-rata harga impact Baja AISI 4140 tanpa perlakuan sebesar $0,753 \times 10^6$ N/m, pada spesimen dengan perlakuan panas *hardening* didapat nilai rata-rata harga impact sebesar $0,084 \times 10^6$ N/m, pada spesimen dengan perlakuan panas *tempering* dengan temperatur 200 °C didapat nilai rata-rata harga impact sebesar $0,238 \times 10^6$ N/m, pada spesimen dengan perlakuan panas *tempering* dengan temperatur 400 °C didapat nilai rata-rata

harga impact sebesar $1,011 \times 10^6$ N/m, pada spesimen dengan perlakuan panas *tempering* dengan temperatur 600°C didapat nilai rata-rata harga impact sebesar $1,365 \times 10^6$ N/m.

- b) Berdasarkan nilai rata-rata harga impact yang didapat dari masing-masing kelompok spesimen dapat diketahui bahwa setelah material mengalami proses perlakuan panas *hardening* maka ketangguhan material menurun, setelah mengalami perlakuan panas *tempering* dengan temperatur 200°C , 400°C , dan 600°C maka ketangguhan material mengalami peningkatan kembali sesuai dengan peningkatan temperatur.

B. Saran

Saran yang dapat penulis berikan yang berkaitan dengan penelitian tentang perlakuan panas *tempering* ini adalah sebagai berikut:

1. Sebelum melakukan penelitian tentang sifat mekanik suatu material, sesuaikan karakteristik bahan dengan jenis perlakuan yang akan diberikan.
2. Dimensi spesimen uji harus benar-benar sesuai dengan standar pengujian dan sesuai dengan kemampuan alat uji.
3. Adanya penelitian selanjutnya mengenai sifat mekanik baja AISI 4140 setelah mengalami perlakuan panas *tempering* dengan mengacu kepada standar perancangan sebuah komponen mesin, sehingga temperatur *tempering* yang akan digunakan bisa diketahui.

4. Untuk pembuatan komponen-komponen mesin yang menggunakan Baja AISI 4140, sebaiknya untuk meningkatkan ketangguhannya diberi perlakuan panas *tempering* terlebih dahulu.