

**TUGAS SARJANA
BIDANG MATERIAL**

**“ANALISA PENGARUH PANAS (TEMPERING) TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140”**



**Diajukan Untuk Syarat Memperoleh
Gelar sarjana teknik mesin**

Diajukan oleh :

**ABABIL
NPM 1810017211021**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA
2022**

**LEMBARAN PENGESAHAN PENGUJI
TUGAS SARJANA**

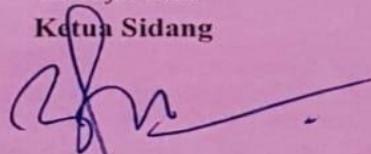
**“ANALISA PERLAKUAN PANAS (TEMPERING) TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140 ”**

*Telah diuji dan dipertahankan pada Sidang Tugas Sarjana
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta
pada Tanggal 18 Juli 2022*

Oleh:

**Ababil
1810017211021**

Disetujui Oleh:
Ketua Sidang



Dr. Burmawi, ST., M.Si.
NIDN: 0027126901

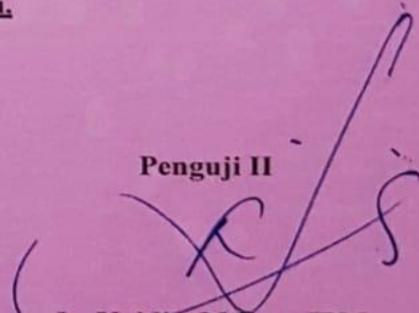
*Diketahui
Oleh:*

Penguji I



Iqbal, S.T., M.T.
NIDN: 1014076601

Penguji II



Ir. Kaidir, M.Eng., IPM.
NIDN: 0003076301

LEMBARAN PENGESAHAN

TUGAS SARJANA

ANALISA PENGARUH PANAS (TEMPERING) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan
Program Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta*

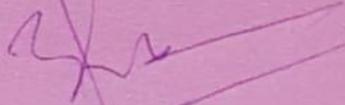
Oleh:

Ababil

NPM: 1810017211021

Disetujui Oleh:

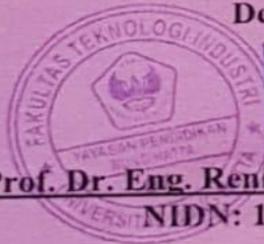
Dosen Pembimbing



Dr. Burmawi, S.T., M.Si

NIDN: 0027126901

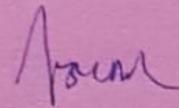
**Fakultas Teknologi Industri
Dekan,**



Prof. Dr. Eng. Reni Desmarti, S.T., M.T

NIDN: 1012097403

**Program Studi Teknik Mesin
Ketua,**



Dr. Ir. Yovial Mahvoeddin, M.T

NIDN: 1013036202

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Sujud Syukur Pada Sang Maha, Allah SWT
Terima Kasihku Pada Pembawa Cahaya Penuntun, Nabi Muhammad SAW
Kecup Indah Untuk Pembimbing Kehidupan Manusia, Alqur'an
Maha Suci Engkau, Tidak Ada Pengetahuan Kami
Kecuali Yang Engkau Ajarkan Kepada Kami
Sesungguhnya Engkaulah
Yang Maha Mengetahui Lagi Maha Bijaksana
(Al Baqarah: 32)*

*Sesungguhnya Sesudah Kesulitan Itu Ada Kemudahan
Maka Apabila Kamu Telah Selesai Dalam Suatu Urusan
Kerjakanlah Dengan Sungguh – Sungguh Urusan Yang Lain
Dan Hanya Kepada Allah- Lah Kamu Berharap
(QS : Al – Insyirah : 6 – 7)*

*...Ya Tuhanku Tunjukilah Aku Untuk Mensyukuri Nikmat Engkau
Yang Telah Engkau Berikan kepadaku Dan Kepada Ibu dan Bapakku
Dan Supaya Aku Dapat Berbuat Amal Yang Shaleh Yang Engkau Ridhoi...
(QS : Al – Ahqaaf : 15)*

*Yaa Allah...Yaa Rohmaan... Yaa Rohiim... Alhamdulillah
Hari Ini Aku Merasa Lega Dan Dapat Tersenyum Serta*

*Bersyukur Padamu ya Allah
Atas Hari Yang Telah Engkau Janjikan Jadi Milikku
Karena-Mu Yaa Allah Aku Mampu Meraih Gelar Kesarjanaan
Segelintir Harapan Dan Keberhasilan Telah Ku Gapai
Namun Seribu Tantangan Masih Harus Ku Hadapi
Hari Ini Merupakan Langkah Awal Bagiku
Meraih Cita – Cita, Maka Dari Itu Aku Mohon Pada-Mu Yaa Allah
Tunjukilah Aku Dan Bimbinglah Aku Dalam Rahmat-Mu...*

*Ibu Dan Bapak...
Kasihmu Begitu Tulus Dan Suci
Demi Harapan Dan Cita-cita Anakmu
Pengorbananmu Adalah Langkah Masa Depan Rintangan
Dan Tantanganmu Adalah Pelita Hidupku Dengan Segala Kerendahan Dan
Ketulusan Hati Kupersembahkan Buah Goresan Pikiran Ini
Keharibaan Bapak (Aldinsah) Dan ibu (Rida yanti)
Tercinta Yang Merupakan Semangat
Hidup Bagi Ku.*

Terima Kasih atas ilmu yang telah bapak/ibu berikan kepadaku, bimbingan dan juga dorongan sehingga aku bisa menyelesaikan pendidikan Stara satu (S1) ini, untuk bapak Burmawi, S.T.,M.Si, ibu Dr.Ir. Wenny Martiana, M.T ,bapak Ir Mulyanef, M.Sc., pak Dr. Yovial Mahjoedin,M.T, pak Dr. Iqbal, S.T.,M.T, pak Ir Kaidir, M.Eng. Pak Suryadimal, S.T., M.T ,pak Ir Duskiardi, M.T pak Riski Arman, S.T.,M.T pak Dr.Ir Edi septe S.,M.T. dan aku ucapkan beribu-ribu terimakasih.

*Untuk Sahabat-Sahabtku Tercinta
Teknik Mesin Angkatan 2018 yang senasib dan sepejuangan
buat senior dan junior Teknik Mesin
Persahabatan Yang Indah Ini Tidak Akan Pernah Putus.
Sahabat Adalah Orang Yang Mengulurkan Tangan Disaat Kita
Susah Mengangkat Kita Saat Kita Terjatuh Dan
Membawa Kebahagiaan*

*Disaat Senang
Untuk Angkatan 2018 Teknik Mesin
Yang masih berjuang tanpa di sebut nama nya satu per satu tetap semangat dan jangan Pernah putus
asa untuk meraih cita-cita
Semoga kita semua menjadi orang Sukses
Terimalah Semua Ini Sebagai Bakti Dan Bukti Cintaku
Atas Segala Doa Dan Kasih Sayang Yang Telah Diberikan Kepadaku
Semoga Rahmat Allah Yang Ku Terima
Menjadi Cahaya Dalam Kehidupanku Dan Kehidupan Kita Semua
Amin Ya Robbal Alamin....*

Wassalam,

Ababil

PERNYATAAN KEASLIAN ISI
LAPORAN SKRIPSI (TUGAS SARJANA)

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ababil

NIM : 1810017211021

Program Studi : Strata-1 Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : “Analisa pengaruh panas (tempering) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 4140”

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul di atas adalah benar hasil karya sendiri kecuali yang bereferensi dan dinyatakan sumbernya pada referensi yang tertera dalam daftar pustaka.

Padang, 18 Juli 2022

Saya yang menyatakan,

Ababil

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian adalah melihat bagaimana pengaruh perlakuan panas (tempering) terhadap sifat mekanik dari material baja AISI 4140, yang mana ditinjau dari pengujian impak dan melihat bagaimana kondisi struktur mikro setelah dilakukan perlakuan panas tempering. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Langkah langkah meliputi analisis perlakuan panas tempering pada material baja AISI 4140 dengan variasi temperatur antara lain temperatur ruang, 500°C, 600°C, dan 700°C Hasil dari penelitian ini dimana setelah melakukan perlakuan panas tempering mendapatkan nilai harga impak pada temperatur ruang 3157.85 J/mm², 500°C 4166.46 J/mm², 600 °C 5859.60 J/mm², dan 700 °C 6571.08 J/mm². Pada pengujian metalografi menemukan struktur fasa yang berbeda antara lain ferrit, pearlite, martensit dan bainit Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah, pada pengujian impak dimana semakin tinggi temperatur yang diberikan maka. harga impak yang didapatkan semakin tinggi. Pada pengujian metalografi keadaan struktur mikro Baja AISI 4140 mengalami perubahan, semakin tinggi temperatur tempering yang diberikan, maka ukuran butir semakin kecil dan lebih tersusun teratur.

Kata kunci : Perlakuan panas, Sifat mekanik, Struktur mikro, Baja AISI 4140

ABSTRACT

The purpose of this research is to see how the effect of heat treatment (tempering) on the mechanical properties of AISI 4140 steel material, which is viewed from the impact test and to see how the condition of the microstructure after tempering heat treatment is carried out. The method used in this study uses the experimental method. The steps include analysis of tempering heat treatment on AISI 4140 steel material with temperature variations including room temperature, 500°C, 600°C, and 700°C. The results of this study where after tempering heat treatment get the impact value at room temperature 3157.85 J/mm², 500°C 4166.46 J/mm², 600 °C 5859.60 J/mm², and 700 °C 6571.08 J/mm². The metallographic test found different phase structures, including ferrite, pearlite, martensite and bainite. the higher the impact price. In metallographic testing, the microstructure of AISI 4140 Steel changed, the higher the given tempering temperature, the smaller the grain size and more orderly arrangement.

Keywords : Heat Treatment, Mechanical Properties, Microstructure, AISI 4140 Steel

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita ucapkan pada Tuhan Yang Maha Esa yang telah menciptakan manusia dengan keistimewaan yang cukup banyak dibandingkan dengan makhluk lainnya. Dengan keistimewaan itu manusia diharapkan dapat hidup sebagai mana mestinya sesuai dengan tujuan penciptaannya, dan atas rahmat dan karunia dari Nya lah penulis bisa menyelesaikan penulisan skripsi. Tugas Sarjana adalah syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin. Yang mana judul dari skripsi tugas sarjana ini adalah **“Analisa pengaruh panas (tempering) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 4140”**

Dalam penulisan proposal tugas akhir ini penulis banyak dibantu oleh semua pihak baik bantuan tenaga maupun sumbangan pikiran, oleh karena penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada Allah SWT
2. Kedua orang tua atas Do'a serta dukungannya baik moril dan materil yang telah diberikan pada penulis.
3. Bapak. Dr. Burmawi, S.T., M.Si. Selaku dosen pembimbing tugas akhir.
4. Semua rekan-rekan angkatan 2018 yang telah banyak membantu penulis.

Akhir kata penulis berharap masukan serta kritikan yang bersifat membangun untuk perbaikan bagi penulis dimasa yang akan datang. Besar harapan penulis proposal tugas akhir ini bisa berguna bagi penulis sendiri dan untuk pembaca.

Padang, 3 Juli 2022

Ababil

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Baja	4
2.1.1 Baja Karbon	5
2.1.2 Baja Panduan.....	7
2.1.3 Baja AISI 4140.....	8
2.2 Perlakuan panas	9
2.3 Tempering	11
2.4 Media pendingin	12
2.5 Sifat mekanik.....	13
2.5.1 Pengujian sifat mekanik (uji impact).....	15
2.5.2 Struktur mikro	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Diagram alir penelitian.....	23
3.2 Studi literatur	24
3.3 Persiapan alat dan bahan	24
3.3.1 Bahan yang digunakan.....	24
3.3.2 Alat pengujian impact.....	25

3.3.3 Alat pengujian struktur mikro	27
3.4 Metode pelaksanaan.....	30
3.5 Prosedur penelitian	31
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Spesimen Penelitian Uji Impak	33
4.2 Tabel data hasil Uji Impak	34
4.3 Anallisa data hasil Uji Impak	34
4.3.1 Grafik hasil analisa data pembahasan pengujian dampak	36
4.3.2 Hasil data pengujian dampak.....	36
4.4 Uji struktur mikro	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram fasa baja karbon.....	7
Gambar 2. 2 Alat uji impak charpy.....	16
Gambar 2. 3 Cara menghitung energy impak.....	17
Gambar 2. 4 Struktur Austenit.....	19
Gambar 2. 5 Struktur ferit.....	20
Gambar 2. 6 Struktur Perlit.....	20
Gambar 2. 7 Struktur Martensit.....	21
Gambar 2. 8 Struktur Sementit.....	22
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Alat uji impak.....	25
Gambar 3. 3 <i>Polisher machine</i>	26
Gambar 3. 4 Kikir.....	26
Gambar 3. 5 Mistar baja.....	27
Gambar 3. 6 Jangka sorong.....	27
Gambar 3. 7 Tungku pemanas.....	28
Gambar 3. 8 Mikroskop optik.....	28
Gambar 3. 9 Gergaji besi.....	29
Gambar 3. 10 Mesin press mounting.....	29
Gambar 3. 11 <i>Polisher machine</i>	30
Gambar 4. 1 Hasil pengujian impak dengan perbedaan temperatur.....	33
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan energi serap.....	37
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan harga impak.....	38
Gambar 4. 4 Hasil uji struktur mikro.....	39
Gambar 4. 5 Hasil uji struktur mikro temperatur 500 °C.....	40
Gambar 4. 6 Hasil uji struktur mikro temperatur 600 °C.....	40
Gambar 4. 7 Hasil uji struktur mikro temperatur 700 °C.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi baja karbon.....	5
Tabel 2. 2 Klasifikasi baja karbon dan penggunaannya.....	7
Tabel 2. 3 Komposisi kimia baja AISI 4140	9
Tabel 4. 1 Data hasil Uji Impak Baja AISI 4140.....	34
Tabel 4. 2 perbandingan energi serap.....	37
Tabel 4. 3 perbandingan harga dampak	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan serta evolusi dibidang industri spesialnya pada industri logam, hingga dibutuhkan mutu logam itu sendiri yang baik. Hingga saat ini baja ialah logam yang bisa dikatakan mendominasi pada bidang permesinan. Pada penggunaan keteknikan butuh diseleksi tipe logam serta paduan yang mempunyai sifat-sifat yang cocok buat pengoperasiannya supaya penggunaannya bisa membagikan kinerja yang maksimal. (Rusjidi, 2016)

Pemakaian baja bisa disesuaikan dengan kebutuhan sebab jenisnya sangat banyak dengan bermacam sifat serta karakternya. Keahlian baja itu sendiri sesungguhnya sangat dipengaruhi oleh isi karbon di samping kandungan-kanduang paduan berbeda yang tercantum di dalamnya. Dimana akumulasi ataupun kurangnya isi karbon ataupun elemen paduan yang lain, kekuatan baja yang diperlukan hendak diperoleh. (Rusjidi, 2016)

Baja ialah salah satu tipe logam yang banyak dimanfaatkan oleh warga buat bermacam keperluan. Terkadang baja yang hendak ditangani tidak mempunyai kekerasan yang mencukupi. Oleh sebab itu, berarti buat melaksanakan bagian yang berbeda, untuk lebih khusus sistem pengaturannya. Dengan memadatkan hendak memperoleh sifat kekerasan yang lebih besar. Semakin tinggi angka kekerasan, semakin rendah kelenturan serta semakin rapuh baja tersebut. Baja semacam itu tidak cukup untuk seabgian aplikasi. Dengan metode ini, biasanya atau cukup sering setelah artikel penyemenan dilakukan, akan cepat dilingkari kembali ke perawatan. (Kirono, 2015)

Tempering adalah siklus di mana baja yang telah dikeraskan dipanaskan kembali pada suhu tertentu dan ditahan selama jangka waktu tertentu agar mengtiadakan ataupun dikurangkan tegangan yang tersisa serta membangun kembali separuh dari ketangguhan serta keuletannya. Pengembalian bagian dari keuletan dan ketangguhan ini diperoleh dengan mempertaruhkan separuh dari

kekuatan dan kekerasan yang dicapai dalam sistem pengerasan. (Kirono, 2015)

Suhu tempering sebagian besar menggunakan suhu 723 C, suhu tempering memiliki dampak yang cukup besar dalam merebut kembali keuletan baja. Dengan cara ini kita ingin mengetahui dan melihat seberapa tinggi suhu perlakuan yang seharusnya untuk mendapatkan baja dengan kualitas dan sifat mekanik tertentu. Pada proses tempering juga mengubah struktur mikro baja. Dengan mengubah struktur mikro, sifat mekanik baja juga akan berubah. (Kirono, 2015)

Material baja AISI 4140 dipilih karena memiliki ketangguhan yang unggul, elastisitas yang baik dan daya tahan yang baik dalam kondisi pengerasan dan pemanasan. Baja AISI 4140 adalah baja karbon sedang, aplikasinya antara lain digunakan sebagai poros, roda gigi, baut, kopling, spindel, sprocket, poros mesin hidrolik, kerah bor industri minyak, sambungan perkakas dan pin piston. Menurut AISI (American Iron and Steel Institute) kandungan bahan kimia baja AISI 4140 meliputi, (0,80-1,10)% Cr, (0,75-1,0)% Mn, (0,38- 0,43)% C, (0,15-0,30)% Si , (0,15-0,25)% Mo, 0,040% S, dan 0,035% P sehingga baja AISI 4140 merupakan baja paduan rendah. (Fendri, Darmawi, Syahrul, & Jasman, 2018)

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana cara meningkatkan ketangguhan pada material baja AISI 4140.
2. Bagaimana cara menganalisis sifat struktur mikro dari baja AISI 4140.
3. Bagaimana pengaruh temperature pada pengujian tempering BAJA AISI 4140.

1.3 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu antara lain:

1. Menganalisa sifat mekanik dari material baja AISI 4140 setelah dilakukan proses tempering.
2. Menganalisa hasil dari pengaruh tempering dengan temperature berdeda.
3. Menganalisa perubahan struktur mikro setelah dilakukan perlakuan tempering pada baja AISI 4140.

1.4 Batasan Masalah

Supaya proses penulisan pada laporan tidak meleawati topik pembahasannya maka dilakukan pembatasan masalah di antaranya sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini menggunakan material baja AISI 4140.
2. Perlakuan panas (tempering) dilakukan pada temperature 500,600,700 C.
3. Pada proses pengujian mekanik meliputi uji impact dan struktur mikro.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari material baja AISI 4140 yaitu:

1. Memberikan hasil pengaruh perlakuan panas tempering terhadap sifat mekanik dari material baja AISI 4140.
2. Memberikan hasil pengaruh perlakuan panas tempering terhadap struktur mikro material baja AISI 4140.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja ialah logam paduan dari besi selaku elemen dasar serta karbon merupakan elemen paduan utama. Unsur karbon pada baja kisaran antara 0,02%, 0,4%, serta 6,67%. Kegunaan karbon yang ada dalam baja merupakan sebagai elemen pengerasan. Biasanya unsur paduan lain yang ditambahkan tidak hanya karbon merupakan mangan (Mn), kromium (Cr), vanadium, serta nikel. Dengan memvariasikan atau membedakan isi pada karbon serta elemen paduan yang lain, bermacam tipe mutu baja bisa diperoleh. Akumulasi kandungan karbon pada baja bisa menaikkan nilai kekerasan serta kekuatan tarik, tetapi di sisi lain membuatnya rapuh serta mengurangi keuletannya. (Buku, 2020)

Baja ialah logam yang sangat umum penggunaannya dalam rekayasa. Baja dalam pencetakannya umumnya berbentuk pelat, lembaran, batangan, pipa, profil, dan lain lain. Baja karbon bisa dibedakan berdasarkan kandungan pada karbonnya. Ada 3 jenis baja karbon, antara baja karbon rendah, sedang dan tinggi. (Kirono, 2015)

Baja dan besi memiliki karakteristik yang paling keras dan umumnya mudah dibentuk, material baja dan besi dalam berbagai desain, dan logam dapat diproduksi, ini membuat besi dan baja biasanya dipanggil juga sebagai material yang penuh dengan sifat, terkhusus komponen paduannya ialah karbon. Baja dapat diperkuat dengan memanfaatkan komponen karbon, sehingga kandungan karbon pada baja dapat ditentukan dengan kadar yang berbeda beda (Buku, 2020)

Baja juga di bentuk menjadi bermacam macam bentuk sesuai dari kebutuhan. Secara umum baja dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

2.1.1 Baja Karbon

Tabel 2. 1 Klasifikasi baja karbon

jenis	kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm)	Kekuatan tarik (kg/mm)	Perpanjangan (%)	Kekerasan brinell
Baja karbon rendah	-Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100
	-Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120
	-Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130
	-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
Baja karbon tinggi	-Baja keras	0,04-0,05	34-46	58-70	26-14	160-200
	-Baja sangat keras	0,50-0,80	36-100	65-100	20-11	180-235

Baja karbon sering juga disebut plain karbon steel, mempunyai unsur utamanya yaitu karbon serta sedikit silikon, belerang dan juga pospor. Dari kandungan karbon, baja karbon dapat terbagi menjadi :

1. Baja karbon rendah (kurang dari 0,2 % C)

Baja karbon rendah mempunyai unsur kandungan karbon kurang dari 2 %. Pada fasa dan struktur mikronya terdapat ferit serta perlit. Sifat mekaniknya relatif lunak, lemah serta mempunyai keuletan dan ketangguhan yang cukup bagus. Dan juga *machinability* (kemampuan mesin) dan kemampuan las (*weldability*) keduanya bagus untuk bahan konstruksi bangunan, rantai, jembatan badan mobil.

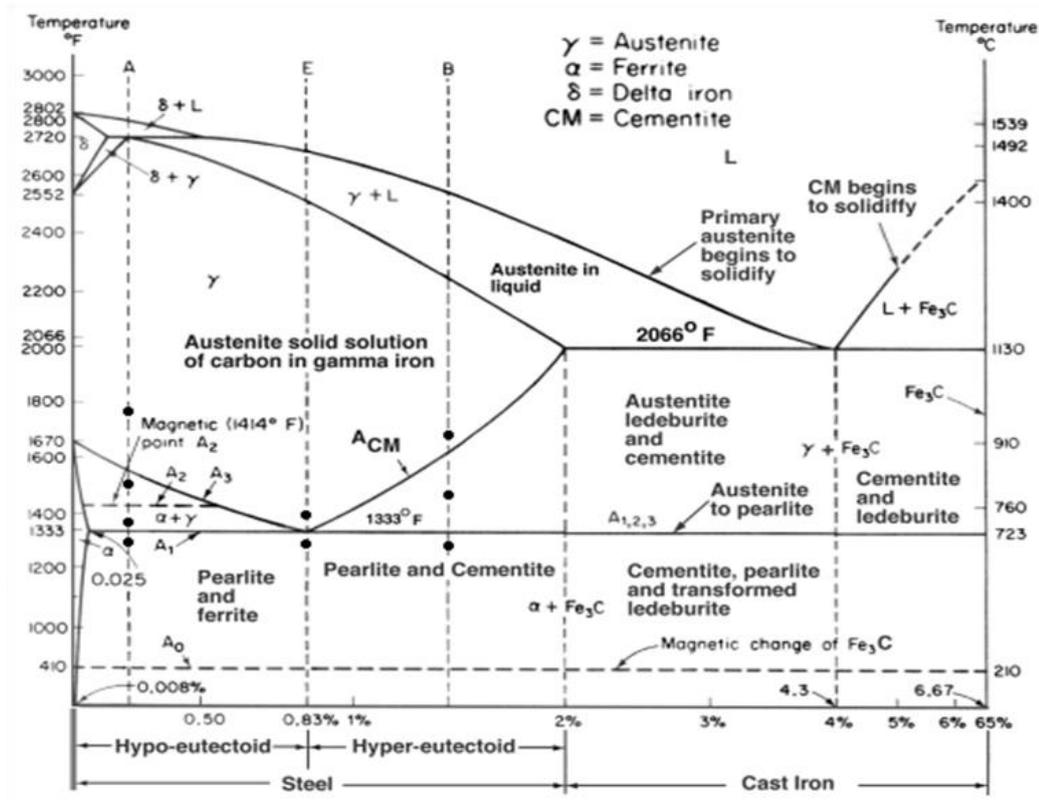
2. Baja karbon sedang (0,2%-0,5% C)

Baja karbon ini mempunyai tingkatan kandungan karbon berkisar diantara 0,2%-0,5% C (berdasarkan berat). Mampu dikeraskan menggunakan *heat treatment* dengan pemanasan sampai fasa austenit serta setelah itu ditahan sampai lama yang diperlukan dengan cepat menggunakan air atau biasa dinamakan *quenching* agar mendapatkan struktur keras martensit. Baja dengan kandungan sedang ini terbagi menjadi baja karbon biasa (polos) dan baja yang dikeraskan.

Kandungan karbon dengan komposisi dapat menyebabkan kenaikan sifat kekerasannya. Namun, tidak cocok dipergunakan pada pengelasan, yang mana, kemampuan lasnya rendah. Dengan penambahan unsur lain seperti Cr, Ni, dan Mo semakin meningkatkan kekerasan. Baja karbon sedang memiliki nilai kekuatan lebih tinggi dibanding baja karbon rendah serta bagus digunakan untuk bagian-bagian mesin, roda gigi, roda kereta api, poros engkol dan komponen-komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi, ketangguhan dan ketahanan aus .

3. Baja karbon tinggi ($> 0,5\%$ C)

Baja karbon tinggi mempunyai komposisi 0,6-1,4% C (berdasarkan berat). Kekerasan dan kekuatan yang sangat tinggi, tetapi tidak memiliki keuletan. Baja ini adalah baja perkakas yang dapat dikeraskan dan ditempa dengan baik, cocok untuk dies (cetakan), pegas, kawat berkekuatan tinggi, dan perkakas potong. Baja ini termasuk baja karbon tinggi biasa serta baja perkakas. Khusus untuk baja perkakas yang biasanya mengandung Cr, V, W dan Mo. Ketika digabungkan, unsur-unsur ini bergabung dengan karbon untuk membentuk senyawa yang sangat berat, sehingga ketahanan ausnya sangat baik. Kandungan karbon dalam baja mempengaruhi kekuatan pemisahan, kekerasan dan keuletan baja. Baja mempunyai kandungan karbon yang lebih tinggi, kekuatan tarik dan kekerasannya semakin tinggi, tetapi daktilitasnya cenderung menurun. Penggunaan baja biasanya berupa baja struktural atau baja penampang, dan sebagai tulangan untuk beton dengan kandungan karbon 0,10% sampai 0,50%. Baja karbon juga digunakan untuk baja/kawat prategang dengan kandungan karbon hingga 0,90%.



Gambar 2. 1 Diagram fasa baja karbon

Tabel 2. 2 Klasifikasi baja karbon dan penggunaannya

Jenis	Kandungan karbonC	Penggunaan utama
Baja karbonrendah atau baja lunak	0.08%-0.3%	Bajaroll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan
Baja karbongedang	0.31%-0.9%	Baja untuk strukturmesin poros, roda gigi, murbaut
Baja karbontinggi atau baja keras	0.6%-2.0%	Rel keretaapi, baja perkakas, baja pegas, bajaalat ukur

2.1.2 Baja Panduan

Baja paduan merupakan baja karbon yang didalamnya terdapat campuran

komponen lain atau perubahan sifat-sifat baja tersebut. Sifat-sifat baja, termasuk ketangguhan, ketahanan luntur, penyemenan yang sulit, dll, adalah poin untuk membuat baja dengan kualitas yang lebih tinggi. Kedekatan fusi mengurangi keunggulan baja. Baja karbon dapat dibuat dengan menggabungkan satu, dua, atau lebih komponen, berdasarkan karakteristik atau sifat amalgam yang diinginkan.

Baja dikatakan paduan bila memiliki komposisi unsur paduan khusus, daripada baja karbon biasa yang terbuat dari unsur fosfor dan mangan. Baja paduan semakin banyak digunakan. Unsur-unsur yang biasa digunakan untuk baja paduan adalah: Cr, Mn, Ni, Si, W, Mo, Al, Ti, Cu, Nb, Zr.

a. Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah adalah baja kombinasi yang komponennya di bawah 2,5% wt, misalnya komponen Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. Biasanya digunakan untuk membuat alat pemotong, gergaji.

b. Baja Paduan Menengah

Baja paduan sedang adalah baja paduan yang komponennya 2,5% - 10% wt, misalnya komponen Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan sebagainya. Umumnya digunakan untuk membuat cetakan penarikan dan alat ukur

c. Baja Paduan Tinggi

Baja paduan tinggi adalah baja paduan yang komponennya lebih dari 10 % menurut beratnya, misalnya komponen Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. Umumnya digunakan untuk cetakan gambar kawat dan pengukur.

2.1.3 Baja AISI 4140

Baja AISI 4140 disebut juga baja yang memiliki paduan rendah dengan kandungan kimia C (0,38- 0,43 %), Mn (0,75-1,00 %), Cr (0,80-1,10 %), Mo (0,15-0,25 %), Si (0,20-0,35 %), P ($\leq 0,035\%$) dan S ($\leq 0,04\%$). Biasanya baja ini dipakai untuk bahan baku pembuatan roda gigi dan poros. Paduan Cr dan Mo pada material mengakibatkan material memiliki sifat tahan karat. Kandungan karbon

pada material ini adalah 0,38 - 0,43%, sehingga mengklasifikasikan material ini sebagai Baja Hypotectoid. Persentase karbon yang digunakan dalam menentukan temperatur pemanasan. (Mahardika, 2020)

Tabel 2. 3 Komposisi kimia baja AISI 4140

Sample identification	CHEMISTRY									
	GRADE	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%
AISI 4140		0.41	0.34	0.81	18	12	11	8	1.07	0.19

Baja AISI 4140 umumnya dipakai dalam dunia industry terutama konstruksi serta desain yang memerlukan material yang lebih bagus. Di Amerika, biasanya ditandai menggunakan sistem AISI-SAE empat digit. Dua angka pertama menunjukkan kelompok elemen yang terkandung dalam baja dan dua angka terakhir menunjukkan persentase kandungan karbon dalam baja. Hal ini berfungsi untuk menunjukkan perbedaan komposisi yang terkandung dalam baja tersebut. Angka 4 menunjukkan jenis unsur paduan, yaitu chromium-molybdenum, angka 1 menunjukkan persentase unsur paduan kurang lebih 1% dan angka 40 menunjukkan persentase kandungan karbon 0,40 %. (Mahardika, 2020)

Pemilihan material baja AISI 4140 dikarenakan material ini memiliki keuletan yang baik dalam kondisi anil, besar kemungkinan untuk material ini bisa dibentuk dan ditingkatkan sifat mekaniknya. (Mahardika, 2020)

2.2 Perlakuan panas

Heat treatment (perlakuan panas) merupakan proses pemanasan serta pendinginan logam pada kondisi padat supaya mengganti sifat fisik logam. Baja bisa dikeraskan untuk meningkatkan ketahanan aus serta kemampuan

pemotongan, atau baja bisa diperlunak untuk memfasilitasi proses permesinan. (Handoyo, 2015)

Dengan *heat treatment* yang sesuai, tegangan internal dapat diiadakan, ukuran butir bertambah atau berkurang, ketangguhan meningkat atau permukaan keras di sekitar inti ulet dapat dihasilkan. Untuk proses perlakuan panas yang tepat, komposisi kimia baja harus kita tau sebab perubahan komposisi kimia, terutama karbon, dapat mengakibatkan berubahnya sifat fisik. (Handoyo, 2015)

Biasanya proses perlakuan panas dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Melakukan pemanasan kepada material dengan suhu tertentu dan juga waktu tertentu sesuai yang kita inginkan.
2. Mempertahan suhu pada saat material dipanaskan diwaktu tertentu sampai temperature merata.
3. Lalu didinginkan dengan media pendingin (oli, air, udara).

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) dapat di kelompokkan menjadi 2 sebagai berikut :

a. *Softening* (pelunakan)

Softening adalah suatu bentuk proses untuk menurunkan sifat mekanik pada baja supaya menjadi lunak menggunakan teknik mendinginkan material yang sudah di panaskan pada tungku (*annealing*) bisa disebut juga didinginkan pada udara terbuka (*normalizing*).

b. *Hardening* (pengerasan)

Hardening ialah proses untuk meningkatkan sifat material terutama kekerasan dan kegetasan menggunakan cara celup cepat (*quenching*) bahan yang telah di panaskan ke dalam sebuah media quenching seperti oli, air, dan udara.

Tujuan dari melakukan perlakuan panas yaitu:

1. Menyiapkan material untuk melakukan pengolahan selanjutnya.
2. Untuk mempermudah proses permesinan.
3. Dapat memperkecil kebutuhan daya pembentukan serta kebutuhan energy.
4. Dapat memperbaiki kekuatan serta keuletan dari material tersebut.
5. Dapat mengeraskan logam menjadi tahan aus serta kemampuan memotong meningkat.
6. Mampu menghilangkan tegangan dalam.
7. Dapat memperkecil atau memperbesar ukuran butiran supaya seragam.
8. Dapat menghasilkan permukaan yang lebih keras di sekeliling inti yang ulet.

2.3 Tempering

Tempering adalah sebuah proses untuk menghapuskan tekanan internal serta memperkuat baja dari kelemahan yang biasa disebut tempering. Tempering dicirikan seperti siklus pemanasan logam setelah dikeraskan ditemperature tempering (di bawah temperatur kritis), diikuti oleh tahap pendinginan. Baja yang sudah dikeraskan rapuh dan kurang tepat untuk dipergunakan, dari proses tempering kekerasan serta kerapuhan bisa dikurangi untuk melengkapi syarat untuk digunakan. Kekerasan berkurang, kekuatan tarik berkurang sementara fleksibilitas dan kekuatan baja bertambah. Meski pada siklus ini mendapatkan baja yang lebih lunak, tata cara ini tidak sama dengan aneling sebab sifat fisiknya bisa dikontrol dengan baik. (Pramono, 2016)

Disuhu 200 C sampai dengan 300 C laju difusi pelan hanya bagian kecil. Karbon di bebaskan, hasil nya setengah struktur pada baja tetap keras akan tetapi mulai hilang kerpuhannya. Diantara temperature 500 C sampai 600 C difusi berlangsung secara cepat, dan atom pada karbon yang berdifusi diantara atom

besi bisa terbentuk *cementit*.

Menurut pengujian yang telah dilakukan (Fendri, Darmawi, Syahrul, & Jasman, 2018) Setelah melalui perlakuan panas tempering pada 200 °C, 400 °C dan 600 °C, struktur mikro Baja AISI 4140 mengalami perubahan, semakin tinggi temperatur tempering maka semakin besar butir material struktur baja AISI 4140. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur perlakuan panas yang digunakan, semakin rendah nilai kekerasannya, dan semakin tinggi kekuatan dan kekokohan material. Semakin besar susunan butir baja, semakin rendah nilai kekerasannya, semakin tinggi kekuatan dan daya tahan materialnya.

Tujuan dari tempering dapat dibedakan menjadi sebagai berikut :

- a. Tempering disuhu rendah (150 C – 300 C)

Pada tempering suhu rendah menghasilkan hanya untuk memperkecil tagangan-tegangan kerut serta keruhan pada baja, umumnya banyak digunakan untuk peralatan potong, mata bor dan lain-lain.

- b. Tempering disuhu sedang (300 C – 550 C)

Tempering disuhu sedang biasanya berfungsi untuk keuletan bertambah dan kekerasannya jadi berkurang. Tempering pada suhu ini digunakan untuk peralatan kerja yang terjadi pembebanan berat, antara lain yaitu palu, pegas, pahat. Temperatur yang digunakan dalam penelitian saat ini yaitu 200, 400, dan 600 pada proses tempering.

- c. Tempering pada suhu tinggi (550 C – 650 C)

Pada tempering suhu tinggi berguna menambahkan sifat ulet yang besar serta juga kekerasannya menjadi lebih rendah contohnya pada poros, roda gigi dan lainnya.

2.4 Media pendingin

Material yang telah mengalami heat treatment kemudian didinginkan untuk mendapatkan kekerasan material yang diinginkan. Media pendingin yang biasa dipergunakan untuk mendinginkan benda uji pada proses pengerasan baja karbon sedang serta karbon rendah adalah air, ber alasan media pendingin air digunakan

karena akan lebih mudah didapatkan di sekitar kita dan jumlahnya sangat banyak. (Adawiyah, 2014)

Tujuan pendinginan pada proses perlakuan panas adalah supaya menghasilkan struktur martensit, semakin banyak unsur karbon didalam meterial maka semakin banyak terbentuknya struktur martensit. Sebab martensit terbentuk oleh fasa Austenit yang didingin kan dengan cepat. Ini dikarenakan atom karbon tidak mempunyai waktu untuk berdifusi keluar serta tidak bisa keluar pada struktur kristal dan terbentuk struktur tetragonal dimana ruang kosong antara atomnya sedikit, maka kekerasannya bertambah. (Adawiyah, 2014)

Berikut merupakan macam-macam media pendinginan :

a. Air

Pendinginan yang menggunakan media air akan dapat memberikan pendinginan yang lebih cepat. Umumnya garam dapur dicampurkan ke dalam air untuk upaya agar mempercepat penurunan suhu benda kerja serta dapat menyebabkan benda kerja menjadi lebih keras.

b. Minyak

Penggunaan minyak sebagai cairan pendingin pada perlakuan panas ialah minyak yang bisa memberikan permukaan karbon pada kulit benda kerja yang diproses. Minyak yang digunakanpun adalah minyak khusus untuk pendinginan pada proses heat treatment, oli dapat juga digunakan sebagai media pendingin.

c. Udara

Pendinginan menggunakan media udara digunakan pada proses panas yang memerlukan pendinginan lambat. Pada kebutuhan ini, udara yang dimasukan dalam ruang pendingin menggunakan dengan kecepatan rendah. Udara selaku pendingin dapat memberikan peluang bagi logam supaya membentuk kristal serta kemungkinan untuk mengikat unsur lain dari udara.

2.5 Sifat mekanik

Sifat mekanik sebuah logam merupakan performance atau sifat logam untuk ketahanan terhadap beban bebas yang didapatkan, Didalam keadaan statis

maupun dinamis, pada temperature kamar, pada temperature tinggi atau di bawah 0 C. Beban statis merupakan beban yang cenderung besar serta arahnya tidak berubah terhadap waktu. Pada beban dinamis merupakan beban yang besar dan arahnya dapat berubah ubah seiring waktu. Keadaan beban bisa seperti beban tarik, lentur, torsi, geser dan campuran pada beban-beban tersebut. Selama pembebanan dinamis, mungkin ada perubahan pembebanan secara tiba-tiba. Sifat mekanik logam yaitu : kekerasan, kekuatan, kerapuhan, keuletan, keausan serta sifat lainnya. (Rusjidi, 2016)

Sifat mekanik suatu bahan yang sering dilakukan pengujian secara mendetail bertujuan untuk mengetahui performance bahan yang mau dipergunakan ialah :

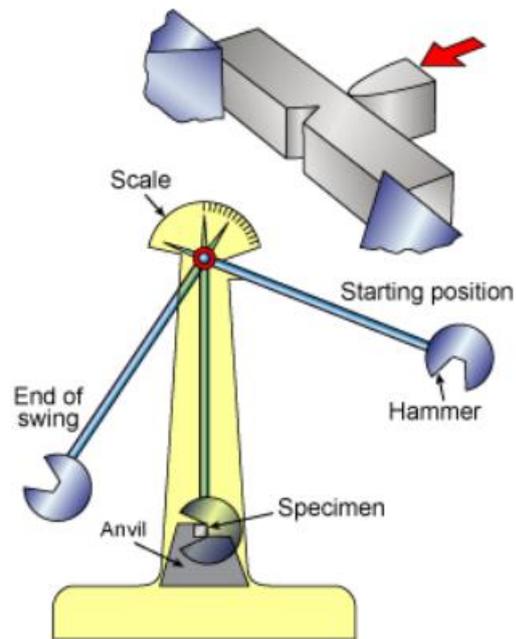
1. Kekuatan (*strength*), dimana tingkat mampu sebuah material untuk menerima pembebanan tanpa terjadi kerusakan pada material.
2. Kekakuan (*stiffness*) ialah ketahanan sebuah spesimen untuk menyerap tegangan, tegangan atau beban tanpa menyebabkannya patah, menyebabkan perubahan bentuk atau defleksi.
3. Elastisitas adalah ketahanan sebuah material untuk menerima deformasi tanpa menjadi perubahan bentuk yang tidak kembali seperti semula setelah tegangan hilang.
4. Plastisitas (*plasticity*) ialah ketahanan suatu material untuk mengalami bentuk menjadi permanen tanpa ada yang rusak.
5. Keuletan (*ductility*) ialah sifat material yang diibaratkan sebagai kabel dengan penerapan kekuatan tarik. Bahan ulet tersebut harus kuat serta lentur,
6. Ketangguhan (*toughness*) ialah kekuatan suatu material bisa menyerap semua energi tanpa menyebabkan perubahan bentuk,
7. Kegetasan (*brittleness*) ialah merupakan sifat bahan yang mempunyai sifat keterbalikan dengan keuletan,
8. Kelelahan (*fatigue*) adalah kondisi dimana logam menjadi patah pada terima beban bolak-balik yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisnya,

9. Melar (*creep*) adalah kondisi pada logam untuk mengalami deformasi plastik pada beban yang besarnya relatif tetap dilakukan pada jangka waktu yang lama pada temperatur tinggi.
10. Kekerasan (*hardness*) adalah kemampuan material menerima sebuah tekanan atau penetrasi. (Rusjidi, 2016)

2.5.1 Pengujian sifat mekanik (uji impact)

Uji impact merupakan uji yang pemberian beban cepat. Selama pengujian mekanis, ada perbedaan pada jenis beban material. Pada uji tarik, uji tekan, uji puntir merupakan percobaan yang dilakukan dengan beban statis. Beban dinamis digunakan selama uji impact. Pada beban cepat, umumnya disebut sebagai beban impact, dimana terjadi penyerapan energi yang besar dari energi kinetik beban yang bekerja pada sampel. Tahap penyerapan energi ini berubah setelah banyak reaksi yang berbeda pada material seperti deformasi plastis, efek isobarik, gesekan dan efek inersia. (Kumar, 2017)

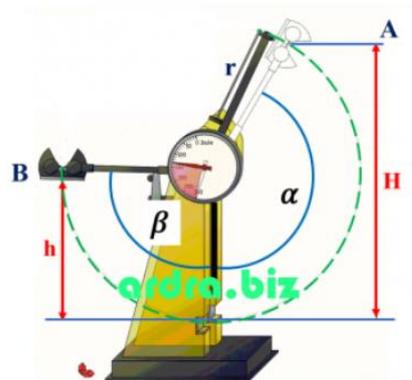
Metode yang dipakai pada penelitian ini adalah metode Charpy. Metode charpy adalah metode yang dilakukan dengan cara benda uji diletakkan secara datar dengan memegang ujung tumpuan, kemudian bandul ditarik ke posisi yang ditentukan. Lalu bandul dilepaskan dan dipukul tepat di belakang alur atau sejajar dengan alur. Ketika bandul dinaikkan ke ketinggian h_1 , bandul dilepaskan dari posisi ini dan berayun bebas pada sampel sampai putus dan bandul berosilasi pada ketinggian h_2 . (Kumar, 2017)



Gambar 2. 2 alat uji impak charpy

Energy impak awalnya dari energy potensial pendulum yang mana dirubah menjadi energy kinetic. Besarnya energy yang dilepaskan oleh pendulum dapat diketahui dari ketinggian awal dan akhir kedudukan pendulum, jarak titik ayun dengan titik takik dan berat pendulum. (ardra.biz, 2018)

Jika jarak ayun dengan titik takik dan berat pendulum tetap maka energy sepenuhnya tergantung pada kedudukan awal serta akhir pendulum. Keakuratan nilai pangujian tergantung dijenis bahan, jarak ayun dengan titik takik dan pendulum. Untuk pengujian impak ini menggunakan standart spesimen ASTM E23, ukuran standar yang dipakai bentuk batang adalah luas penampang 10 x 10 mm dan panjang 55 mm, takik V dengan sudut 45° dan kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0,25 mm. (ardra.biz, 2018)



Gambar 2. 3 Cara menghitung energy impact

Energy impact memperlihatkan besarnya energy yang diserap oleh benda uji sehingga benda uji tersebut mengalami patah.

Besaran energy impact dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = m.g.r \cos (\beta - \alpha) \quad (1)$$

Ket:

E = energy impact, joule

m = massa pendulum, kg

g = percepatan gravitasi (m/s^2) = 9,8 = 10 m/s^2

r = panjang lengan pendulum = jarak antara titik ayun pendulum dengan titik takik, m

α = sudut awal, sebelum pendulum diayun, posisi titik A

β = sudut simpangan setelah pendulum menumbuk specimen, posisi titik B

Secara ringkas besaran energy yang diserap benda uji pada uji impact dinyatakan dengan rumus persamaan berikut :

$$EA = m.g.H \quad (2)$$

$$EB = m.g.h \quad (3)$$

E = EA – EB atau

$$E = m.g.(H - h) \quad (4)$$

Ket :

EA = energy pendulum awal

EB = energy pendulum setelah menumbuk

H = tinggi awal, pada titik A, meter

h = tinggi setelah benda uji patah, titik B, meter

energy yang diperlukan untuk mematahkan benda uji dihitung berdasarkan perbedaan atau selisih energy potensial yang dimiliki pendulum dari posisi awal sebelum dijatuhkan dan setelah menumbuk benda uji.

Rumus nilai harga impak

$$HI = E/A \quad (5)$$

Ket:

HI = harga impak (J/mm²)

E = usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (J)

A = luas penampang diluar takikan (mm²)

2.5.2 Struktur mikro

Struktur micro merupakan deskripsi jumlah fasa fasa yang bisa kita lihat dengan menggunakan teknik uji metalografi. Struktur mikro logam bisa di lihat menggunakan alat mikroskop optik. Mikroskop yang dapat digunakan adalah mikroskop optik dan mikroskop elektron. (Handoyo, 2015)

Sebelum struktur mikro logam dapat diamati menggunakan mikroskop, terlebih dahulu pada permukaan material dibersihkan, kemudian permukaan material direaksikan menggunakan reagen kimia agar mudah dilakukan pengamatan. Tahap ini disebut juga dengan etching. (Buku, 2020)

Cara agar mengetahui sifat dari sebuah logam, kita harus melihat pada struktur mikronya. Karna setiap logam dengan jenis berbeda juga memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan media diagram fasa, kita dapat melihat struktur mikronya serta dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur yang diinginkan. (Buku, 2020)

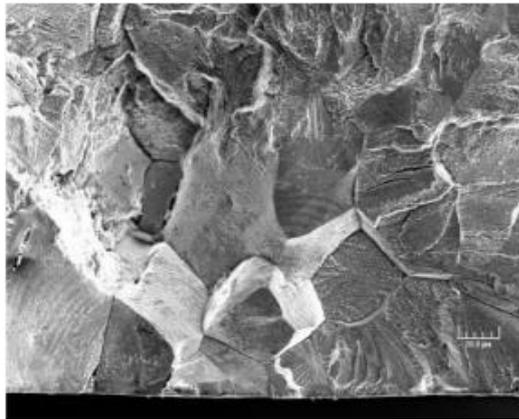
Pada struktur mikro kita dapat melihat:

- a. Bentuk serta ukuran butir
- b. Penyebaran fasa yang berada dalam material khususnya logam
- c. Pengotor yang berada dalam material

Pada struktur mikro kita dapat menentukan sifat mekanik material yang diinginkan, berikut fasa-fasa yang ditemukan pada baja karbon rendah:

1. Austenit

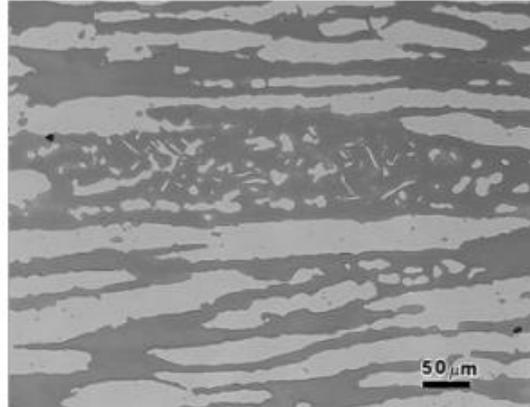
Austenit merupakan campuran C (karbon) dan Fe (besi) yang terbentuk pada saat pembekuan dalam proses pendinginan. Sifat austenit yaitu lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kadar karbon maksimum adalah 2,14%.



Gambar 2. 4 Struktur Austenit

2. Ferit

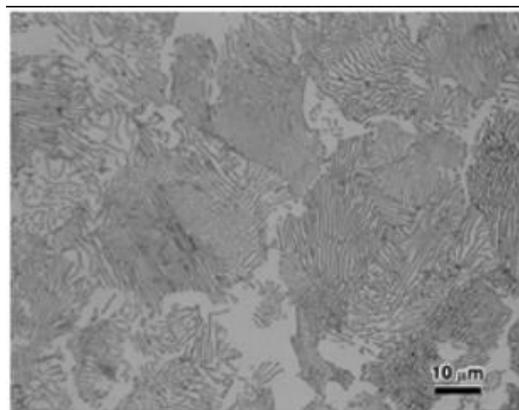
Fasa ini disebut alfa (α). Pada fasa ini ruang antar atomnya sangat kecil dan sempit sehingga hanya beberapa atom karbon yang dapat ditampung. Oleh karena itu, kelarutan karbon dalam ferit rendah untuk <1 atom C per 1000 atom besi. Kandungan karbon pada suhu kamar adalah 0,008%, sehingga dapat dikatakan sebagai besi murni. Kandungan karbon maksimum pada suhu 723 °C adalah 0,025%. Ferit bersifat magnetis hingga suhu 768 °C. Ferrite lunak dan liat.



Gambar 2. 5 Struktur ferit

3. Perlit

Tahap ini adalah gabungan mekanis yang terbentuk dari dua fasa yang saling berhubungan erat, yaitu ferit dengan kandungan karbon 0,025% dan sementit dalam bentuk lamellar (berlapis) dengan kandungan karbon 6,67%. Oleh karena itu, perlit adalah struktur mikro dari reaksi eutektoid berlapis.



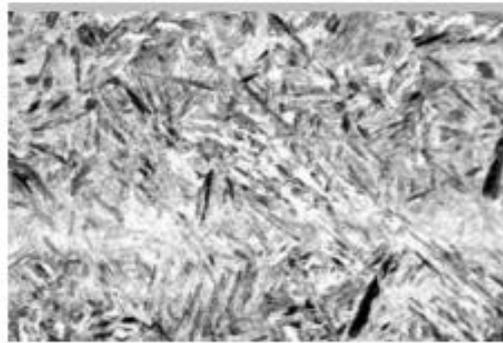
Gambar 2. 6 Struktur Perlit

4. Bainit

Bainit merupakan fase yang terbentuk adanya 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 eutektoid ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) non-lamellar (tidak berupa lapisan). Bainit disebut juga struktur mikro campuran fasa sementit dan ferit (Fe_3C).

5. Martensit

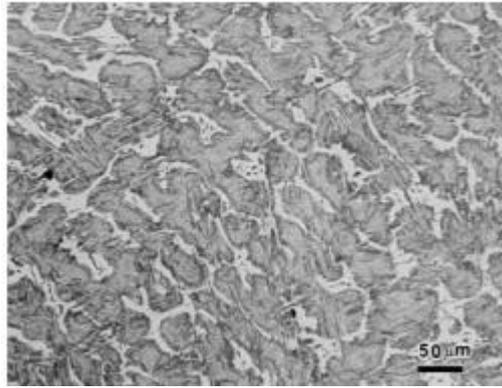
Martensit adalah dimana fasa ferit dan sementit tercampur, tapi tidak pada lamelar, melainkan jarum-jarum sementit. Struktur ini terbuat dari austenit 23 meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terbentuknya martensit bila kadar C dalam baja sampai 0,6% sedangkan di atas 1% C akan terbentuk martensit pelat (plate martensit). Berubah dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval $0,6\% < C < 1,08\%$.



Gambar 2. 7 Struktur Martensit

6. Sementit

Pada paduan besi yang melebihi batas kelarutan untuk membentuk fase kedua disebut dengan karbida besi (sementit). Besi karbida memiliki komposisi kimia yaitu Fe_3C . Sementit sangat keras. Karbida besi pada ferit dapat meningkatkan kekerasan baja. Namun, pada karbida besi murni memiliki sifat yang tidak ulet, sehingga karbida ini tidak mampu beradaptasi dengan konsentrasi tegangan, yang menyebabkan karbida besi murni kurang kuat.

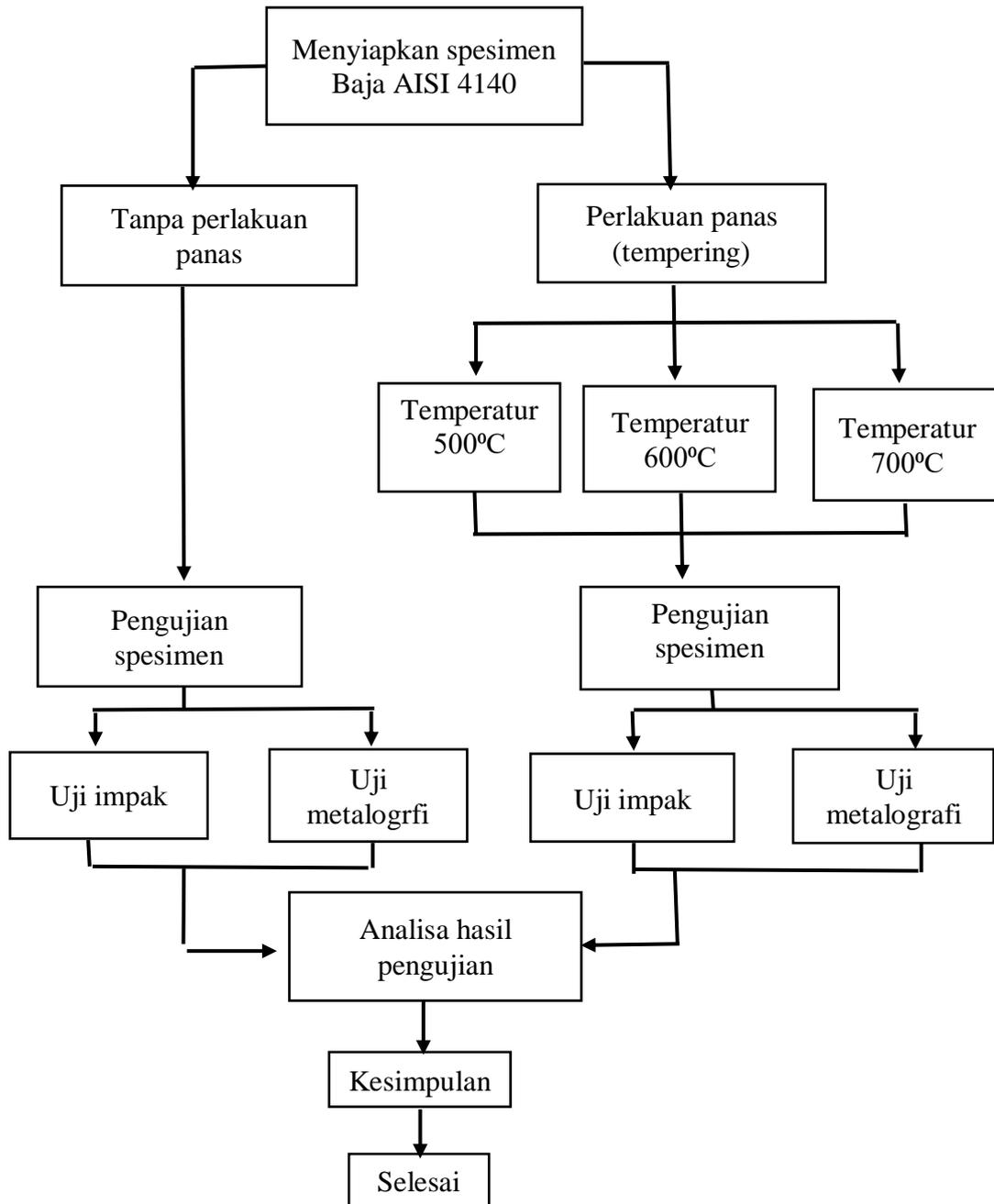


Gambar 2. 8 Struktur Sementit

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Studi literatur

Studi literatur yaitu mencari referensi atau perbandingan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Menurut (Fendri, Darmawi, Syahrul, & Jasman, 2018) Baja AISI 4140 termasuk baja karbon sedang, aplikasinya antara lain digunakan sebagai *Shaft, gear, bolt, coupling, spindles, sprockets, hydraulics machine shaft, tools joints* dan *piston pin*.

Menurut pengujian yang telah dilakukan (Mahardika, 2020) spesimen yang mengalami perlakuan panas Tempering dengan suhu 300 °C, mendapatkan rata-rata kekerasan yakni sebesar 322,67 HB, suhu 400 °C mendapatkan nilai kekerasan 273,57 HB, dan untuk Spesimen yang mengalami perlakuan panas Tempering dengan suhu 500 °C, mendapatkan rata-rata kekerasan yakni 233,88 HB. Dapat disimpulkan yaitu semakin tinggi temperature tempering yang di berikan maka semakin kecil nilai kekerasan yang di dapatkan pada material.

Dari penelitian yang telah dilakukan (Fendri, Darmawi, Syahrul, & Jasman, 2018) Setelah melalui perlakuan panas tempering pada 200 °C, 400 °C dan 600 °C, struktur mikro Baja AISI 4140 mengalami perubahan, semakin tinggi temperatur tempering maka semakin besar butir material struktur baja AISI 4140. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur perlakuan panas yang digunakan, semakin rendah nilai kekerasannya, dan semakin tinggi kekuatan serta kokokohan material. Semakin besar susunan butir baja, semakin rendah nilai kekerasannya, semakin tinggi kekuatan serta daya tahan materialnya.

3.3 Persiapan alat dan bahan

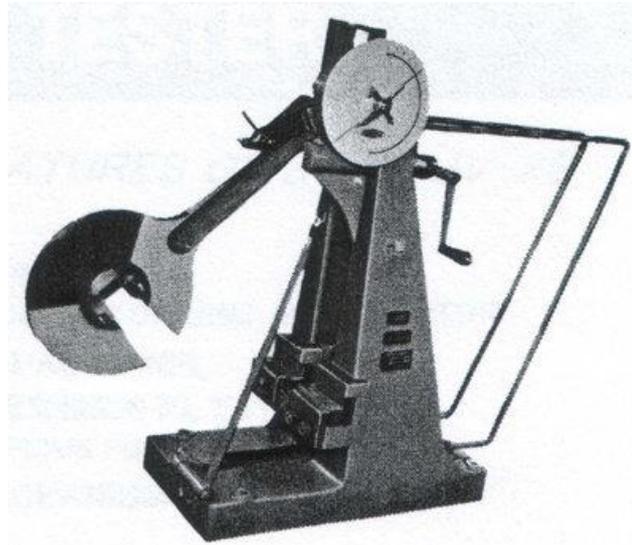
3.3.1 Bahan yang digunakan

Pada pengujian ini menggunakan material baja AISI 4140, komposisi kimia baja AISI 4140 meliputi, (0,80-1,10)% Cr, (0,75-1,0)% Mn, (0,38- 0,43)% C, (0,15-0,30)% Si, (0,15-0,25)% Mo, 0,040% S, dan 0,035% P sehingga baja AISI 4140 termasuk baja paduan rendah. Baja AISI 4140 banyak digunakan dalam komponen permesinan contohnya poros, roda gigi, poros engkol dan lain lain.

3.3.2 Alat pengujian impact

1. Mesin pengujian impact (charpy)

Untuk pengujian sifat mekanik material baja AISI pada penelitian ini menggunakan pengujian impact dimana metode yang dipakai merupakan uji impact charpy. Pada metode charpy, spesimen uji diletakkan mendatar dengan ditahan di bagian ujung – ujungnya oleh penahan, kemudian pendulum ditarik ke atas sesuai posisi yang diinginkan. Setelah itu pendulum dilepaskan dan mengenai tepat pada bagian belakang takikan atau sejajar dengan takikan.



Gambar 3. 2 Alat uji impact

Adapun spesifikasi alat uji impact dengan metode charpy ini adalah sebagai berikut:

Tipe alat uji : Charpy impact testing

Kapasitas : 200 Joule

Berat gondam (pendulum) : 26,62 Kg

Jarak titik ayun dengan titik pukul : 0,634 m

Posisi awal pemukulan : 141°

Sudut pisau pemukul : 30°

Dimensi alat uji : 1143mm x 400 mm x 1180 mm

2. Mesin Pemoles (*polisher machine*)

Salah satu alat yang digunakan pada pengujian ini yaitu mesin poles yang mana berguna untuk memperhalus permukaan dari material yang akan kita uji.



Gambar 3. 3 *polisher machine*

3. Kikir

Fungsi kikir pada pada pengujian ini yaitu untuk pembuatan takikan pada benda uji.



Gambar 3. 4 Kikir

4. Mistar baja

Penggunaan mistar baja pada pengujian ini berfungsi untuk mengukur dimensi dari specimen.



Gambar 3. 5 Mistar baja

5. Jangka sorong

Untuk penggunaan jangka sorong fungsinya hampir sama dengan mistar baja yang membedakan yaitu jangka sorong bisa mengukur dimensi kedalaman dari benda uji.



Gambar 3. 6 Jangka sorong

3.3.3 Alat pengujian struktur mikro

1. Tungku pemanas

Pada pengujian ini sebelum melakukan uji metalografi dimana spesimen ditempering terlebih menggunakan tungku pemanas furnace dengan variasi suhu yaitu 100,300,400 °C.



Gambar 3. 7 Tungku pemanas

2. Mesin Pengujian Mikroskop metalografi

Penggunaan mikroskop optik pada pangujian ini berfungsi untuk melihat struktur mikro atau fasa fasa yang ada pada permukaan material.



Gambar 3. 8 Mikroskop optik

3. Gergaji besi

Untuk memotong benda uji pada pengujian metalografi ini menggunakan gergaji besi, pemotongan akan disesuaikan ukuran yang kita gunakan.



Gambar 3. 9 Gergaji besi

4. Mesin press mounting

Pada umumnya ukuran sampel yang akan diolah relatif kecil, sehingga diperlukan wadah untuk memudahkan pengolahan lebih lanjut. Hal ini penting untuk membuat alat pemegang (mounting) agar proses selanjutnya dapat bekerja dengan baik dan benar..



Gambar 3. 10 Mesin press mounting

5. Mesin amplas

Pengamplasan dimulai dari amplas paling kasar, biasanya 60 mesh, hingga 4000 mesh, yang paling halus. Proses pengamplasan menggunakan mesin yang membiarkan sampel diam sementara amplas berputar..



Gambar 3. 11 *Polisher machine*

6. Etsa

Kegunaan etsa pada pengujian ini yaitu Etsa merupakan cairan yang berguna untuk memunculkan fasa dan atau batas butir. Larutan ini berupa cairan kimia yang biasanya campuran dari alkohol atau aquades.

3.4 Metode pelaksanaan

1) Pengukuran Bahan

Pengukuran bahan dilakukan sebelum pemotongan, hal ini untuk menghindari kesalahan pemotongan.

2) Pemotongan Bahan

Pemotongan dilakukan setelah proses pengukuran. Pemotongan berfungsi untuk menentukan bahan yang akan digunakan sebagai spesimen dalam pengujian.

3) Pembuatan Spesimen

Proses pembuatan spesimen bertujuan untuk mendapatkan ukuran dan bentuk spesimen sesuai standar untuk sebuah spesimen dalam suatu proses pengujian, pada pengujian impak spesifikasi specimen yang dibuat mengacu pada standar ASTM E23.

4) Perlakuan panas *Tempering*

Tempering dilakukan dengan menggunakan cara penggabungan waktu dan

temperatur. Proses tempering tidak hanya dengan dipanaskan baja yang dikeraskan sampai pada temperatur tertentu saja. Spesimen ditahan pada temperatur temper dalam jangka waktu yang ditentukan. Lama waktu penahan pada perlakuan panas tempering selama 3 jam. Dalam penelitian ini peneliti bervariasi temperatur temper yang diberikan terhadap spesimen uji, yaitu 500 °C, 600 °C, dan 700 °C.

3.5 Prosedur penelitian

1. Pengujian tempering

Pertama mempersiapkan material yang akan kita tempering lalu siap kan tungku pemanas, setelah semua siap masukan specimen ke tungku pemanas dimana pada penelitian ini akan menggunakan 3 variasi tempering yaitu 500, 600, 700°C setiap specimen akan dipanaskan selama 3 jam, untuk pendinginan material yang telah dipanaskan kita menggunakan media udara atau temperature ruang, setelah selesai ditempering material siap diuji sifat mekanik dan struktur mikronya.

2. Mempersiapkan material dan metoda pengujian yang akan dilaksanakan (uji impak)

Untuk pengujian impak ini menggunakan standart specimen ASTM E23, ukuran standar yang digunakan untuk bentuk batang adalah luas penampang yaitu 10 x 10 mm dan panjang 55 mm, takik V dengan sudut 45° dan kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0,25 mm

3. Melakukan pengujian impak dengan langkah sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan alat uji impak Charpy
- b. Mengukur dimensi awal specimen uji sebelum melakukan pengujian, dan mencatat hasil pengukuran.
- c. Lalu Memasang specimen uji pada dudukan alat uji impak.
- d. Mengukur sudut pendulum sebelum memberikan beban kajat kepada specimen.

- e. Memberikan beban kejut kepada spesimen dan mengukur sudut bandul setelah mematahkan spesimen uji.
 - f. Menganalisis data hasil pengujian.
5. Melakukan pengujian struktur mikro dengan langkah berikut :
- a. Menyiapkan benda uji
 - b. Sebelum dilihat struktur mikro benda uji dipotong terlebih dahulu
 - c. Setelah dipotong maka material akan dimounting
 - d. Lalu perhalus permukaan benda uji menggunakan mesin amplas
 - e. Poles permukaan benda uji dengan cairan etsa
 - f. Meletakkan dan tempelkan benda uji yang berada pada posisi horizontal.
 - g. Meratakan benda uji dengan perata sampel, lindungi permukaan benda uji dengan tissue agar permukaan tidak tergores.
 - h. Meletakkan benda uji dibawah lensa obyektif dari mikroskop.
 - i. Menghidupkan lampu mikroskop.
 - j. Mengarahkan arah mikroskop pada bagian spesimen uji yang akan diamati dengan cara memutar posisi mundur maju dan kiri-kanan.
 - k. Lakukan pemotretan pada benda uji.

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Spesimen Penelitian Uji Impak

Pada pengujian ini meliputi uji impak dengan menggunakan metode uji impak charpy, material yang digunakan yaitu baja AISI 4140 dengan variasi tempering antara temperatur ruang, 500 °C, 600 °C, 700 °C.



Gambar 4. 1 Hasil pengujian impak dengan perbedaan temperatur

4.2 Tabel data hasil Uji Impak

Tabel 4. 1 Data hasil Uji Impak Baja AISI 4140

Spesimen	l (m)	h (m)	α ($^{\circ}$)	β ($^{\circ}$)	m (kg)	g (m/s ²)	r (m)	EI (Joule)	HI (Joule/mm ²)
T. Ruang	0.788	0.01012	141	127.5	26.62	9.81	0.634	27.87	3157.85
T. 500 $^{\circ}$ C	0.790	0.0106		124.5				34.98	4166.46
T. 600 $^{\circ}$ C	0.792	0.01016		121				43.40	5859.60
T. 700 $^{\circ}$ C	0.794	0.01035		118				50.94	6571.08

$$EI = mgr (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (6)$$

$$A = l \times h \quad (7)$$

$$HI = \frac{EI}{A} \quad (8)$$

m = massa hammer (kg)

A = luas penampang (m²)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

EI = energi iimpak (J)

r = jari – jari hammer (m)

HI = harga iimpak (J/mm²)

α = sudut awal ($^{\circ}$)

l = Panjang dari takikan

β = sudut akhir ($^{\circ}$)

h = Tinggi

4.3 Anallisa data hasil Uji Impak

• Temperatur Ruang

$$\begin{aligned} EI &= mgr (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 26,62 \times 9,81 \times 0,634 \times (\cos(127.5) - \cos(141)) \\ &= 27,87 \text{ Joule} \end{aligned}$$

• Temperatur 500 $^{\circ}$ C

$$\begin{aligned} EI &= mgr (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 26,62 \times 9,81 \times 0,634 \times (\cos(124.5) - \cos(141)) \\ &= 34,89 \text{ Joule} \end{aligned}$$

• **Temperatur 600 °C**

$$\begin{aligned}EI &= mgr (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 26,62 \times 9,81 \times 0,634 \times (\cos(121) - \cos(141)) \\ &= 43,40 \text{ Joule}\end{aligned}$$

• **Temperatur 700 °C**

$$\begin{aligned}EI &= mgr (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 26,62 \times 9,81 \times 0,634 \times (\cos(118) - \cos(141)) \\ &= 50,94 \text{ Joule}\end{aligned}$$

✓ **Temperatur Ruang**

$$\begin{aligned}HI &= \frac{EI}{A} \\ &= \frac{27,87}{0,0088256} \\ &= 3157,85 \text{ (J/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

✓ **Temperatur 500 °C**

$$\begin{aligned}HI &= \frac{EI}{A} \\ &= \frac{34,89}{0,008374} \\ &= 4166,46 \text{ (J/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

✓ **Temperatur 600 °C**

$$\begin{aligned}HI &= \frac{EI}{A} \\ &= \frac{43,40}{0,00740664} \\ &= 5859,60 \text{ (J/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

✓ **Temperatur 700 °C**

$$\begin{aligned} HI &= \frac{EI}{A} \\ &= \frac{50,94}{0,00775215} \\ &= 6571,08 \text{ (J/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

4.3.1 Grafik hasil analisa data pembahasan pengujian impact

Setelah dilakukan pengujian maka dilakukan pengolahan data, maka dari itu dihitung pengolahan data sesuai dengan hasil pengujian. Dari hasil pengolahan data maka ditampilkan dalam bentuk grafik nilai harga Impact dan energi Impact seperti dibawah ini:

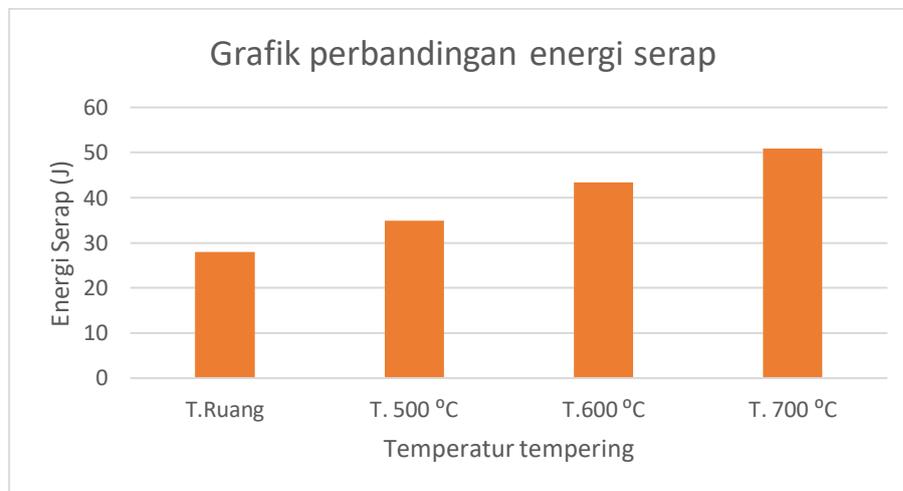
4.3.2 Hasil data pengujian impact

Dari hasil pengujian impact yang dilakukan pada penelitian ini menghasilkan grafik seperti dibawah ini :

1. Tabel dan grafik perbandingan energi serap pada temperatur berbeda

Tabel 4. 2 Perbandingan energi serap

T.Ruang	27.89
T. 500	34.89
T.600	43.40
T. 700	50.94



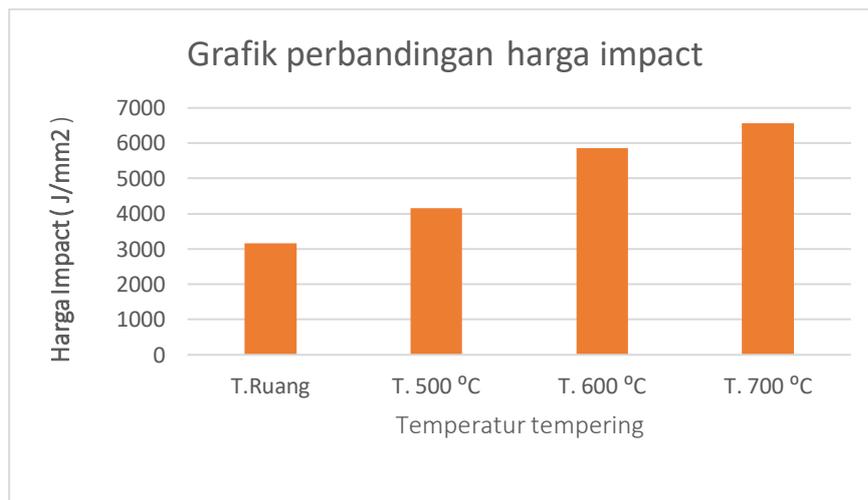
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan energi serap

Dari informasi tabel dan grafik data diketahui bahwa nilai energi serap pada spesimen tanpa perlakuan panas tempering dengan setelah diberi perlakuan panas tempering terjadi peningkatan energi serap. Semakin tinggi temperatur perlakuan panas yang dilakukan maka semakin tinggi juga nilai energi serap yang didapatkan.

2. Tabel dan grafik perbandingan harga impact pada temperatur berbeda

Tabel 4. 3 perbandingan harga impact

T.Ruang	3157.85
T. 500	4166.46
T. 600	5859.60
T. 700	6571.08



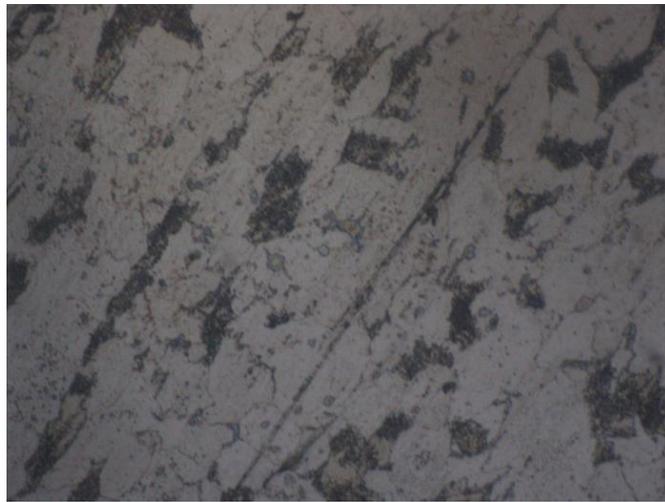
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan harga impact

Dari grafik diatas dapat dilihat terjadinya kenaikan grafik dimana pada temperatur ruang menghasilkan nilai harga impact yaitu sebesar 3496.12 J/mm² sedangkan pada temperatur 700 °C menghasilkan nilai harga impact 6198.66 J/mm². Dapat kita simpulkan dimana semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi juga harga impact yang dihasilkan, itu menandakan peningkatan temperatur tempering juga ikut meningkatkan ketangguhan dari material baja AISI 4140.

4.4 Uji struktur mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui fasa yang terdapat pada baja AISI 4140 dan perubahan struktur mikro yang terjadi akibat perbedaan temperatur tempering. pada penelitian ini penulis melakukan 3 kali pengujian pada tiap masing-masing spesimen uji. Berikut fasa fasa yang terdapat pada pada baja AISI 4140 dengan perbedaan suhu tempering.

1. Uji struktur mikro tanpa tempering



Gambar 4. 4 Hasil uji struktur mikro

Pengamatan uji struktur mikro ini dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 200 X. Struktur mikro awal Baja AISI 4140 memiliki fasa pearlite dan fasa ferit seperti yang terlihat pada Gambar 4.4

2. Uji struktur mikro pada temperatur 500 °C



Gambar 4. 5 Hasil uji struktur mikro temperatur 500 °C

Dari pengamatan diatas setelah material diberikan perlakuan panas dengan temperatur 500 °C dan penggunaan *holding time* selama 3 jam dapat dilihat terjadinya penyebaran butir butir struktur mikro. Pada tempering di suhu ini terdapat struktur berupa martensit.

3. Uji struktur mikro pada temperatur 600 °C

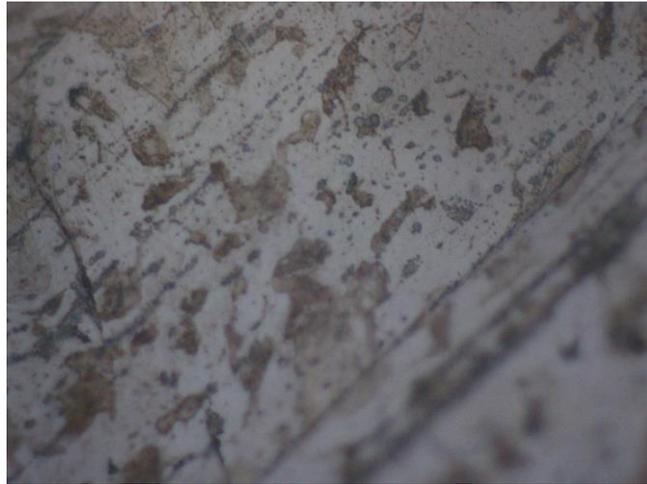


Gambar 4. 6 Hasil uji struktur mikro temperatur 600 °C

Pada temperatur tempering 600 °C terlihat terjadinya perbedaan dengan temperatur tempering disuhu 400 °C dimana semakin tinggi temperatur tempering yang diberikan pada material baja AISI 4140 ini, semakin banyak perubahan pada

struktur mikronya dan butiran yang didapat semakin halus, seperti pada temperatur 600 °C mulai terbentuk bainite yang mana merupakan campuran dari fasa ferrit dan sementit.

4. Uji struktur mikro pada temperatur 700 °C



Gambar 4. 7 Hasil uji struktur mikro temperatur 700 °C

Pada material yang sudah ditempering dengan temperatur 700 °C terdapat perubahan dari bentuk bainit nya semakin halus tetapi jika terus dinaikan maka nantinya akan menjadi kasar dan menyebabkan tegangannya berkurang serta regangannya meningkat dan berpengaruh kepada kekerasannya yang menurun.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan (Fendri, Darmawi, Syahrul, & Jasman, 2018) bahwasanya Setelah melalui perlakuan panas tempering pada 200 °C, 400 °C dan 600 °C, struktur mikro Baja AISI 4140 mengalami perubahan, semakin tinggi temperatur tempering maka semakin besar butir material struktur baja AISI 4140. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur perlakuan panas yang digunakan, semakin rendah nilai kekerasannya, dan semakin tinggi kekuatan dan ketangguhan material. Semakin besar susunan butir baja, semakin rendah nilai kekerasannya, semakin tinggi kekuatan dan daya tahan materialnya.

Hal ini sebanding dengan penelitian ini yang mengkaji tentang pengaruh perlakuan panas tempering terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 4140, dimana pada penelitian ini menggunakan perlakuan panas tempering dengan

variasi suhu tanpa perlakuan panas, 500 °C, 600 °C, dan 700 °C. Hasil yang diperoleh yaitu semakin bertambah nya suhu tempering pada material baja AISI 4140 maka sifat ketangguhan dari material juga ikut bertambah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Ketangguhan

Dari proses pengujian yang dilakukan penulis yaitu uji impact terdapat 4 variasi sampel dimana antara lain baja AISI 4140 tanpa perlakuan panas, tempering temperatur 500°, tempering temperatur 600°, dan tempering temperatur 700 °C dimana setiap variasi memiliki harga impact yang berbeda untuk harga impact tertinggi diperoleh oleh spesimen yang telah ditempering dengan suhu 700 °C selama 3 jam dengan nilai harga impact sebesar 6198,66 (J/m²) , semakin tinggi suhu tempering yang diberikan maka semakin meningkat juga tingkat ketangguhan dari material baja AISI 4140.

2. Struktur mikro

Keadaan setelah dilakukan proses tempering dengan tempertur yang berbeda banyak ditemukan perubahan terhadap struktur mikro material dimana ada ferrit, pearlite, martensit dan bainit. Pada saat telah selesai perlakuan panas tempering dengan temperatur 500 °C ,600 °C dan 700 °C . keadaan struktur mikro Baja AISI 4140 mengalami perubahan, semakin tinggi temperatur tempering yang diberikan, maka ukuran butir semakin kecil dan lebih tersusun teratur.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis antara lain sebagai berikut:

1. Sebelum melakukan penelitian terhadap sifat mekanik dari material baja AISI 4140 alangkah lebih baik nya mengetahui karakteristiknya terlebih dahulu atau keunggulan dan kekurangan dari material
2. Sebelum melakukan penelitian harap memperhatikan standar standar yang digunakan dalam pengujian seperti ukuran spesimen dan alat uji yang digunakan agar mendapatkan hasil yang lebih valid
3. Selalu memperhatikan keamanan dalam bekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, R. (2014). Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pegas Daun Dalam Proses Hardening. *Jurnal Poros Teknik*, 88-95.
- Ardra.biz*. (2018, january 15). Retrieved from https://ardra.biz/topik/rumus-nilai-harga-impak/#google_vignette
- Bandanadjaja, B. (2016). Perlakuan Panas Material AISI 4340 Untuk Menghasilkan Dual Phase Steel Ferite. *ISBN 978-979-17047-6-2*, 16-19.
- Bilal, M. M. (2019). Effect of austempering conditions on the microstructure and mechanical properties of AISI 4340 and AISI 4140 steels. *journal of materials research and technology*, 5194-5200.
- Buku, A. (2020). Analisis Uji Keausan Dan Struktur Mikro Baja Carbon Rendah Melalui Proses Nitriding. *Journals Of Techno Enterpreneure Acta*, 93-99.
- Celik, S. (2009). Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels. *Materials and Design*, 970-976.
- Fendri, R., Darmawi, Syahrul, & Jasman. (2018). Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Akibat Perbedaan Temperatur Pada Perlakuan Panas Tempering. 37-47.
- Handoyo, Y. (2015). Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Buja JIS Grade S45C Temperatur Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Crank Shaft. *Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 3, No.2 Agustus 2015 Universitas Islam 45 Bekasi*, 102-115.
- Kirono, S. (2015). Analisa Pengaruh Temperatur Pada Proses Tempering Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Baja AISI 4340. *Jurusan Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 11-21.

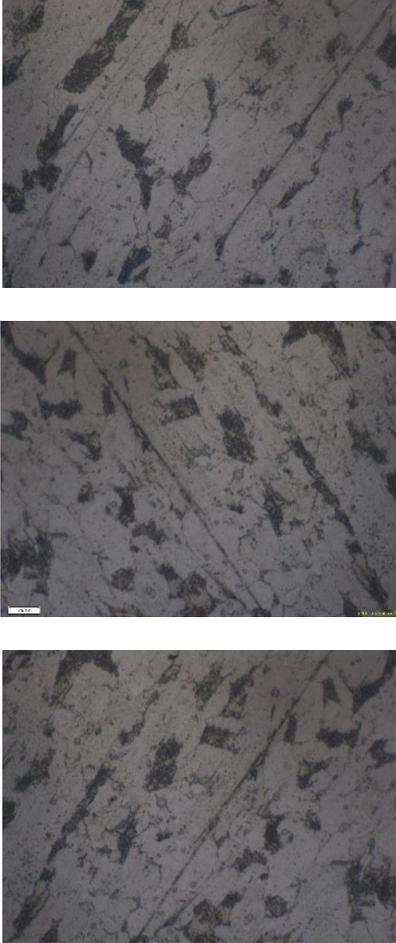
Kumar, D. (2017). Design Of Simple Charpy Impact Test For Steel Meterial Steel. *JMEMME*, 2-8.

Mahardika, S. (2020). Analisa Rekayasa Sifat Mekanik Baja AISI 4140 Dengan Variasi Suhu Tempering Untuk Meningkatkan Keuletan Dan Kekerasan Material. *Jurnal Mekanova*, 64-69.

Pramono, A. W. (2016). Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 4340. *Jurnal Power Plant*, 95-106.

Rusjidi, H. (2016). Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 4340. *Jurnal Power Plant*, 95-106.

LAMPIRAN

No.	Temperatur tempering	Hasil pemotretan mikroskop optik
1.	Temperatur ruang	
2.	Temperatur 500 °C	

		 
3.	Temperatur 600 °C	 

		
4.	Temperatur 700 °C	  