

**PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP
NILAI KETANGGUHAN DAN JENIS PATAHAN PADA BAJA
AISI 1045**

(Skipsi)

**Oleh :
ABBID PRIMARTIN**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP NILAI KETANGGUHAN DAN JENIS PATAHAN PADA BAJA AISI 1045

OLEH

ABBID PRIMARTIN

Penelitian pengaruh media pendingin *quenching* temperatur rendah terhadap nilai ketangguhan dan jenis patahan pada baja AISI 1045 bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis yakni meningkatkan nilai ketangguhan dan keuletan pada baja. Baja AISI 1045 dipanaskan pada temperatur 850°C ditahan selama 60 menit lalu di*quenching* dengan cepat sampai bertemperatur rendah. Media yang digunakan adalah air. Proses *tempering* ini dapat meningkatkan nilai ketangguhan. Nilai ketangguhan yang diperoleh pada temperatur 350°C yaitu sebesar 18 J. Kemudian pada temperatur 450°C meningkat yaitu sebesar 80 J, setelah itu meningkat kembali pada temperatur 550°C yaitu sebesar 121 J, nilai bertambah tinggi di temperatur *tempering* 650°C sebesar 136 J. Pada pengamatan jenis patahan menunjukkan bahwa semakin meningkatnya temperatur semakin ulet ini dapat terlihat dari hasil permukaan yang tidak rata dan berserat. Nilai impak dipengaruhi oleh variasi temperatur *tempering*. Ketika temperatur *tempering* dinaikkan maka nilai ketangguhan akan meningkat.

Kata kunci : Baja AISI 1045, *Quenching*, *Tempering*, dan Jenis Patahan.

ABSTRACT

THE EFFECT OF TEMPERING TEMPERATURE ON TOUGHNESS AND FAULT TYPES IN AISI 1045 STEEL

BY

ABBID PRIMARTIN

The study of the effect of low temperature quenching cooling media on the value of toughness and types of fractures in AISI 1045 steel aims to determine the mechanical properties of increasing the value of toughness and ductility in steel. AISI 1045 steel is heated at a temperature of 850°C held for 60 minutes and then quenched quickly to a low temperature. The medium used is water. This tempering process can increase the toughness value. The toughness value obtained at a temperature of 350°C is 18 J. Then at a temperature of 450°C it increases by 80 J, after that it increases again at a temperature of 550°C which is 121 J, the value increases higher at a tempering temperature of 650°C by 136 J. Observation of the type of fault shows that the higher the temperature the more ductile it can be seen from the results of the uneven and fibrous surface. Impact value is influenced by variations in tempering temperature. When the tempering temperature is increased, the toughness value will increase.

Keywords: AISI 1045 Steel, Quenching, Tempering, Types of Fractures.

**PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP
NILAI KETANGGUHAN DAN JENIS PATAHAN PADA BAJA
AISI 1045**

Oleh :

ABBID PRIMARTIN

(Skripsi)

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2021

Judul Skripsi : **PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING
TERHADAP NILAI KETANGGUHAN DAN JENIS
PATAHAN PADA BAJA AISI 1045**

Nama Mahasiswa : Abbid Primartin

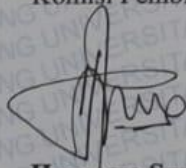
Nomor Pokok : 1415021002

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

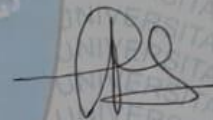
Komisi Pembimbing 1



Harnowo Supriadi, S.T., M.T.

NIP 196909091997031002

Komisi Pembimbing 2



Zulhanif, S.T., M.T.

NIP 197304022000031002

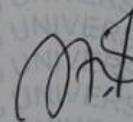
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.

NIP 197103311999031003

Kepala Program Studi
S1 Teknik Mesin



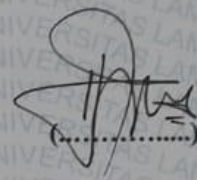
Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP 197011041997032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

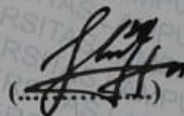
Ketua Penguji : Harnowo Supriadi, S.T., M.T.



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



Penguji Utama : Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 197509282001121002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Oktober 2021

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Abbid Primartin
NPM : 1415021002
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Universitas : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam Pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor No : 06 Tahun 2016.

Bandar Lampung, 13 Desember 2021

Yang Menyatakan,



Abbid Primartin
NPM. 1415021002

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Astra Ksetra, Kabupaten Tulang Bawang pada tanggal 13 Maret 1995. Yang merupakan anak dari pasangan Bpk. Sungkono dan Ibu Haryati yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak di TK PT Sweet Indolampung pada tahun 2001, menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD 02 Yapindo PT. Sweet Indolampung pada tahun 2008, menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Yapindo PT. Sweet Indolampung pada tahun 2011, menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah kejuruan di SMKN 2 Bandar Lampung pada tahun 2014, kemudian melanjutkan pendidikan sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung pada tahun 2014 melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung (HIMATEM UNILA). Pada bidang akademik, penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan, salah satu perusahaan BUMN pengolah batubara. Penulis juga menjadi asisten di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung. Selanjutnya pada tahun 2018 penulis menulis skripsi dengan judul “Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Nilai ketangguhan Dan Jenis Patahan Pada Baja AISI 1045” dengan bimbingan Bpk. Harnowo Supriadi, S.T., M.T. dan Bpk. Zulhanif, S.T., M.T.

Bandar Lampung, 13 Desember 2021

Abbid Primartin

MOTTO

“Kesuksesan memang sebuah tujuan, tapi bisa bermanfaat untuk sekitar adalah impian terbesar. Itulah kunci sukses dan definisi bahagia yang sesungguhnya.”

“Jangan mencoba untuk memperbaiki apa yang datang pada hidupmu, perbaikilah dirimu dalam melihat sesuatu yang datang, dan kamu akan baik-baik saja.”

“Lakukan yang terbaik, hingga kamu tak bisa menyalahkan diri sendiri atas semua yang terjadi. ”

Bismillahirrohmanirrohim

Kuniatkan karyaku ini karena :

Allah SWT

Aku persembahkan karyaku ini untuk :

Bapak Ir. Sungkono, Ibu Haryati Amd, Saudaraku Muhammad Yazid Ananto dan
Umniah Maulidya yang telah mendoakanku serta menyemangatiku sepanjang
waktu.

Dosenku Harnowo Supriadi, S.T., M.T. , Zulhanif, S.T., M.T. , Dr. Eng Shirley
Savetlana, S.T., M.Met. yang telah membimbing dan memberi semangat.

Sahabat dan teman-teman teknik mesin 2014.

Almamater tercinta :

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT karena berkat rahmat, hidayah dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Nilai Ketangguhan Dan Jenis Patahan Pada Baja AISI 1045”. Tujuan penulisan skripsi adalah untuk persyaratan menyelesaikan pendidikan strata 1 dan melatih mahasiswa berfikir secara kreatif, inovatif serta ilmiah dalam menulis sebuah karya ilmiah.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 13 Desember 2021

Penulis,

Abbid Primartin

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT karena berkat rahmat, hidayah dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Nilai Ketangguhan Dan Jenis Patahan Pada Baja AISI 1045”. Tujuan penulisan skripsi adalah untuk persyaratan menyelesaikan pendidikan strata 1 dan melatih mahasiswa berfikir secara kreatif, inovatif serta ilmiah dalam menulis sebuah karya ilmiah.

Penulis sangat berterima kasih dan memberikan penghargaan yang sedalam-dalamnya kepada seluruh pihak yang membantu penulis menyelesaikan penelitian dan skripsi ini. Penulis terutama ingin mengucapkan terima kasih dengan setulus hati kepada:

1. Kedua orang tuaku (Ayah dan Ibu) yang senantiasa memberikan doa, semangat dan motivasi kepada penulis agar dapat menyelesaikan pendidikan S1 di Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Bapak Dr Amrul, S.T., M.T. sebagai ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. dan Bapak Zulhanif, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan segala bantuan, pengetahuan, saran dan motivasi kepada penulis.
4. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met. sebagai dosen pembahas skripsi penulis, yang telah memberikan saran dan komentar agar penulis dapat menyelesaikan laporan dengan sebaik mungkin.
5. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik.
6. Teman-teman seperjuangan Anugra Ariawan, Ari Andila, Izqho Dhi Marta, Rizky Agus Maulana, Rofika Libiru, M. Daud Aria F., Eko Agus S. yang telah berbagi cerita dan pengalaman selama di masa perkuliahan.
7. Kepada Fenny Luissa yang menjadi pendamping utama dalam menyelesaikan pendidikan S1 ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan dalam penulisan dan penyusunannya, sehingga penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari para pembaca. Penulis sangat berharap agar laporan kerja praktik ini dapat memberi inspirasi dan bermanfaat bagi penulis, kalangan civitas akademik Unila, dan masyarakat yang membacanya

Bandar Lampung, 13 Desember 2021

Penulis,

Abbid Primartin

DAFTAR ISI

	HALAMAN
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	v
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	4
C. Batasan Masalah	4
D. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Baja Karbon	6
B. Baja AISI 1045	7
C. Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>)	9
D. Diagram <i>Time-Temperatur-Transformation</i> (TTT) dan <i>Continuous-Cooling-Transformation</i> (CCT)	12
E. <i>Hardening</i>	15
F. <i>Tempering</i>	22
G. Struktur Mikro	25
H. Ketangguhan Baja Karbon Paduan	27
I. Mekanisme Perpatahan Baja Karbon Paduan	30
III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat	33
B. Alat dan Bahan	34
C. Prosedur Penelitian	39
D. Alur Penelitian	43

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil 44

B. Pembahasan 55

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 67

B. Saran 68

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Diagram Fasa Fe_3C	11
Gambar 2. Diagram Fasa Pada Baja <i>Eutectoid</i>	12
Gambar 3. Diagram TTT (<i>Time Temperatur Transformation</i>)	14
Gambar 4. Diagram CCT (<i>Continous Cooling Transformation</i>)	15
Gambar 5. Gambar Mekanisme Pendinginan	17
Gambar 6. Grafik Lama Pemanasan Berdasarkan Ketebalan Benda Uji.....	19
Gambar 7. Grafik Pembentukan <i>Austenit</i> Sisa	21
Gambar 8. Proses <i>Quenching-Tempering</i>	24
Gambar 9. Spesimen Uji <i>Impact</i> Metode <i>Charpy</i>	29
Gambar 10. Spesimen Berdasarkan Metode <i>Izod</i>	29
Gambar 11. Baja AISI 1045.....	34
Gambar 12. Dimensi Spesimen Baja AISI 1045.....	35
Gambar 13. Gerinda Potong.....	35
Gambar 14. Tungku Pemanasan (<i>Furnance</i>)	36
Gambar 15. Air.....	37
Gambar 16. Universal <i>Impact Testing Machine</i>	37
Gambar 17. Amplas	38
Gambar 18. Mikroskop Optik	39
Gambar 19. Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 20. Struktu Makro RAW Material Perbesaran 50x	49
Gambar 21. Struktur Makro Perlakuan <i>Quenching</i> 850°C Perbesaran 50x	50
Gambar 22. Struktur Makro Perlakuan <i>Tempering</i> 350°C Perbesaran 50x	50
Gambar 23. Struktur Makro Perlakuan <i>Tempering</i> 450°C Perbesaran 50x	51

Gambar 24.	Struktur Makro Perlakuan <i>Tempering</i> 550°C Perbesaran 50x	51
Gambar 25.	Struktur Makro Perlakuan <i>Tempering</i> 650°C Perbesaran 50x	52
Gambar 26.	<u>Hasil Patahan Pengujian Impak Raw Material</u>	52
Gambar 27.	<u>Hasil Patahan Pengujian Impak <i>Quenching</i> Suhu 850°C</u>	53
Gambar 28.	<u>Hasil Patahan Pengujian Impak <i>Tempering</i> Suhu 350°C</u>	53
Gambar 29.	<u>Hasil Patahan Pengujian Impak <i>Tempering</i> Suhu 450°C</u>	54
Gambar 30.	<u>Hasil Patahan Pengujian Impak <i>Tempering</i> Suhu 550°C</u>	54
Gambar 31.	<u>Hasil Patahan Pengujian Impak <i>Tempering</i> Suhu 650°C</u>	55
Gambar 32.	<u>Diagram Energi Yang Diserap Proses <i>Quenching-Tempering</i></u>	56
Gambar 33.	<u>Diagram Harga Impak Pada Proses <i>Quenching-Tempering</i></u>	57
Gambar 34.	<u>Pengamatan Makro Raw Material</u>	59
Gambar 35.	<u>Pengamatan Makro <i>Quenching</i> 850°C</u>	60
Gambar 36.	<u>Pengamatan Makro <i>Tempering</i> 350°C</u>	61
Gambar 37.	<u>Pengamatan Makro <i>Tempering</i> 450°C</u>	62
Gambar 38.	<u>Pengamatan Makro <i>Tempering</i> 550°C</u>	62
Gambar 39.	<u>Pengamatan Makro <i>Tempering</i> 650°C</u>	63
Gambar 40.	<u>Hasil Patahan Pengujian Impak Raw, <i>Quenching, Tempering</i></u>	64
Gambar 41.	<u>Hasil Patahan Pengujian Impak 450°C, 550°C, 650°C</u>	65

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
Tabel 1.	Komposisi Kimia Baja AISI 1045.....	8
Tabel 2.	Sifat-Sifat Mekanis Baja Karbon AISI 1045.....	9
Tabel 3.	Rincian Jadwal Penelitian.....	33
Tabel 4.	Spesifikasi Mesin <i>Furnace</i>	36
Tabel 5.	Spesifikasi <i>Impact Testing Machine</i>	38
Tabel 6.	Data Pengujian Ketangguhan.....	42
Tabel 7.	Unsur Kandungan Baja AISI 1045.....	44
Tabel 8.	Nilai Katangguhan RAW Material Baja AISI 1045.....	45
Tabel 9.	Data <i>Quenching</i> Hasil Uji <i>Impact</i> Media Air.....	46
Tabel 10.	Data <i>Tempering</i> Temperatur 350°C Media Air.....	46
Tabel 11.	Data <i>Tempering</i> Temperatur 450°C Media Air.....	47
Tabel 12.	Data <i>Tempering</i> Temperatur 550°C Media Air.....	48
Tabel 13.	Data <i>Tempering</i> Temperatur 650°C Media Air.....	48

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di masa sekarang ini logam masih menjadi material yang banyak digunakan dalam pembuatan peralatan dan bahan baku kendaraan karena sifatnya yang kuat. Material baja karbon adalah salah satu dari jenis logam yang banyak digunakan dalam pembuatan berbagai peralatan, seperti roda gigi dan poros. Agar karakter material yang kita gunakan sesuai dengan karakter yang dibutuhkan maka sebaiknya perlakuan panas (*heat treatment*) dilakukan pada material tersebut. Tujuan dilakukannya perlakuan panas adalah agar karakter yang dibutuhkan dari material tersebut meningkat.

Proses yang dilakukan untuk meningkatkan ketangguhan material logam disebut dengan *heat treatment*. Proses ini diawali dengan memanaskan material tersebut hingga temperatur *austenit* lalu dilakukan proses pendinginan (*quench*) dengan cepat. Lalu dilakukan *tempering* dengan temperatur dibawah temperatur austenitnya guna menghilangkan tegangan sisa dalam baja tersebut yang timbul akibat proses *quenching*.

Dari banyaknya unsur karbon dalam material tersebut, baja karbon dibagi kedalam tiga klasifikasi yaitu baja karbon rendah (kandungan karbonnya 0,10-0,30%) biasanya berbentuk plat, *strip*, batang dan prifil. Baja karbon sedang (kandungan karbonnya 0,30-0,60%) biasanya diperuntukan untuk bahan baku membuat alat-alat, suku cadang kendaraan, roda gigi dan poros. Dan baja karbon tinggi (kandungan karbonnya 0,60-1,7%) biasanya digunakan sebagai pembuat palu, gergaji, dan mata pahat (Pramono, 2011).

Mustofa, Hanif (2020) dalam penelitian pengaruh *tempering* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045 yang di *quenching* dalam media pendingin tersirkulasi menyatakan bahwa variasi media yang paling baik yaitu media air garam karena menghasilkan nilai kekerasan baja dan menghasilkan *martensite* yang banyak. Struktur mikro yang terbentuk proses *quenching* adalah *martensite* lalu setelah proses *temper*, struktur mikro menjadi *temper martensite* serta struktur lain yang terbentuk adalah *austenite* sisa.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Perdana (2017) tentang pengaruh suhu dan waktu *tempering* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja 13Cr3Mo3Ni dengan variasi waktu *tempering* yang digunakan ialah 400 °C, 500 °C, 600 °C, 650 °C, dan 700 °C menyatakan bahwa kekerasan baja tahan karat 13Cr3Mo3Ni menurun dengan naiknya suhu *tempering*, kecuali pada suhu 500-650 °C terjadi peningkatan kekerasan akibat adanya *secondary hardening* dan karbida logam berukuran sub-mikron teramati sebagai penyebabnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Sagita, Dkk (2017) tentang analisa pengaruh lama waktu tahan *tempering* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik *Coulper* Baja AAR-M201 Grade E menyatakan bahwa uji tarik untuk mengetahui kekuatan maksimum, keuletan dan ketangguhan baja. Hasil pengujian *metalografi* pada *tempering* menghasilkan struktur mikro asikular *ferrit*, dan hasil sifat mekanik paling optimal didapat dari proses *hardening-tempering* pada lama waktu tahan 3 jam, menghasilkan nilai kekuatan tarik 870 MPa, kekuatan luluh 782 MPa, elongasi 14%, reduksi area 38%, kekerasan 264 BHN, kekuatan impak sebesar 35 *Joule*.

Pola patahan pada material pasca uji secara umum terbagi menjadi tiga yaitu patahan getas (*Granular/Kristalin*) yang ditandai dengan permukaan rata dan mengkilap, kedua patahan ulet yang ditandai dengan bentuk permukaan patahan berserat, dan yang terakhir patahan campuran yang memiliki ciri-ciri gabungan dari perpatahan getas dan perpatahan ulet dengan permukaan agak kusam dan sedikit berserat satu contoh dari perpatahan campuran adalah pada baja temper (Prawira, 2015).

Baja yang dipakai pada penelitian ini adalah baja karbon AISI 1045, Baja karbon AISI 1045 termasuk ke dalam baja karbon sedang. Baja karbon AISI 1045 mengandung $\pm 0,45\%$ karbon. Dengan jumlah karbon sebesar itu maka material tersebut termasuk kedalam jenis baja karbon sedang. Baja tersebut sering digunakan sebagai bahan pembuatan roda gigi dan poros kendaraan.

Oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian tentang “**Pengaruh Variasi Temperatur *Tempering* Terhadap Nilai Ketangguhan dan Jenis Patahan Pada Material Baja AISI 1045**” sebagai material yang diteliti.

B. Tujuan

Adapun tujuan dari dilaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh temperatur *Tempering* terhadap nilai ketangguhan dengan media pendingin air.
2. Mengetahui jenis patahan pada baja AISI 1045.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Metode perlakuan panas yang digunakan pada penelitian kali ini ialah metode pendinginan cepat (*Quenching*) dengan media pendingin air.
2. Material yang digunakan dalam proses pengujian kali ini ialah material baja karbon AISI 1045.
3. Temperatur *tempering* yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah 350 °C, 450 °C, 550 °C dan 650 °C.
4. Pengujian ketangguhan yang dilakukan menggunakan metode uji *impact charpy* dan melihat jenis patahan pada baja AISI 1045.

D. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada laporan ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang dari masalah yang dibahas, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan dari penelitian yang dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori-teori yang berhubungan dan mendukung pembahasan tentang masalah yang dipilih.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang metode-metode dalam melakukan pengumpulan informasi, tempat dan waktu penelitian dan menerangkan tentang alur penelitian serta bagaimana proses dari pengambilan data yang dilakukan.

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang data pengamatan yang diperoleh, dan pembahasan data dari proses pengujian.

V. PENUTUP

Berisikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan pembahasan serta saran yang dapat diberikan oleh penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan sumber sumber dari literatur yang dimuat dalam laporan penelitian.

LAMPIRAN

Berisikan data seperti foto-foto dan data yang mendukung laporan ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Baja Karbon

Baja merupakan logam paduan dengan unsur besi sebagai unsur utama dan unsur karbon sebagai unsur paduannya. Dalam baja kandungan karbon yang terdapat didalamnya berkisar antara 0,2 % sampai 2,1 %. Kandungan karbon dalam baja diatur berdasarkan tingkatannya dari baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi.

Fungsi unsur karbon itu sendiri ialah sebagai pengeras dan sebagai pencegah dislokasi terhadap kisi kristal dari atom besi yang terkandung dalam baja. Selain unsur karbon ada beberapa unsur lain yang ditambahkan pada baja, yaitu antara lain *manganene*, *chromium*, *vanadium* dan *tungsten* (Murtiono, 2012).

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

1. Baja karbon rendah adalah paduan besi karbon dan elemen karbon yang menentukan sifat material, tetapi elemen lain yang terkandung dalam baja terjadi selama produksi. Sifat baja karbon itu sendiri dipengaruhi oleh proporsi karbon yang terkandung dalam baja karbon dan struktur halus baja. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung 0,10 sampai 0,30% karbon. Baja karbon yang tersedia secara komersial ini dapat berupa pelat baja, baja strip, batang baja atau laba.
2. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,30 % sampai 0,60 %. Baja karbon sedang ini banyak digunakan pada peralatan mesin dan juga dapat digunakan untuk berbagai keperluan, antara lain: B. Untuk kendaraan industri, roda gigi, pegas, dll.
3. Kandungan karbon baja karbon tinggi (*high carbon steel*) adalah 0,60 % sampai 1,7 %. Baja ini memiliki tegangan tarik tertinggi dan sering digunakan sebagai material perkakas. Salah satu kegunaan baja ini adalah pembuatan kawat dan kabel baja. Karena baja mengandung karbon, baja karbon ini sering digunakan dalam pembuatan alat-alat seperti pegas, palu, gergaji dan pahat (Anggi, 2012).

B. Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah baja karbon dengan kandungan karbon sekitar 0,43-0,50 dan termasuk dalam kelompok baja karbon sedang. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai suku cadang mobil seperti bagian transmisi mobil. Komposisi kimia baja AISI 1045 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

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

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

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena telah memenuhi kode internasional yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (*Society of automotive engineer*). 10 pertama adalah kode yang menunjukkan karbon biasa kemudian kode xxx setelah nomor 10 menunjukkan komposisi karbon. Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau baja karbon biasa yang memiliki komposisi karbon 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Dalam aplikasi ini baja harus memiliki ketahanan aus yang baik karena sesuai fungsinya harus mampu menahan keausan akibat gesekan dengan rantai. Ketahanan abrasi didefinisikan sebagai ketahanan abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi karena gesekan. Secara umum ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan (Pramono A, 2011).

Baja AISI 1045 merupakan baja medium hard karena memiliki kandungan karbon sebesar 0,45%. Penggunaannya biasanya pada pembuatan bagian-bagian mesin yang dapat dilakukan dengan pengelasan gesek (Maulana D, 2017). AISI adalah singkatan dari (*American Institute For Steel And Iron*), dan ketika dibaca dari AISI 1045, angka 10 menunjukkan kandungan paduan baja dan angka 45 menunjukkan kandungan karbon.

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

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

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

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

C. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

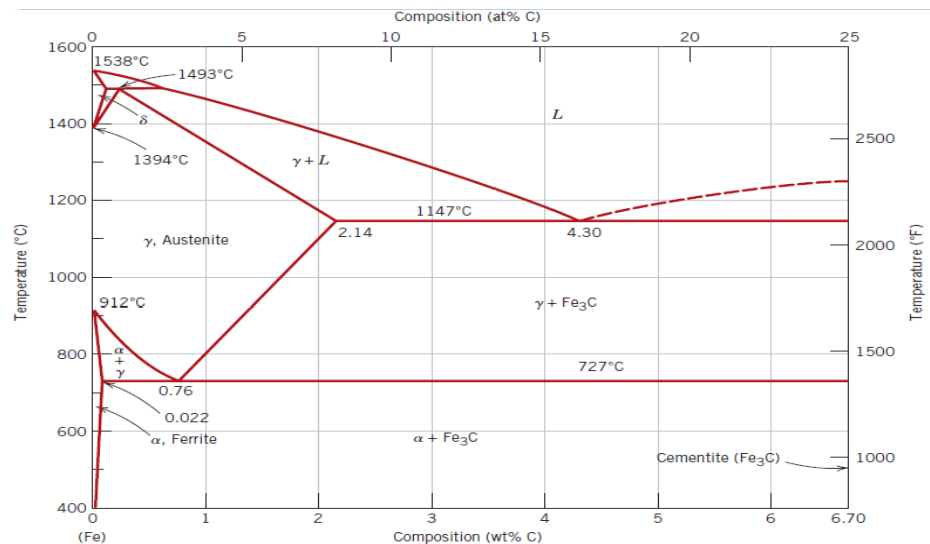
Perlakuan panas atau *Heat Treatment* adalah perlakuan yang diberikan pada material logam dengan cara meningkatkan temperatur logam pada suhu tertentu lalu dilakukan pendinginan dengan laju yang berbeda bertujuan untuk memperoleh sifat-sifat tertentu pada material. Proses perlakuan panas dilakukan dengan beberapa tahap yaitu dengan memanaskan material dalam tungku pemanas hingga suhu tertentu lalu ditahan beberapa saat setelah itu dilakukan pendinginan dengan media udara, air, air garam, oli, solar dan lain-lain yang memiliki kecepatan pendinginan yang berbeda. Perlakuan panas merupakan proses pemanasan dan pendinginan yang terkontrol untuk

menentukan sifat dari material yang diinginkan. Logam-logam yang dilakukan proses perlakuan panas bertujuan untuk melunakan, mengeraskan, atau mengubah karakteristik dari material yang dilakukan perlakuan panas. Secara umum proses perlakuan panas diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu mendekati kesetimbangan (*Near Equilibrium*) dan tidak seimbang (*Non Equilibrium*).

1. Mendekati kesetimbangan (*Near Equilibrium*) adalah proses perlakuan panas yang secara umum bertujuan untuk melunakan material, mengubah kristal material, memperhalus butir, menghilangkan tegangan dalam, serta meningkatkan mampu mesin (*Machineability*). Perlakuan panas yang termasuk kedalam klasifikasi *Near Equilibrium* antara lain *Full Annealing*, *Stress Relief Annealing*, *Process Annealing*, *Spreading*, dan *Homogenizing*.
2. Tidak seimbang (*Non Equilibrium*) adalah proses perlakuan panas yang memiliki tujuan secara umum untuk meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan material. Perlakuan panas yang termasuk dalam klasifikasi *Non Equilibrium* antara lain *Hardening*, *Martempering*, *Austempering*, *Surface Hardening*.

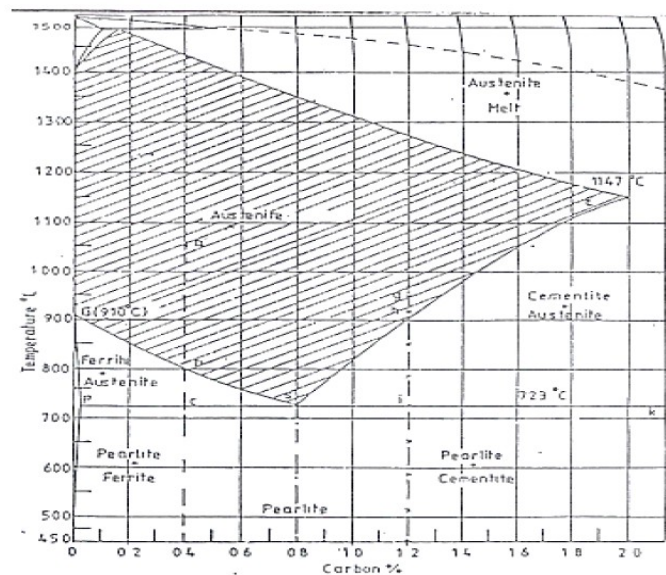
Pada proses perlakuan panas penentuan temperatur sangat penting karena pada proses pemanasan tersebut terjadi perubahan fasa dari material yang dipanaskan. Maka dari itu pentingnya menentukan temperatur pemanasan yang dilakukan. Untuk menentukan temperatur pemanasan yang tepat ialah dengan menggunakan diagram *Ferrite-Cementite* atau diagram Fe-Fe₃C. Pada

diagram tersebut menunjukkan hubungan antara kandungan karbon dalam material logam dengan temperatur pemanasan dan perubahan struktur mikro yang dialami material logam pada proses pemanasan. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Fe-Fe₃C

(Callister, 2007).



Gambar 2. Diagram Fasa Pada Baja *Eutectoid*

(Hassen, 1996).

Diagram tersebut dapat menunjukkan temperatur ideal yang diberikan berdasarkan kandungan karbon dari material logam. Pada diagram diatas dapat terlihat pada sumbu *horizontal* terdapat banyaknya kandungan karbon dalam suatu material, dalam sumbu vertikal terdapat temperatur pemanasan dan perubahan struktur mikro yang terjadi (*Callister*, 2007).

Dalam suatu baja karbon kandungan karbon di dalam material tersebut ialah sebagai penyetabil *austenit*. Besar karbon yang larut pada fasa *austenit* ialah sebesar 1,5 % pada suhu *austenit* sebesar 1140 °C sedangkan pada fasa feritnya mengalami kenaikan dari 0 % pada temperatur 910 °C dan berubah menuju 0,025 % pada temperatur 523 °C hingga 0,83 % kandungan karbon pada temperatur material 523 °C, titik tersebut biasa disebut dengan titik *eutectoid*. Titik *eutectoid* inilah yang digunakan sebagai batasan baja karbon berdasarkan kelas-kelasnya. Jika kandungan karbon dalam baja dibawah 0,83 % maka baja karbon tersebut termasuk dalam golongan baja *Hypo-Eutectoid*, dan jika kandungan karbon dalam baja tersebut diatas 0,83 % maka baja tersebut termasuk kedalam baja *Hyper-Eutectoid* (Firmansyah, 2014).

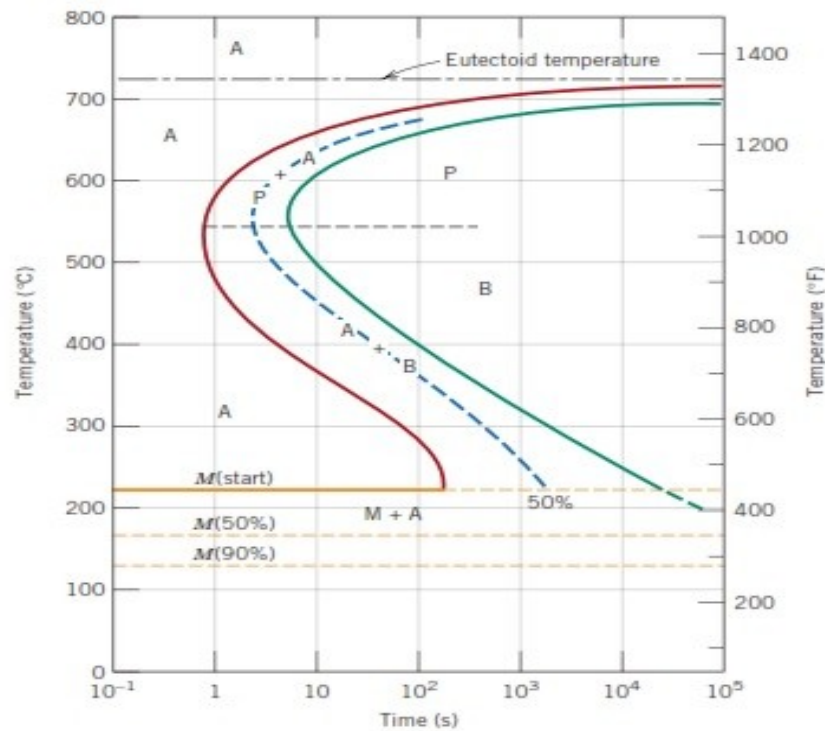
D. Diagram *Time-Temperatur-Transformation* (TTT) dan *Continuous-Cooling-Transformation* (CCT)

Maksud utama dari dilakukannya pemanasan pada material adalah untuk memperoleh struktur material yang sesuai dengan penggunaan material tersebut. Struktur yang didapat adalah transformasi dari struktur awal material yang dipanaskan. Sebagian transformasi dapat dilihat pada diagram

fasa. Diagram Fe_3C dapat digunakan untuk memperkirakan transformasi untuk kondisi yang seimbang. Untuk kondisi yang tidak seimbang diagram tersebut tidak dapat digunakan.

1. Diagram *Time Temperature Transformation*

Pada setiap kondisi transformasi fasa sebaiknya menggunakan diagram TTT (*Time Temperature Transformation*), pada diagram ini dapat terlihat transformasi *austenit* setiap satuan waktu pada temperatur tertentu. Dan juga dapat melihat sifat dan struktur dari material yang telah di *quench* pada diagram ini. Laju pendinginan yang memberi pengaruh pada transformasi *austenit* dapat diuraikan pada diagram ini pada baja tertentu. Diagram TTT adalah terlihat gabungan dari beberapa jenis struktur mikro yang didapatkan dari perlakuan panas yang dilakukan pada spesimen yang dipanaskan pada temperatur austenitnya kemudian di dinginkan secara cepat. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



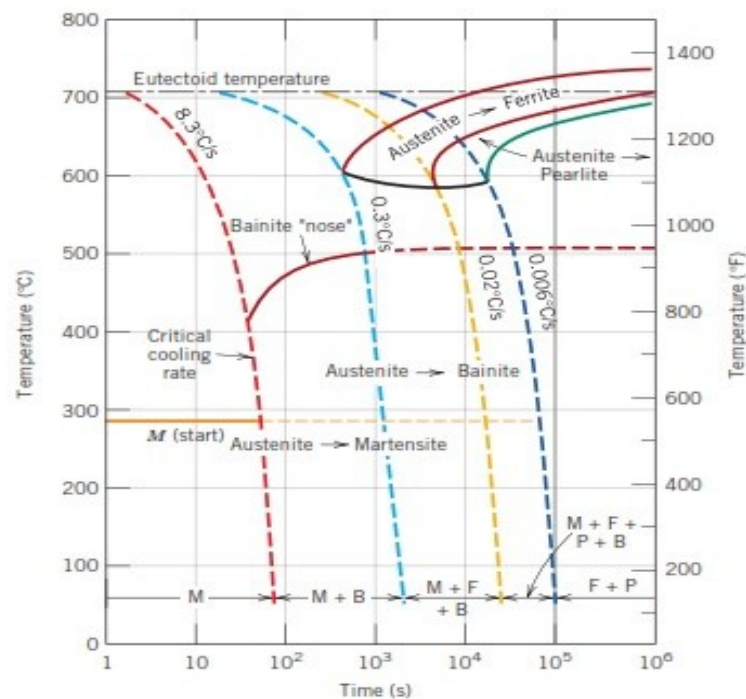
Gambar 3. Diagram *Time Temperature Transformation* (Vander, 1991).

Struktur yang terbentuk ditemperatur yang lebih tinggi maka akan menghasilkan struktur yang lebih besar atau lebih kasar. Struktur yang cenderung lebih kasar akan menghasilkan nilai kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan struktur yang lebih halus (Murtiono, 2012).

2. *Continuous Cooling Transformation*

Perlakuan panas bukanlah sesuatu yang praktis dilakukan namun harus dilakukan pendinginan menuju suhu ruangan. Biasanya pendinginan tersebut bersifat *continueu* sehingga diagram harus dimodifikasi sesuai dengan transformasi karena suhu terus berubah. Dengan demikian kurva isothermal bergeser menuju waktu yang lebih lama dengan suhu yang lebih rendah modifikasi kurva yang menunjukkan kondisi awal dan kondisi akhir

tersebut disebut diagram *Continuous Cooling Transformation* yang dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4. Diagram *Continuous Cooling Transformation*

(Callister, 2007).

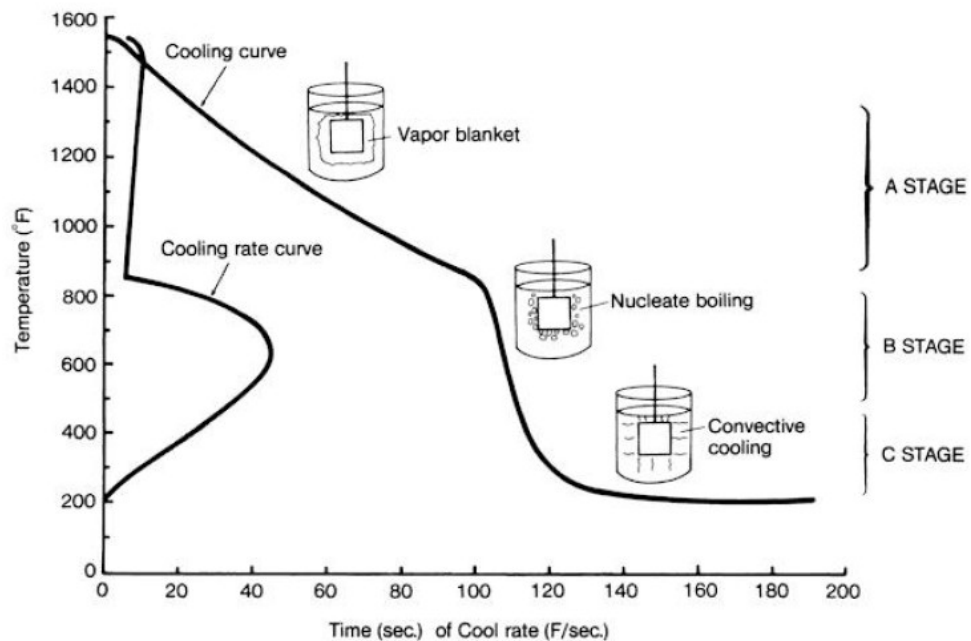
Pendinginan material dengan kecepatan yang tinggi ke suhu kamar akan menyebabkan terjadinya transformasi *austenit* menjadi *martensit* yang benar-benar terstruktur (Callister, 2007).

E. *Hardening*

Hardening adalah suatu proses yang dilakukan pada material agar menghasilkan material yang lebih keras. Proses ini diawali dengan memanaskan material hingga mencapai suhu *austenite* nya lalu menahannya hingga beberapa waktu hingga terjadi proses homogenisasi. Setelah itu

dilakukan proses pendinginan material dengan kecepatan yang tinggi atau dengan kata lain dilakukan *quenching* agar didapat kekerasan yang diinginkan (Thelning, 1984).

Quenching atau proses pendinginan cepat adalah proses dimana material dipanaskan hingga sampai pada fasa *austenit* dan menahan di suhu tersebut hingga beberapa saat dengan waktu yang cukup hingga menjadi struktur menjadi homogen, setelah itu dilakukan pendinginan cepat terhadap material dengan cara mencelupkan material pada media pendingin. Kecepatan pendingin inilah yang dapat menyebabkan kekuatan material meningkat sesuai dengan karakteristik yang diinginkan untuk mencapai kekerasan yang diinginkan. Laju pendinginan material dapat diketahui dari diagram pendinginan material. Pada diagram pendinginan material memperlihatkan besar panas yang dilepaskan dan waktu yang dibutuhkan. Pada tahap awal pendinginan, material awalnya tertutupi oleh selubung uap yang akan pecah ketika material mendingin. Perpindahan panas saat masih ada selubung uap ini sangat buruk yang mengakibatkan pendinginan material menjadi lambat. Setelah itu tahap pendinginan selanjutnya dinamakan titik didih *nukleat*, pada tahap ini material mengalami pendinginan yang sangat cepat karena material bersentuhan langsung dengan media pendingin. Pada tahap ini temperatur material masih sangat tinggi dan menyebabkan media pendingin mendidih dengan cepat. Tahap selanjutnya adalah pendinginan konveksi dan konduksi, dimana temperatur material sudah dibawah titik didih media pendingin dan terjadi perpindahan panas secara konveksi dan konduksi. Terlihat pada diagram mekanisme pendingin di bawah ini.



Gambar 5. Diagram Mekanisme Pendinginan

(Totten, 1995).

Dengan kata lain *quenching* merupakan proses yang dilakukan setelah proses *austenitizing* atau pembentukan *austenit*. Proses *quenching* ialah pendinginan pada suhu tinggi agar fasa *austenit* yang memiliki struktur FCC (*Face-Centered Cubic*) bertransformasi menjadi struktur *martensit* yang memiliki struktur BCT (*Body-Centered Tetragonal*). Atom karbon yang seharusnya dilepaskan keluar dari *austenit* terperangkap dan membentuk struktur baru yang bertegangan. Struktur bertegangan tersebut adalah *martensit* dan struktur *martensit* ini memiliki karakter yang sangat keras dan getas.

Tujuan dari dilakukan proses *hardening* adalah untuk meningkatkan nilai kekerasan serta meningkatkan ketahanan aus material. Proses pengerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, faktor-faktor tersebut antara lain :

1. Temperatur Pemanasan

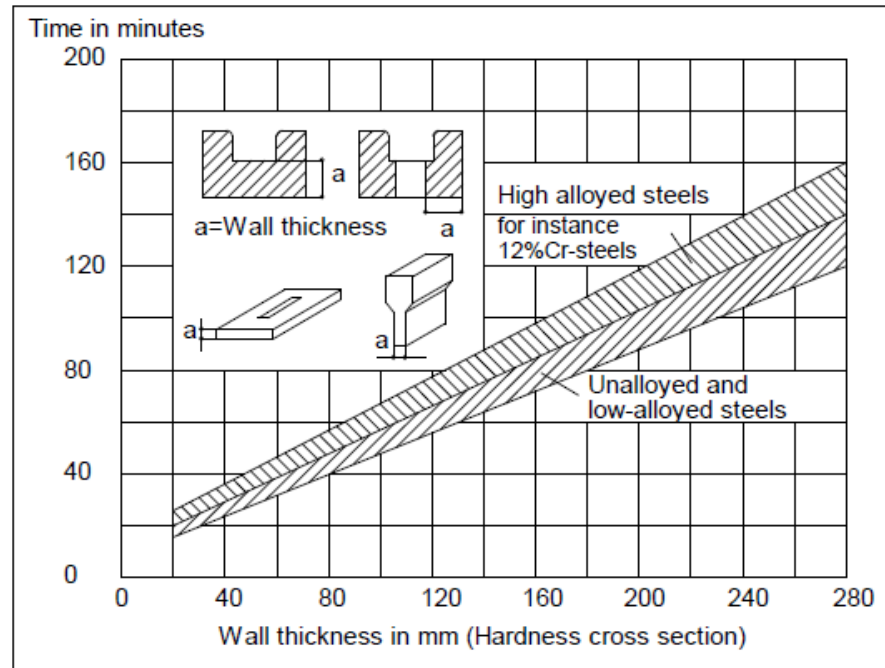
Temperatur pemanasan yang digunakan pada baja karbon biasanya dipengaruhi oleh besarnya karbon yang terkandung dalam material tersebut. Temperatur yang digunakan untuk baja *hypo-eutectoid* ialah sebesar 20 °C-50 °C diatas garis A_3 dalam diagram Fe_3C nya. *Quenching* pada temperatur ini dapat menghasilkan nilai kekerasan material yang maksimal.

2. Tahapan Pengerjaan Sebelum Proses *Quenching*

Sebelum dilakukan proses pengerasan material sebelumnya dibersihkan terlebih dahulu agar nilai kekerasan yang didapat maksimal. Untuk baja karbon dan baja paduan rendah dapat dilakukan langsung pemanasan, namun untuk spesimen yang memiliki ukuran yang besar dan memiliki kerumitan yang tinggi maka harus dilakukan pemanasan awal agar proses homogenisasi berjalan sempurna. Pemanasan awal yang diberikan bertujuan untuk menghindari distorsi dan retak pada material.

3. Lama Pemanasan

Untuk lama pemanasan material dapat digunakan tabel di bawah ini untuk baja perkakas yang telah mencapai titik austenisasi nya.



Gambar 6. Grafik Lama Pemanasan Berdasarkan Ketebalan Benda Uji
(Suratman, 1994).

Waktu pemanasan yang diperlukan oleh material dipengaruhi oleh jenis tungku yang digunakan dan elemen pemanasnya, biasanya dipilih waktu pemanasan yang rendah setelah proses homogenisasi berjalan sempurna untuk mencegah pertumbuhan butir. Untuk menentukan waktu penahanan yang sesuai dapat menggunakan bantuan grafik pada Gambar diatas (Suratman, 1994).

4. Media *Quenching*

Tujuan proses *hardening* adalah mendapatkan material yang memiliki struktur *martensit* yang keras, paling tidak dipermukaan baja tersebut. Tujuan tersebut dapat dicapai dengan menggunakan media *quenching* yang tepat sehingga dalam material tersebut tidak terbentuk unsur lain seperti *perlit* dan *bainit*. Media pendingin yang digunakan dalam proses

pendinginan cepat (*quenching*) bervariasi dan akan menghasilkan karakter material yang bervariasi. Semakin rendah temperatur media pendingin yang digunakan maka akan menghasilkan nilai kekerasan yang lebih baik pula (Fikri, 2013). Faktor yang mempengaruhi media pendingin adalah panas spesifik, konduktivitas termal, panas laten penguapan, dan viskositas media. Media yang digunakan dalam proses pendinginan antara lain:

a. Air

Pendinginan dengan media air menjamin efek pendinginan yang cepat. Untuk meningkatkan laju pendinginan, garam biasanya larut dalam air dan bahan menjadi lebih keras.

b. Minyak

Penggunaan minyak sebagai media pendingin menciptakan lapisan karbon pada lapisan terluar dari bahan olahan. Selain minyak khusus, minyak tanah dan minyak ringan terutama yang digunakan.

c. Udara

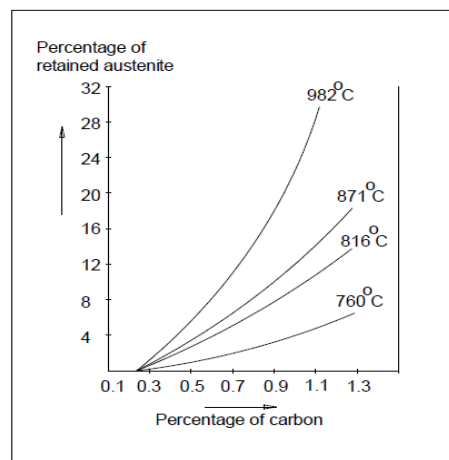
Pendinginan tidak boleh terlalu cepat dengan menggunakan sirkulasi udara. Udara bersirkulasi di ruang pendingin dengan kecepatan rendah. Udara sebagai media pendingin memungkinkan bahan tersebut membentuk kristal dan menggabungkan unsur-unsur lain di udara (Adhawiyah, 2014).

5. Pengaruh Unsur Paduan

Pada dasarnya baja terdiri dari unsur Fe dan C, namun ada beberapa unsur pendukung lainnya yang terdapat dalam baja yang berasal dari proses pembentukan material walaupun hanya sedikit. Unsur pendukung seperti *mangan*, *fosfor*, *belerang*, dan *silikon* yang senantiasa ada bukanlah pembentuk unsur karbida. Tetapi penambahan unsur paduan seperti *chromium*, *molibden*, *wolfram*, *vanadium* dapat membantu untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan. Unsur-unsur tersebut merupakan pembentuk unsur karbida yang kuat.

6. Pembentukan *Austenit* Sisa

Pada dasarnya, *austenit* berubah menjadi *martensit* ketika didinginkan dengan kecepatan tinggi. Namun, masih ada *austenit* yang belum terkonversi yang dikenal sebagai *austenit* tertahan. Seperti terlihat pada gambar berikut, *austenit* sisa yang terbentuk dipengaruhi oleh kandungan karbon bahan tersebut (Suratman, 1994).



Gambar 7. Grafik Pembentukan *Austenit* Sisa (Suratman, 1994).

F. *Tempering*

Baja yang dikeraskan rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. *Tempering* dapat mengurangi kekerasan dan kerapuhan tergantung pada aplikasinya. Proses *tempering* terdiri dari pemanasan ulang atau pendinginan baja yang telah dipanaskan atau dikeraskan hingga suhu di bawah suhu kritis. Proses ini menghasilkan baja struktural, yang berbeda dari proses anil karena sifat-sifatnya dapat dikontrol dengan hati-hati di sini. Karena sifat struktur *martensit* yang tidak stabil, *tempering* dimungkinkan (Haryadi D, 2006).

Struktur logam yang tidak stabil tidak sesuai dengan tujuan penggunaannya karena dapat rusak. *Tempering* mengurangi ketegangan dan keuletan, dan kekerasan cocok untuk digunakan. Temperatur *tempering* dan waktu tindak lanjut benda kerja tergantung pada jenis baja dan kekerasan yang dibutuhkan. Sebagai aturan, benda kerja ditempa sejauh keuletan maksimum dicapai dengan kekerasan yang cukup.

Tempering harus dilakukan segera setelah goncangan, karena ketegangan yang intens biasanya terjadi beberapa saat setelah goncangan. Jika benturan tidak memungkinkan *tempering* segera, merendam benda kerja dalam air mendidih selama beberapa jam dapat mengurangi risiko keretakan. *Tempering* pada suhu rendah antara 150 °C dan 230 °C tidak menyebabkan penurunan yang signifikan karena tegangan internal pertama kali dihilangkan dengan pemanasan. Temperatur pada suhu hingga 200 °C ini disebut penuaan buatan.

Baja yang diperlakukan dengan cara ini akan memiliki ukuran yang tetap untuk waktu yang lama pada suhu kamar.

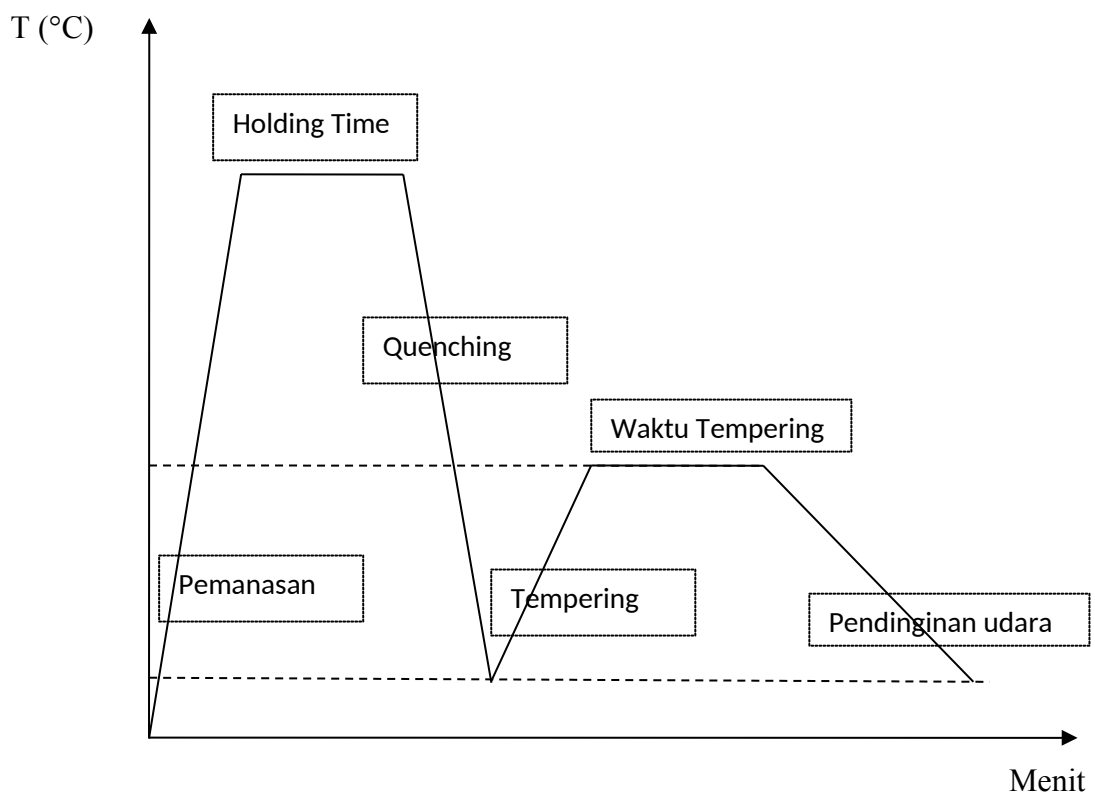
Temperatur *tempering* antara 200 °C dan 380 °C mengurangi kekerasan yang berlebihan dan meningkatkan keuletan sambil meminimalkan perubahan ukuran yang terjadi selama tumbukan. Temper pada suhu antara 550 °C dan 650 °C untuk meningkatkan kekerasan dengan menguraikan karbida. *Tempering* hanya dengan baja perkakas paduan tinggi. *Tempering* baja non paduan dilakukan pada temperatur temper yang tergantung pada karbon dan kekerasan yang diinginkan.

Proses *tempering* dipanaskan sampai temperatur tertentu (*critical temperature*) dan didinginkan secara perlahan. Pemanasan dilakukan pada suhu yang diperlukan, biasanya antara 200 °C dan 600 °C sesuai kebutuhan. Semakin tinggi suhu pemanasan, semakin rendah kekerasan dan semakin besar elastisitasnya. Difusi cepat antara 500 °C dan 600 °C, dan atom karbon berdifusi antara atom besi dapat membentuk *sementit*. Proses tempering dibedakan menurut tujuannya sebagai berikut:

1. *Tempering* pada suhu rendah (150 °C - 300 °C). *Tempering* biasanya digunakan hanya untuk mengurangi tegangan kerut dan kerapuhan baja seperti alat pemotong dan bor.
2. *Tempering* pada suhu menengah (300 °C - 550 °C). *Tempering* pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat kerja yang mengalami beban

berat, misalnya palu, pahat, dan pegas. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500 °C pada proses *tempering*.

3. *Tempering* pada suhu tinggi (550 °C - 650 °C). Temperatur suhu tinggi dimaksudkan untuk mencapai keuletan tinggi dan pada saat yang sama menjaga kekerasan cukup rendah, misalnya dalam hal roda gigi dan poros penggerak.



Gambar 8. Proses *Quenching - Tempering* (Haryadi D, 2006).

Proses temper adalah proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, duktilitas dan ketangguhan yang tinggi. Pada proses ini, material dipanaskan sampai temperatur *austenite* kemudian setelah itu dilakukan penahanan waktu pada temperatur tertentu dan dinginkan di udara terbuka. Proses ini

merupakan proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan karena sebelumnya telah dilakukan proses pengerasan baja (*hardening*).

Tujuannya dilakukan proses *tempering* yaitu mengembalikan keuletannya atau meningkatkan keuletannya tapi kekerasan dan kekuatannya menurun. Pada sebagian besar baja struktur, proses *tempering* dimaksudkan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, keuletan dan ketangguhan yang tinggi. Dengan demikian, proses *tempering* yang dilakukan setelah proses *hardening* akan menjadikan baja lebih bermanfaat karena adanya struktur yang lebih stabil.

G. Struktur Mikro

Struktur yang terdapat dalam suatu material dalam susunan yang sangat kecil adalah struktur mikro. Struktur mikro hanya dapat diketahui menggunakan bantuan mikroskop yang mampu melakukan pembesaran yang baik seperti mikroskop elektron, mikroskop ion, dan mikroskop sinar x.

Pengamatan struktur mikro diawali dengan cara memotong material uji yang akan kita amati. Selanjutnya material yang sudah dipotong diampelas hingga halus. Pengamplasan dilakukan berulang dari amplas yang kasar hingga halus. Arah pengamplasan harus berubah ubah setiap stepnya. Setelah halus permukaan material dipoles menggunakan *metal polish* hingga mengkilap, tidak ada goresan dan seperti kaca. Setelah itu dilakukan pengetsaan dengan cara mencelupkan material kedalam larutan etsa dengan posisi permukaan yang akan di *etsa* menghadap keatas.

Saat pencelupan akan terjadi reaksi pada permukaan benda uji oleh sebab itu larutan yang mengenai permukaan benda uji harus tersirkulasi, oleh sebab itu maka benda uji harus digerak-gerakkan. Kemudian benda uji dicuci hingga bersih lalu dikeringkan dan dilihat atau difoto menggunakan mikroskop. Pada pemeriksaan struktur mikro akan menghasilkan bentuk struktur, ukuran dan bagian struktur mikro yang berbeda. Struktur mikro yang terdapat dalam baja karbon bermacam macam antara lain besi *delta*, *austenit*, *ferrit*, *pearlit*, *ledeburit*, *sementit* dan lain-lain (Zainuri, 2011).

1. Besi Delta

Besi delta adalah fasa material yang terdapat pada temperatur 1400 °C sampai dengan temperatur 1539 °C. Besi delta memiliki struktur dengan sel satuan kubus pusat badan atau *Body Center Cubic* (BCC).

2. Austenit

Austenit atau disebut besi gamma memiliki sel satuan kubus permukaan atau *Face Center Cubic* (FCC). Pada FCC semua sumbu memiliki panjang yang sama dengan sudut antara sumbu 90 derajat. *Austenit* cenderung memiliki sifat yang lunak, oleh sebab itu *austenit* memiliki sifat yang ulet.

3. Ferit

Ferit memiliki sel satuan kubus pusat badan atau *Body Center Cubic* (BCC). Fasa ini terdapat jika material berada pada temperatur 910 °C. Jika dibandingkan dengan *sementit*, *ferit* memiliki sifat yang lebih lunak. *Ferit* memiliki sifat yang lunak dan ulet.

4. Perlit

Perlit adalah paduan dari *ferit* dan *sementit* yang memiliki lapisan yang halus. Struktur ini terbentuk pada temperatur 723 °C. Struktur ini memiliki karakteristik yang lebih kuat dan keras dibanding *ferit*, namun struktur ini kurang ulet. Jika pendinginan yang terjadi dari temperatur *austenit* sangat tinggi maka akan terjadi transformasi dari *austenit* menjadi *martensit* yang memiliki struktur *Body Center Tetragonal* (BCT).

5. Ledeburit

Struktur ini memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi yaitu 4,43% yaitu berupa campuran *eutektoid* dan *sementit*. Struktur ini memiliki nilai kekerasan yang tinggi namun struktur ini getas.

6. Sementit

Struktur ini adalah struktur yang memiliki kandungan karbon paling tinggi. Kandungan karbon pada *sementit* melebihi kandungan karbon pada *ledeburit*, kandungan karbon pada sementit sebesar 6,67%. Dengan jumlah karbon sebesar itu maka membuat sifat *sementit* sangat keras namun getas (Darmawi, 2009).

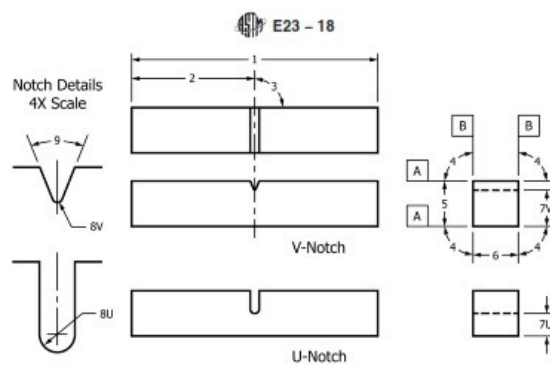
H. Ketangguhan Baja Karbon Paduan

Untuk menentukan sifat perpatahan dari suatu logam, keuletan maupun kegetasan, maka dapat dilakukan suatu pengujian yaitu uji impak. Pada umumnya pengujian impak menggunakan batang bertakik. Dengan pengujian ini dapat diketahui perbedaan pada sifat benda yang tidak teramati dalam pengujian tarik atau uji tarik. Prinsip pengujian impak ini adalah menghitung energi yang diberikan oleh beban (pendulum) dan menghitung energi yang

diserap oleh spesimen. Pada saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial maksimum, kemudian saat akan menumbuk spesimen energi kinetik mencapai maksimum. Energi kinetik maksimum tersebut akan diserap sebagian oleh spesimen hingga spesimen tersebut patah. Dengan menggunakan kepatahan getas logam telah menggunakan berbagai variasi atau bentuk pada benda dengan pengujian ini yaitu impak bertakik. Secara umum spesimen uji dikelompokkan ke dalam dua golongan. Pada pengelompokan kedua golongan dikenal ada dua metoda percobaan impak, yaitu:

1. Metode *Charpy*

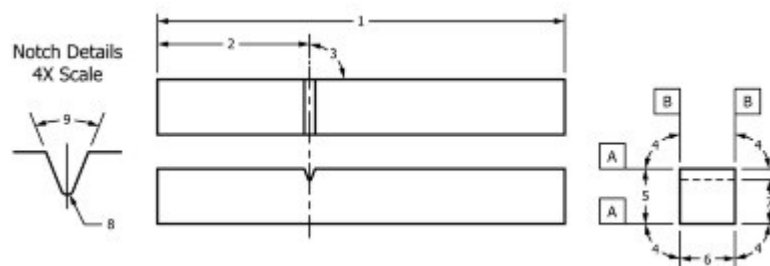
Pada benda uji *charpy* mempunyai luas penampang lintang bujur sangkar (10 mm x 10 mm) dan mengandung takik sebesar V-45°, jari-jari dasar adalah 2,5 milimeter (mm) dan kedalam sebesar 2 milimeter (mm). Pada benda uji diletakan pada tumpuan dalam posisi yang mendatar (*horizontal*) dan bagian yang tak bertakik diberikan beban impak dengan mengayunkan bandul (dengan kecepatan impak sekitar 16 *ft/second*). Benda uji akan melengkung atau mengalami patah pada laju renggangan yang cukup tinggi, dengan kisaran rata-rata adalah 10^3 *second*.



Gambar 9. Spesimen Uji *Impact* Metode *Charpy*
(ASTM Handbook, 2019).

2. Metode Izod

Metode *izod* adalah metoda dengan pengujian tumbuk yang meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan. Benda uji *izod* mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lengkaran dan bertakik V di dekat dengan ujung yang dijepitkan dengan standar pengujian ASTM E23.



Gambar 10. Spesimen Berdasarkan Metode *Izod*
(ASTM Handbook, 2019).

Dalam upaya yang dibutuhkan pendulum waktu menghantam spesimen atau energi yang diserap oleh spesimen sampai mengalami patah, maka didapatkan persamaan yaitu:

$$A = a \cdot b \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

A = Luas penampang (mm^2)

a = Lebar spesimen (mm)

b = Tinggi spesimen dibawah takik (mm)

Setelah mendapatkan persamaan luas penampang dan nilai energi impak melalui pengujian, kemudian mencari nilai harga impak dengan persamaan berikut ini.

$$HI = \frac{E}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

HI = Harga Impak (joule/mm^2)

E = Energi Impak (joule)

A = Luas Penampang (mm^2)

I. Mekanisme Perpatahan Baja Karbon Paduan

Ketika telah melakukan pengujian impak, maka terjadinya perpatahan pada spesimen uji biasanya terjadi berbagai perpatahan, yaitu:

1. Perpatahan Getas (*Granular/Kristalin*)

Patah getas adalah patah yang terjadi pada benda uji getas dengan permukaan rata dan mengkilat. Benda uji dapat dipasang kembali, retakannya tidak berubah bentuk, dan nilai benturannya rendah. Contoh patah getas ditemukan pada besi tuang.

2. Perpatahan Liat (Berserat)

Perpatahan liat adalah perpatahan yang terjadi pada spesimen yang lunak, pada spesimen memiliki bentuk permukaan yang tidak rata, buram dan berserat, pasangan pada patahan spesimen tidak dapat dipasangkan lagi, terdapat deformasi pada keretakan, nilai pukulan takik tinggi. Contoh dari perpatahan liat adalah pada baja lunak dan tembaga.

3. Perpatahan Campuran

Patah campuran adalah patahan yang terjadi pada bahan padat tetapi ulet. Sesar campur memiliki sifat gabungan antara patah getas dan patahan lempung dengan permukaan sedikit matte dan sedikit berserat. Spesimen masih bisa dilampirkan. Contoh patahan campuran adalah baja bertulang.

Hal lain yang dapat diperoleh dari pengujian impak adalah suhu transisi material. Suhu transisi adalah suhu yang menunjukkan transisi ke perubahan mode fraktur suatu material ketika diuji pada suhu yang berbeda. Pengujian pada berbagai suhu telah menunjukkan bahwa pada energi yang relatif rendah dan suhu tinggi, gerakan dislokasi lebih dapat dideformasi, membuat sampel lebih rapuh dan lebih rapuh. Hal ini terkait dengan getaran atom, dan getaran atom menjadi penghalang gerakan dislokasi selama dampak eksternal dan deformasi tumbukan, dan semakin besar getaran, semakin sulit gerakan dislokasi, sehingga lebih banyak energi yang dibutuhkan. Akan.

Hancurkan benda uji. Sebaliknya, pada suhu di bawah 0 derajat *Celcius*, getaran atom relatif kecil, sehingga dislokasi cenderung bergerak ketika material mengalami deformasi, membuat benda uji rapuh dengan energi yang relatif rendah (Saputra, 2020).

Selain nilai kekuatan impak yang ditampilkan oleh spesimen, ketangguhan material dapat diukur dengan memperkirakan persentase fraktur serat dan Kristal yang dihasilkan oleh sampel pada suhu tertentu. Semakin tinggi tingkat kerusakan serat, semakin dapat diandalkan evaluasi material. Metode ini digunakan untuk pemeriksaan langsung permukaan padat dan dapat dilakukan dengan mengamati permukaan patahan untuk diuji dengan mikroskop *elektron* pemindaian (SEM), yang merupakan mikroskop *elektron* yang lebih unggul daripada mikroskop optik.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Adapun waktu dan tempat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Waktu

Waktu dilaksanakannya penelitian ini adalah bulan November 2020 hingga Maret 2021. Dengan rincian jadwal penelitian seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Rincian Jadwal Penelitian.

No	Kegiatan	Bulan				
		November	Desember	Januari	Febuari	Maret
1	Studi literatur					
2	Persiapan penelitian					
3	Pelaksanaan penelitian					
4	Analisa data penelitian					
5	Pembuatan laporan					

2. Tempat

Tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah di Laboratorium Terpadu Teknik Mesin Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah seperti dibawah ini:

1. Baja AISI 1045



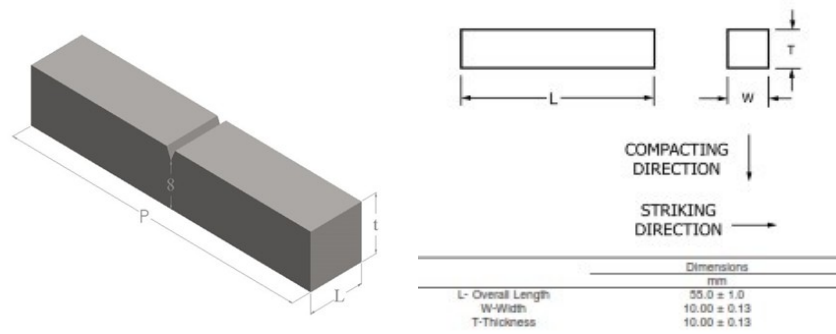
Gambar 11. Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah baja yang digunakan untuk bahan penelitian yang dilakukan, baja AISI 1045 termasuk kedalam baja karbon sedang. Adapun dimensi dari spesimen yang digunakan penelitian adalah sebagai berikut:

Panjang = 55 mm

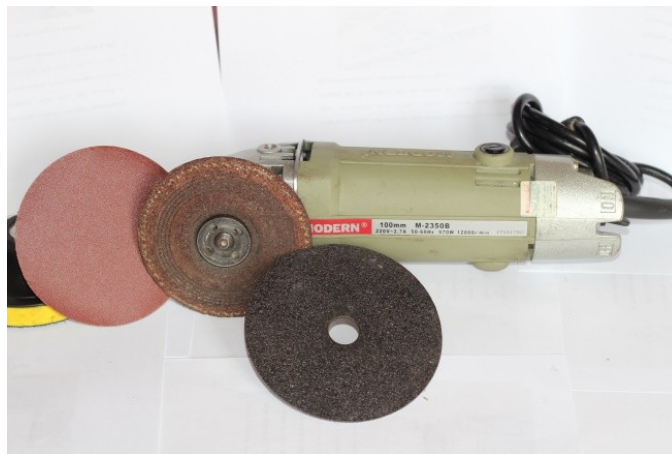
Lebar = 10 mm

Tebal = 10 mm



Gambar 12. Dimensi Spesimen Baja AISI 1045
(ASTM Handbook, 2019).

2. Gerinda Potong



Gambar 13. Gerinda Potong

Gerinda potong digunakan sebagai alat pemotong spesimen agar dimensinya sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan pada saat pengujian.

3. Tungku Pemanas (*Furnace*)



Gambar 14. Tungku Pemanas (*Furnace*)

Tabel 4. Spesifikasi mesin *Furnace*

Model	L64/14
Tahun	2000
Frekuensi	50 Hz
Temperatur	Max 1400°C
Daya	13,0 kW
Arus	16/16/28 A

(Sumber: Laboratorium Material Teknik Mesin).

Tungku pemanas (*furnace*) adalah alat yang digunakan untuk memanaskan baja AISI 1045 hingga ke temperatur austenitnya. Yaitu memanaskan spesimen sampai 850°C dengan waktu penahanan 60 menit dengan tujuan mendapatkan struktur mikro yang homogen.

4. Air



Gambar 15. Air

Air digunakan sebagai variasi dari media *quenching*. Volume air yang digunakan pada penelitian ini ada lah sebesar 8 Liter. Dengan suhu ruang yang digunakan sebagai media pendingin setelah dilakukan proses pemanasan dalam *Furnance*.

5. *Universal Impact Testing Machine*



Gambar 16. *Universal Impact Testing Machine*

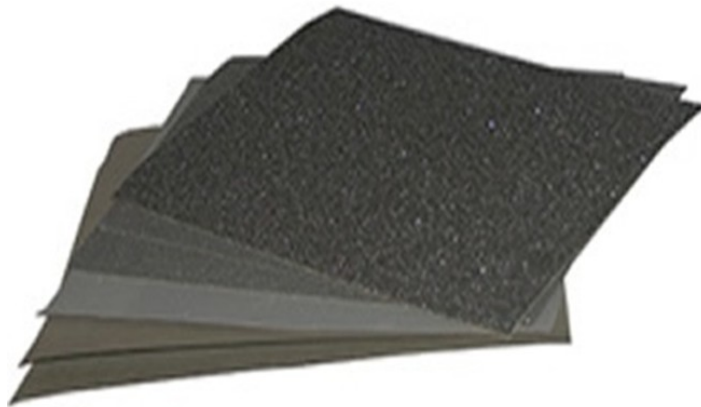
Impact Testing Machine adalah alat pengujian yang digunakan. Pada pengujian impak ini dilakukan dengan metode *charpy* yang mana dengan membuat takikan persis di tengah spesimen.

Tabel 5. Spesifikasi *Impact Testing Machine*

Model	RMU Testing Equipment
Pendulum energy	300 J Charpy - Div. 1 J 150 J Charpy - Div.0.5 J 165 J Izod – Div 2.5 J
Rising angle	160°
Round angle radius of striking edge	R=2mm
Specimen	
	conform to ISO180

(Sumber: Laboratorium Material Teknik Mesin).

6. Amplas



Gambar 17. Amplas

Amplas adalah alat yang digunakan untuk membersihkan material dari kerak yang menempel di permukaan material setelah proses pemanasan pada *furnace*.

7. Mikroskop Optik



Gambar 18. Mikroskop Optik

Mikroskop optik adalah alat yang digunakan untuk melihat pola perpatahan material sesudah dilakukan pengujian impak dengan skala makro perbesaran 50x.

C. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dalam penelitian ini terbagi menjadi 5 tahap yaitu tahap persiapan spesimen atau benda uji, tahap perlakuan panas, tahap pengujian, serta tahap pengambilan data.

1. Persiapan Bahan Uji yaitu Baja AISI 1045

Persiapan bahan uji adalah dengan melakukan penyesuaian dimensi baja AISI 1045 dari bentuk plat ke bentuk yang sesuai. Dengan cara dilakukan pemotongan dengan menggunakan gerinda potong sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan, yaitu panjang 55 mm, lebar 10 mm dan dengan tebal 10 mm.

2. Perlakuan Panas

Perlakuan panas (*Quenching*) yang dilakukan pada baja AISI 1045 dilakukan dengan beberapa tahap yaitu sebagai berikut:

- a. Baja AISI 1045 yang telah sesuai dimensi dimasukan kedalam tungku pemanas untuk dipanaskan ke temperatur austenitnya. Untuk baja AISI 1045 jika dilihat dari diagram fasa Fe_3C adalah sebesar $850^{\circ}C$.
- b. Setelah temperatur baja AISI 1045 telah mencapai temperatur austenitnya dilakukan penahanan selama 60 menit pada temperatur tersebut agar terjadi keseragaman fasa.
- c. Kemudian bahan uji dilakukan pendinginan ke temperatur ruang dengan kecepatan yang tinggi dengan cara mencelupkan pada media air bertemperatur rendah.
- d. Setelah bahan uji bertemperatur ruangan, bahan uji kemudian dikeringkan dan dilakukan pengamplasan untuk membersihkannya.

3. Perlakuan *Tempering* Terhadap Spesimen Baja AISI 1045

Adapun proses *tempering* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Dilakukan pada temperatur temper $350^{\circ}C$, $450^{\circ}C$, $550^{\circ}C$, dan $650^{\circ}C$ dengan holding time 60 menit.
- b. Kemudian setelah material dingin baja AISI 1045 di lakukan proses penghalusan permukaan dengan cara diamplas dengan menggunakan amplas.

4. Pengujian impak

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan pada baja AISI 1045 yaitu pengujian ketangguhan dan mengetahui jenis patahan. Tahapan kedua pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

a. Pengujian impak dengan menggunakan metode *charpy* dengan *universal impact tester*. Adapun tahapan dari pengujian impak ini adalah:

- 1) Melakukan kalibrasi pada alat pengujian impak untuk meminimalisir kesalahan perhitungan.
- 2) Meletakkan spesimen pada meja uji.
- 3) Mengangkat pendulum pada mesin uji impak.
- 4) Melepaskan tuas pada mesin uji impak.
- 5) Melakukan pengereman setelah pendulum mencapai ketinggian maksimum.
- 6) Menentukan jenis perpatahan yang terjadi.
- 7) Melakukan analisis pada perpatahan.
- 8) Menghitung energi impak yang terjadi.

b. Pengamatan Jenis Patahan

Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui jenis patahan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian impak.

5. Pengambilan Data

Pengambilan data yang didapat dalam proses pengujian yang dilakukan pada baja AISI 1045 adalah sebagai berikut:

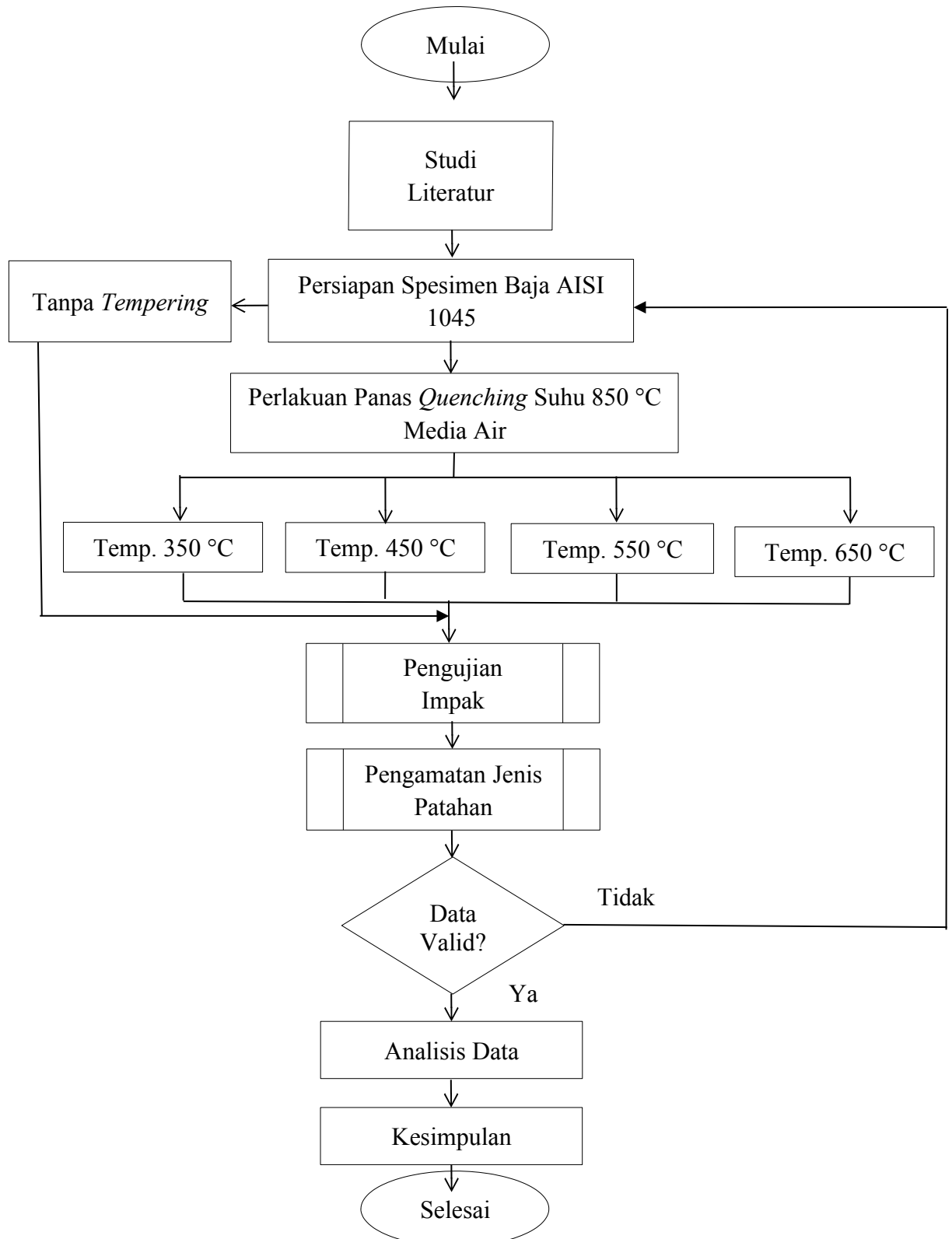
Pada pengujian ketangguhan data yang didapat ditulis dalam tabel seperti dibawah ini:

Tabel 6. Data Pengujian Ketangguhan

Perlakuan	Spesimen	Luas A (mm ²)	Energi E (Joule)	Harga Impak (J/mm ²)	Rata- rata	Standar Deviasi
RAW	RM 1					
	RM 2					
	RM 3					
<i>Quenching</i>	1					
	2					
	3					
T350°C	1					
	2					
	3					
T450°C	1					
	2					
	3					
T550°C	1					
	2					
	3					
T650°C	1					
	2					
	3					

D. Alur Penelitian

Adapun alur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 19. Diagram Alur Penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian pengaruh temperatur *tempering* pada baja AISI 1045 terhadap nilai ketangguhan dan jenis patahan adalah sebagai berikut:

1. Proses perlakuan panas *tempering* yang telah dilakukan terhadap baja karbon sedang dapat meningkatkan keuletan baja tersebut.
2. Spesimen *tempering* temperatur 650°C dengan penahanan waktu 60 menit memiliki harga impak yang paling besar, yaitu memperoleh nilai rata-rata 136 J dengan harga impak 1.454 J/mm² dan standar deviasi 0.18. Karena pendinginan lambat, maka patahan yang dihasilkan yaitu patahan ulet/liat.
3. Temperatur *tempering* mempengaruhi nilai energi impak. Dimana ketika temperatur *tempering* dinaikan maka nilai ketangguhan spesimen meningkat.
4. Ciri patah ulet tampak lebih buram maka perpatahannya tampak berwarna keabu-abuan dan seperti berserabut atau dinamakan *fibrous fracture*.

5. Pengamatan jenis patahan menggunakan OEM (*Optikal Elektron Mikroskop*) pada proses *quenching* menggunakan media air temperatur rendah menghasilkan struktur *martensit* yang lebih halus dan merata dibandingkan dengan struktur *martensit* pada proses *tempering* menghasilkan sedikit *martensit* yang kasar. Menunjukan bahwa semakin tinggi temperatur *tempering* maka jenis patahan yang terjadi semakin ulet.

B. Saran

Untuk mendukung penelitian selanjutnya, maka penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Saat proses pemotongan spesimen sebaiknya dilakukan dengan lebih hati-hati agar dimensi spesimen sesuai dengan standar ASTM E-23.
2. Pada proses pengangkatan material dari dapur *furnace* untuk proses *quenching* sebaiknya dilakukan secara bersamaan agar semua spesimen mendapatkan hasil yang sama.
3. Pemanasan spesimen dalam dapur *furnace* harus memperhatikan jarak antar spesimen satu dengan yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhawiyah, Rabiatul, Murdjani dan Ahmad Hendrawan. 2014. “*Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pegas Daun dalam Proses Hardening*” Jurnal Poros Teknik. Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banjarmasin.
- Akmad, H.W. 2009. *Buku Paduan Karakteristik Material 1 Pengujian Merusak. Departemen Metalurgi dan Material*. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Jakarta
- ASTM Standart Handbook. 2019. USA: ASM International.
- Callister, William D. 2007. *Material and Science Engineerin, An Introduction Seveth Edition*. New Jersey; John Wiley and Sons, Inc.
- Darmawi, Bayin, dan Indra Putra Amin. 2009. *Perbedaan Struktur Mikro, Kekerasan, dan Ketangguhan Baja HQ 705 Bila Diquench dan Ditemper Pada Media Es, Air, dan Oli*.
- Fikri, Ahmad. 2013. *Pengaruh media pendingin untuk quenching terhadap kekerasan baja ST42 dan ST60*. Fakultas Teknik [Skripsi]. Malang (ID): Universitas Negeri Malang.
- Firmansyah, Awang Anas. 2014. “*Analisa Struktur Mikro dan Kekerasan Baja S45C Pada Proses Quench-Temper Dengan Media Pendingin Air*” Jurnal Teknik Mesin. Vol.03 No.01. Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- Haryadi, G. D. 2006. *Pengaruh suhu tempering terhadap kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja K-460*. ROTASI.
- Hassen, Peter. 1996. *Physical Metallurgy*, Cambridge; Cambridge University.
- Jalil, S. A., Zulkifli, Z., & Rahayu, T. 2017. *Analisa kekuatan impak pada penyambungan pengelasan smaw material ASSAB 705 dengan variasi arus pengelasan*. Jurnal Polimesin.
- Matweb, <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID>.(diakses tanggal 31 agustus 2020)

- Murtiono, Arif. 2012. “Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit” *Jurnal E-Dinamis*: Vol II No 2. Departemen Teknik Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Mustofa, H. 2020. *Pengaruh temperatur tempering terhadap kekerasan dan struktur mikro baja aisi 1045 yang diquenching dalam media pendingin tersirkulasi*.
- Maulana, Deni. 2017. *Karakterisasi Pengelasan Dissimilar Baja AISI 1045 Dan AISI 4140 Dengan Metode Friction Welding*. Universitas Jember.
- Nugraheni, Novi Tri. 2015. “Uji Kekerasan dengan Metode Rockwell” *Jurnal Fisika Eksperimental Lanjut*. Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga Surabaya.
- Perdana, H., Anwar, M. S., Juniarsih, A., & Mabururi, E. 2017. *Pengaruh Suhu dan Waktu Tempering Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Laju Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni [The Influence of Time and Temperature Tempering on Hardness, Microstructure and Corrosion Rate of 13Cr3Mo3Ni Stainless Steel]*. Metalurgi.
- Pramono, A. 2011. *Karakteristik struktur mikro hasil proses hardening baja aisi 1045 media quenching untuk aplikasi sprocket rantai*. *Teknika: jurnal sains dan teknologi*.
- Prawira, M. Z., & Sisworo, S. J. 2015. *Pengaruh Perbedaan Suhu Terhadap Kekuatan Impact Alumunium 5083 Hasil Pengelasan Tungsten Inert Gas*. *Jurnal Teknik Perkapalan*.
- Sagita, R. N., Rochiem, R., & Wibisono, A. T. 2017. *Analisa Pengaruh Lama Waktu Tahan Tempering pada Perlakuan Panas Terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Coupler Baja AAR-M201 Grade E*. *Jurnal Teknik ITS*.
- Saputra, R. R., & Darmawan, A. S. 2020. *Analisa Permukaan Patahan Spesimen Uji Impak Besi Cor Nodular Dengan Variasi Kandungan Magnesium 0*,
- Suratman, Rachim. 1994. *Panduan Proses Perlakuan Panas*. Bandung; Lembaga Penelitian ITB.
- Thelning, K.E. 1984. *Steel and It's Heat Treatment*, 2nd edition. London; Butterwords.
- Totten, G.E., C.E. Bates dan N.A. Clinton. 1995. *Handbook of Quenchants and Quenching Technology*. United States of America: ASM International.

Vander, Fort G. 1991. *Atlas of Time-Temperature Diagram for Iron and Steels*. ASM International. Material Park. OH.

Yunus, M. 2016. *Pengaruh Perlakuan Quenching-Tempering Terhadap Kekuatan Impak Pada Baja Karbon Sedang*. *JURNAL TEKNIK MESIN*.

Zainuri, Achmad, Dwi Setyawan Paryanto dan Prayuda Atman. 2011. “*Analisa Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1018 Akibat Proses Pack Karburizing dengan Variasi Serbuk Cangkang Keong Emas*” *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*. Vol. 1 No.1. Universitas Mataram.