

**PENGARUH TEMPERATUR DAN *HOLDING TIME*
AUSTEMPERING BAJA AISI 1045 TERHADAP
KEKERASAN, KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR
MIKRO**

SKRIPSI



**Oleh
ABDULLAH AZZAM ASSYAMSI
NIM: 116210061**

**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL DAN ENERGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2026**

**PENGARUH TEMPERATUR DAN *HOLDING TIME*
AUSTEMPERING BAJA AISI 1045 TERHADAP
KEKERASAN, KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR
MIKRO**

SKRIPSI

**Oleh
ABDULLAH AZZAM ASSYAMSI
NIM: 116210061**

**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL DAN ENERGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH TEMPERATUR DAN *HOLDING TIME* AUSTEMPERING BAJA AISI 1045 TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan
Nasional “Veteran” Yogyakarta

oleh

ABDULLAH AZZAM ASSYAMSI

NIM: 116210061

Menyetujui

Yogyakarta, 26 Mei 2026

Dosen Pembimbing



Ir. M. Syukron, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 19810124 202012 1001

Koordinator Program Studi Sarjana/Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Ir. M. Syukron, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 19810124 202012 1001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : ABDULLAH AZZAM ASSYAMSI

NIM : 116210061

menyatakan bahwa judul dan keseluruhan isi dari skripsi ini adalah asli karya ilmiah saya. Selama penyusunan karya ilmiah ini, saya selalu berkonsultasi dengan dosen pembimbing hingga menyelesaikan karya ilmiah ini dan tidak melakukan penjiplakan (plagiasi) terhadap karya ilmiah orang atau pihak lain baik karya lisan maupun tulisan, baik secara sengaja maupun tidak sengaja.

Apabila kemudian hari terbukti bahwa skripsi saya mengandung unsur penjiplakan (plagiasi) dari karya orang atau pihak lain, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab dosen pembimbing saya. Oleh karena itu saya bersedia bertanggung jawab secara hukum dan bersedia dibatalkan / dicabut gelar kesarjanaan saya oleh Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta dan diumumkan pada khalayak ramai.

Yogyakarta, Mei 2026

Yang menyatakan

Abdullah Azzam Assyamsi

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur Rahmat Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk :

Kedua orang tua tercinta, Bapak Syamsul Bahri dan Ibu Elmariati, yang senantiasa memanjatkan doa terbaik serta menjadi alasan bagi penulis untuk terus melangkah maju. Terima kasih atas segala motivasi, semangat, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, sehingga penulis dapat menempuh pendidikan hingga jenjang sarjana. Terima kasih juga kepada kakak - kakak tercinta yang telah memberikan keceriaan dan ketulusan kasih sayang kepada penulis.

Terima kasih juga penulis ucapkan kepada seorang yang spesial, yaitu Decha Rahmaini yang telah memberikan dukungan, doa, dan menemani selama fase perjuangan ini berjalan. Kehadiran anda menjadi sumber penyemangat sehingga penulis mampu melewati berbagai tekanan dan struggle selama kuliah hingga penyusunan skripsi ini.

serta teman-teman keluarga besar Catra Abisatya Metalurgi 2021. Terkhusus sahabat Metalurgal saya Arvit, Dimas, Aldi, Arya, Mahen, Nabil, Eroz, Faqih, Jean, rizki dan Syahrul. Terima kasih penulis ucapkan karena sudah menjadi teman seperjuangan selama kurang lebih 4 tahun akan menjadi momen yang akan selalu diingat untuk penulis pribadi. Setelah kehidupan perkuliahan berakhir penulis berharap dan mendoakan semoga segala sesuatu hal baik akan berpihak kepada kalian. Jalan kita sudah berbeda namun jiwa ini masih selalu bersama.

Dan untuk diri penulis sendiri, yang terus berjuang meskipun beberapa kali muncul keinginan untuk berhenti, penulis mengucapkan terima kasih karena telah memilih untuk tetap bertahan hingga saat ini, bangkit kembali setiap kali mengalami kegagalan, serta tetap meyakini bahwa setiap perjuangan akan menghasilkan yang terbaik. Sebagaimana diungkapkan oleh Pramoedya Ananta Toer, "Saya hanya ingin jadi manusia bebas, Bu. Tidak diperintah dan juga tidak memerintah." Kutipan tersebut menjadi refleksi bahwa kebebasan dalam menentukan jalan hidup merupakan bagian penting dari perjuangan yang dijalani penulis.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi “Pengaruh Variasi Temperatur dan *Holding Time Austempering* Baja AISI 1045 Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak dan Struktur Mikro” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Metalurgi Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta. Penelitian Tugas Akhir ini dilaksanakan pada bulan Oktober – Desember 2025 di Laboratorium. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. M. Irhas Effendi, M.Si. Rektor UPN “Veteran” Yogyakarta;
2. Prof. Dr. Ir. RM. Basuki Rahmad, M.T. Dekan Fakultas Teknologi Mineral dan Energi UPN “Veteran” Yogyakarta;
3. Dr. Ir. Rika Ernawati, S.T., M.Si. Ketua Jurusan Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta;
4. Ir. Muhammad Syukron, S.T., M.Eng., Ph.D. Koordinator Prodi Teknik Metalurgi UPN “Veteran” Yogyakarta sekaligus Dosen Pembimbing Skripsi;
5. Tim Dosen penguji Skripsi terdiri dari: Ir. Mansyur Abdul Shaleh, S.T., M.T., Ir. Dyah Probawati, M.T., Ir. Anton Sudiyanto, M.T;
6. Bapak dan Ibu dosen serta tenaga pendidik Teknik Metalurgi UPN “Veteran” Yogyakarta;
7. Teman-teman angkatan 2021 Teknik Metalurgi UPN “Veteran” Yogyakarta dan seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi ini.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya untuk melakukan penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, Mei 2026

Abdullah Azzam Assyamsi

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN *HOLDING TIME* *AUSTEMPERING* BAJA AISI 1045 TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO

Oleh
Abdullah Azzam Assyamsi
Nim : 116210061
(Program Studi Sarjana Teknik Metalurgi)

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi temperatur dan *holding time* pada proses *austempering* terhadap sifat mekanik, struktur mikro, dan ukuran butir baja AISI 1045. Proses *austempering* dilakukan pada temperatur 400 °C dan 600 °C dengan variasi *holding time* 5 detik, 60 detik, dan 1000 detik. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan Vickers, uji impak Charpy, karakterisasi struktur mikro menggunakan mikroskop optik, serta analisis ukuran butir metode *linear intercept*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh spesimen *austempering* mengalami penurunan kekerasan dibandingkan material awal (*as-received*) menjadi 69,62–79,12 HV akibat berkurangnya densitas dislokasi dan hilangnya efek *strain hardening*. Sebaliknya, nilai impak meningkat dengan nilai tertinggi sebesar 248 J (3,10 J/mm²) pada temperatur 400 °C selama 1000 detik, sedangkan nilai terendah sebesar 137 J (1,71 J/mm²) terdapat pada material awal. Struktur mikro didominasi ferrit dan perlit tanpa bainit yang teridentifikasi secara jelas, meskipun hasil mekanik menunjukkan kemungkinan terbentuknya bainit dalam jumlah terbatas. Analisis ukuran butir menunjukkan ukuran terkecil sebesar 14,08 µm pada spesimen 400 °C selama 1000 detik dan terbesar 20,83 µm pada material awal. Semakin halus ukuran butir, semakin besar hambatan dislokasi yang memengaruhi sifat mekanik material. Dengan demikian, variasi temperatur dan *holding time austempering* berpengaruh terhadap sifat mekanik, ukuran butir, dan kecenderungan pembentukan struktur mikro baja AISI 1045.

Kata kunci: *Austempering*, Baja AISI 1045, Kekuatan Impak, Struktur Mikro.

ABSTRACT

THE EFFECT OF TEMPERATURE VARIATION AND HOLDING TIME IN THE AUSTEMPERING PROCESS OF AISI 1045 STEEL ON HARDNESS, IMPACT STRENGTH AND MICROSTRUCTURE

By

Abdullah Azzam Assyamsi

NIM: 116210061

(Metallurgical Engineering Undergraduate Program)

This study aims to analyze the effect of variations in austempering temperature and holding time on the mechanical properties, microstructure, and grain size of AISI 1045 steel. The austempering process was conducted at temperatures of 400 °C and 600 °C with holding times of 5 seconds, 60 seconds, and 1000 seconds. The tests performed included Vickers hardness testing, Charpy impact testing, microstructural characterization using an optical microscope, and grain size analysis using the linear intercept method. The results showed that all austempered specimens experienced a decrease in hardness compared to the as-received material, with values ranging from 69.62 to 79.12 HV due to the reduction in dislocation density and the loss of the strain hardening effect. In contrast, the impact value increased significantly, with the highest value of 248 J (3.10 J/mm²) obtained at the austempering condition of 400 °C for 1000 seconds, while the lowest value of 137 J (1.71 J/mm²) was observed in the as-received material. The microstructure was predominantly composed of ferrite and pearlite phases without clearly identifiable bainite, although the mechanical test results indicated the possible formation of bainite in limited amounts. Grain size analysis showed that the smallest grain size of 14.08 μm was obtained in the specimen austempered at 400 °C for 1000 seconds, while the largest grain size of 20.83 μm was found in the as-received material. Finer grain sizes increase resistance to dislocation movement, thereby affecting the mechanical properties of the material. Therefore, variations in austempering temperature and holding time significantly influence the mechanical properties, grain size, and tendency of microstructural formation in AISI 1045 steel.

Keywords: AISI 1045 steel, austempering, impact strength, microstructure.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Lokasi Penelitian	4
1.6. Luaran Penelitian.....	4
1.7. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.2. <i>Ferrous Alloys</i>	10
2.3. Baja (<i>Steel</i>)	10
2.4. Baja Karbon (<i>Carbon Steel</i>).....	11
2.5. Baja AISI 1045	12
2.6. Perlakuan Panas (Heat treatment)	12
2.6.1 <i>Quenching</i>	13

2.6.2	<i>Tempering</i>	15
2.6.3	<i>Austempering</i>	16
2.7.	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	17
2.8.	Diagram TTT (<i>Time Temperature Transformation</i>).....	19
2.9.	Struktur Mikro Baja	21
2.10.	Pengujian Kekerasan	25
2.11.	Pengujian Impak.....	26
2.10. 1	Pengujian impak Metode Charpy	27
2.12.	Karakterisasi Struktur Mikro.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2.	Alat dan Bahan	32
3.3.	Variabel Penelitian	35
3.4.	Diagram Alir Penelitian	36
3.5.	Tahapan Penelitian	37
BAB IV PENGOLAHAN DAN PENYAJIAN DATA		41
4.1.	Hasil Pemotongan Spesimen.....	42
4.2.	Hasil Pengujian Kekerasan Vickers	42
4.3.	Hasil Pengujian Impak Charpy	43
4.4.	Hasil Pengujian Karakterisasi Struktur Mikro	47
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		51
5.1.	Analisis Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045	51
5.2.	Analisis Hasil Uji Kekuatan Impak Pada Baja AISI 1045.....	53
5.3.	Analisis Hasil Uji Karakterisasi Struktur Mikro Baja AISI 1045.....	56
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		60
6.1.	Kesimpulan.....	60
6.2.	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....		62
LAMPIRAN.....		65

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Grafik Temperatur Terhadap Waktu	13
Gambar 2. 2 Tiga Tahapan Pada Quenching.....	14
Gambar 2. 3 Grafik <i>Austempering</i>	16
Gambar 2. 4 Diagram Fasa Fe ₃ C.....	18
Gambar 2. 5 Diagram TTT	20
Gambar 2. 6 Struktur Mikro Ferrit	21
Gambar 2. 7 Struktur Mikro Perlit	22
Gambar 2. 8 Struktur Mikro Austenit.....	23
Gambar 2. 9 Struktur Mikro Sementit.....	23
Gambar 2. 10 Struktur Mikro Bainit	24
Gambar 2. 11 Struktur Mikro Martensit.....	25
Gambar 2. 12 Ilustrasi pengujian kekerasan.....	25
Gambar 2. 13 Ilustrasi pembebanan pada metode Charpy	27
Gambar 2. 14 Prinsip dasar pengamatan menggunakan mikroskop optik	30
Gambar 4. 1 Hasil Pemotongan Spesimen	42
Gambar 4. 2 Posisi spesimen pada mesin.....	44
Gambar 4. 3 Hasil Pengujian Impak Spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 60'.....	45
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Impak Spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 1000'....	46
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Impak Spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 5'.....	46
Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Impak Spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 1000'....	46
Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Impak Spesimen <i>As-received</i>	47
Gambar 4. 8 Struktur Mikro Spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 60'	48
Gambar 4. 9 Struktur Mikro spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 1000'	48
Gambar 4. 10 Struktur Mikro spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 5'	49
Gambar 4. 11 Struktur Mikro spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 1000'	49
Gambar 4. 12 Struktur Mikro spesimen <i>as-received</i>	50

Gambar 5. 1 Nilai Kekerasan Vickers	51
Gambar 5. 2 Nilai Kekuatan Impak Charpy	53
Gambar 5. 3 Nilai Ukuran Butir Struktu Mikro	57

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka	6
Tabel 2. 2 Keterbaruan penelitian terdahulu	8
Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Baja AISI 1045	12
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian	31
Tabel 3. 2 Variabel penelitian	35
Tabel 4. 1 Data Pengujian Kekerasan Vickers	43
Tabel 4. 2 Data Energi Serap	45
Tabel 4. 3 Data Kekuatan Impak	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A Dokumen Bahan Penelitian.....	66
LAMPIRAN B Standar Pengujian.....	71
LAMPIRAN C Perhitungan.....	74
LAMPIRAN D Hasil Penelitian	78
LAMPIRAN E Dokumentasi Kegiatan	81

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN		Halaman
IISIA	<i>The Indonesian Iron and Steel Industry Association</i>	1
AISI	<i>American Iron Steel Institute</i>	1
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>	3
TTT	<i>Time Temperature Transformation</i>	6
HVN	<i>Vickers Hardness Number</i>	27
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>	58
FCC	<i>Face Centered Cubic</i>	17
BCC	<i>Body Centered Cubic</i>	17
BCT	<i>Body Centered Tetragonal</i>	15
Ms	<i>Martensite Start</i>	16
LAMBANG		
<i>J</i>	Joule	27
<i>HV</i>	Kekerasan Vickers	26
<i>D</i>	Diagonal indentasi	26
<i>E</i>	Energi impak	27
<i>M</i>	Massa pendulum	27
<i>G</i>	Percepatan gravitasi	27
<i>H₀</i>	Tinggi awal	27
<i>H₁</i>	Tinggi akhir	27

K	Kekuatan impak	27
A	Luas penampang	27
α	Ferrit	17
γ	Austenite	17
Fe_3C	Cementite	17
$^{\circ}C$	Temperatur	1
p	Beban	73
d	Diameter Jejak Indentansi	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi dan industri, kebutuhan akan material dengan kombinasi sifat mekanik yang optimal semakin meningkat. Baja merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan karena memiliki biaya relatif rendah serta rentang sifat mekanik yang luas. Berdasarkan data industri, konsumsi baja di Indonesia terus mengalami peningkatan, yang menunjukkan tingginya kebutuhan terhadap material dengan performa yang baik, khususnya untuk aplikasi struktural dan komponen mesin.

Metode perlakuan panas konvensional seperti *quenching* dan *tempering* mampu meningkatkan kekerasan secara signifikan melalui pembentukan fasa martensit. Akan tetapi, pembentukan martensit yang bersifat keras cenderung diikuti oleh peningkatan kerapuhan (*brittleness*), tegangan sisa yang tinggi, serta potensi distorsi dan retak. Hal ini menjadi permasalahan utama dalam aplikasi komponen yang menerima beban dinamis atau impact

Baja karbon menengah seperti AISI 1045 banyak digunakan dalam industri otomotif pada batang piston (*connecting rod*). Material ini dipilih karena memiliki keseimbangan antara kekuatan dan keuletan. Namun, dalam kondisi awal (*raw material*), sifat mekanik baja AISI 1045 masih dapat ditingkatkan melalui rekayasa struktur mikro menggunakan proses perlakuan panas (Canale et al, 2020).

Sebagai alternatif, proses *austempering* dikembangkan untuk menghasilkan struktur mikro bainit melalui transformasi *isothermal*. Bainit memiliki kombinasi sifat mekanik yang lebih seimbang dibandingkan martensit, yaitu kekuatan yang tinggi disertai dengan ketangguhan yang baik. Secara mikrostruktural, bainit terdiri dari ferrit berbentuk *lath* atau *plate* dengan distribusi karbida yang halus dan merata, sehingga mampu menghambat inisiasi dan propagasi retak. Selain itu,

keberadaan austenit sisa (*retained austenite*) dalam struktur bainit dapat meningkatkan keuletan melalui mekanisme transformasi plastis.

Proses austempering sangat dipengaruhi oleh parameter temperatur dan waktu tahan (*holding time*), yang menentukan kinetika transformasi austenit menjadi bainit sebagaimana ditunjukkan dalam diagram *Time Temperature Transformation* (TTT). Variasi temperatur akan mempengaruhi jenis bainit yang terbentuk (*upper bainite* atau *lower bainite*), sedangkan waktu tahan berpengaruh terhadap fraksi fasa dan ukuran struktur mikro. Kombinasi kedua parameter ini secara langsung menentukan sifat mekanik akhir material, khususnya kekerasan dan ketangguhan impak (Putra et al., 2022).

Penelitian terdahulu oleh (Deniyasa et al, 2018) telah mengkaji pengaruh temperatur dan waktu *austempering* pada baja AISI 1045. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi parameter tersebut mengubah struktur mikro dari ferrit - perlit menjadi martensit dan bainit, serta meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus. Namun, penelitian tersebut belum menginvestigasi sifat ketangguhan impak secara spesifik, yang merupakan sifat mekanik yang dibutuhkan pada aplikasi komponen mesin. Sementara itu, penelitian (Ardansyah, 2022) menunjukkan bahwa variasi *holding time* pada proses *austempering* mempengaruhi morfologi dan ukuran butir struktur mikro.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur dan *holding time* pada proses *austempering* terhadap kekerasan, kekuatan impak, dan struktur mikro baja AISI 1045. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara parameter proses, transformasi fasa, dan sifat mekanik, serta menghasilkan rekomendasi parameter *austempering* yang optimal untuk aplikasi teknik yang membutuhkan kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang tinggi.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur dan *holding time* proses *austempering* terhadap nilai kekerasan baja AISI 1045?

2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur dan *holding time* proses *austempering* terhadap kekuatan impak baja AISI 1045?
3. Bagaimana pengaruh variasi temperatur dan *holding time* proses *austempering* terhadap struktur mikro baja AISI 1045?

1.3. Tujuan

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi temperatur dan *holding time* proses *austempering* terhadap kekerasan baja AISI 1045.
2. Menganalisis pengaruh variasi temperatur dan *holding time* proses *austempering* terhadap kekuatan impak baja AISI 1045.
3. Menganalisis pengaruh variasi temperatur dan *holding time* proses *austempering* terhadap struktur mikro baja AISI 1045.

1.4. Batasan Masalah

Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah baja AISI 1045.
2. Proses perlakuan panas yang digunakan adalah metode *austempering*.
3. Temperatur austenisasi ditetapkan sebesar 850 °C dengan *holding time* 60 menit.
4. Variabel bebas berupa temperatur *austempering* (400 °C dan 600 °C) serta variasi *holding time* (5 detik, 60 detik, dan 1000 detik).
5. Media *salt bath* yang digunakan :
 - Temperatur 400 °C: campuran *potassium nitrate* dan *sodium nitrate* (1:1).
 - Temperatur 600 °C: campuran *sodium chloride* dan *potassium chloride* (1:1).
6. Pengujian yang dilakukan meliputi :
 - Uji kekerasan Vickers (ASTM E92).
 - Uji impak Charpy (ASTM E23).
 - Pengamatan karakterisasi struktur mikro (ASTM E3).
7. Penelitian difokuskan pada analisis hubungan antara parameter proses, struktur mikro, dan sifat mekanik tanpa membahas sifat lain.

1.5. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini, kegiatan penelitian dilaksanakan di beberapa lokasi. Preparasi spesimen dan proses perlakuan panas (*heat treatment*) dilakukan di Laboratorium Pirometalurgi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta. Pengujian kekerasan Vickers dilakukan di laboratorium Bahan Teknik Universitas Negeri Yogyakarta (UNY). Pengujian kekuatan impak Charpy dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA). Sementara itu, pengujian karakterisasi struktur mikro dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM).

1.6. Luaran Penelitian

Luaran penelitian berupa laporan skripsi dan *paper* yang membahas terkait pengaruh temperatur dan *holding time austempering* baja AISI 1045 terhadap kekerasan, kekuatan impak dan karakterisasi struktur mikro. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terhadap peningkatan sifat mekanik baja khususnya kekerasan dan ketangguhan baja AISI 1045.

1.7. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi industri

- a. Memberikan informasi parameter *austempering* yang berpengaruh terhadap peningkatan ketangguhan baja AISI 1045 sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam proses *heat treatment* komponen mesin.
- b. Menjadi acuan dalam pemilihan temperatur dan *holding time* untuk memperoleh kombinasi struktur mikro dan sifat mekanik yang sesuai kebutuhan aplikasi industri.

2. Bagi Institusi

- a. Menambah data penelitian mengenai pengaruh temperatur dan *holding time austempering* terhadap pembentukan struktur mikro dan kekuatan impak baja AISI 1045 pada Program Studi Teknik Metalurgi.
- b. Menjadi referensi akademik terkait proses perlakuan panas *austempering* pada baja karbon menengah, khususnya dalam analisis transformasi fasa bainit dan perlit.

3. Bagi Peneliti

- a. Memahami hubungan antara variasi temperatur dan *holding time austempering* terhadap perubahan struktur mikro dan kekuatan impak baja AISI 1045.
- b. Meningkatkan kemampuan dalam melakukan proses *heat treatment*, pengujian impak Charpy, serta analisis karakterisasi struktur mikro menggunakan mikroskop optik.

4. Bagi Mahasiswa

- a. Menjadi sumber pembelajaran mengenai pengaruh proses *austempering* terhadap transformasi fasa pada baja karbon menengah.
- b. Memberikan contoh penerapan ilmu metalurgi fisik dalam pengujian sifat mekanik dan karakterisasi struktur mikro material.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam melakukan penelitian kali ini, penulis mengambil beberapa referensi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk menjadi rujukan dalam penentuan parameter, pertimbangan dalam pemilihan proses, serta dapat mengembangkan penelitian dengan inovasi dan keterbaruan dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, sehingga dapat memberikan pengetahuan baru tentang pemilihan metode dan pengaplikasiannya di industri. Beberapa penelitian yang dijadikan rujukan dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1	Brian Jodi Ardiansyah.	2022	Pengaruh <i>Quenching</i> dilanjutkan <i>Austempering</i> 200°C dengan variasi waktu penahanan 50', 100', 150', 200 dan 300' terhadap perubahan struktur mikro kekerasan baja AISI 4140.	Waktu penahanan berpengaruh terhadap morfologi butir dan luas fasa. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada penahanan 100 detik sebesar 60,8 HRA, sedangkan penahanan lebih lama menurunkan kekerasan. Struktur mikro didominasi perlit dan ferit dengan ukuran butir berbeda.
2	Fahmi Deniyasa, Budi Santoso, Novi	2018	Pengaruh temperatur dan waktu austemper terhadap sifat	variasi suhu dan waktu menunjukkan peningkatan kekerasan dari 182 HB menjadi 200

	Laura Indrayani.		mekanik dan struktur mikro baja AISI 1045.	HB (naik 9,89%) pada suhu 330 °C selama 60 menit. Ketahanan aus juga meningkat, dan struktur mikro berubah dari ferrit perlit menjadi martensit dan bainit.
3	Mario Jonathan, Untung Budiarto, Sarjito Jokosisworo.	2024	Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Austenisasi Pada Proses <i>Quenching Tempering</i> Baja ST37 Terhadap Sifat mekanis dan Struktur Mikro Sebagai Material Poros <i>Propeller Steel</i> .	Kekuatan tarik meningkat seiring naiknya temperatur austenisasi hingga 544,7 MPa pada 950 °C, Regangan tarik meningkat dari 2,0 % (<i>raw</i>) menjadi 3,5 % (950 °C), Kekerasan mencapai 220,8 HV pada 950 °C, Struktur mikro berubah dari ferrit - perlit menjadi ferrit + <i>tempered martensite</i> setelah perlakuan panas (<i>heat treatment</i>).
4	Mulyadi, Dodi Tafrant, Hendradinata, Zainuddin.	2021	<i>The Effect of Quenching Media on the Hardness of AISI 1045 Steel.</i>	Pendinginan dengan air dan air garam menghasilkan laju pendinginan tinggi, membentuk martensit dan meningkatkan kekerasan hingga sekitar 59 HRC, sedangkan

pendinginan udara menghasilkan struktur ferrit yang lebih lunak.

Tabel 2. 2 Keterbaruan penelitian terdahulu

No	Peneliti	Material	Parameter	Perlakuan Panas	Jenis Pengujian
1	Brian Jodi Ardiansyah	Baja AISI 4140	proses austenisasi pada 780°C waktu tahan 10 menit dan <i>quenching</i> air, dilanjutkan <i>austempering</i> pada 200 °C dengan variasi waktu penahanan (50 – 300 detik)	<i>Quenching</i> dan <i>Austempering</i>	Kekerasan Rockwell (HRA), struktur mikro (mikroskop optik)
2	Fahmi Deniyasa dkk	Baja AISI 1045	Temperatur <i>hardening</i> waktu tahan 60 menit, temperatur austemper 295 °C, 330 °C, dan 365 °C dan waktu tahan 30,	<i>Hardening</i> , <i>Quenching</i> , <i>Austempering</i>	Kekerasan (<i>Brinell hardness test</i>), Struktur mikro (mikroskop optik), ketahanan aus (<i>Ogoshi</i>)

			60 menit, dan 90 menit		
3	Mario Jonathan dkk	Baja ST 37	temperatur austenisasi 750 °C, 850 °C dan 950 °C waktu penahan 30 menit, tempering pada temperatur 600 °C waktu penahanan 1 Jam	<i>Quenching</i> dan <i>Austempering</i>	Kekerasan (Vickers), Mikrostruktur (mikroskop optik)
4	Mulyadi dkk	Baja AISI 1045	Temperatur Austenisasi 850°C waktu penahanan 25 menit, <i>quenching</i> menggunakan 4 media pendingin: udara, air, oli pelumas, dan asap cair.	<i>Quenching</i>	Kekerasan (<i>Rockwell</i>)
5	Abdullah Azzam Assyamsi	Baja AISI 1045	Temperatur Austenisasi 850 °C waktu penahanan 60 menit,	<i>Quenching</i> dan <i>Austempering</i>	Kekerasan (Vickers), Kekuatan impak (Impak Charpy),

dilanjutkan <i>austempering</i> pada 400 °C- 600 °C dengan variasi waktu penahanan 5 - 1000 detik.	Karakterisasi struktur mikro (mikroskop optik)
--	---

2.2. *Ferrous Alloys*

Ferrous alloys merupakan paduan di mana besi adalah komponen utamanya, tetapi karbon serta elemen paduan lainnya mungkin terkandung di dalamnya. Dalam sistem klasifikasi, berikut merupakan tiga jenis *ferrous alloys* yang dibedakan berdasarkan kandungan karbonnya (William D. Callister, 2018).

1. Besi (*pure iron*)

Besi murni mengandung kurang dari 0,008 wt% C dan, dari diagram fasa hampir seluruhnya terdiri dari fasa ferrit pada temperatur kamar.

2. Baja (*steel*)

Baja yang mengandung antara 0,008 – 2,14 wt% C diklasifikasikan sebagai baja. Pada sebagian besar baja, struktur mikro terdiri dari fase α dan Fe₃C. Meskipun baja dapat mengandung sebanyak 2,14 wt% C, namun dalam penerapannya konsentrasi karbon jarang melebihi 1,0 wt% C.

3. Besi Cor (*cast iron*)

Besi cor diklasifikasikan sebagai paduan besi yang mengandung antara 2,14 – 6,70 wt% C. Pada diagram fasa Fe-Fe₃C (Gambar 2.4) menunjukkan bahwa paduan dalam kisaran komposisi karbon tersebut menjadi cair sepenuhnya pada suhu kira-kira 1150 °C – 1300 °C (2100 °F dan 2350 °F).

2.3. *Baja (Steel)*

Baja adalah logam paduan yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C) sebagai penyusun utamanya yang mungkin mengandung konsentrasi yang cukup besar dari unsur paduan lainnya. Kandungan karbon yang lebih tinggi meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*) baja, tetapi juga dapat

mengurangi keuletannya. Pada umumnya baja dibagi menjadi 2 yaitu baja karbon dan baja paduan, dimana baja karbon terbagi menjadi 3 yaitu baja karbon tinggi (*high carbon steel*), baja karbon sedang (*medium carbon steel*), dan baja karbon rendah (*low carbon steel*). Sedangkan baja paduan merupakan baja yang terdiri dari satu atau lebih paduan lain yaitu kromium, molibdenum, nikel, vanadium, wolfram, dan mangan untuk mendapatkan sifat mekanis lainnya sesuai dengan kebutuhan.

2.4. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon (*carbon steel*) adalah baja yang hanya mengandung unsur Fe dan C tanpa ada unsur paduan lainnya. Menurut (Calister, 2018) baja karbon dibedakan menjadi 3 berdasarkan kandungan karbon yang terkandung dari berat totalnya :

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,25 wt%. Struktur mikro dari baja karbon rendah terdiri dari ferrit dan pearlit. Baja karbon rendah memiliki keuletan serta ketangguhan yang baik, namun keuletan dan kekerasannya rendah (lunak). Penggunaan umum baja karbon rendah meliputi konstruksi, manufaktur, peralatan rumah tangga, dan komponen lainnya.

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang memiliki keuletan dan ketangguhannya lebih rendah atau getas (*brittle*), tetapi kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon sekitar 0,25 – 0,60 wt%. Baja karbon sedang dapat diberi proses pemanasan hingga fasa austenit, yang kemudian ditahan selama beberapa waktu dan dilakukan proses *quenching* untuk mendapatkan fasa martensit. Karena memiliki keuletan yang lebih besar daripada baja karbon tinggi, baja karbon sedang biasanya digunakan untuk beberapa material seperti rel kereta, roda gigi, poros engkol, dan bagian mesin.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi memiliki ketahanan aus yang tinggi serta beberapa sifat mekanis lainnya, seperti kekerasan dan kekuatan yang sangat tinggi, tetapi juga sangat getas dan keuletan yang rendah jika dibandingkan dengan jenis baja lainnya. Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon sekitar 0,60 hingga 1,4 wt%.

2.5. Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang yang memiliki Komposisi kimia yang tertera pada tabel 2.3 berikut ini

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Baja AISI 1045

Unsur	(%)
C	0,43 - 0,50
Mn	0,60 - 0,90
S	0,050 Max
P	0,040 Max
Si	0,15 - 0,30

Baja karbon AISI 1045 tergolong dalam kategori *medium carbon steel* berdasarkan klasifikasi *American Iron and Steel Institute* (AISI). Komposisi kimia baja AISI 1045 sesuai standar ASTM A29 menunjukkan kandungan utama karbon (0,43 - 0,50 %), mangan (0,60 - 0,90 %), silikon (0,15 - 0,30 %), dengan batasan ketat untuk unsur impurities seperti fosfor (maksimal 0,040 %) dan belerang (maksimal 0,050 %) (ASTM International, 2020). Material ini secara luas dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi komponen mesin seperti batang piston dan komponen struktural lainnya akibat kombinasi optimal yang ditawarkan antara kekuatan mekanik, ketangguhan, dan kemudahan pemrosesan (Callister & Rethwisch, 2020).

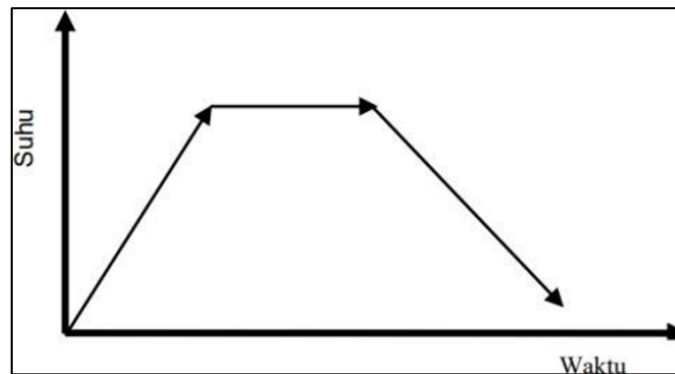
2.6. Perlakuan Panas (*Heat treatment*)

Perlakuan panas atau biasa disebut *heat treatment* merupakan metode untuk mengendalikan struktur dan fasa pada logam sehingga menjadi seperti yang diinginkan. *Heat treatment* melibatkan dua proses yaitu pemanasan dan pendinginan. Adapun hal-hal yang mempengaruhi *heat treatment* diantaranya adalah temperatur pemanasan, waktu pemanasan, waktu penahanan, media pemanasan, dan media pendinginan yang digunakan.

Tujuan utama perlakuan panas (*heat treatment*) adalah untuk memperoleh sifat mekanik yang diinginkan, seperti peningkatan kekuatan (*strength*), kekerasan

(*hardness*), dan ketangguhan (*toughness*). Perubahan sifat-sifat ini terjadi akibat transformasi fasa dan alterasi struktur mikro selama proses pemanasan dan pendinginan, mengingat sifat-sifat mekanik suatu logam pada dasarnya ditentukan oleh struktur mikronya (Callister & Rethwisch, 2018).

Grafik temperatur terhadap waktu pada perlakuan panas (*heat treatment*) dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Grafik Temperatur Terhadap Waktu (Karmin & Ginting, 2012)

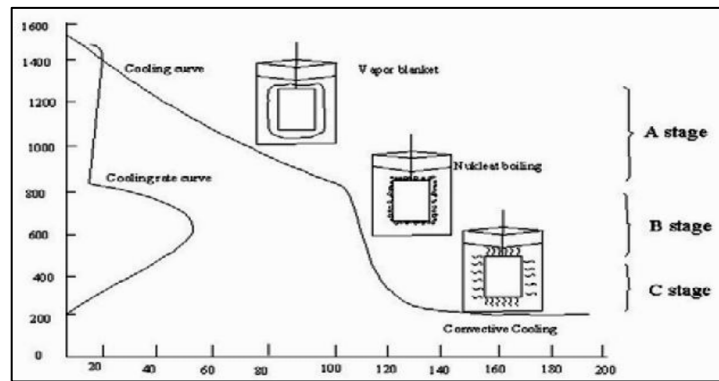
2.6.1 *Quenching*

Quenching merupakan salah satu proses utama dalam perlakuan panas (*heat treatment*) yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan material melalui pendinginan cepat dari temperatur austenisasi hingga suhu kamar (Callister & Rethwisch, 2018). Pada tahap ini, baja yang telah dipanaskan hingga membentuk struktur austenit didinginkan secara cepat menggunakan media seperti air, oli, atau udara bertekanan. Pendinginan cepat tersebut mencegah terjadinya difusi karbon yang sempurna, sehingga austenit terperangkap dan bertransformasi menjadi fasa martensit, yaitu struktur yang keras namun relatif getas.

Salah satu metode perlakuan panas (*heat treatment*) yang umum adalah *quenching*, yaitu pendinginan cepat setelah austenisasi. Pemilihan media pendingin berpengaruh besar terhadap laju pendinginan dan hasil struktur mikro yang terbentuk, media dengan konduktivitas tinggi seperti air menghasilkan laju pendinginan lebih cepat dibandingkan oli, sehingga membentuk martensit lebih dominan namun berisiko menimbulkan retak termal. Oleh karena itu, proses *quenching* harus dikendalikan secara hati - hati untuk mencapai kombinasi sifat mekanik yang optimal antara kekerasan dan ketangguhan baja (Canale et al., 2020).

Namun, tantangan dalam mengontrol proses *quenching* ini mendorong pencarian metode alternatif yang lebih dapat diandalkan. *Austempering* muncul sebagai solusi potensial, di mana proses pendinginan yang terkontrol secara *isothermal* dirancang untuk menghasilkan struktur bainit yang mampu memberikan kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang unggul, sekaligus meminimalkan risiko distorsi dan retak yang melekat pada proses *quenching* konvensional (Adamczyk Cieslak et al, 2021)

Terdapat tiga tahapan pendinginan selama *quenching* pada media *liquid*, yaitu *vapor blanket*, *nucleate boiling* dan *liquid cooling* dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2. 2 Tiga Tahapan Pada Quenching (Sugianto et al, 2013)

Tahap *vapor blanket* memiliki karakteristik dengan uap air menyelimuti benda kerja. Hal ini terjadi karena suplai panas dari bagian dalam benda kerja yang menuju permukaan melebihi jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan *quenchant* dan menghasilkan fasa uap air. Laju pendinginan tertinggi terjadi pada tahap *nucleate boiling*. Selama periode ini uap air terlepas dan laju ekstraksi panas yang dihasilkan berhubungan dengan pendidihan inti (*nucleate boiling*) dari *quenchant* pada logam. Panas secara cepat dilepas dari permukaan akibat kontak cairan pendingin pada logam dan kemudian menguap. Tahap *liquid cooling* dimulai ketika temperatur permukaan logam berkurang sampai dibawah titik didih cairan *quenching*. Dibawah temperatur ini, pendinginan terjadi dengan mekanisme konduksi dan konveksi pada *quenching*, Pemilihan media *quench* yang tepat tergantung pada kemampukerasan / *hardenability* material, ketebalan dan geometri komponen, serta kecepatan pendinginan untuk mendapatkan struktur mikro yang diinginkan.

Media pendingin yang umumnya digunakan dalam proses pengerasan baja meliputi air, minyak, udara, dan garam cair (*salt bath*). Pemilihan media pendingin sangat bergantung pada jenis baja, laju pendinginan yang diinginkan, serta sifat mekanik akhir yang hendak dicapai.

2.6.2 *Tempering*

Tempering merupakan proses pemanasan kembali baja yang telah mengalami *quenching* hingga ke temperatur di bawah temperatur kritis (A_{c1}), diikuti dengan pendinginan pada kecepatan tertentu. Proses ini bertujuan untuk mentransformasikan martensit yang tidak stabil dan getas yang terbentuk selama *quenching* menjadi tempered martensit, yang menghasilkan kombinasi sifat mekanik yang lebih seimbang dengan penurunan kekerasan dan tegangan sisa yang diimbangi oleh peningkatan keuletan dan ketangguhan (ASM International, 2009).

Pada proses *tempering*, baja dengan struktur fasa martensit dipanaskan hingga suhu di bawah titik *eutectoid* dalam jangka waktu tertentu, biasanya pada rentang temperatur 250–650 °C. Selama perlakuan panas (*heat treatment*) ini, terjadi proses difusi atom yang menghasilkan terbentuknya martensit temper, dan transformasi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:

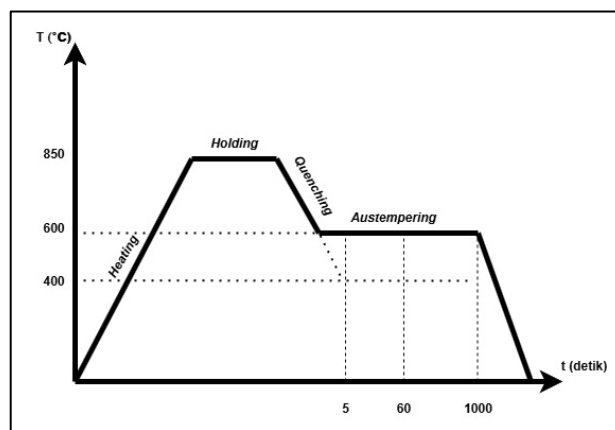
Martensite (BCT) \rightarrow *Tempered Martensite* ($\alpha + Fe_3C$)

Pada transformasi diatas fasa tunggal martensite BCT, yang jenuh dengan karbon, bertransformasi menjadi *tempered martensite*, terdiri dari ferrit yang stabil dan fasa sementit (Callister Jr & Rethwisch, 2018)

Durasi dan temperatur tempering merupakan parameter kritis yang menentukan sifat mekanik akhir baja. Pada baja karbon medium seperti AISI 1045, peningkatan temperatur *tempering* umumnya menyebabkan penurunan kekerasan dan kekuatan tarik, namun diikuti dengan peningkatan keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*) yang signifikan. Transformasi ini terjadi akibat proses *recovery*, rekristalisasi, dan pengendapan karbida dari martensit ter-temper yang tidak stabil (ASM International, 2009).

2.6.3 Austempering

Austempering merupakan salah satu proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang digunakan untuk meningkatkan kombinasi sifat mekanik baja, seperti kekuatan, keuletan, dan ketangguhan. Proses ini diawali dengan pemanasan baja hingga mencapai suhu austenisasi, yaitu suhu di mana struktur kristalnya berubah sepenuhnya menjadi fasa austenit. Setelah itu, baja didinginkan dengan cepat ke dalam media penahan seperti garam cair (*salt bath*) pada suhu di atas titik awal pembentukan martensit (*martensite start temperature* atau M_s). Baja kemudian ditahan pada suhu tersebut selama waktu tertentu agar transformasi dari austenit menjadi bainit berlangsung secara *isothermal* sebelum akhirnya didinginkan ke suhu kamar (Callister & Rethwisch, 2018). Grafik *austempering* dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut ini



Gambar 2.3 Grafik *Austempering*

Keunggulan utama proses *austempering* terletak pada kemampuan proses ini panas *quench and temper* konvensional. Perbedaan mendasar terdapat pada jalur transformasi fasanya. Pada proses konvensional, baja yang diaustenitisi didinginkan sangat cepat (*quench*) hingga ke suhu ruang untuk membentuk martensit yang sangat keras namun getas. Kekakuan dan tegangan sisa internal (*residual stress*) yang tinggi pada martensit inilah yang kemudian harus dilunakkan kembali dengan proses *tempering*.

Austempering menghindari pembentukan martensit dengan mendinginkan baja secara cepat hanya sampai ke suhu penahan di atas M_s , dan membiarkannya bertransformasi secara *isothermal* menjadi bainit. Struktur bainit yang terbentuk,

baik *upper* maupun *lower bainite*, secara alami memiliki kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang lebih seimbang. Bainit terbentuk melalui mekanisme transformasi displasif - difusif yang unik, menghasilkan struktur mikro ferit lath halus dengan karbida yang tersebar merata. Struktur ini memberikan kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang unggul tanpa disertai tegangan sisa tinggi yang menjadi ciri khas martensit, menjadikannya struktur mikro yang ideal untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan fatik dan ketangguhan impak (Caballero et al., 2018).

Produk akhir *austempering* tidak memerlukan tahap *tempering* tambahan. Hasilnya adalah baja dengan ketangguhan impak yang lebih unggul, distorsi dan peluang *quenching crack* yang lebih rendah, serta ketahanan lelah (*fatigue resistance*) yang baik dibandingkan dengan baja yang mengalami *quench and temper* pada tingkat kekerasan yang setara (Krauss, 2015). Pada baja karbon menengah seperti AISI 1045, penerapan proses *austempering* terbukti dapat meningkatkan nilai kekuatan impak serta menurunkan potensi retak akibat tegangan internal selama pendinginan

2.7. Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Fasa merupakan bagian dari suatu material yang memiliki struktur atau komposisi yang khas. Diagram fasa Fe-Fe₃C, yang dikenal pula sebagai diagram kesetimbangan besi-karbon, menjadi parameter penting untuk mengidentifikasi seluruh jenis fasa yang terbentuk pada baja serta responsnya terhadap berbagai perlakuan. Prinsip dasar diagram fasa ini adalah mengkaji hubungan antara besi dan unsur paduannya pada kondisi setimbang. Hubungan tersebut direpresentasikan melalui variabel suhu dan komposisi, di mana setiap perubahan pada kedua variabel tersebut akan berdampak pada struktur mikro material.

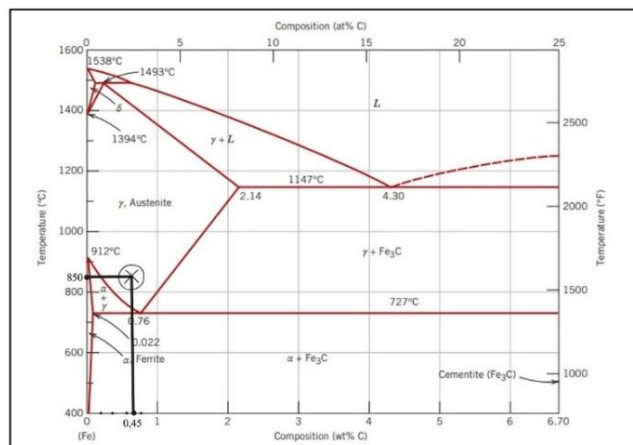
Pada diagram fasa Fe-C yang disajikan, terdapat tiga jenis larutan padat, yaitu besi delta (δ), austenit (γ), dan ferrit (α). Ferrit memiliki struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*), sedangkan austenit memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Adapun besi delta (δ) memiliki struktur kristal BCC, namun terbentuk pada rentang suhu tinggi. Ketika kandungan karbon melampaui batas kelarutannya, terbentuk fasa kedua yang disebut karbida besi atau sementit. Karbida besi memiliki

komposisi kimia Fe_3C dengan sifat yang keras dan getas. Peningkatan kadar karbon pada baja karbon akan meningkatkan sifat mekanik material, khususnya kekerasan, yang disebabkan oleh keberadaan endapan sementit yang bersifat keras.

Berikut ini merupakan sejumlah istilah yang digunakan dalam diagram kesetimbangan $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ beserta fasa - fasa yang terdapat di dalamnya, termasuk uraian mengenai batas-batas temperatur kritis pada diagram tersebut :

1. A_1 merupakan temperatur reaksi eutektoid, yaitu transformasi fasa γ (austenit) menjadi α (ferrit) dan Fe_3C (sementit) yang membentuk perlit, terjadi pada baja hipoeutektoid.
2. A_2 adalah temperatur *Curie*, yaitu pada 769°C , ketika sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik.
3. A_3 merupakan temperatur transformasi fasa γ menjadi α (ferrit), yang ditandai dengan meningkatnya batas kelarutan karbon seiring penurunan temperatur.
4. A_{cm} adalah temperatur transformasi fasa γ menjadi Fe_3C (sementit), yang ditandai dengan menurunnya batas kelarutan karbon seiring penurunan temperatur.

Dalam mengkaji diagram fasa $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$, terdapat beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan, yaitu perubahan fasa yang meliputi ferrit atau besi alfa (α), austenit atau besi gamma (γ), sementit atau karbida besi (Fe_3C), perlit, dan martensit. Diagram fasa $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ itu sendiri disajikan pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2. 4 Diagram Fasa Fe_3C (Callister & Rethwisch, 2018).

Pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa pada temperatur sekitar 727 °C terjadi transformasi austenit menjadi perlit, yang merupakan campuran fasa ferrit dan sementit. Transformasi ini dikenal sebagai reaksi eutektoid dan menjadi dasar dalam proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada baja. Selanjutnya, rentang temperatur antara 912°C hingga 1394°C merupakan daerah kestabilan besi gamma (γ) atau austenit. Pada kondisi tersebut, austenit bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk, serta memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Fasa ini mampu melarutkan karbon dalam jumlah signifikan, yaitu mencapai maksimum sekitar 2,11 % pada temperatur ± 1148 °C. Sebagai perbandingan, besi dengan struktur BCC hanya dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat terbatas, yakni maksimum sekitar 0,77 % pada temperatur 727 °C.

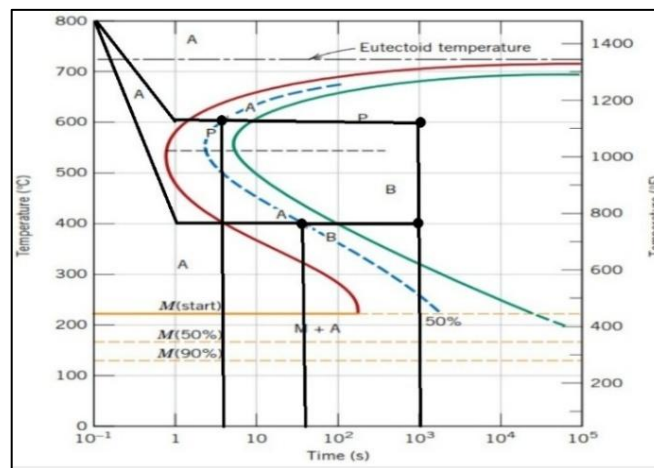
2.8. Diagram TTT (Time Temperature Transformation)

Diagram *Time Temperature Transformation* (TTT) merupakan diagram yang menunjukkan hubungan antara transformasi austenit terhadap waktu dan suhu. Tujuan utama dari proses perlakuan panas (*heat treatment*) adalah untuk memperoleh struktur mikro baja yang sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Struktur yang dihasilkan merupakan akibat dari perubahan fasa dari kondisi awal selama proses perlakuan panas (*heat treatment*). Meskipun diagram fasa dapat digunakan untuk memahami transformasi pada kondisi setimbang, namun pada kondisi tidak setimbang, diagram tersebut tidak lagi berlaku. Dalam kondisi tersebut, diagram TTT digunakan karena mampu menjelaskan perilaku baja selama proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada berbagai tahap transformasi. Diagram TTT digunakan untuk meramalkan transformasi austenit ke konstituen mikro lainnya, seperti martensit, ketika baja didinginkan dengan cepat (*quenching*) ke suatu temperatur yang berada di bawah temperatur *martensite start* (M_s), yang secara otomatis juga berada di bawah temperatur A_1 (Callister & Rethwisch, 2018).

Diagram ini menggambarkan proses dekomposisi austenit yang berlaku untuk berbagai jenis baja dengan komposisi tertentu. Bentuk diagram TTT dipengaruhi oleh komposisi kimia baja, terutama oleh kandungan karbonnya. Pada baja dengan kadar karbon kurang dari 0,83%, jika baja tersebut ditahan pada suhu tertentu, maka akan terbentuk struktur perlit dan ferrit. Apabila penahanan dilakukan pada suhu di

atas garis horizontal pada diagram, maka struktur yang terbentuk adalah bainit. Sebaliknya, jika penahanan dilakukan pada suhu di bawah garis horizontal, maka akan terbentuk struktur martensit.

Diagram TTT sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam baja. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kurva pada diagram akan bergeser ke arah kanan, hal yang sama juga berlaku untuk penambahan unsur - unsur paduan lainnya. Melalui diagram TTT ini, dapat diketahui kecepatan atau laju reaksi transformasi fasa yang terjadi selama proses perlakuan panas (*heat treatment*). Diagram TTT untuk baja karbon AISI 1045 dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Diagram TTT (Callister Jr & rethwisch, 2018)

Bentuk umum dari diagram TTT menampilkan kurva berbentuk huruf “C”, yang menunjukkan waktu mulai (*start*) dan waktu selesai (*finish*) dari proses transformasi. Pada suhu tinggi, di bawah temperatur eutektoid, austenit akan mengalami transformasi menjadi perlit. Pada suhu menengah, transformasi yang terjadi menghasilkan bainit, sedangkan pada pendinginan cepat hingga suhu rendah, *austenit* berubah menjadi martensit melalui mekanisme tanpa difusi (Totten, 2014).

Bagian penting pada diagram ini adalah posisi *nose* pada diagram TTT menentukan laju pendinginan kritis. Agar dapat membentuk martensit, pendinginan dari temperatur austenisasi harus dilakukan dengan laju yang sedemikian cepat sehingga mencegah transformasi austenit menjadi produk difusif (seperti ferrit atau perlit) pada daerah *nose* tersebut (Callister & Rethwisch, 2018). Dengan demikian, diagram TTT sangat berguna dalam menentukan laju pendinginan dan kondisi

temperatur optimum untuk memperoleh struktur mikro yang diinginkan dalam perlakuan panas (*heat treatment*) seperti *quenching*, *tempering* maupun *austempering*.

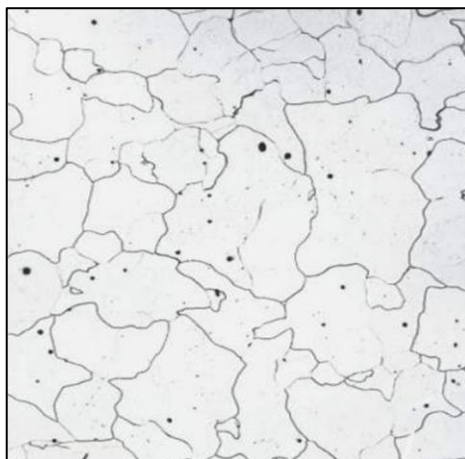
2.9. Struktur Mikro Baja

Sebagian besar perlakuan panas (*heat treatment*) untuk baja melibatkan suatu pendinginan terus menerus dari spesimen ke temperatur kamar. Diagram transformasi *isothermal* hanya berlaku untuk kondisi yang konstan. Untuk pendinginan terus menerus waktu yang diperlukan untuk memulai dan mengakhiri reaksi tertunda pada paduan besi - karbon.

Menurut (William D. Callister, 2018) berikut ini adalah fasa-fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon dan baja paduan:

1. Ferrit

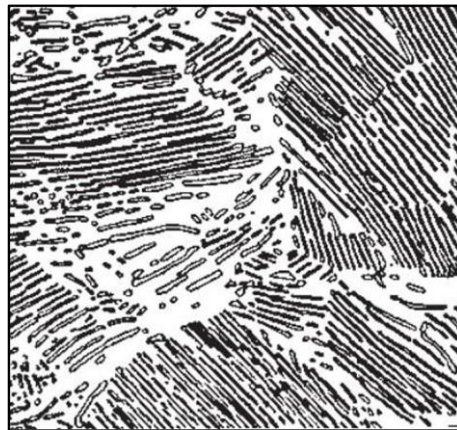
Ferrit ini dikenal sebagai alpha (α) atau α -ferrit yang memiliki struktur kristal BCC, dimana hanya sedikit konsentrasi karbon yang larut. Kelarutan maksimum pada fasa α -ferrit adalah 0,022 wt% C pada suhu 727 °C (1341 °F). Meskipun hadir dalam konsentrasi yang relatif rendah, karbon secara signifikan mempengaruhi sifat mekanik ferrit. Fasa ferrit ini relatif lunak, dapat dibuat magnetis pada suhu di bawah 768 °C (1414 °F). Gambar struktur mikro fasa ferrit dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2. 6 Struktur Mikro Ferrit (Callister Jr & Rethwisch, 2018)

2. Perlit

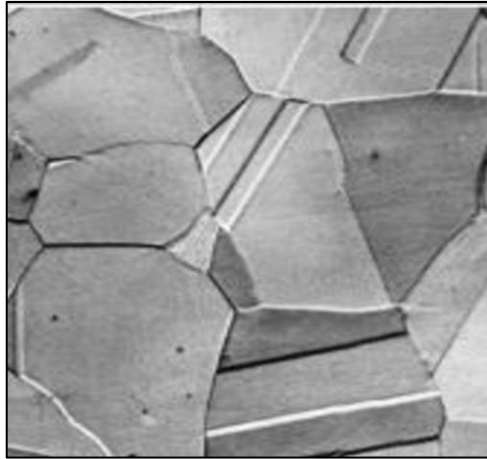
Struktur mikro untuk baja eutektoid yang didinginkan secara perlahan sampai dibawah suhu eutektoid ini akan menghasilkan lapisan bolak - balik atau lamella dari dua fasa (α dan Fe_3C) yang terbentuk secara bersamaan selama transformasi. Dalam hal ini, ketebalan lapisan relatif kira-kira 8 banding 1. Gambar 2.7 adalah fotomikrografi baja eutektoid yang menunjukkan perlit. Lapisan terang yang tebal adalah fasa ferrit, dan fasa sementit muncul sebagai *lamellae* tipis yang sebagian besar tampak gelap. Banyak lapisan cementite sangat tipis sehingga batas fasa yang berdekatan begitu dekat satu sama lain, oleh karena itu tampak gelap. Secara mekanis, perlit memiliki sifat menengah antara ferrit yang lunak dan ulet dengan sementit yang keras dan rapuh. Gambar struktur mikro fasa perlit dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2. 7 Struktur Mikro Perlit (Callister Jr & Rethwisch, 2018)

3. Austenit

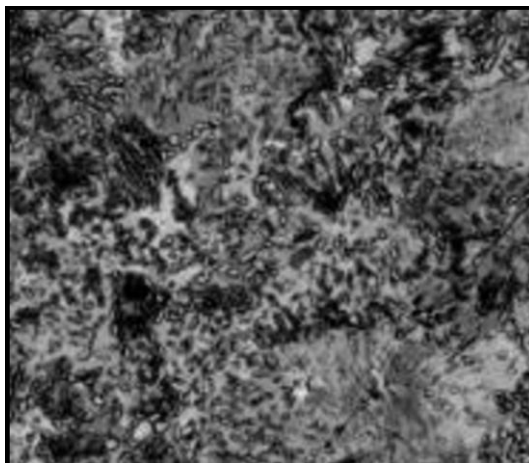
Fasa austenit memiliki struktur FCC. Austenit atau fasa γ dari besi, ketika dicampur dengan karbon saja dan tidak stabil di bawah $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1341\text{ }^{\circ}\text{F}$). Kelarutan maksimum karbon dalam austenit 2,14 wt%, terjadi pada temperatur $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($2097\text{ }^{\circ}\text{F}$). Kelarutan ini kira-kira 100 kali lebih besar daripada maksimum untuk ferrit BCC karena situs oktahedral FCC lebih besar daripada situs *tetrahedral* BCC. Bentuk fasa austenit adalah seperti plat yang berwarna abu-abu terang. *Austenite* bersifat ulet dan *non - magnetic*. Sifat austenit adalah lunak, lentur, dan memiliki keuletan tinggi. Gambar 2.8 di bawah ini menunjukkan bentuk fasa austenit.



Gambar 2. 8 Struktur Mikro Austenit (Callister Jr & Rethwisch, 2018)

4. Sementit

Fasa sementit yang disebut juga fasa Fe_3C yang memiliki kandungan karbon 6,70 wt%. Sementit (Fe_3C) terbentuk ketika batas kelarutan karbon dalam α - *ferrite* terlampaui di bawah $727\text{ }^\circ\text{C}$ ($1341\text{ }^\circ\text{F}$) (untuk komposisi dalam wilayah fase ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)), Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Bentuk fasa sementit adalah seperti jaringan dan berwarna kehitaman. Karena fasa sementit memiliki sifat mekanis yang sangat keras dan getas, maka baja dengan fasa 100 % sementit yaitu pada baja dengan kadar karbon 6,7 % tidak digunakan di dunia industri. Bentuk fasa sementit dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah ini.

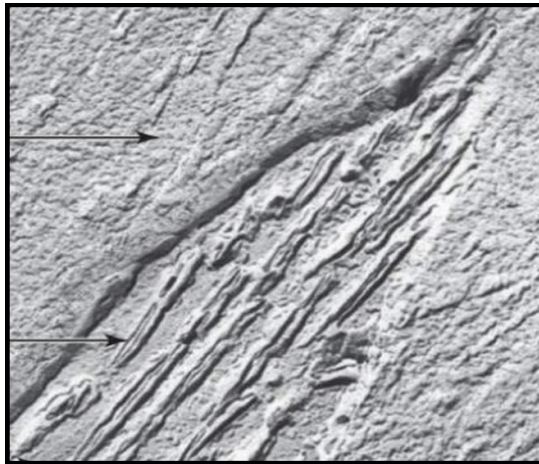


Gambar 2. 9 Struktur Mikro Sementit (Callister Jr & Rethwisch, 2018)

5. Bainit

Struktur mikro bainit terdiri dari fasa ferrit dan sementit, dan dengan demikian proses difusi terlibat dalam pembentukannya. Bainit berbentuk jarum atau pelat,

tergantung pada suhu transformasi. Detail struktur mikro bainit sangat halus sehingga resolusinya hanya mungkin dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron. Gambar 2.10 adalah mikrograf elektron yang menunjukkan butiran bainit (diposisikan secara diagonal dari kiri bawah ke kanan atas). Ini terdiri dari ferrit dan partikel memanjang Fe_3C berbentuk jarum. Fasa yang mengelilingi bainit adalah martensit.



Gambar 2. 10 Struktur Mikro Bainit (Callister Jr & Rethwisch, 2018)

6. Martensit

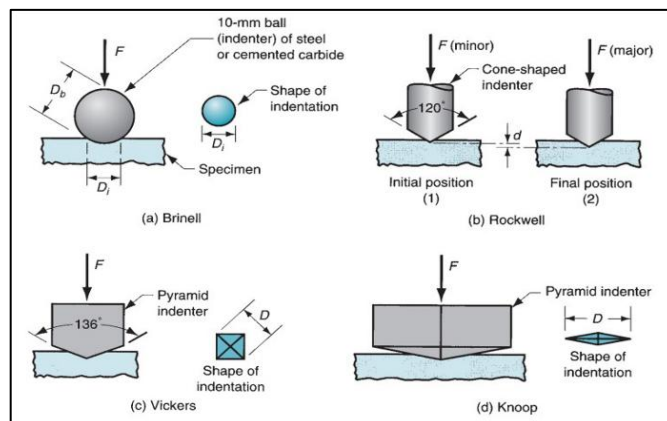
Fasa martensit memiliki struktur kristal BCT. Fasa ini terbentuk dari austenit stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tanpa penahanan temperatur. Fasa martensit memiliki karakteristik mikro dengan bentuk jarum- jarum pendek yang berwarna hitam pekat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Fasa putih pada mikrograf adalah austenit sisa (*retained austenite*) yang tidak berubah selama pendinginan cepat. Fasa martensit tidak dapat ditemukan di diagram fasa Fe- Fe_3C . Hal ini karena diagram fasa Fe- Fe_3C tidak terdapat fasa yang terbentuk akibat pendinginan cepat setelah perlakuan panas (*heat treatment*).



Gambar 2. 11 Struktur Mikro Martensit (Callister Jr & Rethwisch, 2018)

2.10. Pengujian Kekerasan

Metode uji kekerasan merupakan pengujian yang mengukur ketahanan dari suatu material terhadap adanya deformasi plastis pada suatu titik tertentu. Pengujian kekerasan digunakan untuk mengevaluasi resistensi material terhadap deformasi plastis, yang berkaitan erat dengan struktur mikro yang terbentuk akibat proses perlakuan panas. Nilai kekerasan yang diperoleh dapat memberikan gambaran terkait kualitas material, konsistensi produksi, serta kesesuaian dengan spesifikasi desain. Secara umum terdapat 3 metode yang sering digunakan untuk pengujian kekerasan yaitu Rockwell, Brinell, dan Vickers, 3 metode tersebut dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Ilustrasi pengujian kekerasan

Keunggulan dari masing masing alat uji adalah sebagai berikut, metode Rockwell hasil yang cepat dan langsung terbaca serta mudah digunakan metode ini cocok digunakan untuk pengujian produksi massal dan berbagai logam yang terutama baja

dan logam *non - ferro*, metode Brinell memiliki keunggulan mampu menguji material dengan struktur kasar atau tidak homogen seperti besi cor dan logam *non - ferro* hasil yang representatif untuk area yang lebih luas, sehingga cocok untuk material dengan butir partikel yang besar (Vaganova dkk., 2020), yang terakhir metode Vickers ini dapat digunakan untuk material yang sangat keras serta tipis yang memberikan hasil yang presisi pada berbagai beban dimana cocok untuk logam, keramik, dan polimer (Wu dkk., 2022). Pemilihan metode uji kekerasan untuk baja AISI 1045 ini sangat penting agar didapatkan hasil pengujian yang akurat dan representatif terhadap material uji. Pada penelitian ini digunakan metode Vickers karena metode ini cocok digunakan untuk pengujian pada area yang kecil serta pada material tipis selain itu metode ini dapat memberikan hasil dengan presisi dan dapat digunakan untuk material komposit (Vaganova dkk., 2020). Pada pengujian kekerasan dengan metode Vickers berdasar pada standar E92, dan hasilnya dapat dinyatakan dalam satuan *vickers hardness number* (VHN atau HV). Rumus utama untuk menghitung nilai kekerasan Vickers menggunakan persamaan 2.1 :

$$HV = 1,854 \times \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

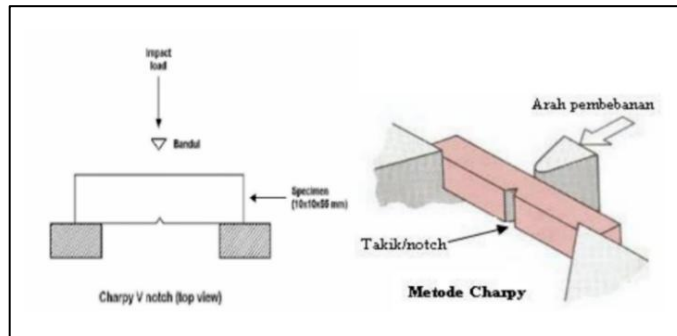
- HV = Nilai kekerasan *vickers* (kgf/mm²)
- d = Rata-rata diagonal jejak indentasi (mm)
- A = Luas permukaan indentasi (mm²)

2.11. Pengujian Impak

Uji impak merupakan metode pengujian yang menerapkan beban secara cepat atau dinamis. Dalam konteks pengujian mekanis, terdapat perbedaan mendasar dalam penerapan jenis beban terhadap suatu material. Pengujian seperti uji tarik, uji tekan, dan uji puntir dikategorikan sebagai pengujian dengan beban statis, sedangkan uji impak menggunakan beban dinamis. Pada pembebanan cepat yang juga disebut sebagai beban impak sebagian besar energi diserap oleh energi kinetik dari beban yang mengenai benda uji.

Dalam pengujian impak, jumlah energi yang diserap oleh material saat mengalami patah merupakan ukuran ketahanan atau ketangguhan impak material tersebut.

Material yang bersifat ulet menunjukkan ketangguhan yang lebih tinggi melalui penyerapan energi potensial dari pendulum yang berayun dari ketinggian tertentu, yang pada akhirnya menyebabkan benda uji mengalami deformasi hingga patah (Zulkifli dkk., 2010). Terdapat dua metode standar yang umum digunakan dalam uji impak, yaitu metode Charpy dan metode Izod. Ilustrasi mengenai kedua metode tersebut disajikan pada Gambar 2.13



Gambar 2. 13 Ilustrasi pembebanan pada metode Charpy (Jandri Fan dkk, 2023)

2.10. 1 Pengujian impak Metode Charpy

Pengujian impak metode Charpy adalah pengujian tumbuk dengan meletakkan spesimen dengan posisi horizontal atau mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan (Yopi Handoyo, 2013). Untuk menghitung jumlah energi yang diserap dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2 – 2.4) :

$$E = m \cdot g (h_0 - h_1) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$h_0 = 1 (1 - \text{Cos}\alpha) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$h_1 = 1 (1 - \text{Cos}\beta) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

E = Energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen (J).

m = massa pendulum (kg)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²).

h₀ = jarak awal pendulum dan material uji (m).

h₁ = jarak akhir pendulum setelah diayunkan (m).

cos α = Sudut pendulum sebelum dijatukan (max =140⁰).

$\cos\beta$ = Sudut pendulum setelah mematahkan spesimen.

Untuk menghitung Kekuatan impak dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5

$$K = E/A \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

K = Kekuatan impak (J/mm^2).

E = Energi yang diserap dalam satuan (J).

A = Luas permukaan patahan spesimen (mm^2).

2.12. Karakterisasi Struktur Mikro

Karakterisasi Struktur Mikro merupakan proses pengamatan yang bertujuan untuk mengetahui susunan fasa pada benda uji ataupun spesimen. Salah satu metode yang digunakan untuk mengamati karakterisasi struktur mikro suatu bahan adalah melalui teknik metalografi, menggunakan mikroskop dengan kemampuan perbesaran antara 100 hingga 2000 kali. Tujuannya adalah untuk mengetahui sifat dan struktur dari logam tersebut, dan juga hasil karakterisasi struktur mikro dapat berupa gambar yang memuat jenis fasa, ukuran, dan bentuk butir kristal, cacat, dan kandungan unsur kimia.

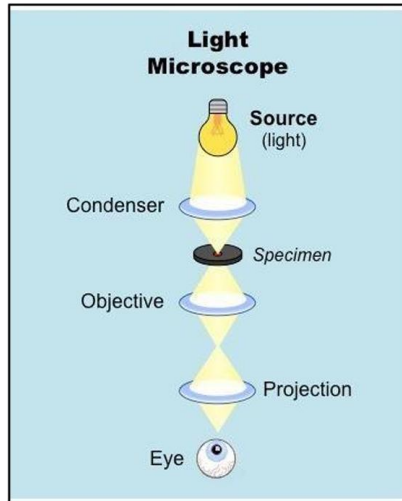
Menurut penelitian (Geels, 2006) dalam preparasi sampel untuk pengujian mikroskopik dilakukan melalui lima tahapan yaitu:

1. Pematangan
Proses pematangan dikerjakan dengan gergaji sehingga diperoleh sampel dengan dimensi sesuai dengan yang dikehendaki.
2. *Mounting*
Tujuan dari pembedahan adalah untuk kenyamanan dalam menangani sampel dengan bentuk dan ukuran yang sulit selama pengamatan metalografi.
3. Pengamplasan (*Grinding*)
Pengamplasan dilakukan untuk mengeliminasi sisi-sisi tajam dan goresan dari sampel akibat proses pematangan.
4. Pemolesan (*Polishing*)
Pada proses ini akan terjadi penghapusan goresan-goresan halus yang mungkin tersisa dari proses penggerindaan.
5. Pengetsaan (*etching*)

Pengetsaan adalah suatu proses yang dilakukan untuk menampakkan batasbatas butir yang terbentuk pada logam.

Metode linear intercept (*Heyn method*) adalah salah satu metode standar dalam ASTM E112 yang digunakan untuk menentukan ukuran butir rata - rata pada struktur mikro material. Prinsip dasarnya adalah mengukur jumlah perpotongan antara garis uji dengan batas butir (*grain boundaries*) pada citra struktur mikro. Semakin banyak batas butir yang terpotong dalam panjang garis tertentu, maka ukuran butir material semakin halus. Dalam praktiknya, beberapa garis digambar secara acak atau teratur pada foto mikro, kemudian jumlah batas butir yang dipotong dihitung. Nilai rata-rata *intercept* yang lebih kecil menunjukkan ukuran butir yang lebih halus, sedangkan nilai yang lebih besar menunjukkan ukuran butir yang lebih kasar. Metode ini banyak digunakan karena sederhana, akurat, dan sesuai untuk analisis kuantitatif struktur mirko pada logam.

Alat yang digunakan dalam pengujian metalografi adalah mikroskop optik. Secara umum, prinsip kerja mikroskop optik diawali dengan sinar datang yang bersumber dari sumber cahaya dan melewati lensa kondensor. Sinar tersebut kemudian diarahkan menuju *glass plane* yang berfungsi memantulkannya ke arah sampel. Sebelum mencapai permukaan sampel, sinar datang terlebih dahulu melalui serangkaian lensa pembesar. Setelah mengenai sampel, sebagian sinar akan dipantulkan kembali, sementara sebagian lainnya akan mengalami penyimpangan akibat mengenai permukaan yang telah terkorosi selama proses pengetsaan. Sinar yang dipantulkan kembali ke mikroskop optik selanjutnya diteruskan ke lensa okuler sehingga dapat diamati oleh pengguna, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Prinsip dasar pengamatan menggunakan mikroskop optik (Geels, 2006)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di beberapa tempat untuk proses *heat treatment* dilakukan di Laboratorium pirometalurgi, Teknik Metalurgi, Universitas Pembangunan “Veteran” Yogyakarta, yang beralamat di Babarsari, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Selain itu, Pengujian kekuatan impak Charpy dilakukan di Laboratorium pengujian bahan Universitas Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA), Pengujian kekerasan Vickers dilakukan di laboratorium bahan teknik Universitas Negeri Yogyakarta, sedangkan pengujian karakterisasi struktur mikro dilakukan di laboratorium bahan teknik Universitas Gadjah Mada (UGM).

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan kurang lebih selama dua bulan dimulai dari Desember 2025 – Januari 2026. Dalam kegiatan penelitian ini menggunakan metode *austempering* pada baja AISI 1045, hasil penelitian untuk mengetahui perubahan kekerasan, kekuatan Impak dan struktur mikro. Adapun waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Melakukan pengambilan sampel																




Pengambilan dan Pengolahan Data Hasil Lapangan																				
Analisis data																				
Penyusunan Draft Skripsi																				

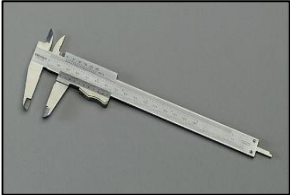


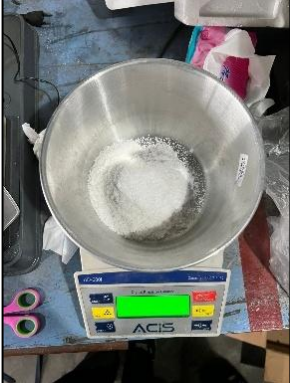

3.2. Alat dan Bahan

3.2. 1. Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Gambar 3. 1 Alat yang Digunakan Dalam Penelitian



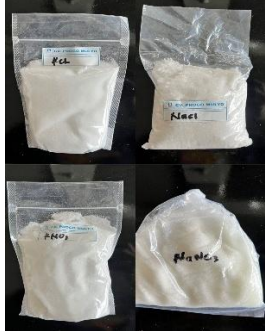

No	Nama Alat	Fungsi	Gambar Alat
1	1 Set Mesin <i>Muffle Furnace</i>	Untuk memanaskan benda uji dengan suhu tinggi dan menjaga dari kontaminan eksternal pada saat Penelitian.	
2	1 Set Mesin Uji Impak Charpy	Untuk mengukur nilai uji kekuatan impak pada spesimen pengujian.	
3	1 Set Mesin Mikroskop Optik	Untuk mengamati struktur mikro dari spesimen.	


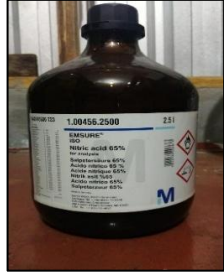
4	Jangka Sorong	Untuk mengukur panjang ukuran dari spesimen pengujian.	
5	Timbangan Digital	Untuk mengukur berat atau massa dari benda uji pada penelitian.	
6	<i>Thermo Gun</i>	Untuk mengukur temperatur <i>salt bath</i> saat dilakukan <i>holding time</i> pada penelitian.	
7	Wadah	Tempat untuk proses <i>quenching</i> menggunakan media <i>salt bath</i> sebagai media pendingin pada penelitian.	
8	1 Set Mesin Kekerasan Vickers	untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen dengan variasi temperatur dan <i>holding time</i> yang berbeda.	

3.2. 2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Gambar 3. 2 Bahan yang Digunakan Dalam Penelitian

No	Nama Alat	Fungsi	Gambar Alat
1	Spesimen Uji AISI 1045	Sebagai bahan material penelitian (komposisi kimia baja AISI 1045 dapat dilihat di lampiran).	
2	Amplas	Sebagai penghalus permukaan spesimen uji pada penelitian dengan grid 200, 400, 800, 1000, 2000.	
3	<i>Salt Bath</i> (NaNO ₃ – KNO ₃ dan NaCL – KCL)	Sebagai media <i>quenching</i> pada penelitian.	
4	Autosol	Sebagai media pengkilat benda uji dan polising pada pengujian.	

5	Timbangan Digital	Untuk mengukur berat atau massa dari benda uji pada penelitian.	
6	HNO3	Sebagai bahan etsa (<i>etching</i>) untuk menampakkan struktur mikro pada permukaan spesimen.	

3.3. Variabel Penelitian

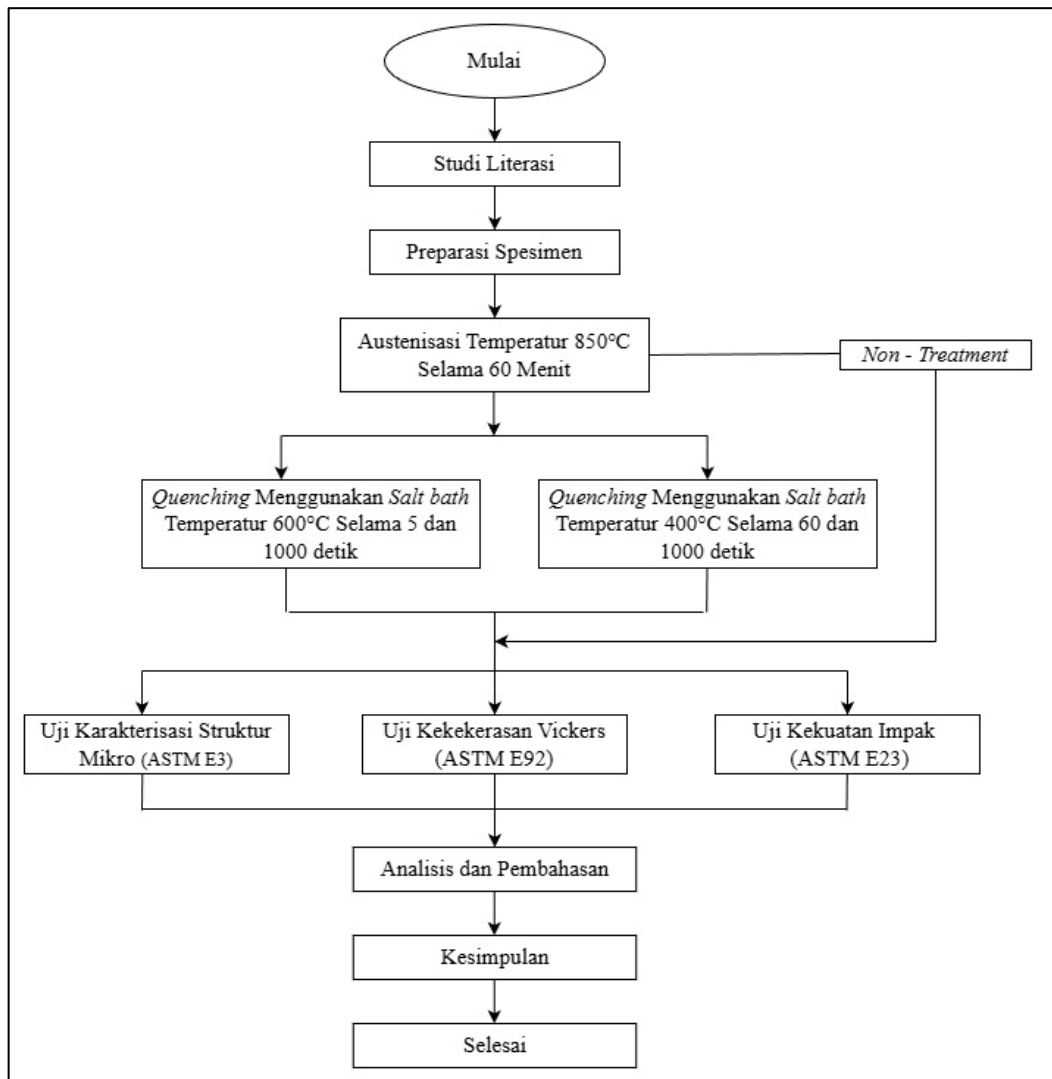
Adapun variabel yang digunakan pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Variabel penelitian

Material	Variabel Terikat			Variabel Bebas	
	Austenisasi		<i>Quenching</i>	<i>Austempering</i>	
	<i>Holding Time</i> (menit)	Temperatur (°C)	Media Pendinginan	Temperatur (°C)	<i>Holding Time</i> (detik)
Baja AISI 1045	60	850	<i>Salt bath</i>	400	60
				600	1000
				600	5
				600	1000

3.4. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, dimulai dengan studi literatur kemudian melakukan persiapan alat dan bahan yang selanjutnya penelitian ini dapat dilakukan. Setelah dilakukan penelitian, akan dilakukan beberapa pengujian hingga pembahasan terkait penelitian ini. Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian dan lebih sistematis, maka diperlukan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



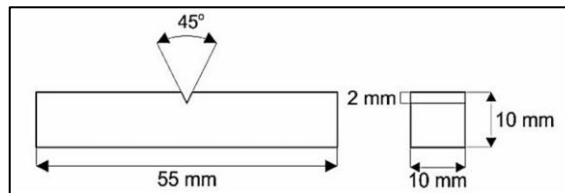
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.5. Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan agar diperoleh data-data yang dibutuhkan dalam menyusun dan megolah hasil penelitian ini. Berikut merupakan beberapa tahapan penelitian yang dilakukan.

3.5.1. Persiapan Material

Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa baja AISI 1045 berbentuk batang dengan ukuran panjang 10 mm dan tebal 10 mm. Persiapan alat dan bahan diawali dengan dilakukannya pemotongan batang baja AISI 1045. Plat baja tersebut dipotong terlebih dahulu menjadi 5 bagian dengan dimensi yang seragam yaitu 55 x 10 x 10 mm. Desain spesimen baja AISI 1045 dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini



Gambar 3. 4 Desain Spesimen Baja AISI 1045

3.5.2. Austenisasi

Setelah proses persiapan dan pemotongan batang baja AISI 1045, batang baja tersebut kemudia dilakukan proses austenisasi menggunakan alat *furnace*. Proses austenisasi dilakukan dengan memperhatikan beberapa parameter, seperti temperatur dan *holding time*. Proses austenisasi dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3. 5 Proses Austenisasi

3.5.3. Austempering

Setelah proses austenisasi dilakukan, preparasi pembuatan media *salt bath* dilakukan melalui beberapa tahapan untuk menjamin kestabilan temperatur dan homogenitas perpindahan panas selama proses *austempering*. Tahap awal meliputi pemilihan jenis garam sesuai temperatur operasi, yaitu campuran garam nitrat ($\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3$) untuk temperatur sekitar $400\text{ }^\circ\text{C}$ dan campuran garam klorida ($\text{NaCl} - \text{KCl}$) untuk temperatur sekitar $600\text{ }^\circ\text{C}$, berdasarkan kestabilan *thermal* dan titik lelehnya. Penentuan kebutuhan massa media dilakukan berdasarkan kapasitas wadah (*crucible*) berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 10 cm. Untuk menghindari luapan selama proses, media diisi sebesar 50 % dari volume total wadah. Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh volume efektif sebesar $392,5\text{ cm}^3$ dan dengan asumsi densitas garam cair sebesar $1,9\text{ g/cm}^3$, maka massa media yang digunakan sekitar 750 gram. Media *salt bath* dibuat dengan perbandingan 1:1 berdasarkan massa, sehingga masing-masing komponen garam memiliki massa sekitar 375 gram. Garam kemudian ditimbang sesuai komposisi dan dicampur dalam kondisi kering untuk menghindari kontaminasi serta percikan saat pemanasan.

Proses pemanasan dilakukan menggunakan *gas furnace*, di mana campuran garam dimasukkan ke dalam *crucible* dan dipanaskan secara bertahap hingga mencapai fase cair. Temperatur dipantau menggunakan *thermo gun* untuk memastikan pencapaian temperatur operasi yang diinginkan, yaitu sekitar $400\text{ }^\circ\text{C}$ atau $600\text{ }^\circ\text{C}$, serta dijaga tetap konstan melalui pengaturan nyala gas. Setelah seluruh garam mencair, dilakukan pengadukan ringan untuk memperoleh distribusi panas yang homogen. Kotoran atau oksida yang muncul di permukaan dibersihkan guna mencegah kontaminasi pada spesimen, dan sebelum digunakan, media dipastikan berada dalam kondisi temperatur yang stabil dan merata.

Batang baja AISI 1045 kemudian didinginkan secara *isothermal* dalam media *salt bath*. Setelah proses *holding time* selesai, spesimen dikeluarkan dan didinginkan secara perlahan pada temperatur ruang (*air cooling*). Seluruh proses dilakukan dengan memperhatikan parameter utama, yaitu temperatur dan waktu tahan, guna memperoleh transformasi struktur mikro yang optimal.

3.5. 4. Pengujian Spesimen

Setelah diberi perlakuan panas (*heat treatment*), spesimen akan diuji menggunakan 3 jenis pengujian, yaitu pengujian kekerasan Vickers, kekuatan impak Charpy, dan karakterisasi struktur mikro.

1. Uji Kekerasan Vickers

- a. Menyiapkan spesimen uji yang telah dipotong dan dipersiapkan sesuai ukuran yang dibutuhkan.
- b. Melakukan pengukuran dimensi spesimen meliputi panjang, lebar, dan tebal.
- c. Spesimen kemudian diletakkan secara hati-hati pada dudukan alat uji agar posisi indentasi tepat sasaran.
- d. Mengoperasikan alat uji Vickers dengan memberikan beban tertentu pada indenter selama waktu yang telah ditentukan.
- e. Mengamati dan menganalisis jejak tekan melalui mikroskop optik sehingga didapatkan nilai kekerasan mikro dari spesimen uji.
- f. Melakukan pengukuran terhadap dua diagonal jejak tekan (d_1 dan d_2), yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai kekerasan Vickers (HV)

2. Uji Karakterisasi Struktur Mikro

- a. Mempersiapkan spesimen dan bahan yang akan digunakan..
- b. Mengamplas material untuk menghilangkan kotoran dan memudahkan dalam pengamatan dengan grid 200, 400, 800, 1000 dan 2000.
- c. Melakukan polishing pemolesan untuk memperoleh material yang mengkilap bebas goresan menggunakan autosol.
- d. Etching etsa menggunakan larutan HN0_3 .
- e. Melakukan analisis melalui mikroskop optik.

3. Uji Kekuatan Impak Charpy

- a. Menyiapkan alat uji impak, dan menyiapkan spesimen uji impak sesuai dimensi standar ASTM E-23.
- b. Benda uji dipasang pada mesin pengujian.
- c. Menerapkan sudut awal (α) standar pada pengujian yaitu sebesar 140°
- d. Menjalankan mesin dengan menekan tombol impak pada remot mesin.

- e. Mesin secara otomatis bergerak menghantam benda uji, secara bersamaan mesin secara otomatis memberikan data hasil berupa nilai energi dalam satuan Joule.
- f. Data hasil pengujian berupa energi (Joule) yang diterima oleh material pada mesin.
- g. Lalu mengkalkulasikan hasil energi yang diterima material hingga mendapat semua data yang dibutuhkan.

BAB IV

PENGOLAHAN DAN PENYAJIAN DATA

Penelitian ini menggunakan material Baja AISI 1045 yang mendapatkan proses *heat treatment*. Proses austenisasi pada suhu 850 °C dengan lama waktu penahanan (*holding time*) 60 menit. Selanjutnya, spesimen dilakukan proses pendinginan menggunakan media *salt bath* dengan variasi suhu sebesar 400 °C dan 600 °C dengan *holding time* selama 5, 60 dan 1000 detik. Setiap spesimen yang diperoleh masing-masing parameter tersebut selanjutnya dilakukan pengujian yaitu pengujian kekerasan untuk mengetahui ketahanan dari suatu material terhadap adanya deformasi plastis, pengujian kekuatan impak untuk mengetahui nilai ketangguhan spesimen sebelum mengalami patahan, Pengujian struktur mikro untuk mengetahui perubahan struktur mikro.

Untuk memudahkan dalam identifikasi, spesimen diberi kode nama, yaitu:

1. Spesimen *austempering* 400 °C, 60' merupakan kode untuk proses austenisasi pada suhu 850 °C dengan *holding time* 60 menit dilanjutkan *austempering* berupa pencelupan dalam *salt bath* suhu 400 °C selama 60 detik.
2. Spesimen *austempering* 400 °C, 1000' merupakan kode untuk proses austenisasi pada suhu 850 °C dengan *holding time* 60 menit dilanjutkan *austempering* berupa pencelupan dalam *salt bath* suhu 400 °C selama 1000 detik.
3. Spesimen *austempering* 600 °C, 5' merupakan kode untuk proses austenisasi pada suhu 850 °C dengan *holding time* 60 menit dilanjutkan *austempering* berupa pencelupan dalam *salt bath* suhu 600 °C selama 5 detik.
4. Spesimen *austempering* 600 °C, 1000' merupakan kode untuk proses austenisasi pada suhu 850 °C dengan *holding time* 60 menit dilanjutkan *austempering* berupa pencelupan dalam *salt bath* suhu 600 °C selama 1000 detik.
5. spesimen *as-received* merupakan kode untuk spesimen *non-treatment*.

4.1. Hasil Pemotongan Spesimen

Ukuran spesimen sesuai standar ASTM E-23 yaitu panjang keseluruhan 55 mm, lebar 10 mm, tebal 10 mm, dengan jenis tekukan V-notch, kedalaman 2 mm serta kemiringan sudut 45°. Kemudian dilakukan pemotongan menggunakan mesin *computer numerical control* “CNC” hingga membentuk spesimen sesuai standar ASTM E-23. Hasil pembuatan *design* dapat dilihat pada Gambar 3.2 sedangkan hasil pemotongan spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Hasil Pemotongan Spesimen

4.2. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

4.2.1 Prinsip dan Standar Pengujian

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengukur ketahanan dari suatu material terhadap adanya deformasi plastis pada suatu titik tertentu. Nilai kekerasan yang diperoleh dapat memberikan gambaran terkait kualitas material, konsistensi produksi, serta kesesuaian dengan spesifikasi desain. Pada pengujian ini dilakukan di laboratorium bahan teknik di Universitas Negeri Yogyakarta (UNY). Pada pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji *Vickers Hardness Tester* model wolper tester HT 2001 yang dilakukan pada 3 titik setiap satu spesimen serta standar acuan yang digunakan yaitu ASTM E92. Parameter uji yang digunakan yaitu gaya pembebanan yang diberikan sebesar 100 kgf atau 981 N dengan waktu penahanan selama 10 detik.

4.2. 2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Data hasil pengujian kekerasan vickers masing-masing spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Data Pengujian Kekerasan Vickers

Spesimen	D1 (mm)	D2 (mm)	D (mm)	HV (N/mm ²)	Rerata HV
Spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 60'	1,1092	0,9957	1,607	72	79
	1,0274	0,9838	1,519	80	
	1,0016	0,9455	1,474	85	
Spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 1000'	1,1227	1,0529	1,649	68	71
	1,0548	1,0644	1,587	74	
	1,0797	1,1004	1,629	70	
Spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 5'	1,1564	0,9862	1,649	68	70
	1,1065	1,0650	1,639	69	
	1,0512	1,1134	1,607	71	
Spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 1000'	1,0063	1,0431	1,527	80	73
	1,0536	1,0740	1,590	73	
	1,1237	1,1116	1,679	66	
Spesimen <i>As-received</i>	0,7142	0,8771	1,152	140	121
	0,8313	0,8460	1,254	117	
	0,8649	0,9071	1,318	107	

4.3. Hasil Pengujian Impak Charpy

4.3. 1 Prinsip dan Standar Pengujian

Pengujian impak charpy dilakukan untuk menentukan ketangguhan material terhadap pembebanan kejut dengan mengukur energi yang diserap spesimen saat mengalami patahan akibat tumbukan bandul. Pengujian ini memberikan gambaran kemampuan material dalam menahan propagasi retak secara tiba - tiba, sehingga sangat relevan untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik akibat perlakuan panas (*heat treatment*). Nilai energi serap yang diperoleh kemudian dikonversikan menjadi kekuatan impak berdasarkan luas penampang efektif pada daerah takik.

Pengujian impak pada penelitian ini dilakukan menggunakan mesin uji impak tipe JB-300B yang tersedia di Laboratorium Pengujian Bahan Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA). Spesimen dipasang secara horizontal pada dudukan mesin uji sesuai dengan standar ASTM E23, dengan posisi takikan (V-notch)

berada tepat di tengah bentang tumpuan. Orientasi takikan diatur berlawanan arah dengan datangnya pendulum agar beban tumbuk terfokus pada area takikan sebagai titik konsentrasi tegangan. Penempatan spesimen dilakukan secara presisi untuk memastikan hasil pengujian yang akurat dan konsisten yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Posisi spesimen pada mesin

Pengujian impak selanjutnya dilakukan dengan melepaskan pendulum sehingga menghantam spesimen pada area takikan. Energi yang diserap selama proses perpatahan direkam secara otomatis oleh sistem pembacaan pada mesin uji. Nilai yang diperoleh berupa energi serap (Joule) serta energi impak yang dihitung berdasarkan luas penampang efektif di bawah takikan.

4.3. 2 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian masing-masing spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, sedangkan tahapan perhitungan nilai energi impak secara rinci dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel 4. 2 Data Energi Serap

Kode Spesimen	Temperatur (°C)	Holding Time (s)	Energi Serap (J)
Spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 60'	400	60	247
Spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 1000'	400	1000	248
Spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 5'	600	5	240
Spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 1000'	600	1000	243
Spesimen <i>As-received</i>	-	-	137

Tabel 4. 3 Data Kekuatan Impak

Kode Spesimen	Energi Serap (J)	Nocth Area (mm ²)	Nilai Kekuatan Impak (J/mm ²)
Spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 60'	247	80	3,08
Spesimen <i>Austempering</i> 400 °C, 1000'	248	80	3,10
Spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 5'	240	80	3,00
Spesimen <i>Austempering</i> 600 °C, 1000'	243	80	3,03
Spesimen <i>As-received</i>	137	80	1,71

Data energi serap yang diperoleh dari hasil pengujian impak digunakan untuk menganalisis karakteristik perpatahan spesimen. Perbedaan karakteristik perpatahan ini berkaitan erat dengan perubahan struktur mikro akibat variasi temperatur dan *holding time* pada proses *austempering*. Bentuk patahan tiap spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.3; Gambar 4.4; Gambar 4.5; Gambar 4.6; Gambar 4.7.

**Gambar 4. 3** Hasil Pengujian Impak Spesimen *Austempering* 400 °C, 60'



Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Impak Spesimen *Austempering* 400 °C, 1000'



Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Impak Spesimen *Austempering* 600 °C, 5'



Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Impak Spesimen *Austempering* 600 °C, 1000'



Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Impak Spesimen *As-received*

4.4. Hasil Pengujian Struktur Mikro

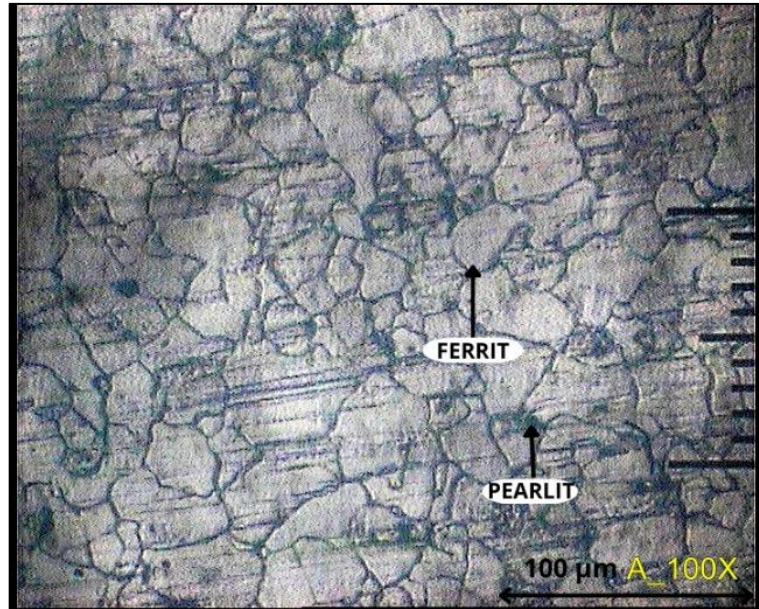
4.4.1 Prinsip dan Standar Pengujian

Pengujian struktur mikro digunakan untuk mengetahui karakterisasi struktur mikro dari spesimen penelitian. Sebelum dilakukan pengujian struktur mikro, dilakukan terlebih dahulu preparasi sesuai prosedur metalografi standar ASTM E3 dengan cara memperhalus permukaan dari bagian yang akan diamati hingga rata menggunakan amplas, kemudian dilakukan pemolesan agar menghindari adanya goresan-goresan sisa hasil pengamplasan serta mengkilapkan menggunakan pasta *polishing alumina*. Setelah dilakukan pemolesan dilakukan proses pengetsaan untuk mempermudah saat proses pengamatan. Larutan etsa yang digunakan adalah asam nitrat (HNO_3) sebesar 2%.

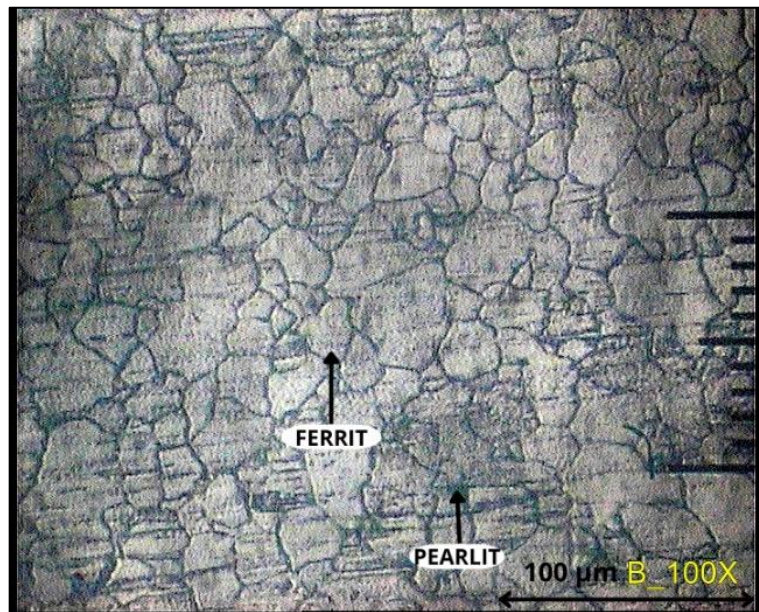
Pengujian Struktur Mikro dalam penelitian ini menggunakan mesin uji Olympus Microscope PME3. Pengujian struktur mikro dilakukan di laboratorium bahan teknik Universitas Gadjah Mada (UGM). Dengan perbesaran pada pengujian ini adalah 100x. Perubahan struktur mikro ini merupakan data kualitatif untuk mendukung data nilai perubahan kekuatan impak terhadap perubahan temperatur dan *holding time* pada proses *austempering*.

4.4.2 Data Hasil Pengujian

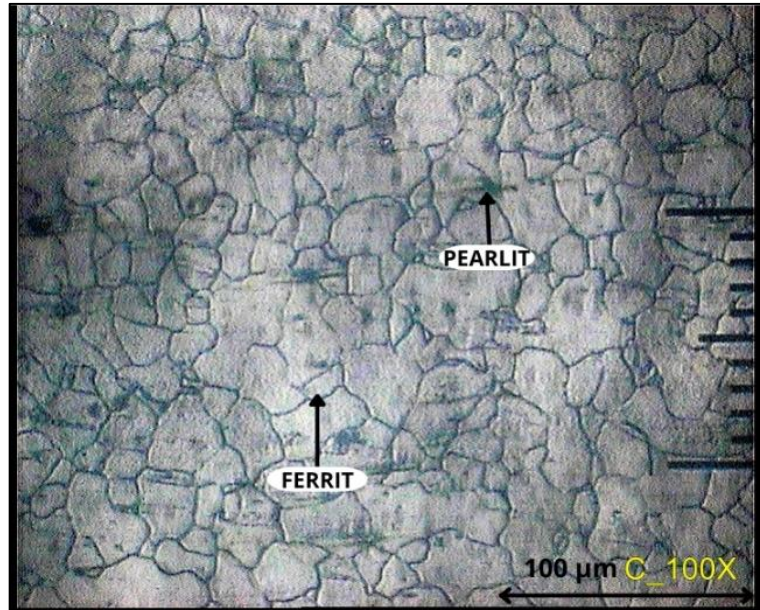
Hasil pengujian karakterisasi struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4.8; Gambar 4.9; Gambar 4.10; Gambar 4.11; Gambar 4.12.



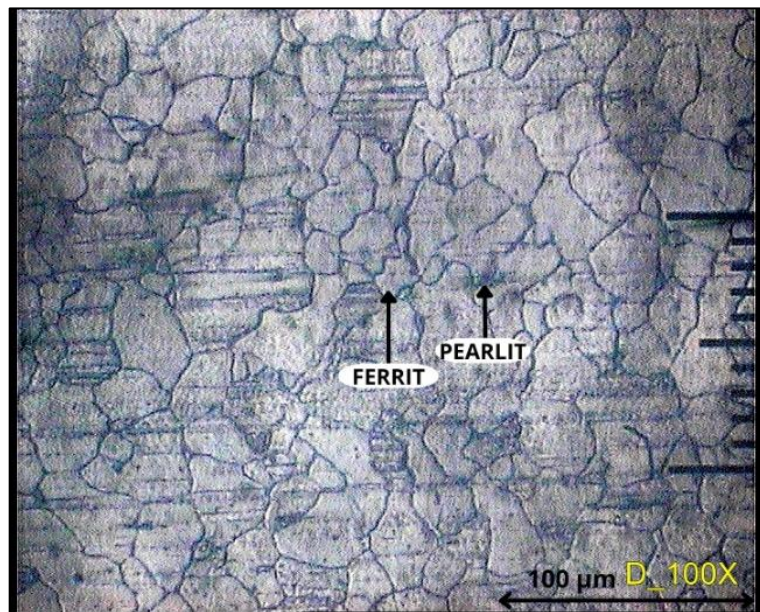
Gambar 4. 8 Struktur Mikro Spesimen *Austempering* 400 °C, 60'



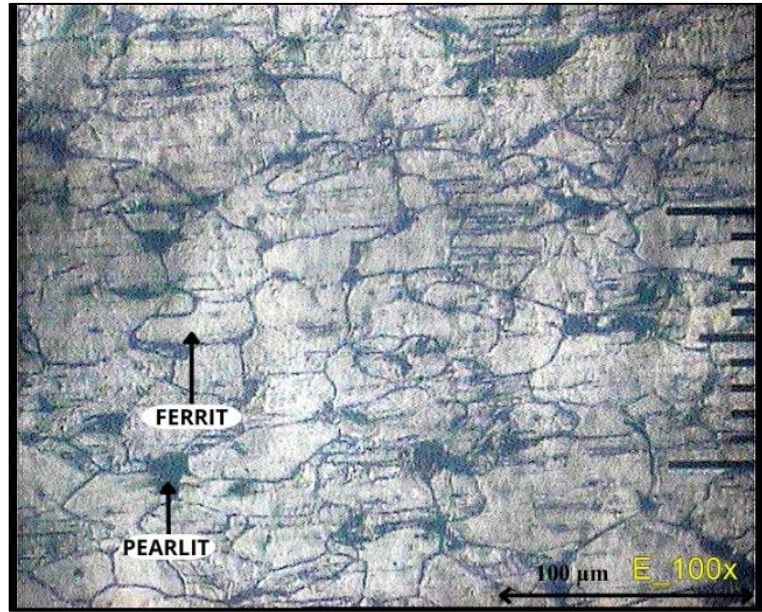
Gambar 4. 9 Struktur Mikro spesimen *Austempering* 400 °C, 1000'



Gambar 4. 10 Struktur Mikro spesimen *Austempering* 600 °C, 5'



Gambar 4. 11 Struktur Mikro spesimen *Austempering* 600 °C, 1000'



Gambar 4. 12 Struktur Mikro spesimen *as-received*

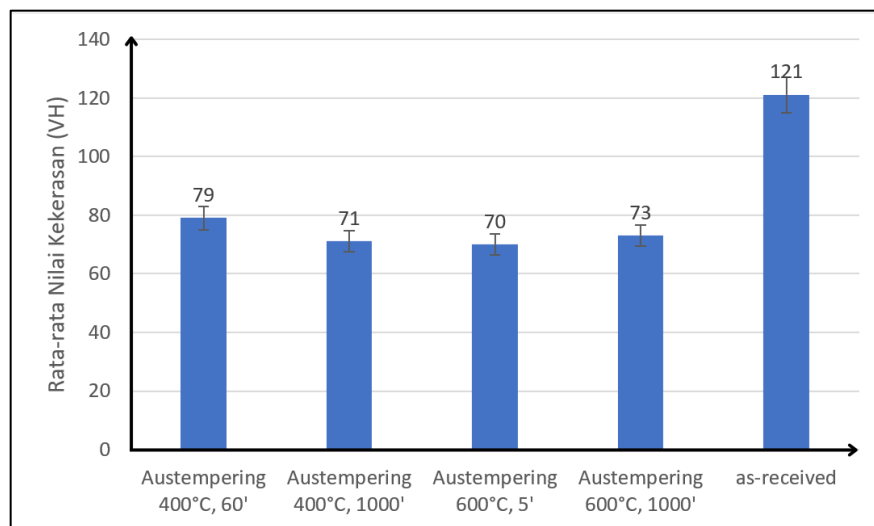
BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan. Sesuai dengan tujuan penelitian dan berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka akan diuraikan pengaruh variasi suhu dan *holding time* pada proses *austempering* baja AISI 1045 terhadap kekuatan impak dan karakterisasi struktur mikro. Variasi suhu *austempering* yang digunakan adalah 400 °C dan 600 °C dengan variasi *holding time* 5, 60 dan 1000 detik.

5.1. Analisis Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045

Analisis hasil Pengujian kekerasan vickers dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material baja AISI 1045 yang telah dilakukan *austempering*. Hasil pengujian berupa nilai rata-rata kekerasan dari tiap variabel penelitian. Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan grafik rata-rata nilai kekerasan yang dapat dilihat pada Gambar 5.1



Gambar 5. 1 Nilai Kekerasan Vickers

Berdasarkan grafik 5.1 rata-rata nilai kekerasan dapat diketahui nilai kekerasan dari masing - masing spesimen. Pada spesimen austempering 400 °C, 60' yang dilakukan proses *austempering* 400 °C dengan *holding time* 60 detik diperoleh nilai kekerasan Vickers sebesar 79 HV. Pada spesimen *austempering* 400 °C, 1000' yang

dilakukan proses *austempering* 400 °C dengan *holding time* 1000 detik diperoleh nilai kekerasan Vickers sebesar 71 HV. Pada *austempering* 600 °C, 5' yang dilakukan proses *austempering* 600 °C dengan *holding time* 5 detik diperoleh nilai kekerasan Vickers sebesar 70 HV. Pada *austempering* 600 °C, 1000' yang dilakukan proses *austempering* 600 °C dengan *holding time* 1000 detik diperoleh nilai kekerasan Vickers sebesar 73 HV dan spesimen *as-received* didapatkan nilai kekerasan Vickers sebesar 121 HV.

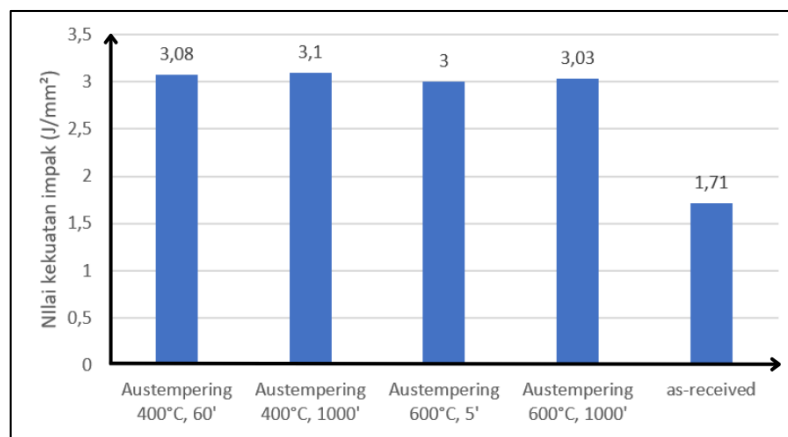
Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, diketahui bahwa variasi temperatur *austempering* dan waktu tahan (*holding time*) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan material, di mana seluruh spesimen yang mengalami proses *austempering* menunjukkan penurunan nilai kekerasan dibandingkan dengan *raw material*. Kondisi ini disebabkan oleh keadaan awal material tanpa perlakuan panas (*heat treatment*) yang telah mengalami *strain hardening* akibat deformasi plastis, sehingga memiliki densitas dislokasi yang tinggi yang menghambat pergerakan dislokasi dan meningkatkan kekerasan material. Selama proses *austempering*, material dipanaskan hingga mencapai fase austenit, kemudian ditahan pada temperatur tertentu sehingga terjadi transformasi isothermal menjadi bainit, disertai dengan penurunan densitas dislokasi melalui mekanisme pemulihan (*recovery*) dan rekristalisasi serta pelepasan tegangan sisa, yang menyebabkan berkurangnya efek *strain hardening* dan menurunnya nilai kekerasan. Pada spesimen *austempering* 400 °C, 60' diperoleh nilai kekerasan sebesar 79 HV, sedangkan pada spesimen *austempering* 400 °C, 1000' diperoleh nilai sebesar 71 HV, di mana penurunan ini disebabkan oleh terbentuknya bainit serta berkurangnya densitas dislokasi dan kemungkinan terjadinya koagulasi karbida akibat waktu tahan yang lebih lama. Sementara itu, pada spesimen *austempering* 600 °C, 5' diperoleh nilai kekerasan sebesar 70 HV, sedangkan pada spesimen *austempering* 600 °C, 1000' diperoleh nilai sebesar 73 HV, di mana perbedaan ini berkaitan dengan terbentuknya pearlit yang lebih merata, serta pada waktu tahan yang lebih lama memungkinkan transformasi pearlit berlangsung lebih sempurna sehingga mengurangi austenit sisa yang cenderung menurunkan kekerasan, sehingga secara keseluruhan penurunan kekerasan pada spesimen hasil

austempering dipengaruhi oleh kombinasi berkurangnya densitas dislokasi dan perubahan struktur mikro material.

Pada spesimen *austempering* 400 °C, 60' diperoleh nilai kekerasan sebesar 79 HV, yang menunjukkan penurunan sebesar 34,7% dibandingkan nilai spesimen *as-received* (121 HV), sedangkan pada spesimen *austempering* 400 °C, 1000' diperoleh nilai sebesar 71 HV, atau penurunan sebesar 41,3%. Sementara itu, pada spesimen *austempering* 600 °C, 5' diperoleh nilai kekerasan sebesar 70 HV (penurunan 42,1%), sedangkan pada spesimen *austempering* 600 °C, 1000' diperoleh nilai sebesar 73 HV (penurunan 39,7%).

5.2. Analisis Hasil Uji Kekuatan Impak Pada Baja AISI 1045

Analisis pengujian impak Charpy menunjukkan bahwa variasi temperatur dan *holding time* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai energi serap dan kekuatan impak baja AISI 1045. Grafik Hasil pengujian kekuatan impak tersebut dapat dilihat pada gambar 5.2



Gambar 5. 2 Nilai Kekuatan Impak Charpy

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.2 spesimen *austempering* 400 °C, 60' memiliki kekuatan impak sebesar 3,08 J/mm², sedangkan spesimen *austempering* 400 °C, 1000' menunjukkan nilai tertinggi yaitu dengan kekuatan impak sebesar 3,10 J/mm². Spesimen *austempering* 600 °C, 5' memiliki kekuatan impak sebesar 3,00 J/mm², sementara spesimen *austempering* 600 °C, 1000' memiliki kekuatan impak sebesar 3,03 J/mm². Sebaliknya, spesimen *as-received* sebagai raw material menunjukkan nilai paling rendah, yaitu dengan kekuatan impak 1,71 J/mm². Hasil

ini menunjukkan bahwa seluruh spesimen yang mengalami perlakuan *austempering* memiliki ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan spesimen *as-received*.

Nilai kekuatan impact tertinggi hingga terendah pada berbagai spesimen menunjukkan korelasi signifikan dengan fasa struktur mikro yang terbentuk pada diagram TTT, di mana spesimen *as-received* memperoleh nilai terendah akibat pembentukan fasa perlit dan ferit yang bersifat keras dan getas, sementara peningkatan signifikan pada spesimen *austempering* 400 °C, 60' disebabkan oleh pembentukan fasa austenit dan bainit, meskipun keberadaan austenit sisa memberikan kontribusi terhadap sifat getas yang terbatas. Fenomena ini semakin diperkuat oleh spesimen *austempering* 400 °C, 1000' yang menunjukkan nilai kekuatan impact tertinggi karena dominasi fasa bainit yang berperan krusial dalam menahan perambatan retak, berbeda dengan spesimen *austempering* 600 °C, 5' dan spesimen *austempering* 600 °C, 1000' yang cenderung lebih keras dan getas akibat pembentukan fasa perlit yang keras. Secara keseluruhan, peningkatan temperatur *austempering* cenderung mendorong terbentuknya fasa perlit yang lebih kasar, yang berdampak pada meningkatnya kekerasan namun menurunnya ketangguhan material (Porter & Easterling, 2009). Variasi *holding time* juga berpengaruh signifikan terhadap proses transformasi struktur mikro, di mana waktu tahan yang lebih lama memungkinkan difusi atom berlangsung lebih optimal sehingga menghasilkan struktur yang lebih stabil dan homogen, serta meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi impact (ASM International, 2009).

Seluruh spesimen hasil *austempering* mengalami peningkatan kekuatan impact dibandingkan spesimen *as-received* (1,71 J/mm²), yaitu: spesimen 400°C, 60' meningkat 80,1% (menjadi 3,08 J/mm²); spesimen 400°C, 1000' meningkat 81,3% (3,10 J/mm²); spesimen 600°C, 5' meningkat 75,4% (3,00 J/mm²); dan spesimen 600°C, 1000' meningkat 77,2% (3,03 J/mm²)

Pengamatan permukaan patahan menunjukkan adanya hubungan antara struktur mikro material dan perilaku impact pada setiap spesimen. spesimen *austempering* 400 °C, 60' dan spesimen *austempering* 400 °C, 1000' memperlihatkan permukaan patahan yang kasar dan berserat. Ciri ini menunjukkan terjadinya patahan ulet (*ductile fracture*), yaitu patahan yang didahului oleh deformasi plastis yang cukup

besar sebelum material mengalami kegagalan. Kondisi ini berkaitan dengan terbentuknya struktur bainit pada spesimen yang diproses pada temperatur sekitar 400 °C. Struktur bainit memiliki ukuran yang lebih halus dibandingkan ferrit – perlit sehingga mampu menahan terbentuknya dan perambatan retak ketika material menerima beban impact (Callister & Rethwisch, 2020).

Spesimen *austempering* 600 °C, 5' dan spesimen *austempering* 600 °C, 1000' menunjukkan nilai kekuatan impact yang sedikit lebih rendah dibandingkan spesimen spesimen *austempering* 400 °C, 60' dan spesimen *austempering* 400 °C, 1000', meskipun masih lebih tinggi dibandingkan spesimen *as-received*. Permukaan patahan kedua spesimen menunjukkan karakter patahan campuran (*mixed mode fracture*), yaitu kombinasi antara deformasi plastis dan bidang patahan yang relatif lebih rata. Spesimen yang diproses pada temperatur lebih tinggi didominasi oleh struktur ferrit – perlit. Struktur pearlit memiliki bentuk lapisan yang relatif lebih kasar dibandingkan bainit sehingga kemampuan material dalam menahan perambatan retak menjadi lebih rendah (Krauss, 2015).

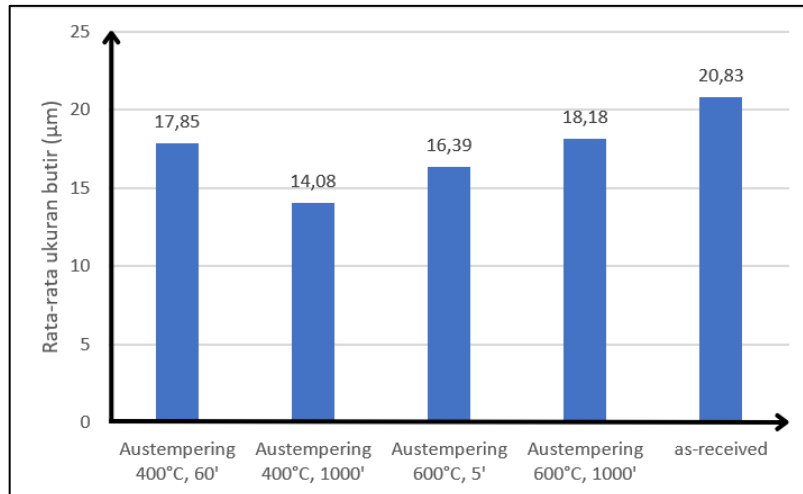
Spesimen *as-received* sebagai raw material menunjukkan permukaan patahan yang relatif lebih rata dengan retakan yang jelas serta deformasi plastis yang minimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa mekanisme patahan yang terjadi cenderung bersifat getas (*brittle fracture*). Struktur ferrit – perlit yang terdapat pada material awal memiliki pearlit lamelar yang relatif kasar, sehingga dapat menjadi titik konsentrasi tegangan dan mempermudah terbentuknya retak ketika material menerima beban tumbukan (Porter et al., 2009).

Berdasarkan analisis data pengujian impact, karakteristik permukaan patahan, dapat disimpulkan bahwa perlakuan *austempering* memberikan peningkatan yang signifikan terhadap ketangguhan baja AISI 1045 dibandingkan material awal. Perlakuan pada temperatur sekitar 400 °C menghasilkan nilai ketangguhan yang lebih tinggi karena terbentuknya struktur bainit yang lebih halus. Sementara itu, perlakuan pada temperatur yang lebih tinggi cenderung menghasilkan struktur ferrit – perlit yang memiliki ketahanan terhadap perambatan retak.

5.3. Analisis Hasil Uji Struktur Mikro Baja AISI 1045

Analisis hasil struktur mikro dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan fasa yang terjadi pada baja AISI 1045 akibat variasi temperatur dan *holding time* pada proses *austempering*. Struktur mikro memiliki peranan penting dalam menentukan sifat mekanik material karena distribusi fasa, ukuran butir, dan morfologi struktur mikro secara langsung mempengaruhi mekanisme deformasi plastis serta propagasi retak pada material (Callister & Rethwisch, 2020). Selain distribusi fasa, ukuran butir juga merupakan parameter penting dalam karakterisasi struktur mikro. Secara teoritis, ukuran butir berpengaruh terhadap sifat mekanik melalui hubungan Hall – Petch, di mana semakin kecil ukuran butir maka jumlah batas butir semakin banyak, sehingga pergerakan dislokasi semakin terhambat dan material cenderung memiliki kekerasan serta kekuatan yang lebih tinggi.

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro pada seluruh spesimen, diketahui bahwa fasa yang terbentuk secara dominan dan merata adalah ferrit dan perlit tanpa adanya indikasi terbentuknya fasa lain seperti bainit maupun martensit. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi perlakuan panas (*heat treatment*) yang diterapkan cenderung berada pada rentang temperatur dan waktu yang mengarahkan transformasi austenit menuju daerah pembentukan ferrit dan pearlit pada diagram TTT, serta didukung oleh laju pendinginan yang relatif lambat sehingga menghasilkan struktur mikro yang homogen. Namun demikian, apabila ditinjau dari hasil pengujian mekanik, terlihat adanya penurunan nilai kekerasan yang disertai dengan peningkatan nilai ketangguhan pada uji impak. Secara teoritis, kecenderungan tersebut dapat mengindikasikan kemungkinan terbentuknya fasa bainit, meskipun tidak teramati secara langsung pada hasil pengujian karakterisasi struktur mikro, yang diduga disebabkan oleh keterbatasan metode pengamatan yang digunakan.



Gambar 5.3 Nilai Ukuran Butir Struktu Mikro

Berdasarkan grafik 5.3 dan hasil perhitungan ukuran butir menggunakan metode *intercept linear*, diperoleh nilai rata-rata ukuran butir pada masing-masing spesimen yaitu Spesimen *austempering* 400 °C, 60' sebesar 17,85 µm, spesimen *austempering* 400 °C, 1000' sebesar 14,08 µm, spesimen *austempering* 600 °C, 5' sebesar 16,39 µm, spesimen *austempering* 600 °C, 1000' sebesar 18,18 µm, dan spesimen *as-received* sebesar 20,83 µm. Hasil ini menunjukkan bahwa spesimen *austempering* 400 °C, 1000' memiliki ukuran butir paling halus, sedangkan spesimen *as-received* memiliki ukuran butir paling kasar. Semakin kecil nilai ukuran butir menunjukkan struktur mikro yang lebih halus, yang umumnya berkorelasi dengan peningkatan kekerasan material karena batas butir yang lebih banyak mampu menghambat pergerakan dislokasi.

Ukuran butir yang lebih halus pada spesimen *austempering* 400 °C, 1000' menunjukkan bahwa kombinasi temperatur spesimen *austempering* 400 °C dengan *holding time* 1000 detik memberikan kondisi transformasi yang lebih efektif dalam memperhalus struktur mikro dibandingkan variasi perlakuan lainnya. Sebaliknya, ukuran butir terbesar pada spesimen *as-received* menunjukkan bahwa tanpa perlakuan panas, material masih memiliki struktur awal yang lebih kasar. Pada spesimen *austempering* 600 °C, 1000 detik, ukuran butir cenderung lebih besar dibandingkan spesimen lain hasil *austempering*, yang mengindikasikan bahwa temperatur lebih tinggi dengan waktu tahan lama dapat memicu pertumbuhan butir (*grain growth*).

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Nunes, 2020) yang menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada baja SAE 1045, dapat disimpulkan bahwa pada perlakuan *quenching*, fasa yang didominasi adalah martensit. Proses pendinginan cepat dalam *quenching* menyebabkan transformasi struktur austenit menjadi martensit, yang memiliki sifat kekerasan tinggi. Sementara itu, pada perlakuan tempering, meskipun martensit tetap dominan, terjadi perubahan struktur seiring dengan peningkatan temperatur yang mengarah pada pembentukan fasa bainit. Transisi ini mengakibatkan pengurangan proporsi martensit dan peningkatan ketangguhan baja, karena bainit memiliki karakteristik yang lebih baik dalam hal ketahanan terhadap retak dan deformasi, menjadikannya lebih sesuai untuk aplikasi yang memerlukan keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan.

Dalam kondisi eksperimental nyata, jalur transformasi fasa tidak selalu mengikuti diagram TTT secara ideal. Diagram TTT menggambarkan transformasi pada kondisi isothermal sempurna dan homogen, sedangkan dalam praktik proses *austempering* terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan deviasi dari kondisi ideal tersebut. Salah satu faktor utama adalah waktu yang dibutuhkan spesimen untuk mencapai temperatur *isothermal* setelah dipindahkan dari *furnace* menuju *salt bath*. Selama interval waktu tersebut, austenit dapat melewati daerah transformasi pearlit pada diagram TTT sehingga sebagian transformasi telah dimulai sebelum temperatur *isothermal* tercapai (Porter & Easterling, 2009). Faktor lain yang berpengaruh adalah laju difusi karbon yang meningkat pada temperatur tinggi. Pada temperatur sekitar 600 °C, difusi karbon berlangsung lebih cepat sehingga mendukung mekanisme transformasi difusional yang menghasilkan ferrit dan perlit. Kondisi ini menyebabkan pembentukan bainit menjadi tidak dominan meskipun proses yang dilakukan merupakan *austempering*.

Sehingga dapat disimpulkan hasil pengujian menunjukkan bahwa struktur mikro bainit tidak dapat teridentifikasi secara jelas, yang disebabkan oleh keterbatasan metode karakterisasi yang digunakan, yaitu mikroskop optik dengan resolusi yang tidak memadai untuk mengamati detail struktur mikro halus, sehingga pengamatan seharusnya dilakukan menggunakan SEM agar morfologi bainit dapat terlihat lebih

akurat. Selain itu, faktor proses perlakuan panas (*heat treatment*) juga berpengaruh, khususnya pada tahap pemindahan spesimen dari furnace menuju media salt bath, di mana waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur *isothermal* memungkinkan terjadinya transformasi fasa secara parsial. Selama interval tersebut, austenit berpotensi melewati daerah transformasi pearlit pada diagram TTT, sehingga sebagian transformasi telah dimulai sebelum temperatur *isothermal* tercapai, yang pada akhirnya menyebabkan terbentuknya struktur lain dan menghambat pembentukan bainit secara optimal.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dengan variasi temperatur dan *holding time* perlakuan panas (*heat treatment*) *austempering* dari baja AISI 1045 terhadap kekuatan impak dan struktur mikro maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi temperatur dan *holding time austempering* berpengaruh signifikan terhadap penurunan nilai kekerasan baja AISI 1045. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen *as-received* sebesar 121 HV, sedangkan seluruh spesimen *austempering* menunjukkan nilai kekerasan yang lebih rendah, yaitu berkisar antara 69 – 79 HV. Penurunan kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen *austempering* 600 °C, 5' sebesar 42,1% (menjadi 70 HV), sedangkan penurunan terendah pada spesimen 400 °C, 60' sebesar 34,7% (menjadi 79 HV).
2. Proses *austempering* terbukti meningkatkan kekuatan impak secara signifikan dibandingkan material awal. Nilai kekuatan impak meningkat dari 1,71 J/mm² (spesimen *as-received*) menjadi 3,00–3,10 J/mm² pada seluruh spesimen *austempering*. Peningkatan tertinggi terjadi pada spesimen *austempering* 400 °C, 1000' sebesar 81,3% (3,10 J/mm²), disusul 400 °C, 60' sebesar 80,1% (3,08 J/mm²), 600 °C, 1000' sebesar 77,2% (3,03 J/mm²), dan 600 °C, 5' sebesar 75,4% (3,00 J/mm²).
3. Hasil pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik menunjukkan bahwa seluruh spesimen *austempering* didominasi oleh fasa ferrit dan perlit, tanpa bainit atau martensit yang teramati secara jelas. Meskipun demikian, hasil uji mekanik mengindikasikan kemungkinan terbentuknya bainit dalam jumlah terbatas, yang tidak terdeteksi akibat keterbatasan resolusi mikroskop optik serta kondisi *isothermal* yang tidak sempurna saat perpindahan spesimen ke *salt bath*. Berdasarkan pengukuran ukuran butir dengan metode *linear*

intercept, spesimen *austempering* 400 °C, 1000' memiliki ukuran butir paling halus (14,08 µm), sedangkan spesimen *as-received* paling kasar (20,83 µm).

6.2. Saran

Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, peneliti memberikan beberapa saran yang bertujuan untuk mengembangkan penelitian ini kepada peneliti selanjutnya sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan uji tarik agar memberikan justifikasi yang lebih kuat terhadap pengaruh pembentukan bainit maupun pearlit terhadap kekuatan, keuletan, dan ketahanan material.
2. Disarankan menggunakan variasi temperatur *austempering* yang lebih luas agar pengaruh temperatur terhadap pembentukan struktur bainit dan perubahan sifat mekanik dapat dianalisis secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamczyk-Cieślak, B., Koralnik, M., Kuziak, R., Majchrowicz, K., Zygmunt, T., & Mizera, J. (2021). *The impact of retained austenite on the mechanical properties of bainitic and dual phase steels*. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31(6), 4419–4433. ASM International.
- Aldianto, F. (2012). *Studi transformasi fasa baja karbon menengah menggunakan diagram TTT terhadap perubahan struktur mikro akibat variasi laju pendinginan*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Ardansyah, B. J. (2022). Pengaruh quenching dilanjutkan *austempering* 200 °C dengan variasi waktu penahanan terhadap perubahan struktur mikro dan kekerasan baja AISI 4140. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- ASM International. (2009). *ASM Handbook, Volume 4: Heat Treating*. Materials Park, OH: ASM International.
- ASTM International. (2020). *ASTM A29/A29M – Standard Specification for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. 2017. *ASTM E92-17: Standard Test Method for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. 2018. *ASTM E23-18: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. 2017. *ASTM E3-17: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Babasafari, Z., Zarei-Hanzaki, A., & Khalesian, A. (2020). *Effects of austenizing temperature, cooling rate and isothermal holding on bainite/pearlite mixture formation*. *Materials Research Express*, 7(3), 036514. IOP Publishing.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Caballero, F. G., Bhadeshia, H. K. D. H., Mawella, K. J. A., Jones, D. G., & Brown, P. (2018). Very strong low temperature bainite. *Materials Science and Technology*, 18(3), 279–284.
- Campbell, J. (2008). *Casting* (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Canale, L. C. F., Totten, G. E., & Howes, M. A. H. (2020). *Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies*. CRC Press

- Deniyasa, F., & Santoso, B. (2018). Pengaruh metode *austempering* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 1045. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Bekasi: Universitas Islam '45.
- Djodi, A. (2012). Tahapan pengujian metalografi baja karbon sedang. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Eko Nugroho, A., Firmansyah, Y., & Putra, R. (2019). Studi diagram TTT baja AISI 1045 terhadap perubahan struktur mikro akibat variasi laju pendinginan. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 21(2), 85–92. Bandung: ITB Press.
- Indonesia *Iron & Steel Industry Association* (IISIA). (2024). *Weekly Update #32 – Perkembangan Industri Baja*. Jakarta: IISIA.
- Jonathan, M., Budiarto, U., & Jokosisworo, S. (2024). Analisis pengaruh variasi temperatur austenisasi pada proses quenching–tempering baja ST37 terhadap sifat mekanis dan struktur mikro sebagai material poros propeller. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(3). Semarang: Universitas Diponegoro.
- Karmin, & Ginting, M. (2012). *Proses perlakuan panas pada baja karbon*. *Jurnal Teknik Material*.
- Kontan. (2024). IISIA prediksi konsumsi dan produksi baja nasional naik 5,4 % pada 2024. Jakarta: Kontan News.
- Krauss, G. (2015). *Steels: Processing, Structure, and Performance* (2nd ed.). Materials Park, OH: ASM International.
- Mizhar, S., & Tampubolon, G. B. (2015). Analisa kekerasan dan struktur mikro terhadap variasi temperatur tempering pada baja AISI 4140. *Jurnal Ilmiah Mekanik Teknik Mesin*, 1(2), 98–104. Yogyakarta: UPN “Veteran”
- Nunes, W.R. 2020. *Caracterização estrutural e microestrutural do aço SAE 1045 submetido a tratamento térmico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde.*
- Putra, W. N., Widjana, M. I. A., Anis, M., & Prasetyo, Y. (2022). *The effect of transformation temperature and holding time of bainite structure formation on S45C steel*. *Evergreen*, 9(4), 1218–1223.
- Porter, D. A., Easterling, K. E., & Sherif, M. Y. (2009). *Phase Transformations in Metals and Alloys* (3rd ed.). CRC Press.
- Prabhudev, K. H. (2018). *Heat Treatment: Principles and Techniques*. New Delhi: *New Age International Publishers*.
- Schonmetz, H. (1985). *Fundamentals of Steel Heat Treatment*. New York: McGraw-Hill.
- Soedjono, S., & Mashudi. (1978). *Perlakuan Panas Baja Karbon*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.


- Sugianto, A., Nugroho, S., & Widodo, T. (2013). *Pengaruh proses quenching terhadap sifat mekanik baja karbon*. Jurnal Teknik Mesin
- Ståhlkrantz, A., Hedström, P., Sarius, N., & Borgenstam, A. (2024). *Influence of austempering conditions on hardness and microstructure of bainite in low-alloyed steel*. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 55, 209–217. Springer.
- Totten, G. E. (Ed.). (2013). *Steel Heat Treating: Fundamentals and Processes*. Materials Park, OH: ASM International.
- Totten, G. E., & Howes, M. A. H. (Eds.). (1997). *Steel Heat Treatment Handbook* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Wang, K., Hu, F., Zhou, W., Zhang, D., Yin, C., Yershov, S., & Wu, K. M. (2023). *Microstructural evolution and ultra-high impact toughness of bainitic steel austempered below Ms temperature*. *Journal of Materials Research & Technology*, 26, 5773–5785. Elsevier.
- Yopi Handoyo, Y. (2013). *Pengujian kekuatan impak baja karbon dengan metode Charpy*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Zulkifli, A., Handoyo, Y., & Djodi, A. (2010). *Pengaruh struktur mikro terhadap kekuatan impak baja karbon menengah*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

DOKUMEN BAHAN PENELITIAN

1. Mill Certificate Baja 1045



SeAH Besteel Corp.
1-6, SORYONG-DONG, KUNSAN,
CHEONGJU, KOREA(573-711)

MILL CERTIFICATE

TEL : +82-(0)63-460-8572. 8318(QA)
+82-(0)63-460-8114(Repres.)
FAX : +82-(0)63-460-8423 Page(0/0)

Date : 2024-12-26	Steel Grade : AISI 1045/S45C	Size (mm) : 8mm, 10mm, 16mm, 20mm
Cert. No. : 202412-26793	Shape of Product : PLATE SHEET	Length (mm) :
Customer :	Delivery Condition : FOUR SQUARE PLATE	Weight (kg) :
Heat No. : 357863		Quantity(pcs) : 1

Inspection Items		Chemical Composition (wt. %)				
		C	SI	MN	P	S
		x 100	x 100	x 100	x 1000	x 1000
Spec.	Min.	42	15	6		
	Max.	48	35	9	30	35
	Result	45	25	8	MAX	MAX

Inspection Items	Product Hardness (HB)
SURFACE	

Mechanical Properties AISI 1045/S45C


Mechanical Properties	Symbol	Standard Steel
Young's modulus (GPa)	<i>E</i>	190 - 210
Poisson's ratio	<i>v</i>	0,27 - 0,30
Density (Kg/m ³)	<i>P</i>	7.700 - 8.030
Yield strength (MPa)		569
Shear strength (MPa)		343
Extension ratio (%)		20
Area reduction (Psi)		30
Hardness (Hb)	<i>Hb</i>	160 - 220

<<Remarks>>

B/DS : 4

----- End of report -----

We hereby certify that the material described herein has been made in accordance with the rules of the contract.

Certified by 
Manager of Quality Assurance Dept

Gambar A. 1 Mill Certificate Baja 1045

2. Safety Data Sheet Potassium Nitrate

 Potassium Nitrate Safety Data Sheet		
<small>according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations Date of issue: 11/19/2004 Revision date: 09/12/2019 Supersedes: 02/13/2018 Version: 1.3</small>		
SECTION 1: Identification		
1.1. Identification		
Product form	: Substance	
Substance name	: Potassium Nitrate	
CAS-No.	: 7757-79-1	
Product code	: LC19818	
Formula	: KNO3	
Synonyms	: niter / nitrate of potash / nitrate of potassium / nitre / nitric acid potassium salt / saltpeter / saltpetre / vicknite	
1.2. Recommended use and restrictions on use		
Use of the substance/mixture	: For laboratory and manufacturing use only.	
Recommended use	: Laboratory chemicals	
Restrictions on use	: Not for food, drug or household use	
1.3. Supplier		
LabChem, Inc. Jackson's Pointe Commerce Park Building 1000, 1010 Jackson's Pointe Court Zelenople, PA 16063 - USA T 412-826-5230 - F 724-473-0647 info@labchem.com - www.labchem.com		
1.4. Emergency telephone number		
Emergency number	: CHEMTREC: 1-800-424-9300 or +1-703-741-5970	
SECTION 2: Hazard(s) identification		
2.1. Classification of the substance or mixture		
GHS US classification		
Oxidizing solids Category 3	H272 May intensify fire; oxidizer	
Skin corrosion/irritation Category 2	H315 Causes skin irritation	
Serious eye damage/eye irritation Category 2A	H319 Causes serious eye irritation	
Specific target organ toxicity (single exposure) Category 3	H335 May cause respiratory irritation	
Full text of H statements : see section 16		
2.2. GHS Label elements, including precautionary statements		
GHS US labeling		
Hazard pictograms (GHS US)	: 	
Signal word (GHS US)	: Warning	
Hazard statements (GHS US)	: H272 - May intensify fire; oxidizer H315 - Causes skin irritation H319 - Causes serious eye irritation H335 - May cause respiratory irritation	
Precautionary statements (GHS US)	: P210 - Keep away from heat, hot surfaces, open flames, sparks. - No smoking. P220 - Keep/Store away from clothing, combustible materials P221 - Take any precaution to avoid mixing with combustibles P261 - Avoid breathing dust. P264 - Wash exposed skin thoroughly after handling. P271 - Use only outdoors or in a well-ventilated area. P280 - Wear eye protection, protective clothing, protective gloves, face protection. P302+P352 - IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water. P304+P340 - IF INHALED: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing. P305+P351+P338 - If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing P312 - Call a POISON CENTER or doctor/physician if you feel unwell. P332+P313 - If skin irritation occurs: Get medical advice/attention. P337+P313 - If eye irritation persists: Get medical advice/attention.	
09/12/2019	EN (English US)	Page 1

Gambar A. 2 Safety Data Sheet Potassium Nitrate

4. Safety Data Sheet Potassium chloride

Product #: 149782 From: BRENNTAG PACIFIC INC. To: HILL BROTHERS CHEMICAL CO Friday, July 31, 2015

BRENNTAG SAFETY DATA SHEET

1. Identification
Product identifier POTASSIUM CHLORIDE
Other means of identification None.
Recommended use ALL PROPER AND LEGAL PURPOSES
Recommended restrictions None known.
Manufacturer/Importer/Supplier/Distributor information
Manufacturer
Company name Brenntag Pacific Inc.
Address 10747 Patterson Place
 Santa Fe Springs, CA 90670
Telephone 562-903-9626
E-mail Not available.
Emergency phone number 800-424-9300 CHEMTREC

2. Hazard(s) identification
Physical hazards Not classified.
Health hazards Not classified.
Environmental hazards Hazardous to the aquatic environment, acute hazard Category 3
 Hazardous to the aquatic environment, long-term hazard Category 3
OSHA defined hazards Not classified.
Label elements
Hazard symbol None.
Signal word None.
Hazard statement Harmful to aquatic life. Harmful to aquatic life with long lasting effects.
Precautionary statement
Prevention Avoid release to the environment.
Response Wash hands after handling.
Storage Store away from incompatible materials.
Disposal Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations.
Hazard(s) not otherwise classified (HNOC) None known.
Supplemental information 2.75% of the mixture consists of component(s) of unknown acute hazards to the aquatic environment. 2.75% of the mixture consists of component(s) of unknown long-term hazards to the aquatic environment.

3. Composition/information on ingredients
Mixtures

Chemical name	Common name and synonyms	CAS number	%
POTASSIUM CHLORIDE (KCL)		7447-40-7	97.25
SODIUM CHLORIDE (NACL)		7647-14-5	2
Other components below reportable levels			0.75

*Designates that a specific chemical identity and/or percentage of composition has been withheld as a trade secret.

4. First-aid measures
Inhalation Move to fresh air. Call a physician if symptoms develop or persist.
Skin contact Wash off with soap and water. Get medical attention if irritation develops and persists.


Material name: POTASSIUM CHLORIDE
 772456 Version #: 02 Revision date: 05-26-2015 Issue date: 05-26-2015 SDS US
 1 / 6

Gambar A. 4 Safety Data Sheet Potassium chloride

5. Safety Data Sodium Chloride



Science Lab.com
Chemicals & Laboratory Equipment



Health	1
Fire	0
Reactivity	0
Personal Protection	E

Material Safety Data Sheet

Sodium chloride MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification

<p>Product Name: Sodium chloride</p> <p>Catalog Codes: SLS3262, SLS1045, SLS3889, SLS1669, SLS3091</p> <p>CAS#: 7647-14-5</p> <p>RTECS: VZ4725000</p> <p>TSCA: TSCA 8(b) inventory: Sodium chloride</p> <p>CI#: Not applicable.</p> <p>Synonym: Salt; Sea Salt</p> <p>Chemical Name: Sodium chloride</p> <p>Chemical Formula: NaCl</p>	<p>Contact Information:</p> <p>Sciencelab.com, Inc. 14025 Smith Rd. Houston, Texas 77396 US Sales: 1-800-901-7247 International Sales: 1-281-441-4400 Order Online: Sciencelab.com</p> <p>CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call: 1-800-424-9300</p> <p>International CHEMTREC, call: 1-703-527-3887</p> <p>For non-emergency assistance, call: 1-281-441-4400</p>
---	--

Section 2: Composition and Information on Ingredients

Composition:

Name	CAS #	% by Weight
Sodium chloride	7647-14-5	100

Toxicological Data on Ingredients: Sodium chloride: ORAL (LD50): Acute: 3000 mg/kg [Rat], 4000 mg/kg [Mouse]. DERMAL (LD50): Acute: >10000 mg/kg [Rabbit]. DUST (LC50): Acute: >42000 mg/m 1 hours [Rat].

Section 3: Hazards Identification

Potential Acute Health Effects: Slightly hazardous in case of skin contact (irritant), of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation.

Potential Chronic Health Effects:
 CARCINOGENIC EFFECTS: Not available. MUTAGENIC EFFECTS: Mutagenic for mammalian somatic cells. Mutagenic for bacteria and/or yeast. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available. Repeated or prolonged exposure is not known to aggravate medical condition.

Section 4: First Aid Measures

Eye Contact:

p. 1


Gambar A. 5 Safety Data Sodium Chloride

LAMPIRAN B

STANDAR PENGUJIAN

1. Standar Pengujian Kekuatan Impak

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.

 Designation: E23 – 24 An American National Standard

Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E23; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods describe notched-bar impact testing of metallic materials by the Charpy (simple-beam) test and the Izod (cantilever-beam) test. They give the requirements for: test specimens, test procedures, test reports, test machines (see Annex A1) verifying Charpy impact machines (see Annex A2), optional test specimen configurations (see Annex A3), designation of test specimen orientation (see Terminology E1823), and determining the shear fracture appearance (see Annex A4). In addition, information is provided on the significance of notched-bar impact testing (see Appendix X1), and methods of measuring the center of strike (see Appendix X2).

1.2 These test methods do not address the problems associated with impact testing at temperatures below $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (77 K).

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.3.1 *Exception*—Section 9 and Annex A4 provide inch-pound units for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific precautionary statements are given in Section 6.*

1.5 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- B925 Practices for Production and Preparation of Powder Metallurgy (PM) Test Specimens
- E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- E1823 Terminology Relating to Fatigue and Fracture Testing
- E2298 Test Method for Instrumented Impact Testing of Metallic Materials

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Common to Mechanical Testing from Terminology E6:*

3.1.1 *absorbed energy*, [FL], n —work spent to fracture a specimen in a single pendulum swing, as measured by a compensated indicating device.

3.1.2 *drop height*, h , [L], n —the center of strike vertical distance between the free-hanging position and the latched position.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *direct verification*, n —process that ensures all parts that may affect measured absorbed energy are within specified dimensional tolerances.

3.2.2 *free-hanging position*, n —position of the pendulum after oscillation stops such that the potential and kinetic energy is zero.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.07 on Impact Testing.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved) Sat Jun 29 08:07:00 UTC 2024

1

Gambar B. 1 Standar Pengujian Kekuatan Impak ASTM E23

2. Standar Pengujian Struktur Mikro



Designation: E3 - 11

Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation E3; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of a light optical or scanning electron microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual specimen preparation problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*
A90/A90M Test Method for Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings²
E7 Terminology Relating to Metallography
E45 Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel

3. Terminology

3.1 *Definitions:*
3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E7.
3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*
3.2.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.
3.2.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.
3.2.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same plane of polish. It is unique to semi or fully automatic preparation equipment that utilize specimen holders.
3.2.4 *rigid grinding disc*—a non-fabric support surface, such as a composite of metal/ceramic or metal/polymer charged with an abrasive (usually 6 to 15 μ m diamond particles), and used as the fine grinding operation in a metallographic preparation procedure.

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Specimen Preparation. Current edition approved May 1, 2011. Published June 2011. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2007 as E3-01(2007)¹. DOI: 10.1520/E0003-11.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

1

Gambar B. 2 Standar Pengujian Karakterisasi Struktur Mikro ASTM E3

3. Standar Pengujian Kekerasan

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.

 Designation: E8/E8M – 22

American Association State Highway and Transportation Officials Standard
AASHTO No. T66
An American National Standard

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E8/E8M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

1.2 The gauge lengths for most round specimens are required to be 4D for E8 and 5D for E8M. The gauge length is the most significant difference between E8 and E8M test specimens. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

1.3 Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A370 and Test Methods B557, and B557M.

1.4 Room temperature shall be considered to be 10 °C to 38 °C [50 °F to 100 °F] unless otherwise specified.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as separate from inch/pound units. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.7 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- A356/A356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines
- A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- B557 Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products
- B557M Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products (Metric)
- E4 Practices for Force Calibration and Verification of Testing Machines
- E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil
- E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application
- D1566 Terminology Relating to Rubber
- E1856 Guide for Evaluating Computerized Data Acquisition Systems Used to Acquire Data from Universal Testing Machines
- E2658 Practices for Verification of Speed for Material Testing Machines

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Common to Mechanical Testing—*

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved May 1, 2022. Published July 2022. Originally approved in 1924. Last previous edition approved 2021 as E8/E8M – 21.
DOI: 10.1520/E0008M-22.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Oct 18 20:36:07 GMT 2022
Downloaded/printed by
Aarib Izaf Viharusa Carvalho (Instituto Mexicano Transporte) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

Gambar B. 3 Standar Pengujian Kekerasan ASTM E92

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN

A. Perhitungan Pembuatan Media *Salt Bath*

1. Perhitungan Volume Wadah (cm^3)

$$V = \pi \times r^2 \times t$$

$$V = 3,14 \times 5^2 \times 10$$

$$V = 3,14 \times 25 \times 10$$

$$V = 785 \text{ cm}^3$$

Keterangan :

$$V = \text{Volume (cm}^3\text{)}$$

$$\pi = 3,14$$

$$r = \text{Jari - jari (cm)}$$

$$t = \text{Tinggi (cm)}$$

2. Volume Efektif Media *Salt bath* (cm^3)

Karena pengisian 50 %.

$$V_{ef} = 0,5 \times V$$

$$V_{ef} = 0,5 \times 785$$

$$V_{ef} = 392,5 \text{ cm}^3$$

Keterangan :

$$V_{ef} = \text{Volume Efektif (cm}^3\text{)}$$

$$V = \text{Volume Wadah (cm}^3\text{)}$$

$$0,5 = \text{Persentase Pengisian}$$

3. Massa Total Media *Salt bath*

$$m = p \times V$$

$$m = 1,9 \times 392,5$$

$$m = 745,75 \text{ gram}$$

Keterangan :

$$m = \text{massa (gram)}$$

$$p = \text{densitas (g/cm}^3\text{)}$$

$V = \text{Volume } (cm^3)$

B. Perhitungan Nilai Kekuatan Impak

1. Perhitungan Luas Penampang (A)

a) $A = b \times (h - a)$

$$A = 10 \times (10 - 2)$$

$$A = 80mm^2$$

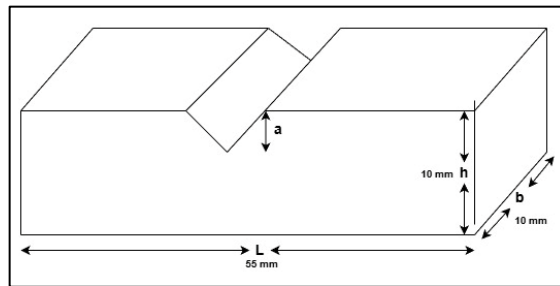
Keterangan :

A = Luas Penampang (mm^2)

L = Lebar Spesimen (mm)

h = Tinggi spesimen (mm)

a = Kedalaman V-notch (mm)



Gambar C. 1 Dimensi spesimen Uji impak

2. Perhitungan Kekuatan Impak (K)

$$K = \frac{E}{A}$$

Keterangan :

K = Kekuatan Impak (J/mm)

E = Energi Serap (J)

A = Luas Penampang (mm^2)

- Spesimen A

$$K = \frac{E}{A} = \frac{247}{80} = 3,08 \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

- Spesimen B

$$K = \frac{E}{A} = \frac{248}{80} = 3,10 \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

- Spesimen C

$$K = \frac{E}{A} = \frac{240}{80} = 3,00 \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

- Spesimen D

$$K = \frac{E}{A} = \frac{243}{80} = 3,03 \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

- Spesimen E

$$K = \frac{E}{A} = \frac{137}{80} = 1,71 \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

C. Perhitungan Pengujian Kekerasan Vickers

$$VH = \frac{2P\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2}$$

Keterangan :

VH = Nilai Kekerasan Vickers (Kgf/mm²)

P = Beban (kgf).

d = Diameter Jejak Indentansi (mm).

1,854 = Ketetapan besar sudut 136° pada sudut indentor piramida intan.

- Spesimen A (*Austempering* 400 °C 60 s)

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,6071^2} = 71,78 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,5193^2} = 80,31 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,4744^2} = 85,28 \text{ VH}$$

- Spesimen B (*Austempering* 400 °C 1000 s)

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,6492^2} = 68,16 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,5870^2} = 73,61 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,6299^2} = 69,79 \text{ VH}$$

- Spesimen C (*Austempering* 600 °C 5s)

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,6495^2} = 68,12 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,6390^2} = 69,03 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,6079^2} = 71,71 \text{ VH}$$

- Spesimen D (*Austempering* 600 °C 1000s)

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,5279^2} = 79,43 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,5906^2} = 73,27 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,6795^2} = 65,71 \text{ VH}$$

- Spesimen E (*As-received*)

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,1528^2} = 139,65 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,2543^2} = 117,84 \text{ VH}$$

$$VH = \frac{(1,854)P}{d^2} = \frac{(1,854)100}{1,3185^2} = 106,72 \text{ VH}$$

D. Perhitungan Ukuran Butir pada fotomikro

$$L = \frac{L_T}{N}$$

Keterangan :

L = *Grain counting* (μm)

L_T = Total panjang seluruh garis uji (μm)

L_T = 10 garis uji x 100 μm = 1000 μm

N = Total jumlah perpotongan garis dengan batas butir

- Spesimen A (*Austempering* 400 °C, 60')

$$L = \frac{L_T}{N} = \frac{1000}{56} = 17,85 \mu\text{m}$$

- Spesimen B (*Austempering* 400 °C, 1000')

$$L = \frac{L_T}{N} = \frac{1000}{71} = 14,08 \mu\text{m}$$

- Spesimen C (*Austempering* 600 °C, 5')

$$L = \frac{L_T}{N} = \frac{1000}{61} = 16,39 \mu\text{m}$$

- Spesimen D (*Austempering* 600 °C, 1000')

$$L = \frac{L_T}{N} = \frac{1000}{55} = 18,18 \mu\text{m}$$

- Spesimen D (*As-received*)

$$L = \frac{L_T}{N} = \frac{1000}{48} = 20,83 \mu\text{m}$$

LAMPIRAN D

HASIL PENELITIAN

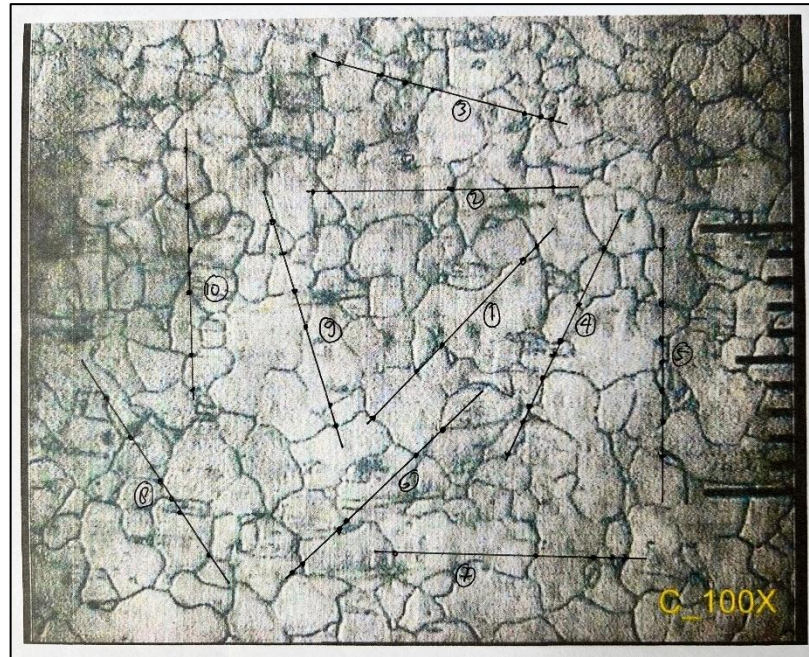
1. Hasil Pengujian Struktur Mikro



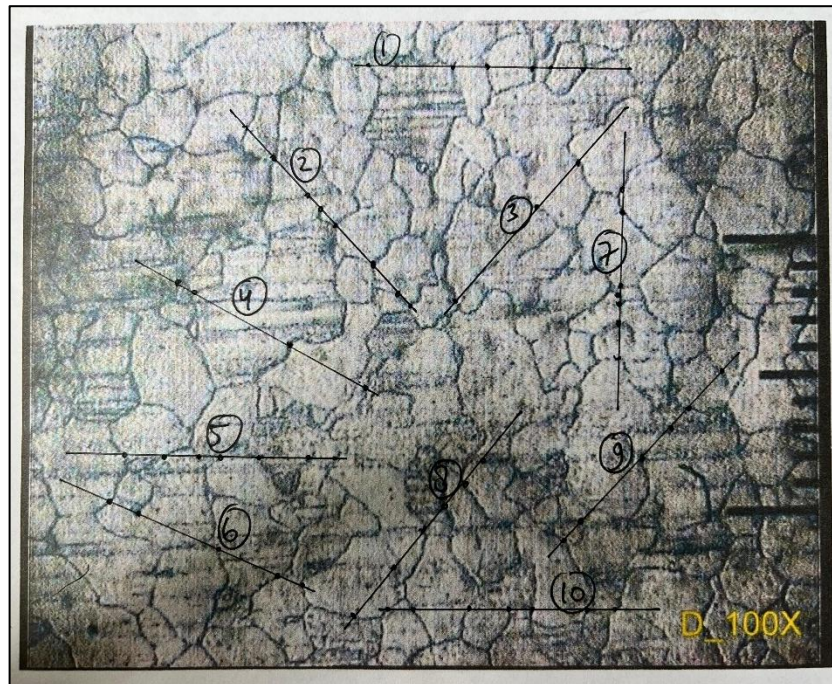
Lampiran D. 1 Hasil Pengamatan Visual Ukuran Butir Spesimen *Austempering* 400 °C, 60'



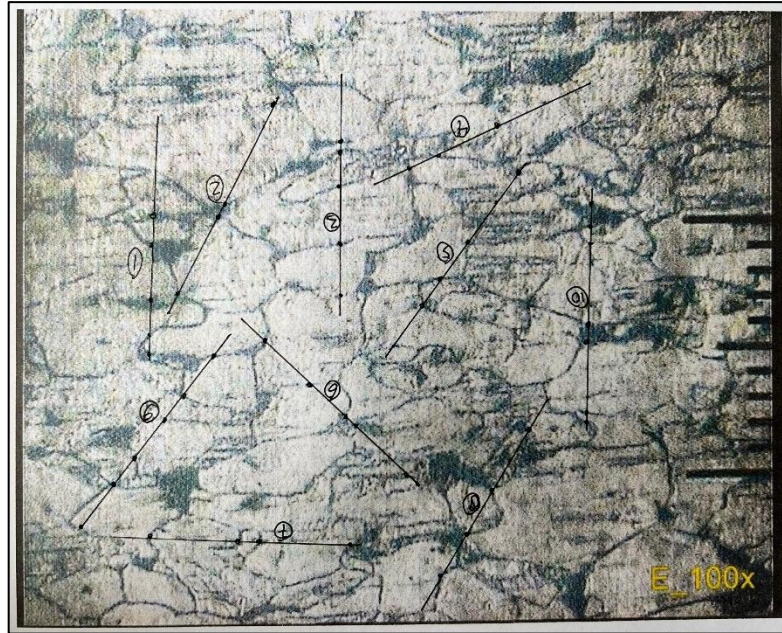
Lampiran D. 2 Hasil Pengamatan Visual Ukuran Butir Spesimen *Austempering* 400 °C, 1000'



Lampiran D. 3 Hasil Pengamatan Visual Ukuran Butir spesimen *austempering* 600 °C, 5'






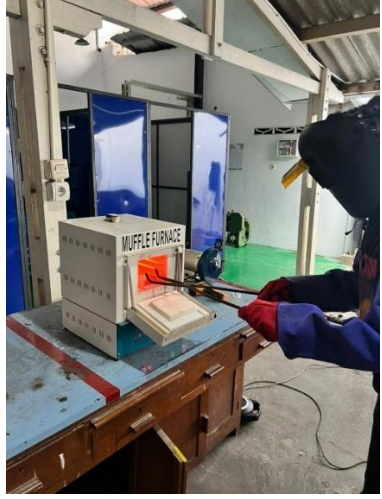

Lampiran D. 4 Hasil Pengamatan Visual Ukuran Butir spesimen *austempering* 600 °C, 1000'





Lampiran D. 5 Hasil Pengamatan Visual Ukuran Butir spesimen *as-received*

LAMPIRAN E
DOKUMENTASI KEGIATAN

No	Gambar Kegiatan	Keterangan
1		Persiapan dan pemotongan spesimen
2		Hasil pemotongan spesimen

<p>4</p>		<p>Proses pemotongan spesimen menggunakan alat CNC</p>
<p>3</p>		<p>Proses Perlakuan panas (<i>heat treatment</i>)</p>
<p>4</p>		<p>Hasil Proses perlakuan panas (<i>heat treatment</i>)</p>

5		Persiapan pada pengujian impak
6		Proses Pengujian impak