

PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* PADA PROSES *QUENCHING*
MENGUNAKAN MEDIA RESIN POLIESTER TAK JENUH DAN AIR
TERHADAP KEKERASAN, KETANGGUHAN, DAN STRUKTUR MIKRO
BAJA *AISI 1045*

(SKRIPSI)

Oleh :

RAHMAT ALIEF CHANDRA

2215021009



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* PADA PROSES *QUENCHING* MENGGUNAKAN MEDIA PENDINGIN POLIESTER TAK JENUH DAN AIR TERHADAP KEKERASAN, KETANGGUHAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1045

Oleh

RAHMAT ALIEF CHANDRA

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon menengah yang banyak digunakan pada komponen mesin yang memerlukan kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi holding time dan media pendingin air serta resin poliester tak jenuh pada proses quenching terhadap kekerasan, ketangguhan, dan struktur mikro baja AISI 1045. Variasi holding time yang digunakan adalah 30 menit, 60 menit, dan 120 menit. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan, uji impak, dan pengamatan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material awal memiliki kekerasan rata-rata sebesar 201,2553 Kg/mm² dan ketangguhan sebesar 0,3852 J/mm² dengan struktur mikro ferit-perlit. Setelah proses quenching, kekerasan meningkat signifikan seiring bertambahnya holding time, dengan nilai tertinggi pada media air sebesar 596,0369 Kg/mm² (peningkatan 196,18%), sedangkan pada resin poliester tak jenuh sebesar 229,7673 Kg/mm² (peningkatan 14,17%). Sebaliknya, nilai ketangguhan menurun, di mana nilai impak terendah diperoleh pada media air sebesar 0,1057 J/mm² (penurunan 72,56%), sedangkan pada resin poliester tak jenuh sebesar 0,2099 J/mm² (penurunan 45,51%). Pengamatan struktur mikro menunjukkan perubahan dari ferit-perlit menjadi dominasi martensit, terutama pada media air dan holding time yang lebih lama, sementara pada resin poliester terbentuk campuran martensit dan ferit/perlit. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan holding time dan penggunaan media pendingin dengan laju pendinginan tinggi dapat meningkatkan kekerasan, namun menurunkan ketangguhan akibat dominasi pembentukan martensit.

Kata kunci: baja AISI 1045, quenching, holding time, air, resin poliester tak jenuh, kekerasan, ketangguhan, struktur mikro, martensit.

ABSTRACT

THE EFFECT OF TEMPERATURE VARIATIONS IN THE ANNEALING PROCESS ON THE HARDNESS AND IMPACT STRENGTH FC25 GRAY CAST IRON

By
RAHMAT ALIEF CHANDRA

AISI 1045 steel is a medium-carbon steel widely used in machine components requiring a balance of strength and toughness. This study aims to analyze the effect of holding time variation and quenching media (water and unsaturated polyester resin) on the hardness, impact toughness, and microstructure of AISI 1045 steel. The holding time variations applied were 30 minutes, 60 minutes, and 120 minutes. The tests conducted included hardness testing, impact testing, and microstructural observation. The results show that the raw material has an average hardness of 201.2553 Kg/mm² and an impact toughness of 0.3852 J/mm² with a ferrite–pearlite microstructure. After the quenching process, hardness increases significantly with longer holding time, reaching the highest value in water at 596.0369 Kg/mm² (an increase of 196.18%), while in unsaturated polyester resin it reaches 229.7673 Kg/mm² (an increase of 14.17%). Conversely, the impact toughness decreases, with the lowest value obtained in water at 0.1057 J/mm² (a decrease of 72.56%), and in unsaturated polyester resin at 0.2099 J/mm² (a decrease of 45.51%). Microstructural observations indicate a transformation from ferrite–pearlite to predominantly martensitic structures, especially in water and at longer holding times, whereas the resin medium produces a mixture of martensite and ferrite/pearlite. These findings confirm that increasing holding time and using a faster cooling medium enhance hardness but reduce toughness due to the dominance of martensitic phase formation.

Keywords: *AISI 1045 steel, quenching, holding time, water, unsaturated polyester resin, hardness, toughness, microstructure, martensite.*

**PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* PADA PROSES *QUENCHING*
MENGUNAKAN MEDIA RESIN POLYETER TAK JENUH DAN AIR
TERHADAP KEKERASAN, KETANGGUHAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA
AISI 1045**

Oleh

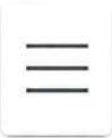
RAHMAT ALIEF CHANDRA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK
Pada
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**



Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* PADA PROSES *QUENCHING* MENGGUNAKAN MEDIA RESIN POLYESTER TAKJENUH DAN AIR TERHADAP KEKERASAN, KETANGGUHAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1045**

Nama Mahasiswa : *Rahmat Alief Chandra*

Nomor Pokok Mahasiswa : 2215021009

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

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

Pembimbing 2

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

MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 19740816 200012 1 001

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin

Dr. Ir. Martinus, S.T., MSc.
NIP. 19790821 200312 1003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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




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



Penguji Utama : Prof. Dr. Sugiyanto, M.T



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.
NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 02 JUNI 2026

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahmat Alief Chandra
Nomor Pokok Mahasiswa : 2215021009
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang telah diajukan memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini disebut dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, April 2026

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular stamp. The stamp is yellow and red, with the number '10000' and the text 'MTIR TEMBEL' visible. The signature is written in a cursive style.

Rahmat Alief Chandra

NPM. 2215021009

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Rahmat Alief Chandra dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 17 Maret 2004. Penulis merupakan anak Pertama dari pasangan Bapak Hengki Candra dan Ayu Meilisa. Penulis mengawali pendidikan formal di SD MIN 6 wayhalim pada tahun (2010-2016), SMP Qur'an Darul Fattah (2016-2019), SMKN 5 Bandra Lampung (2019-2022). Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Material pada tahun 2025-2026, mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) Sebagai Anggota bidang kerohanian periode 2023/2024 dan mengikuti unit kegiatan mahasiswa FOSSI FT sebagai staff humas 2023/2024 . Penulis menjalankan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Kedamaian, Kec. Kedamaian, Kota Bandra Lampung pada awal Juni-Juli 2025. Penulis mendapatkan kesempatan magang pada program PKKM Pertukaran Mahasiswa Di Universitas Andalas., Kota Padang ,Sumatera Barat pada Agustus 2024 – Desember 2024, Pada skripsi ini penulis melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul “Pengaruh Variasi *Holding Time* Pada Proses Quenching dengan Menggunakan Media Pendingin Resin Polyester Tak Jenuh Pada Kekerasan ,ketangguhan dan Struktur Mikro Baja AISI 1045” dibawah bimbingan Bapak Zulhanif, S.T.,M.T dan Bapak Harnowo Supriadi S.T., M.T. serta Prof. Dr. Sugiyanto, M.T sebagai pembahas.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Qs. Al-Baqarah : 286)

“Cukuplah Allah bagiku, tidak ada Tuhan selain Dia. Hanya kepadaNya aku bertawakal”
(Qs. Al-Zalzalah : 7)

“Janganlah kamu bersikap lemah dan janganlah (pula) kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi derajatnya jika kamu beriman”
(Qs. Ali Imran : 139)

“Dan barang siapa bertakwa kepada Allah, niscaya Dia akan membukakan jalan keluar baginya”
(Qs. At-Talaq : 2)

PERSEMBAHAN

Atas Ridho Allah SWT dan dengan segala kerendahan hati

Saya persembahkan skripsi ini kepada kedua orang tua saya yaitu Bapak Hengki Chandra dan Ibu Meilisa, yang sangat saya sayangi dan cintai atas segala keikhlasan disetiap pengorbanan, dukungan dan doa untuk anakmu ini sehingga mendapatkan gelar sarjana.

Saudara dan saudari saya Rahmat Arief Chandra, Rasyad Akbar Chandra, Raiqa Maryam Chandra, yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa yang tiada henti-hentinya kepada tuhan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Untuk sahabat-sahabat saya yang selalu memberikan semangat, dukungan, bantuan dan doa untuk saya selama proses penyelesaian skripsi ini.

Almamaterku, UNIVERSITAS LAMPUNG.

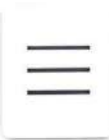
SANWACANA

Puji syukur saya panjatkan kehadapan Allah SWT yang telah melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi *Holding Time* Pada Proses Quenching dengan Menggunakan Media Pendingin Resin Polyester Tak Jenuh Dan Air Pada Kekerasan ,ketangguhan dan Struktur Mikro Baja AISI 1045”.Skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat wajib perkuliahan jenjang Sarjana (S1) Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Penulis sejatinya menyadari akan kekurangan atau keterbatasan, pengetahuan, pengalaman dan kemampuan yang Penulis miliki. namun terlepas dari itu, Penulis memiliki harapan agar tulisan ini dapat bermanfaat bagi berbagai macam pihak dan dapat memberi sumbangan pemikiran bagi bidang akademis dan bidang lainnya, melalui kesempatan ini pula Penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih atas kritikan, saran, bimbingan, serta petunjuk-petunjuk dari semua pihak yang sangat Penulis harapkan guna kelengkapan dan penyempurnaan Skripsi ini.

Penulis tidak akan berhasil dengan baik tanpa ada bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama atas kesediaannya dalam membimbing serta memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T selaku dosen pembimbing pendamping Tugas Akhir, atas kesediaan dan keikhlasannya untuk berbagi ilmu, membimbing, memberi



kritik sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya.

3. Prof. Dr. Sugiyanto M.T. selaku dosen pembahas dalam Tugas Akhir ini telah memberi kritik dan masukan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Prof. Ir Irza Sukmana, S.T., M.T.,Ph.D, IPU. selaku dosen Pembimbing Akademik telah membimbing penulis selama melaksanakan perkuliahan serta membantu segala permasalahan akademik yang dialami penulis.
5. Dr. Ir. Martinus, S.T., MSc. selaku Ketua Program Studi Sarjana S1 Teknik Mesin Universitas Lampung telah memberikan arahan mengenai perkuliahan.
6. Ahmad Su'udi,S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan kenyamanan selama perkuliahan.
7. Kedua orang tersayang Bapak dan Ibu (Hengki dan Lisa) yang selalu memberikan nasehat, motivasi serta selalu mendukung penulis dari awal hingga akhir masa perkuliahan.
8. Para staf admin Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang selalu sed dan sigap membantu penyelesaian segala berkas yang diperlukan penulis.
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Universitas Lampung Angkatan 2022.

Akhir kata, Penulis sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan skripsi ini dari awal sampai akhir.

Bandar Lampung, April 2026

Rahmat Alief Chandra

NPM. 2215021009

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Baja	7
2.2 Jenis Jenis Baja	8
2.3 Baja Karbon	9
2.4 Sifat Mekanik Baja Karbon Medium.....	11
2.5 Perlakuan Panas	13
2.6 Variasi Temperatur	14
2.8 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	18
2.9 Pengujian Kekerasan.....	25
2.10 Pengujian Impak	27
2.11 Jenis-Jenis Metode Impak	27
2.12 Perhitungan Kekuatan Impak.....	28
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
3.2 Bahan yang digunakan.....	31
3.3 Alat yang digunakan	32
3.4 Cara Penelitian.....	42
3.5 Diagram Alir.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1 Komposisi Bahan.....	48
4.2 Data Pengujian Kekereasan Vickers.....	50
4.2.1 Data nilai Pengujian kekerasan Vickers.....	50
4.3 Data pengujian impak Charpy	53
4.4 Data hasil pengamatan struktur mikro	60
BAB V PENUTUP	66
5.1 Simpulan	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	69

Daftar Tabel

Tabel 2. 1	Komposisi kimia dan sifat mekanik Baja AISI 1045	8
Tabel 2. 2	Mechanical properties untuk baja AISI 1045.....	12
Tabel 3. 1	Spesifikasi Furnace	33
Tabel 3. 2	Spesifikasi Hardness Tester.....	35
Tabel 3. 3	Spesifikasi Profile Projector	37
Tabel 3. 4	Spesifikasi Impact Testing Machine	40
Tabel 3. 5	Hasil Pengujian Kekerasan	45
Tabel 3. 6	Hasil Pengujian Impak.....	46
Tabel 4. 1	Komposisi kimia Baja AISI 1045	48
Tabel 4. 2	Data hasil pengujian kekerasan Vickers	50
Tabel 4. 3	Data hasil pengujian impact	54
Tabel 4. 4	Patahan Setelah Pengujian Impact.....	56

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Struktur Mikro Baja Karbon Menengah.....	11
Gambar 2. 2 Quenching	15
Gambar 2. 3 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	19
Gambar 2. 4 Struktur Mikro Fasa Ferit.....	21
Gambar 2. 5 Struktur Mikro Fasa Austenite.....	22
Gambar 2. 6 Struktur Mikro Fasa Sementit.....	22
Gambar 2. 7 Struktur Mikro Fasa Pearlite.....	23
Gambar 2. 8 Struktur Mikro Fasa Bainite.....	24
Gambar 2. 9 Alat uji kekerasan.....	25
Gambar 2. 10 Prinsip uji kekerasan Vickers	26
Gambar 2. 11 Ilustrasi Pengujian Impak.....	28
Gambar 2. 12 Ilustras Metode Uji Impak Charpy (atas) dan Izod (bawah).....	29
Gambar 3. 1 Baja AISI 1045.....	31
Gambar 3. 2 Spesimen uji kekerasan.....	31
Gambar 3. 3 Spesimen Uji Impak standar ASTM E-23.....	32
Gambar 3. 4 Furnace.....	33
Gambar 3. 5 Hardness Tester.....	35
Gambar 3. 6 Profile projector	36
Gambar 3. 7 Mesin Skrap	38
Gambar 3. 8 Amplas	38
Gambar 3. 9 Autosol.....	39
Gambar 3. 10 Impact Testing Machine.....	39
Gambar 3. 11 Cairan Resin Poliester Tak Jenuh.....	41
Gambar 4. 1 Grafik hasil pengujian kekerasan Vickers.....	51
Gambar 4. 2 Grafik pengujian <i>impact</i>	55
Gambar 4. 3 Pengamatan struktur mikro raw material tanpa perlakuan panas dengan perbesaran 100X.....	61
Gambar 4. 4 Pengamatan struktur mikro raw material tanpa perlakuan panas dengan perbesaran 500X.....	61
Gambar 4. 5 Pengamatan struktur mikro dengan media pendingin Air perbesaran 100X.....	62
Gambar 4. 6 Pengamatan struktur mikro dengan media pendingin Air perbesaran 500X.....	62
Gambar 4. 7 Pengamatan struktur mikro dengan media pendingin Resin polyester tak jenuh perbesaran 100X.....	63
Gambar 4. 8 Pengamatan struktur mikro dengan media pendingin Resin polyester tak jenuh perbesaran 500X.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan baja memegang peranan yang sangat penting dalam berbagai bidang industri karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan, ketangguhan, kemudahan proses manufaktur, serta ketersediaan yang relatif tinggi. Oleh karena itu, pemilihan jenis baja yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi menjadi faktor krusial dalam menjamin kinerja. Menurut penelitian Faila, R. N. (2024) Baja AISI 1045 umumnya disebut baja karbon yang didasarkan pada terminologi yang ditetapkan oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineering*). Ini banyak digunakan di pasaran karena memiliki kelebihan dan termasuk dalam kategori baja karbon medium, yang mempunyai kandungan karbon medium antara 0,42 – 0,50 % C.

Menurut Purba (2025), baja AISI 1045 merupakan baja karbon menengah yang banyak digunakan sebagai material roda gigi, poros, dan bantalan karena memiliki kekerasan serta ketahanan aus yang baik. Sifat tersebut diperlukan agar baja mampu menahan gesekan dan beban kerja tinggi pada komponen mesin. Dalam aplikasinya, peningkatan ketahanan aus dan kekerasan dapat diperoleh melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) dengan media pendingin yang tepat seperti air dan oli.

Menurut Utomo, A. F. (2021) baja AISI 1045 merupakan baja karbon menengah yang banyak digunakan pada komponen mesin seperti poros, roda gigi, dan bantalan, karena memiliki sifat mekanik yang baik serta ketahanan aus yang cukup tinggi. Proses quenching dilakukan pada rentang suhu 820°C hingga

860°C untuk membentuk fasa austenit secara sempurna sebelum pendinginan cepat dilakukan. Perlakuan ini meningkatkan kekerasan permukaan dan kemampuan menahan gesekan pada baja AISI 1045, sehingga cocok digunakan untuk komponen yang mengalami beban impak dan gesekan tinggi.

Menurut penelitian Hasanah, N. (2025), Proses *heat treatment* pada baja AISI 1045 bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan terhadap beban impak. Baja karbon yang dipanaskan hingga mencapai fase austenit dan kemudian didinginkan cepat (*quenching*) akan membentuk struktur martensit, yang memiliki tingkat kekerasan lebih tinggi dibandingkan struktur perlit maupun ferit.

Menurut penelitian Prasetyo, R. D. (2022). proses *heat treatment* atau perlakuan panas adalah kombinasi antara proses pemanasan logam di bawah titik leburnya dan pendinginan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan melalui perubahan struktur mikro. Struktur akhir hasil perlakuan panas sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia, struktur awal material, serta riwayat perlakuan sebelumnya. Dua material dengan komposisi yang sama dapat menunjukkan sifat mekanik yang berbeda jika struktur awalnya berbeda.

Menurut penelitian Satrijo, D. (2023) dalam *Jurnal Terapan Teknologi Mesin*, proses *holding time* memiliki peran penting dalam tahap heat treatment, khususnya pada metode *pack carburizing*. *Holding time* berfungsi untuk mencapai kekerasan maksimal dengan mempertahankan suhu pengerasan agar pemanasan merata di seluruh bagian material. Dalam proses ini, waktu penahanan memungkinkan atom karbon berdifusi ke dalam baja, sehingga semakin lama waktu penahanan, semakin merata distribusi karbon dan struktur *austenit* menjadi lebih homogen sebelum dilakukan proses *quenching*. Kondisi tersebut menghasilkan peningkatan kekerasan permukaan dan ketahanan aus pada baja karbon.

Menurut Irwandi (2023), Proses quenching dilakukan dengan pendinginan cepat untuk mengubah fasa austenit menjadi martensit, sehingga meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Media pendingin seperti air, oli, dan udara digunakan dengan laju pendinginan yang berbeda untuk melihat pengaruh terhadap hasil transformasi fasa

Menurut penelitian DA Rizky. (2022)., Pengaturan temperatur *quenching* yang tepat berperan penting dalam memastikan transformasi austenit berlangsung secara sempurna sebelum proses pendinginan. pemanasan baja AISI 1045 pada suhu 800°C menghasilkan mikrostruktur yang terdiri dari campuran martensit dan perlit halus, sedangkan pada suhu 850°C, martensit mendominasi hingga 85% dari struktur mikroskopis. Kenaikan temperatur ini juga berdampak pada peningkatan kekuatan tarik, dari 590 MPa menjadi 720 MPa. Temuan ini menunjukkan bahwa pengendalian temperatur dapat memaksimalkan kekuatan dan kekerasan material melalui pembentukan fasa yang lebih merata.

Menurut Muliandi, M. (2019), pada penelitian ini baja AISI 1045 mengalami peningkatan nilai kekerasan setelah dilakukan proses *hardening* dan *tempering*. Kekerasan meningkat seiring dengan kenaikan suhu perlakuan hingga titik optimum, kemudian menurun pada suhu tinggi akibat terbentuknya struktur perlit halus dan temper martensit. Menurut penelitian Supardi, E. (1999). Pengujian impak merupakan metode untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap beban kejut. Pengujian ini mensimulasikan kondisi nyata saat material menerima beban secara tiba-tiba, bukan secara bertahap. Dalam penelitian ini, pengujian impak dilakukan menggunakan mesin uji tipe Charpy yang dirancang dengan pendulum bermassa tertentu yang diayunkan dari ketinggian tertentu guna memberikan beban kejut pada spesimen.

Menurut penelitian Utomo, A. F. (2021)., Baja AISI 1045 tanpa perlakuan panas memiliki struktur mikro yang terdiri dari fasa ferrite dan *pearlite*. Setelah dilakukan perlakuan quenching dengan variasi temperatur, terbentuk struktur martensit di beberapa area, yang menyebabkan peningkatan nilai kekerasan. Perubahan struktur mikro ini menunjukkan bahwa perlakuan panas sangat memengaruhi sifat mekanik baja.

Setelah proses carburizing, spesimen mengalami perlakuan quenching menggunakan media air laut untuk memperoleh peningkatan kekerasan. Transformasi fasa akibat pemanasan dan pendinginan diamati melalui perubahan struktur mikro, sedangkan uji kekerasan dilakukan menggunakan metode *Vickers* untuk mengetahui hasil transformasi tersebut secara detail. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan tarik dan sifat mekanik baja *AISI 1045* setelah dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) menggunakan metode *quenching* dengan beberapa jenis media pendingin, yaitu oli SAE 40, air es, air laut, serta resin poliester. Proses perlakuan panas dilakukan dengan memanaskan baja hingga temperatur 820°C, diikuti dengan penahanan selama 15 menit, kemudian langsung didinginkan dalam media yang telah disebutkan. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa variasi media pendingin memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik baja. Pendinginan menggunakan oli SAE 40 menghasilkan nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 1099,60 MPa, dengan regangan 19%, dan modulus elastisitas 5,79 GPa. Menggunakan air es menghasilkan tegangan 953,33 MPa, regangan 17%, dan modulus 5,45 GPa, sedangkan air laut memberikan tegangan 988,84 MPa, regangan 21%, dan modulus 4,80 GPa.

maka penulis akan melakukan penelitian mengenai **“Pengaruh Variasi *Holding Time* Pada Proses *Quenching* Terhadap Kekerasan, Ketangguhan, dan Struktur Mikro Baja *AISI 1045* ”**

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh waktu *holding time* pada proses *quenching* terhadap nilai kekerasan baja *AISI 1045*.
2. Menganalisis pengaruh waktu *holding time* pada proses *quenching* terhadap nilai ketangguhan (*impact strenght*) baja *AISI 1045*.
3. Melakukan pengamatan struktur mikro pada material baja *AISI 1045* setelah diberi perlakuan panas *quenching* dengan menggunakan variasi *holding time*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun bahan penelitian ini menggunakan baja *AISI 1045*.

1. Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah metode *Quenching* dengan temperatur 850°C.
2. Menggunakan variasi *holding time* 30 dan 120 menit.
3. Waktu *Quenching* selama 20 detik menggunakan media cairan resin poliester dan air.
4. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kekerasan (metode *Vickers*) dan Pengujian kekuatan Impak (metode *Charpy*) dan pengujian struktur mikro.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang kegunaan baja *AISI 1045* pada umumnya, spesifikasi dan unsur kimia penyusun baja *AISI 1045*, tujuan penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan yang dilakukan pada penelitian ini.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab II menjabarkan tentang landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung pembahasan mengenai pengaruh perlakuan panas *Quenching* pada baja *AISI 1045*.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab III ini berisi tentang metode yang dilakukan penulis dalam mengumpulkan informasi, tempat serta waktu pelaksanaan penelitian dan juga menerangkan langkah sistematis yang penulis lakukan dalam melaksanakan penelitian ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV menjelaskan tentang data hasil pengujian yang suda dilakukan serta pembahasan dari hasil data yang sudah didapatkan saat penelitian.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab V menjabarkan kesimpulan serta saran yang diberikan oleh penulis dari hasil penelitian yang sudah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan beberapa literatur dan jurnal sebagai referensi untuk menunjang pada penelitian yang dilakukan penulis.

LAMPIRAN

Berisikan data seperti gambar hasil pengujian dan data yang mendukung penelitian

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja karbon adalah sebuah senyawa antara Besi (Fe) dan Karbon (C), dimana sering juga ditambahkan unsur lain untuk mendapatkan sifat- sifat tertentu yang dikehendaki. Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, terutama dibidang industri pemesinan dan kontruksi. Salah satu dari sekian banyak baja adalah baja *AISI 1045*. Baja karbon sedang merupakan salah satu material yang banyak di produksi dan digunakan untuk membuat alat-alat atau bagian mesin karena baja karbon sedang memiliki sifat yang dapat dikmodifikasi sedikit ulet (*ductile*) dan tangguh (*toughnes*).

Menurut Mulianti, M. (2019), Dalam praktik di lapangan, komponen mesin yang terbuat dari baja karbon *AISI 1045* tidak terlepas dari potensi kerusakan, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan operasional. seluruh elemen mesin yang digunakan selama proses operasi akan terpapar oleh gaya-gaya eksternal seperti tegangan gesekan, tarik, maupun tekan, yang dapat menyebabkan deformasi serta perubahan bentuk komponen tersebut.

Menurut Suryana, D. (2020), Baja karbon merupakan paduan besi dan karbon dengan unsur tambahan seperti mangan, silikon, fosfor, dan belerang yang berasal dari proses peleburan. Kandungan karbon menentukan sifat mekanik dan struktur mikro baja. Karakteristik baja karbon ditentukan oleh kadar karbon serta struktur mikronya. Selain karbon, sifat baja juga dipengaruhi oleh unsur lain seperti mangan, silikon, fosfor, dan belerang, yang biasanya berasal dari bahan tambahan seperti pengoksidasi atau bahan bakar selama proses peleburan. Selain itu, keberadaan gas-gas seperti oksigen (O_2), nitrogen (N_2), dan hidrogen (H_2) yang masuk saat proses produksi juga dapat memengaruhi sifat-sifat baja.

Kandungan Unsur pada baja karbon *AISI 1045* dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 2. 1 Komposisi kimia dan sifat mekanik Baja AISI 1045

Komposisi Kimia	Persentase (% berat)	Sifat Mekanik	Nilai
Karbon (C)	0,43-0,50	Kekuatan tarik (Tensile Strength)	570-700 MPa
Mangan (Mn)	0,60-0,90	Kekuatan Luluh (Yield Strength)	310 MPa
Fosfor (P)	Maks, 0,040	Perpanjangan (Elongation)	16-18%
Sulfur (S)	Maks, 0,050	Modulus Elastis	170-210 HB
Besi (Fe)	Sisa (Utama)		

(Sumber : ASM International, 1998)

Menurut penelitian Sofyan (2010) menjelaskan bahwa kekerasan adalah ukuran ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis seperti goresan atau tekanan kecil (indentasi). Awalnya, metode pengujian kekerasan yang dikenal adalah uji kekerasan Mohs, yang menggunakan skala kemampuan suatu material untuk menggores material lain, dengan nilai 1 untuk talk dan 10 untuk intan. Saat ini, telah berkembang berbagai metode pengujian kekerasan seperti Brinell, Vickers, dan Rockwell. Pada metode-metode tersebut, umumnya digunakan indenter kecil berbentuk bola atau piramida yang ditekan ke permukaan material dengan beban dan kecepatan tertentu yang dikontrol. Setelah itu, ukuran jejak indentasi diukur menggunakan mikroskop ukur.

2.2 Jenis Jenis Baja

Muhib Zianuri (2008) mengemukakan ada beberapa jenis baja diantaranya, sebagai berikut :

1. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja ini biasa disebut sebagai baja mesin mengandung sebagian kecil elemen seperti mangan, fosfor, silikon, dan sebagainya. Dengan komposisi

dari baja karbon ini kekuatan dan kekerasan baja karbon meningkat dan peningkatan unsur karbon namun menjadi lebih getas dan keuletan berkurang.

2. Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan juga mengandung alumunium, kromium, tembaga, mangaan, molybdenum, nikel, fosfor, silikon, titanium, dan vanadium selain baja karbon. Baja paduan ini memiliki kegunaan dimana baja paduan digunakan untuk meningkatkan kekerasan, ketangguhan, keuletan, dan kekuatan tarik baja.

3. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Baja tahan karat merupakan paduan kromium dan besi dimana baja ini memiliki ketahanan korosi sangat baik. Ketahanan korosi akibat terbentuknya lapisan oksida kromium. Kandungan kromium minimum 30%, dengan 12% untuk membentuk lapisan dan 18% untuk ketahanan korosi udara. Elemen lain misal nikel, alumunium, silikon, dan molybdenium. Baja tahan karat memiliki kegunaan yakni digunakan dalam kimia proses, peralatan proses minyak, perpipaan, dan sebagainya.

2.3 Baja Karbon

Baja merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan kadar karbon hingga 1,7%. Salah satu jenis baja yang dikenal adalah baja karbon, yaitu baja yang karakteristik utamanya dipengaruhi oleh jumlah kandungan karbon.

2.4 Baja AISI 1045 (*Medium Carbon Steel*)

Baja AISI 1045 adalah baja karbon menengah baja yang memiliki kandungan karbon berkisar antara 0,3% hingga 0,6%. Dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja ini memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya sedikit berkurang. Kandungan karbon yang lebih tinggi ini membuat baja karbon menengah cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan tarik sedang hingga tinggi, serta ketahanan aus yang lebih baik.

Struktur mikronya terdiri atas *ferit* dan *perlit* dalam jumlah yang lebih

seimbang atau bahkan dominan perlit tergantung kadar karbonnya. Kombinasi ini memberikan keseimbangan antara kekuatan mekanik dan keuletan, serta membuat baja ini idealnya untuk perlakuan panas (*heat treatment*) seperti *quenching* dan *tempering*, yang dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan lelah (*fatigue resistance*).

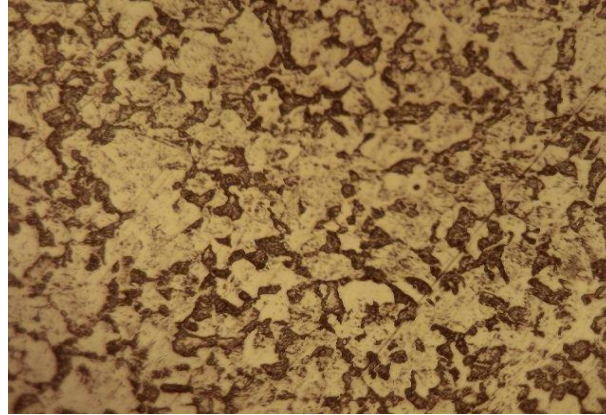
Namun, baja karbon menengah lebih sulit untuk dibentuk dan dilas dibandingkan baja karbon rendah. Oleh karena itu, proses fabrikasinya sering kali memerlukan pemanasan awal atau perlakuan khusus untuk mencegah retakan.

- Ferit : Struktur yang lunak, masih ada dalam jumlah sedang.
- Perlit : Semakin dominan dengan meningkatnya kadar karbon.

Kombinasi *ferit* dan *perlit* menghasilkan sifat mekanik yang seimbang antara kekuatan dan keuletan.

Ciri-Ciri Umum :

- Kekuatan dan kekerasan sedang hingga tinggi
- Daya tahan arus lebih baik dibanding baja karbon rendah
- Cocok untuk perlakuan panas
- Kurang mudah dilas dibanding baja karbon rendah
- Lebih getas daripada baja karbon rendah, tapi tidak sekeras baja karbon tinggi.
- Dapat diperkeras melalui proses perlakuan panas seperti *quenching dan tempering*, sehingga struktur mikronya bisa disesuaikan dengan kebutuhan kekuatan dan kekerasan.



Gambar 2. 1 Struktur Mikro Baja Karbon Menengah
(Sumber : Dwi Wahyu,et al. 2021)

2.4 Sifat Mekanik Baja Karbon Medium

Sifat mekanik adalah karakteristik material yang menunjukkan bagaimana bahan tersebut merespons gaya atau beban eksternal. Dalam baja karbon medium, sifat ini sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon dan perlakuan panas (seperti pengerasan, pendinginan cepat, dan tempering). Berikut adalah sifat – sifat mekanik dari baja karbon medium :

1. Kekuatan Tarik: Kekuatan tarik baja karbon medium berkisar antara 550 hingga 850 MPa, menunjukkan kemampuannya menahan gaya tarik sebelum akhirnya putus.
2. Kekerasan (*Hardness*) : Kekerasan baja karbon medium biasanya mencapai 170 hingga 250 HB (*Brinell Hardness*), menunjukkan ketahanannya terhadap goresan dan deformasi permanen.
3. Ketangguhan (*Toughness*) : Ketangguhan baja karbon medium cukup baik, namun sifat ini akan menurun jika kandungan karbonnya lebih tinggi mendekati 0,6%, membuat material menjadi lebih getas.
4. Daktilitas (*Ductility*): Kemampuan untuk diregangkan atau dibentuk tanpa patah. Baja karbon rendah sangat ulet, sedangkan baja karbon tinggi lebih getas (mudah patah).
5. Kekuatan Luluh : Kekuatan luluh baja karbon medium berada di rentang 350 hingga 600 MPa, artinya baja ini mulai mengalami deformasi plastis pada gaya sebesar itu.

6. Ketahanan Aus (*Wear Resistance*): Ini adalah Daya tahan terhadap gesekan dan keausan. Baja karbon tinggi unggul di sini dan digunakan untuk komponen seperti gigi roda, alat pemotong, dll.
7. Modulus elastisitas : Modulus elastisitas baja karbon medium sekitar 200 GPa, yang berarti baja ini memiliki tingkat kekakuan yang tinggi terhadap deformasi elastis. Modulus elastisitas (sering disebut juga modulus Young atau Young's modulus) adalah ukuran kekakuan suatu material, yaitu sejauh mana material tersebut akan mengalami deformasi elastis (perubahan bentuk sementara) ketika diberi tegangan (gaya per satuan luas).

Tabel 2. 2 Mechanical properties untuk baja AISI 1045

Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	110 - 807	110 - 807
Hardness, Knoop	162 - 906	162 - 906
Hardness, Rockwell B	40.0 - 97.0	40.0 - 97.0
Hardness, Rockwell C	11.4 - 65.0	11.4 - 65.0
Hardness, Vickers	151 - 871	151 - 871
Tensile Strength, Ultimate	90.0 - 1650 MPa	13100 - 240000 psi
Tensile Strength, Yield	65.5 - 1450 MPa	9500 - 210000 psi
Elongation at Break	0.200 - 40.0 %	0.200 - 40.0 %
Reduction of Area	2.00 - 10.0 %	2.00 - 10.0 %
Modulus of Elasticity	62.1 - 250 GPa	9000 - 36300 ksi
Flexural Yield Strength	248 - 655 MPa	36000 - 95000 psi
Compressive Yield Strength	220 - 2520 MPa	31900 - 365000 psi
Poissons Ratio	0.240 - 0.370	0.240 - 0.370
Fatigue Strength	68.9 - 510 MPa	10000 - 74000 psi
Fracture Toughness	44.0 - 110 MPa-m ^{1/2}	40.0 - 100 ksi-in ^{1/2}
Machinability	0.000 - 125 %	0.000 - 125 %
Shear Modulus	27.0 - 67.6 GPa	3920 - 9800 ksi
Shear Strength	149 - 1480 MPa	21600 - 215000 psi
Izod Impact Unnotched	4.00 - 244 J	2.95 - 180 ft-lb
Charpy Impact	0.100 - 40.0 J	0.0738 - 29.5 ft-lb
Charpy Impact, Unnotched	2.70 - 200 J	1.99 - 148 ft-lb
Electrical Properties		
	Metric	English
Electrical Resistivity	0.00000500 - 110 ohm-cm	0.00000500 - 110 ohm-cm
Magnetic Permeability	100 - 750	100 - 750
Thermal Properties		
	Metric	English
CTE, linear	7.75 - 19.3 μm/m-°C	4.31 - 10.7 μin/in-°F
Specific Heat Capacity	0.506 J/g-°C	0.121 BTU/lb-°F
Thermal Conductivity	8.50 - 53.3 W/m-K	59.0 - 370 BTU-in/hr-ft ² -°F
Melting Point	1120 - 1430 °C	2050 - 2610 °F
Solidus	1140 - 1270 °C	2080 - 2320 °F
Liquidus	1220 - 1430 °C	2220 - 2610 °F
Maximum Service Temperature, Air	649 - 982 °C	1200 - 1800 °F
Minimum Service Temperature, Air	-59.4 - -30.0 °C	-75.0 - -22.0 °F

2.5 Perlakuan Panas

Heat Treatment (Perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada tungku pemanas dengan temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikrologam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah, dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan dari dalam perubahan berupa pada strukturnya.

Proses perlakuan panas dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan struktur mikronya. Yang pertama adalah perlakuan panas yang menghasilkan struktur mikro dalam keadaan ekuilibrium, seperti proses annealing, normalizing, dan spheroidizing. Yang kedua adalah perlakuan panas yang menghasilkan struktur mikro non-ekuilibrium, contohnya quenching, martempering, dan austempering. Perbedaan antara kedua jenis perlakuan ini dipengaruhi oleh suhu pemanasan, durasi waktu penahanan suhu, serta laju pendinginan material logam (Callister & Rethwisch, 2018).

Secara umum langkah pertama *heat treatment* adalah memanaskan logam atau paduan itu sampai suatu temperatur tertentu, lalu menahan beberapa saat pada temperatur tersebut, kemudian mendinginkannya dengan laju pendinginan tertentu.

Proses perlakuan panas dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu :

- Proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur yang seimbang, seperti *anealling* ,*normalizing*.
- Proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur yang tidak

seimbang seperti halnya pada *Quenching, Hardening*. tidak seimbang seperti halnya pada *Quenching, Hardening*.

1. *Quenching* (Pendinginan)

Quenching adalah proses pendinginan cepat setelah pemanasan baja ke suhu austenitisasi. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk membentuk struktur martensit yang keras, meningkatkan kekerasan dan kekuatan material. Efek pada Baja Karbon Rendah: Pada baja karbon rendah, proses *quenching* dapat meningkatkan kekerasan material, meskipun tidak seefektif pada baja dengan kandungan karbon yang lebih tinggi. Pemilihan media pendingin yang tepat, seperti air garam atau minyak, dapat mempengaruhi hasil akhir dari proses ini.

2.6 Variasi Temperatur

Proses perlakuan panas melibatkan pemanasan dan pendinginan logam atau bahan lainnya untuk mengubah sifat-sifatnya. Variasi temperatur merupakan salah satu faktor kunci dalam proses ini dan memiliki berbagai efek tergantung pada jenis perlakuan panas yang dilakukan.

1. Pemanasan:

Pemanasan Awal: Saat suatu bahan dipanaskan, sifatnya bisa berubah tergantung pada suhu yang diberikan. Pada suhu rendah, mungkin hanya sedikit perubahan yang terjadi pada struktur bahan. Namun, saat suhu ditingkatkan, struktur mikro dapat mulai berubah. Pemanasan Tinggi: Pada titik tertentu, material dapat mengalami transformasi fase seperti pelelehan, pengerasan, atau rekristalisasi. Misalnya, dalam proses pengerasan baja, pemanasan pada suhu tertentu diikuti oleh pendinginan cepat (*quenching*) dapat menghasilkan struktur kristal yang lebih padat dan keras.

2. Variasi Temperatur dalam Proses *Quenching* (Pendinginan Cepat):

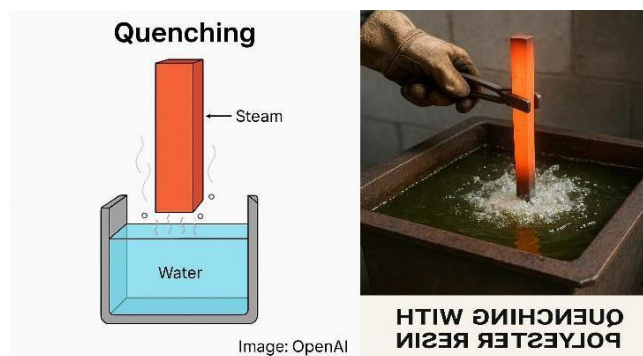
Pendinginan Cepat: Dalam beberapa metode perlakuan panas seperti *quenching*, bahan dipanaskan pada suhu tinggi lalu dengan didinginkan dengan cepat. Variasi temperatur yang cepat ini dapat menciptakan

perubahan struktural yang signifikan, menyebabkan pembentukan struktur kristal yang lebih padat dan keras. Efek Pendinginan Cepat: Proses pendinginan yang cepat dapat menyebabkan tegangan internal di dalam bahan, yang dalam beberapa kasus dapat menyebabkan retak atau distorsi pada material jika tidak dikelola dengan benar.

Variasi temperatur merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhitungkan dalam proses perlakuan panas karena dapat mempengaruhi sifat fisik, mekanik, dan struktural dari bahan. Pengendalian suhu dan kecepatan pendinginan sangat penting untuk mencapai sifat yang diinginkan dalam bahan setelah proses perlakuan panas.

2.7 Quenching

Quenching adalah salah satu proses dalam perlakuan panas (*heat treatment*) yang dilakukan dengan cara memanaskan logam, biasanya baja, hingga mencapai suhu austenitisasi, kemudian didinginkan secara cepat dengan mencelupkannya ke dalam media pendingin seperti air, oli, larutan garam (brine), atau cairan khusus seperti polimer atau resin. Menurut penelitian 'Asyara (2018), quenching merupakan proses pendinginan cepat yang dilakukan dengan mencelupkan baja yang telah mengalami perlakuan panas ke dalam media pendingin.



Gambar 2. 2 *Quenching* (Sumber : Latief et al., 2010)

Biasanya *quenching* dilakukan menggunakan media seperti air, minyak, atau udara. Namun, dalam kasus ini digunakan resin poliester cair. Resin poliester adalah bahan sintesis yang bersifat termoplastik dan memiliki viskositas tinggi.

Quenching adalah proses pendinginan cepat dari logam yang telah dipanaskan hingga suhu tinggi (biasanya setelah proses pemanasan atau (*heat treatment*). Tujuannya adalah untuk mengubah struktur mikro logam agar lebih keras dan kuat. *Resin poliester* adalah polimer cair yang terbentuk dari reaksi antara asam poli dan alkohol poli. Umumnya digunakan dalam industri komposit (fiberglass, laminasi, pembuatan cetakan, dll). Setelah proses *quenching*, logam terutama baja karbon mengalami peningkatan kekerasan yang signifikan akibat transformasi struktur mikro dari austenit menjadi martensit. Kekerasan yang dicapai dapat mencapai 600–700 HV atau setara dengan 55–65 HRC, tergantung pada kandungan karbon dan media pendingin yang digunakan. Namun, peningkatan kekerasan ini dibarengi dengan penurunan drastis pada keuletan, yang dapat terlihat dari nilai uji impak Charpy yang turun dari sekitar 80–100 joule (dalam kondisi anil) menjadi hanya 10–30 joule setelah *quenching*. Keadaan ini menjadikan hasil *quenching* sangat keras namun rapuh, sehingga pada banyak aplikasi diperlukan perlakuan lanjut seperti tempering untuk menyeimbangkan sifat mekanik tersebut (Callister & Rethwisch, 2020; Totten, , Howes, & Inoue, 2002).

Ada beberapa tipe yang biasa diterapkan untuk mencapai sifat-sifat tertentu dalam proses *Quenching* antara lain :

1. *Full Quenching*

Full quenching adalah proses perlakuan panas di mana logam, terutama baja, dipanaskan hingga suhu austenitisasi (sekitar 800–950 °C tergantung jenis baja) agar seluruh struktur mikronya berubah menjadi austenit, kemudian didinginkan secara cepat dan merata menggunakan media seperti air, minyak, atau gas inert. Tujuannya adalah untuk membentuk struktur martensit yang sangat keras, yang dicapai melalui transformasi fasa tidak seimbang akibat pendinginan mendadak. Proses ini secara signifikan

meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik logam, dengan nilai kekerasan bisa mencapai 55–66 HRC tergantung jenis baja yang digunakan. Namun, hasilnya juga menyebabkan logam menjadi getas dan menyimpan tegangan sisa internal yang tinggi, sehingga meningkatkan risiko distorsi dan retakan, terutama pada komponen berdimensi besar atau berbentuk kompleks. Oleh karena itu, proses ini biasanya diikuti dengan tempering, yaitu pemanasan kembali pada suhu lebih rendah (150–650 °C) untuk meningkatkan keuletan tanpa mengorbankan seluruh kekerasannya. Full *quenching* umumnya diterapkan pada komponen seperti alat potong, roda gigi, pisau industri, dan poros mesin yang membutuhkan kekerasan dan ketahanan aus tinggi. full *quenching*, tujuan utama adalah mengubah seluruh struktur kristal

Manfaat dari *full quenching* adalah sebagai berikut:

- Meningkatkan Kekuatan tarik dan ketahanan aus : Logam hasil full quenching memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dan ketahanan terhadap keausan yang sangat baik, menjadikannya cocok untuk komponen mekanik yang bekerja di bawah tekanan tinggi.
- Mengurangi kekerasan permukaan dan inti logam : Proses ini menghasilkan struktur martensit yang sangat keras, sehingga meningkatkan kekuatan terhadap deformasi plastis dan keausan
- Membentuk struktur mikro yang diinginkan untuk aplikasi khusus: Struktur martensit sangat penting dalam komponen teknik yang membutuhkan kombinasi kekuatan tinggi dan ketahanan aus.
- Menghapus struktur mikro sebelumnya : Dengan pemanasan hingga suhu austenitisasi, struktur mikro seperti ferit dan perlit akan hilang, digantikan oleh austenit dan selanjutnya martensit saat didinginkan.
- Memungkinkan proses *heat treatment* lanjutan : Full quenching merupakan tahap awal dari banyak perlakuan panas lanjutan seperti tempering atau nitriding, yang bertujuan mengatur keseimbangan antara kekerasan dan keuletan.
- Peningkatan umur pakai komponen : Karena sifat mekaniknya yang

meningkat, komponen hasil full quenching cenderung memiliki umur pakai lebih panjang dalam kondisi kerja ekstrem.

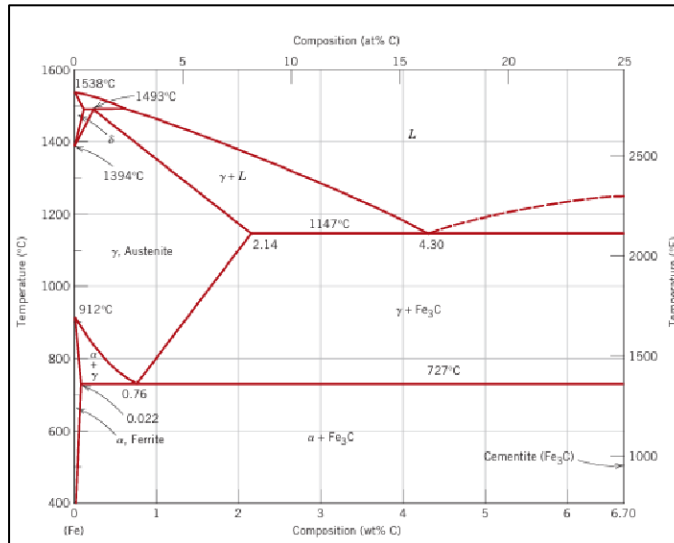
2.8 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram Fe-Fe₃C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan lambat dan pemanasan lambat dengan kandungan karbon (% C). Diagram fasa besi dan karbida besi Fe₃C ini menjadi landasan untuk laku panas kebanyakan jenis baja yang kita kenal.

Dari diagram fasa tersebut dapat diperoleh informasi-informasi penting yaitu antara lain:

- Fasa yang terjadi pada komposisi dan temperatur yang berbeda dengan pendinginan lambat.
- Temperatur pembekuan dan daerah-daerah pembekuan paduan Fe- C bila dilakukan pendinginan lambat.
- Temperatur cair dari masing-masing paduan.
- Batas-batas kelarutan atau batas kesetimbangan dari unsur karbon
- Reaksi-reaksi metalurgis yang terjadi.

Dari diagram fasa informasi-informasi penting, yaitu antara lain: dengan temperatur 850°C, baja karbon medium berada pada fase austenit (γ -Fe) jika kandungan karbonnya sekitar 0,3%–0,6%. Pada temperatur ini, struktur mikro baja terdiri dari austenit murni, yang bersifat lunak dan mudah dibentuk, sehingga cocok untuk proses seperti pembentukan panas (hot working) atau perlakuan panas seperti pendinginan cepat (quenching) untuk membentuk martensit. Pada temperatur 850°C, struktur mikro utamanya adalah austenit (γ), yaitu fasa padat dengan struktur kristal FCC (face-centered cubic) yang mampu melarutkan karbon lebih banyak dibanding fasa ferit. jika baja dipanaskan hingga 850°C, ia berada dalam fase austenit penuh selama kandungan karbonnya antara $\pm 0,3$ –0,76%. Berikut ini adalah diagram fasa Fe-Fe₃C merupakan diagram yang menjelaskan mengenai perubahan fasa :



Gambar 2. 3 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

(Callister, W. D., Jr. 2014)

Penjelasan diagram:

- Untuk karbon < 0,76%, material sepenuhnya berada di fasa austenit (γ), yaitu struktur kristal FCC yang mampu melarutkan karbon dalam jumlah cukup banyak. Sifat-sifat *cementite* sangat keras dan sangat getas.
- Pada sisi kiri diagram dimana pada kandungan karbon yang sangat rendah, pada suhu kamar terbentuk struktur mikro *ferrite*.
- Pada karbon 0,76% (komposisi eutektoid), material masih berada di fasa austenit namun mendekati batas transformasi ke *pearlite* saat pendinginan. Pada baja dengan kandungan karbon rendah sampai dengan titik *eutectoid*, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara *ferrite* dan *pearlite*.
- Untuk karbon > 0,76% hingga sekitar 2,14%, material terdiri atas campuran austenit (γ) + sementit (Fe₃C).
- Pada saat pendinginan dari suhu leleh baja dengan kadar karbon rendah, akan terbentuk struktur mikro *Ferrite Delta* lalu menjadi struktu rmikro *Austenite*.
- Pada karbon lebih tinggi dari 2,14%, mendekati eutektik, material akan

terdiri dari campuran austenit (γ) dan Fe_3C yang lebih kaya sementit.

Diagram ini sangat penting dalam memahami:

- Proses pendinginan dan perlakuan panas baja (seperti annealing, quenching, dan tempering).
- Sifat mekanik baja, seperti kekuatan, keuletan, dan kekerasan, yang sangat bergantung pada struktur mikro hasil dari kombinasi fasa tersebut.

Beberapa istilah dalam diagram fasa Fe- Fe_3C dan fasa-fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini.

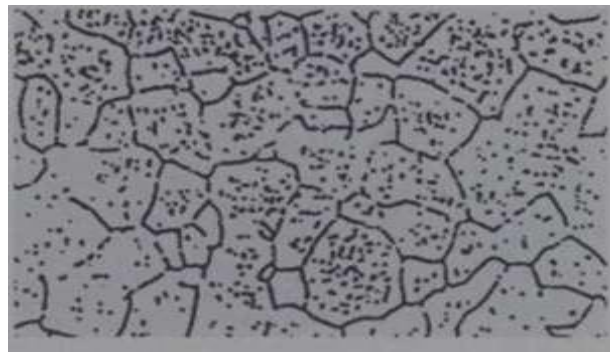
1. *α -Ferrite (α -Fe)*: Fasa ini adalah bentuk padat dari besi dengan struktur kubus bersisi pusat (BCC). Ferrite terbentuk pada komposisi karbon yang rendah (hingga sekitar 0,02% C) dan stabil pada temperatur rendah sampai sekitar 912°C.
2. *γ -Austenite (γ -Fe)*: Fasa ini adalah bentuk padat dari besi dengan struktur kubus berpusat wajah (FCC). Austenite stabil pada temperatur yang lebih tinggi dan memiliki kapasitas untuk melarutkan lebih banyak karbon dibandingkan ferrite. Pada 850°C, fasa ini masih ada jika komposisi karbon lebih tinggi (sekitar 0,8% C).
3. Fe_3C (*Cementite*): Fasa ini adalah karbida besi yang terbentuk pada komposisi karbon yang lebih tinggi (lebih dari 6,7% C). Fe_3C adalah fasa keras dan sangat rapuh yang memiliki komposisi tetap, yaitu 6,7% karbon.
4. Lemnita (*Liquid Phase*): Pada temperatur tinggi, fasa cair (liquid) terbentuk pada komposisi karbon yang lebih tinggi dan pada temperatur lebih tinggi dari 1150°C.

Berikut Struktur-struktur yang ada pada diagram fasa Fe- Fe_3C :

1. *Ferrite*

Fasa *ferit*, atau disebut juga fasa alpha (α), memiliki struktur atom yang padat dengan jarak antar atom yang sempit, sehingga hanya mampu melarutkan sedikit atom karbon. Karena keterbatasan ruang antar atom tersebut, kelarutan karbon dalam *ferit* sangat rendah—kurang dari satu

atom karbon per seribu atom besi. Pada suhu kamar, kadar karbon dalam ferit hanya sekitar 0,008%, sehingga sering dianggap menyerupai besi murni. Kandungan karbon maksimum yang dapat ditoleransi oleh ferit adalah sekitar 0,025% pada suhu 723 °C. Ferit memiliki sifat magnetik hingga suhu 768 °C dan dikenal sebagai material yang lunak dan liat, dengan tingkat kekerasan berkisar antara 140 hingga 18. HN. Struktur Mikro dapat dilihat pada gambar 2.4

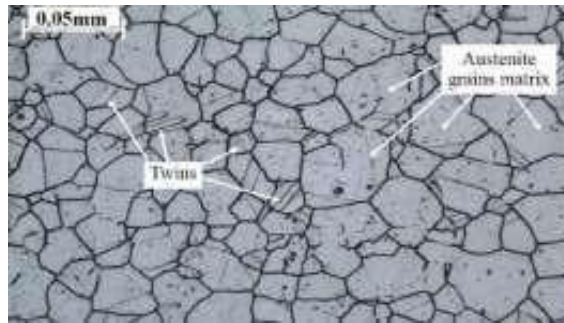


Gambar 2. 4 Struktur Mikro Fasa Ferit

(Sumber : Fricke, 2014)

2. *Austenite*

Austenite merupakan fasa padat dari campuran antara besi dan karbon yang terbentuk saat proses pembekuan logam. Selama proses pendinginan lanjutan, austenit akan mengalami transformasi menjadi *ferit* dan *perlit*, atau kombinasi antara perlit dan sementit, tergantung pada komposisi dan laju pendinginan. Fasa ini memiliki sifat yang relatif lunak, lentur, serta menunjukkan keuletan yang tinggi. Kandungan maksimum karbon yang dapat larut dalam struktur austenit adalah sebesar 2,14%. *Austenite* terbentuk ketika baja dipanaskan melewati titik transformasi kritis (sekitar 727°C untuk baja karbon), dan seluruh mikrostruktur berubah menjadi fase austenitik. Proses ini disebut sebagai austenitisasi. Struktur Mikro Fasa *Austenite* dapat dilihat pada gambar:



Gambar 2. 5 Struktur Mikro Fasa Austenite

(Sumber : M. Hillert, 2014)

3. *Cementite*

Fasa ini terbentuk ketika kandungan karbon dalam paduan besi melebihi batas kelarutan, sehingga menghasilkan fasa kedua yang dikenal sebagai karbida besi (sementit) dengan rumus kimia Fe_3C . Kehadiran sementit dalam struktur baja dapat meningkatkan tingkat kekerasannya. Namun, sifat sementit yang keras tidak diimbangi dengan keliatan, karena karbida ini tidak mampu meredam atau menyesuaikan diri terhadap konsentrasi tegangan yang terjadi, sehingga sifat kekuatannya relatif rendah. Namun, sifat sementit yang keras tidak diimbangi dengan keliatan, karena karbida ini tidak mampu meredam atau menyesuaikan diri terhadap konsentrasi tegangan yang terjadi, sehingga sifat kekuatannya relatif rendah. Nilai kekerasan dari sementit mencapai sekitar 800 VHN. Struktur Mikro fasa sementit dapat dilihat pada gambar 2.8.

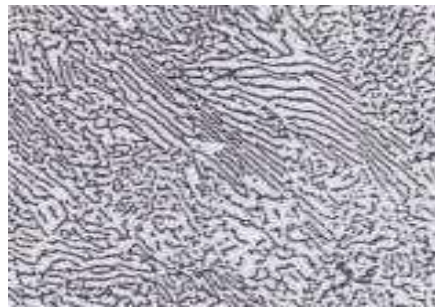


Gambar 2. 6 Struktur Mikro Fasa Sementit

(Sumber : Zhang et al., 2016)

4. *Pearlite*

Fasa *pearlite* merupakan campuran mekanis dari dua fasa, yaitu ferit yang memiliki kadar karbon sekitar 0,025% dan sementit yang mengandung karbon sebesar 6,67%, tersusun dalam bentuk lamellar atau lapisan-lapisan yang saling berdekatan dan tersusun secara rapat. Struktur ini terbentuk melalui reaksi eutektoid yang menghasilkan pola lamellar khas pada mikrostruktur. *Pearlite* memiliki kekerasan yang berada dalam kisaran 180 hingga 250 VHN. Austenite terbentuk ketika baja dipanaskan hingga melewati suhu kritis A3 (sekitar 727°C untuk baja karbon eutektik). Struktur mikro fasa sementit dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2. 7 Struktur Mikro Fasa *Pearlite*

(Sumber : ResearchGate, 2019)

5. *Bainite*

Fasa *bainite* terbentuk akibat proses pendinginan cepat dari fasa austenit ke rentang suhu antara 250°C hingga 550°C, dikemudian ditahan pada suhu tersebut secara isothermal. Struktur mikro dari bainit terdiri atas campuran fasa ferit dan sementit (Fe_3C) yang tersusun dalam bentuk khas. Kekerasan bainit umumnya berada pada kisaran 300 hingga 400 VHN, menjadikannya struktur yang cukup keras dan sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kombinasi kekuatan dan ketangguhan (Callister & Rethwisch, 2020). Bainite biasanya terbentuk ketika austenite didinginkan pada laju tertentu dan ditahan pada suhu menengah, dalam zona pembentukan bainite pada diagram TTT (*Time-Temperature-Transformation*). Struktur Mikro fasa sementit dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2. 8 Struktur Mikro Fasa Bainite

(Sumber : Garcia et al., 2023)

Diagram fasa Fe-C (besi karbon) menggambarkan hubungan antara komposisi karbon dan suhu terhadap perubahan fasa dalam paduan besi. Untuk baja seperti *AISI 1045* (dengan kandungan karbon sekitar 0,45%), diagram ini sangat penting dalam proses perlakuan panas seperti quenching. Baja dipanaskan hingga suhu austenitisasi, yaitu sekitar 800–850 °C, agar seluruh struktur mikro berubah menjadi austenit. Setelah itu, dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media seperti air, minyak, atau resin untuk mengubah austenit menjadi martensit, yaitu fasa yang sangat keras namun getas. Jika pendinginan tidak cukup cepat, fasa lain seperti *pearlite* atau bainite bisa terbentuk. sifat mekanik baja sesuai kebutuhan aplikasi (Callister & Rethwisch, 2020; Ames Laboratory, n.d.).

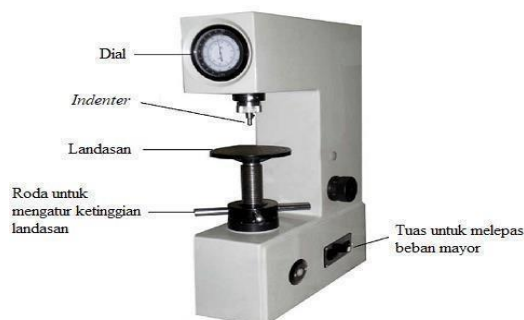
Pada tahap awal proses *Quenching*, baja *AISI 1045* terlebih dahulu dipanaskan hingga melewati garis kritis atas (garis A_3) di diagram fasa Fe–C, yaitu pada suhu sekitar 800–850 °C. Pada suhu ini, struktur mikro baja sepenuhnya berubah menjadi fasa austenit (γ), yang memiliki kemampuan melarutkan karbon lebih tinggi dibanding ferit. Setelah austenitisasi tercapai, baja segera didinginkan secara cepat melalui media quenching seperti air, minyak, atau resin. Pendinginan yang cepat ini melewati garis kritis bawah (A_1 atau suhu eutektoid 727 °C) tanpa memberi waktu bagi atom untuk berdifusi, sehingga struktur austenit tidak sempat berubah menjadi *pearlite* atau bainite, melainkan langsung bertransformasi menjadi

martensit—fasa metastabil dengan struktur *Body-Centered Tetragonal* (BCT) yang sangat keras dan rapuh. Proses ini ditunjukkan secara tidak langsung dalam diagram fasa sebagai jalur vertikal dari daerah austenit menuju suhu ruang tanpa melalui daerah kesetimbangan,

2.9 Pengujian Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) adalah pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik, atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup valid untuk menyatakan kekuatan suatu material

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



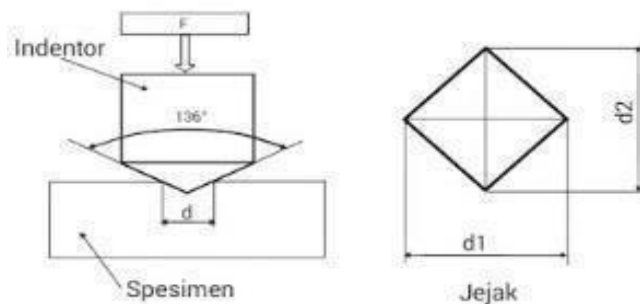
Gambar 2. 9 Alat uji kekerasan

(Andriyanto., 2014)

Di dalam penelitian pada proses pengujian ini umumnya pengujian kekerasan menggunakan pengujian vickers, yakni:

1. *Vickers* (HV / VHN)

Metode pengujian kekerasan *Vickers* dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indentor intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136° . Penekanan oleh indentor akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji. Metode pengujian kekerasan *Vickers* dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indentor intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136° . Penekanan oleh indentor akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji. Uji kekerasan *Vickers* pada baja *AISI 1045* yang telah dilakukan perlakuan panas pada suhu 850°C dan kemudian didinginkan cepat (*quenching*) menggunakan media resin poliester akan menunjukkan peningkatan signifikan dalam kekerasan, disertai dengan kemungkinan terbentuknya struktur martensit.



Gambar 2. 10 Prinsip uji kekerasan Vickers (Andriyanto. 2014)

Rentang beban uji yang digunakan pada pengujian kekerasan Vickers ini *Vickers* berkisar antara 1 kgf sampaj 120 kgf, dan beban uji yang umum digunakan adalah 5, 10, 30 dan 50 kgf. Sedangkan waktu penerapan beban

uji (*dwell time*) standar biasanya dilaksanakan selama 10 -15 detik. Nilai kekerasan Vickers pada baja AISI 1045 dalam kondisi tanpa perlakuan panas berkisar antara 170 hingga 210 HV, namun setelah melalui proses quenching, kekerasannya meningkat secara signifikan hingga mencapai sekitar 600 hingga 700 HV.

2.10 Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan salah satu uji mekanik yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik bahan, seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik keuletan bahan material terhadap perubahan suhu. Alat uji impak merupakan salah satu alat uji yang sering digunakan dalam pengembangan bahan struktur material dalam mengukur kemampuan beban kejut. Pada pengujian impak, banyaknya energi yang diserap dengan bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut. Material yang ulet akan menunjukkan harga impak yang besar, dengan menyerap energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian yang menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami perubahan bentuk yang dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian yang menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami perubahan bentuk (Jalil et al., 2017).

2.11 Jenis-Jenis Metode Impak

Secara umum metode pengujian impak terdiri dari dua jenis yaitu :

1. Metode *Charpy*

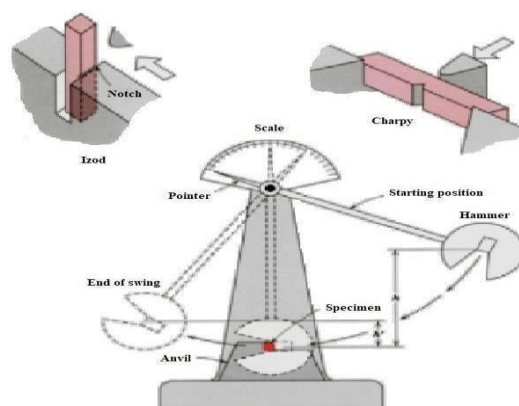
Pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. Posisi takik berada di tengah, kedalaman takik 2 mm dari permukaan benda uji dan sudut takik 45°. Metode *charpy* banyak digunakan di Amerika dan metode ini yang paling sering digunakan karena lebih teliti dan akurat.

2. Metode Izod

Pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan. Metode Izod adalah uji ketangguhan material untuk mengukur energi yang diserap saat benda uji patah akibat benturan pada satu sisi, dengan posisi tegak dan ditahan di salah satu ujungnya.

2.12 Perhitungan Kekuatan Impak

Perhitungan kekuatan impak bertujuan untuk mencari energi impak dan harga impak, sebelum mencari energi impak dan harga impak harus mencari sudut β dan sudut α dengan cara melakukan pengujian, Kekuatan impak adalah kemampuan suatu material untuk menyerap energi saat mengalami pembebanan secara tiba-tiba atau benturan. Pengujian ini penting untuk mengetahui ketangguhan (toughness) suatu material, yaitu seberapa besar energi yang bisa diserap sebelum material tersebut mengalami patah atau retak. Pengujian impak, seperti Charpy dan Izod, menggunakan metode pembebanan dengan palu pendulum untuk menentukan seberapa besar energi yang diserap material potensial. ilustrasi pengujian dapat dilihat pada gambar



Gambar 2. 11 Ilustrasi Pengujian Impak

(Callister, 2001)

Berikut adalah rumus yang digunakan pada pengujian impact :

$$E = E_1 - E_2 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan : E = Usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (kg.m)

E₁ = Usaha yang dilakukan (kg.m)

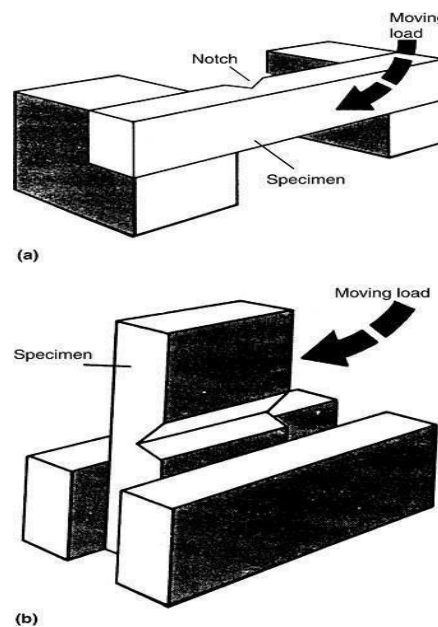
E₂ = Sisa usaha setelah pematahan benda uji (kg.m)

Harga impact (HI) suatu material yang diuji dengan metode *charpy* diberikan oleh :

$$HI = E/A \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : E = Energi yang diserap (J)

A = Luas penampang di bawah takikan (mm²)



Gambar 2. 12 Ilustras Metode Uji Impact Charpy (atas) dan Izod (bawah)
(ASM, 2000)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Mei 2025 sampai Agustus 2025 di Laboratorium Material Teknik Mesin, Universitas Lampung. Bahan yang akan digunakan adalah baja *AISI 1045*. Adapun prosedur dalam pengujian ini yaitu proses *Quenching* dengan pengujian kekerasan dan dampak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses *quenching* terhadap perubahan sifat mekanik baja AISI 1045, khususnya kekerasan dan ketangguhan dampak, sehingga dapat diketahui karakteristik material setelah perlakuan panas yang diberikan. Hasil pengujian selanjutnya akan dianalisis dan dibandingkan dengan kondisi material awal (tanpa perlakuan panas) untuk mengevaluasi peningkatan atau penurunan sifat mekanik akibat variasi perlakuan yang diterapkan. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi dalam pemilihan parameter perlakuan panas yang optimal bagi aplikasi baja AISI 1045 di bidang teknik mesin.

Proses *quenching* dilakukan dengan tahapan pemanasan material hingga mencapai temperatur austenisasi, dilanjutkan dengan penahanan (*holding time*) sesuai variasi yang ditentukan, kemudian didinginkan secara cepat menggunakan media pendingin tertentu. Variasi perlakuan ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh laju pendinginan terhadap pembentukan struktur mikro dan sifat mekanik baja AISI 1045. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terkait karakteristik baja AISI 1045 setelah perlakuan panas *quenching*,

serta menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya dan penerapan praktis dalam industri manufaktur dan komponen mesin .

3.2 Bahan yang digunakan

Bahan dan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Baja AISI 1045

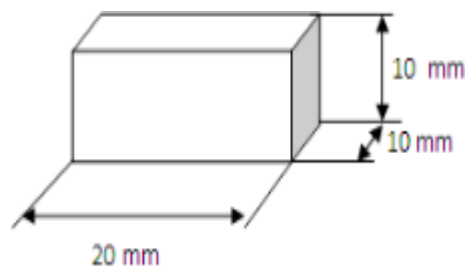
Baja AISI 1045 adalah spesimen yang akan digunakan untuk penelitian yang dilakukan.



Gambar 3. 1 Baja AISI 1045

2. Spesimen Uji Kekerasan

Spesimen uji kekerasan adalah sampel material yang diuji untuk mengukur sejauh mana material tersebut tahan terhadap penetrasi atau deformasi dari alat uji, seperti pada uji kekerasan Vickers.

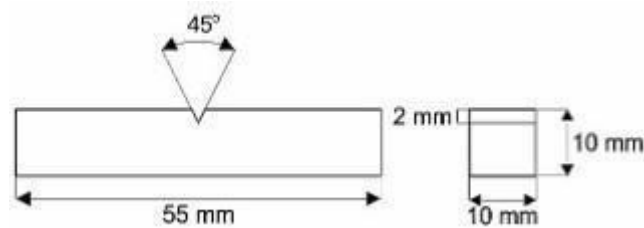


Gambar 3. 2 Spesimen uji kekerasan

Spesimen yang digunakan untuk pengujian kekerasan disesuaikan dengan standar ASTM E92, dengan ukuran dan bentuk seperti gambar 3.2.

3. Spesimen Uji Impak

Spesimen yang digunakan untuk pengujian impact disesuaikan dengan standar ASTM E-23, dengan ukuran dan bentuk seperti gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Spesimen Uji Impak standar ASTM E-23

3.3 Alat yang digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Furnace

Furnace digunakan dalam proses perlakuan panas, dimana spesimen akan dipanaskan dengan variasi temperatur yang telah ditentukan dan kemudian didinginkan didalam *furnace* sampai mencapai suhu ruangan. *Furnace* ini terdapat di Laboratorium Material Teknik SMK SMTI, Bandar Lampung.

Furnace adalah sebuah alat atau sistem tertutup yang digunakan untuk menghasilkan dan mengontrol panas dalam jumlah besar, biasanya untuk keperluan pemanasan material, peleburan, perlakuan panas (*heat treatment*), atau pembakaran. Energi panas di dalam furnace dapat dihasilkan melalui berbagai sumber, seperti bahan bakar fosil (gas, minyak, batubara), listrik, atau energi alternatif. Furnace (dalam bahasa Indonesia: tungku) adalah alat atau sistem yang digunakan untuk menghasilkan suhu tinggi guna melakukan pemanasan, pelelehan, atau perlakuan panas

terhadap bahan logam maupun non-logam.

Furnaces digunakan secara luas dalam industri metalurgi, manufaktur, penelitian material, dan laboratorium. Proses Austenitisasi Pemanasan baja hingga suhu 800–950°C dalam furnace untuk membentuk austenite sebelum quenching. secara signifikan berperan dalam menentukan kualitas hasil perlakuan panas terutama dalam hal pembentukan fasa mikro seperti austenit, martensit, bainit, perlit, dan ferit, serta dapat mempengaruhi sifat mekanik material seperti kekerasan, ketangguhan, dan kekuatan tarik, tergantung pada parameter proses seperti suhu maksimum, waktu penahanan (soaking time), laju pemanasan dan pendinginan, serta homogenitas distribusi panas di dalam ruang furnace, sebagaimana dibuktikan melalui berbagai penelitian ilmiah seperti studi oleh Sridhar dan Ramesh (2018) yang mengembangkan furnace listrik untuk perlakuan panas baja karbon sedang dan berhasil meningkatkan kekerasan logam hingga 34%, serta studi oleh Mehta et al. (2021).



Gambar 3. 4 Furnace

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Furnace*

Spesifikasi	Keterangan
Nama Alat	Box Furnace (Tanur Pemanas)
Tipe Umum	Horizontal Muffle Furnace (Electric Box Type)
Kisaran Suhu	100 °C – 1200 °C atau 1400 °C

Operasi	(tergantung model)
Elemen Pemanas	Kawat Kanthal A1 / MoSi2 (Molibdenum Disilicide)
Pengontrol Suhu	Digital PID Temperature Controller (misal Eurotherm, Omron, Shimaden)
Volume Ruang Pemanas	5–40 liter (estimasi dari ukuran fisik)
Tegangan Operasi	220V – 380V, 50/60 Hz
Daya Listrik	$\pm 3 - 10$ kW (tergantung volume dan suhu maksimum)
Material Lapis Dalam	Brick Ceramic Insulation atau Alumina Fiber
Waktu Pemanasan	30 – 90 menit hingga suhu maksimum
Akurasi Pengendalian Suhu	± 1 °C (pada kondisi stabil)
Fitur Tambahan	Safety switch, over-temperature alarm, timer, auto-shutoff
Aplikasi Umum	Heat treatment logam, kalsinasi bahan, pembakaran keramik, dekomposisi bahan

2. *Hardness Tester*

Alat uji *Hardness Tester* digunakan dalam pengujian kekerasan metode *vickers*. Alat ini terdapat di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung. Alat hardness tester modern saat ini umumnya telah dilengkapi dengan digital display, sistem kontrol otomatis berbasis mikroprosesor, serta perangkat lunak pendukung untuk pencatatan dan pengolahan data hasil pengujian, sehingga meningkatkan efisiensi, akurasi, dan repeatabilitas dalam proses pengujian. Beberapa alat bahkan memiliki kemampuan multi-scale testing, memungkinkan pengujian dengan beberapa metode (misalnya *Rockwell* dan *Brinell*) dalam satu perangkat. Kalibrasi alat secara berkala juga penting dilakukan agar hasil pengukuran tetap presisi dan sesuai dengan standar pengujian yang berlaku seperti ASTM atau ISO.

Selain itu pemilihan itu, pemilihan alat *hardness tester* harus disesuaikan dengan jenis material yang diuji, ketebalan spesimen, serta kebutuhan

akurasi data. Misalnya, untuk material dengan struktur mikro halus seperti logam campuran tipis atau hasil sintering, metode *Vickers* atau *Microhardness* lebih direkomendasikan karena dapat memberikan detail.



Gambar 3. 5 Hardness Tester

Tabel 3. 2 Spesifikasi Hardness Tester

Parameter	Spesifikasi
Tipe Indenter	Berlian kerucut 120° (untuk HRA & HRC), Bola baja 1.5875 mm (untuk HRB)
Beban Uji (Major Load)	60 kgf (588.4 N), 100 kgf (980.7 N), 150 kgf (1471 N)
Beban Awal (Minor Load)	10 kgf (98.07 N)
Skala Rockwell	HRA, HRB, HRC
Rentang Pembacaan	HRA: 20–88, HRB: 20–100, HRC: 20–70
Akurasi Pengukuran	HRA (20–75): ±2 HRA, HRA (75–88): ±1.5 HRA, HRB (20–45): ±4 HRB, HRB (45–80): ±3 HRB, HRB (80–100): ±2 HRB, HRC (20–70): ±1.5 HRC
Resolusi Pembacaan	0.1 HR
Waktu Penahanan (Dwell Time)	5–60 detik (d disesuaikan)
Material Uji	Baja, besi tuang, baja tahan karat, paduan tembaga, aluminium, titanium, dll.
Tinggi Maks Benda Uji	200 mm (opsional 400 mm)
Kedalaman Maks Benda Uji	165 mm
Jenis Pembacaan	Analog (dial)
Jenis Alat	Mekanis, tidak butuh daya listrik
Berat Bersih / Kotor	±55 kg / ±65 kg
Dimensi Kemasan	630 x 500 x 860 mm
Suhu Operasional	0°C hingga +40°C
Kelembapan Maksimum	Hingga 65%

3. *Profile Projektor*

Profile projektor ini berfungsi untuk *Profile Projector* menggunakan sistem pencahayaan (transmisi atau refleksi), optik pembesaran (lensa objektif), dan layar proyeksi berkalibrasi untuk memberikan tampilan perbesaran yang dapat dibandingkan terhadap standar toleransi atau overlay chart (template). *Profile projector (Optical comparator/shadowgraph)* digunakan untuk mengukur diagonal dari jejak indentasi spesimen uji kekerasan. Alat ini terdapat di Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Lampung.

Cara kerja *profile projector* melibatkan sistem pencahayaan (biasanya dari bawah) yang menyorot spesimen, kemudian bayangan objek diperbesar dan ditampilkan di layar proyeksi dengan skala pembesaran tertentu (misalnya 10×, 20×, 50×), di mana pengamat dapat membandingkan hasil proyeksi tersebut dengan template atau chart standar.



Gambar 3. 6 Profile projector

Tabel 3. 3 Spesifikasi *Profile Projector*

Spesifikasi	Keterangan
Nama Alat	Profile Projector / Optical Comparator
Merek Umum	Mitutoyo, Nikon, Starrett, Deltronic
Sumber Cahaya	Halogen lampu proyektor (12V, 100W)
Layar Proyeksi	Bulat (circular screen) dengan diameter 300 mm – 400 mm
Pembesaran Lensa	10×, 20×, 50×, dan 100×
Resolusi Pembacaan	0.001 mm (1 μ m) menggunakan sistem digital micrometer
Sistem Koordinat	X–Y stage movement, digital readout (DRO) untuk pengukuran
Jarak Fokus	\pm 90 mm tergantung pembesaran dan model alat
Sistem Penerangan	Reflected light (dari atas) dan transmitted light (dari bawah)
Rotasi Meja	\pm 360° (dengan skala derajat untuk pengukuran sudut)
Kapasitas Beban Meja	\pm 5 kg (tergantung model)
Material Meja Ukur	Glass plate (meja kaca tembus cahaya)
Jenis Pembacaan	Digital, Manual Dial, atau LCD digital display
Akurasi Pengukuran	\pm 0.005 mm (tergantung kalibrasi dan jenis lensa)
Aplikasi	Pengukuran dimensi luar/dalam, bentuk kontur, radius, sudut, dan ulir

4. Mesin Sekrap

Mesin yang digunakan untuk memotong baja AISI 1045 dengan proses penyayatan datar (flat cutting) atau lurus adalah mesin sekrap (shaping machine). Mesin sekrap cocok untuk pekerjaan pemotongan permukaan logam yang membutuhkan bentuk datar, alur, atau bidang sudut kecil

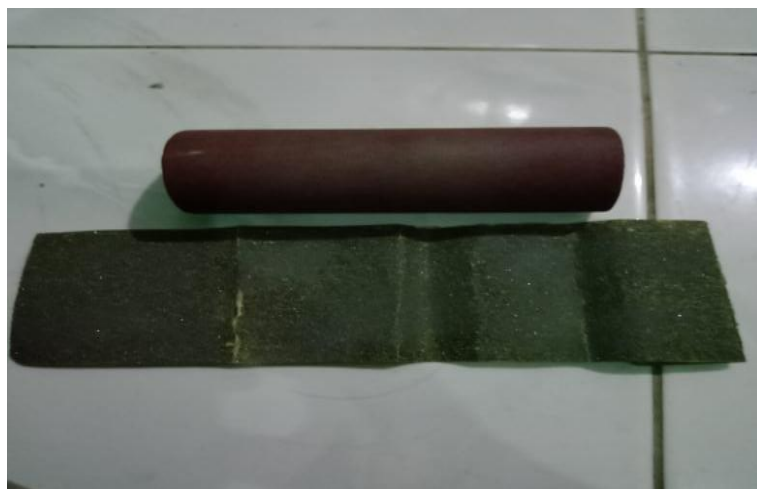
termasuk pada material baja karbon menengah seperti AISI 1045.



Gambar 3. 7 Mesin Skrap

5. Amplas

Amplas berfungsi sebagai penghalus permukaan spesimen agar permukaan menjadi halus dan bersih. Tingkatan amplas yang digunakan adalah 80, 120, 240, 320, 500, 1000, 1500, dan 2000. Selain itu, Amplas berfungsi untuk menghaluskan permukaan suatu bahan, seperti kayu, logam, plastik, atau dinding, dengan cara mengikis bagian permukaan menggunakan butiran abrasif yang melekat pada kertas atau kain.



Gambar 3. 8 Amplas

6. Autosol

Fungsi dari autosol adalah untuk mengkilapkan logam pada spesimen yang akan digunakan untuk penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3. 9 Autosol

7. *Impact Testing Machine*

Impact Testing Machine merupakan alat yang digunakan untuk pengujian beban kejut yang diberikan pada spesimen. Pengujian impak ini dilakukan dengan menggunakan metode *charpy* yang mana dengan membuat takikan persis ditengah spesimen.



Gambar 3. 10 Impact Testing Machine

Tabel 3. 4 Spesifikasi Impact Testing Machine

Model	RMU <i>Testing Equipment</i>
<i>Pendulum Energy</i>	300 J <i>Charpy</i> – Div. 1 J 150 J <i>Charpy</i> – Div. 0,5 J 165 J <i>Izod</i> – Div. 2,5 J
<i>Rising angel</i>	160°
<i>Distance between centers of pendulum specimen</i>	380 mm
Pendulum momen	0.5 J PL = 0.258 Nm
	1 J PL = 0.516 Nm
	2 J PL = 1.031 Nm
	4 J PL = 2.062 Nm
	5 J PL = 2.578 Nm
<i>Dial scale</i>	0 – 0.5 J minimum <i>scale</i> = 0.005 J
	0 – 1 J minimum <i>scale</i> = 0.01 J
	0 – 2 J minimum <i>scale</i> = 0.02 J
	0 – 4 J minimum <i>scale</i> = 0.04 J
	0 – 5 J minimum <i>scale</i> = 0.05 J
<i>Corner dimension of striking edge</i>	30 <i>degree</i>
<i>Round angel radius of striking edge</i>	R = 2 mm
<i>specimen</i>	<i>Conform to ISO180</i>

8. Resin Poliester Tak Jenuh

Resin poliester tak jenuh pada dasarnya dibuat dengan menggabungkan bahan kimia tertentu dalam garis lurus untuk membentuk polimer. Proses penggabungan ini, yang disebut polimerisasi kondensasi, terjadi ketika jenis asam dan alkohol tertentu digabungkan. Mereka bereaksi bersama pada suhu antara 190 dan 220°C hingga konsistensi atau keasaman yang diinginkan tercapai. Setelah reaksi selesai, kami menambahkan cairan khusus yang disebut vinil monomer ke dalam campuran panas. Dengan

tidak dapat larut dan dapat diinfuskan di bawah pengaruh panas atau inisiator. Meskipun polimer ini memiliki kekuatan mekanik yang rendah, namun bila diperkuat dengan serat kaca, dapat membentuk material komposit yang biasa disebut dengan "plastik yang diperkuat serat kaca". FRP mempunyai karakteristik ringan dan berkekuatan tinggi. Kepadatannya hanya 1/4-1/5 baja, namun kekuatannya tidak rendah, bahkan melebihi baja penampang, duralumin, dan cemara

Poliester berasal dari reaksi kimia asam dibasa bereaksi secara kondensasi dengan alkohol dihidrat. Karena asam tak jenuh digunakan dengan berbagai cara sebagai bagian dari asam dibasa, yang menyebabkan terdapat nya ikatan tak jenuh dalam rantai utama dari polimer yang dihasilkan, maka disebut polyester tak jenuh. Kemudian, monomer vinil dicampur, yang bereaksi dengan gugus tak jenuh pada pencetakan untuk mengeset. Sifat dari polyester sendiri adalah kaku dan rapuh. Mengenai sifat termalnya, karena banyak mengandung monomer stiren, maka suhu deformasi termal lebih rendah dari pada resin termoset lainnya dan ketahanan panas jangka panjangnya kira- kira 110-140°C. Ketahanan dingin adalah baik secara relatif. Sifat listriknya lebih baik diantara resin termoset, tetapi diperlukan penghilangan lembaban yang cukup pada saat pencampuran dengan gelas



Gambar 3. 11 Cairan Resin Poliester Tak Jenuh

3.4 Cara Penelitian

Adapun metode penelitian terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu tahap pertama persiapan spesimen atau benda uji, kemudian tahap perlakuan panas, selanjutnya tahap pengujian, serta tahap pengambilan data.

1. Persiapan Spesimen

a. Spesimen Pengujian Impak

Melakukan penyesuaian bentuk spesimen dari bentuk silinder ke bentuk yang telah ditentukan, yaitu panjang 55 mm, lebar 10 mm dan tinggi 10 mm, kemudian dilanjutkan dengan membuat takikan 2 mm dan sudut dan sudut 45° . Penyesuaian bentuk dapat dilakukan dengan menggunakan gerinda potong.

b. Spesimen Pengujian Kekerasan

Potong bahan baja *AISI 1045* yang masih utuh dari pabrik menggunakan mesin gerinda tangan. Spesimen baja *AISI 1045* hasil potongan berbentuk plat persegi panjang dengan ukuran panjang 25 mm, lebar 10 mm dan tebal/tinggi 6 mm. Haluskan bagian permukaan dengan menggunakan amplas, dan gunakan kain halus dan autosol agar spesimen tampak mengkilap.

2. Perlakuan Panas

Adapun tahapan perlakuan panas pada baja *AISI 1045* adalah :

- a. Baja *AISI 1045* yang sudah sesuai dengan dimensi dimasukkan kedalam tungku pemanas (*furnace*) untuk dipanaskan dengan temperatur pemanasan 850°C dengan *holding time* 10,30,60 120 menit.
- b. Spesimen yang sudah dipanaskan kemudian didinginkan dengan cairan resin poliester tak jenuh.

3. Pengujian

Pengujian pada baja *AISI 1045* dilakukan dengan beberapa tahapan antara lain :

- a. Pengujian impak dengan menggunakan metode *Charpy* dengan

universal *impact tester*. Adapun tahapan dari pengujian impak ini adalah :

1. Melakukan kalibrasi pada alat pengujian impak untuk meminimalisir kesalahan perhitungan.
 2. Meletakkan spesimen pada meja uji berukuran standar 55 mm × 10 mm × 10 mm dengan notch (lekukan) tipe V pada bagian tengah spesimen.
 3. Mengangkat pendulum pada meja uji impak.
 4. Melepaskan tuas pada mesin uji impak.
 5. Melakukan pengereman setelah pendulum mencapai ketinggian maksimum.
 6. Menentukan jenis perpatahan yang terjadi.
 7. Melakukan analisis pada perpatahan.
 8. Menghitung energi impak yang terjadi.
 9. Lakukan semua langkah diatas pada semua specimen yang akan dilakukan pengujian impak
- b. Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Vickers* dengan mesin *hardness tester*. Adapun tahapan pengujian kekerasan ini adalah:
1. Mengatur beban dari alat uji yaitu yang sebesar 50 kgf
 2. Memasang indentor berbentuk pyramid intan yang beralas bujur sangkar yang memiliki sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136°..
 3. Letakkan baja *AISI 1045* pada meja uji dari alat. Kemudian mengatur handle alat uji hingga indentor menyentuh permukaan spesimen.
 4. Memutar *handle* hingga jarum dari skala minor menunjukkan angka 0.
 5. kemudian tarik tuas beban berlawanan arah jarum jam dan tunggu hingga 10 detik, lalu tarik Kembali tuas searah jarum jam.

6. Menurunkan *handle* landasan hingga indenter tidak lagi menyentuh spesimen.
7. Kemudian ukur diagonal hasil indentasi dengan menggunakan alat profile proyektor dan mencatatnya.
8. Lakukan semua langkah diatas pada semua specimen yang akan dilakukan pengujian kekerasan.

c. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk menganalisa permukaan lapisan spesimen setelah melalui proses *quenching* dengan cara melihat strukturnya menggunakan mikroskop dengan pembesaran yang sudah ditentukan.

Berikut tahapan pengujian struktur mikro pada baja *AISI 1045*:

1. Permukaan spesimen baja *AISI 1045* dipolishing menggunakan amplas sampai tingkat kehalusan 2000
2. Menggosok permukaan spesimen baja *AISI 1045* dengan kain yang diberi autosol agar permukaan mengkilap dan bersih dari segala apapun. Permukaan spesimen baja *AISI 1045* di etsa menggunakan campuran cairan resin poliester tak jenuh.
3. Bagian yang telah di etsa diletakkan pada kamera mikrostruktur untuk dilihat strukturnya dengan perbesaran 200 kali.
4. Fokuskan lensa sehingga gambar terlihat jelas di layar monitor.
5. Simpan foto struktur mikro pada baja *AISI 1045*.

4. Pengambilan data

Pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.5 Pengujian Kekerasan

Tabel 3. 5 Hasil Pengujian Kekerasan

Material	Suhu <i>Quenching</i>	Media Pendingin	<i>Holding time</i>	Beban (Kgf)	Spesimen	Kekerasan (HV) Kg/mm ²	Rata-rata (HV) Kg/mm ²
Baja AISI 1045	850°C	Resin Poliester Tak Jenuh	0 menit	50	Raw material 1		
					Raw material 2		
					Raw material 3		
			30 menit		Spesimen 1		
					Spesimen 2		
					Spesimen 3		
			120 menit		Spesimen 1		
					Spesimen 2		
					Spesimen 3		
		Air	30 menit		Spesimen 1		
					Spesimen 2		
					Spesimen 3		
			120 menit		Spesimen 1		
					Spesimen 2		
					Spesimen 3		

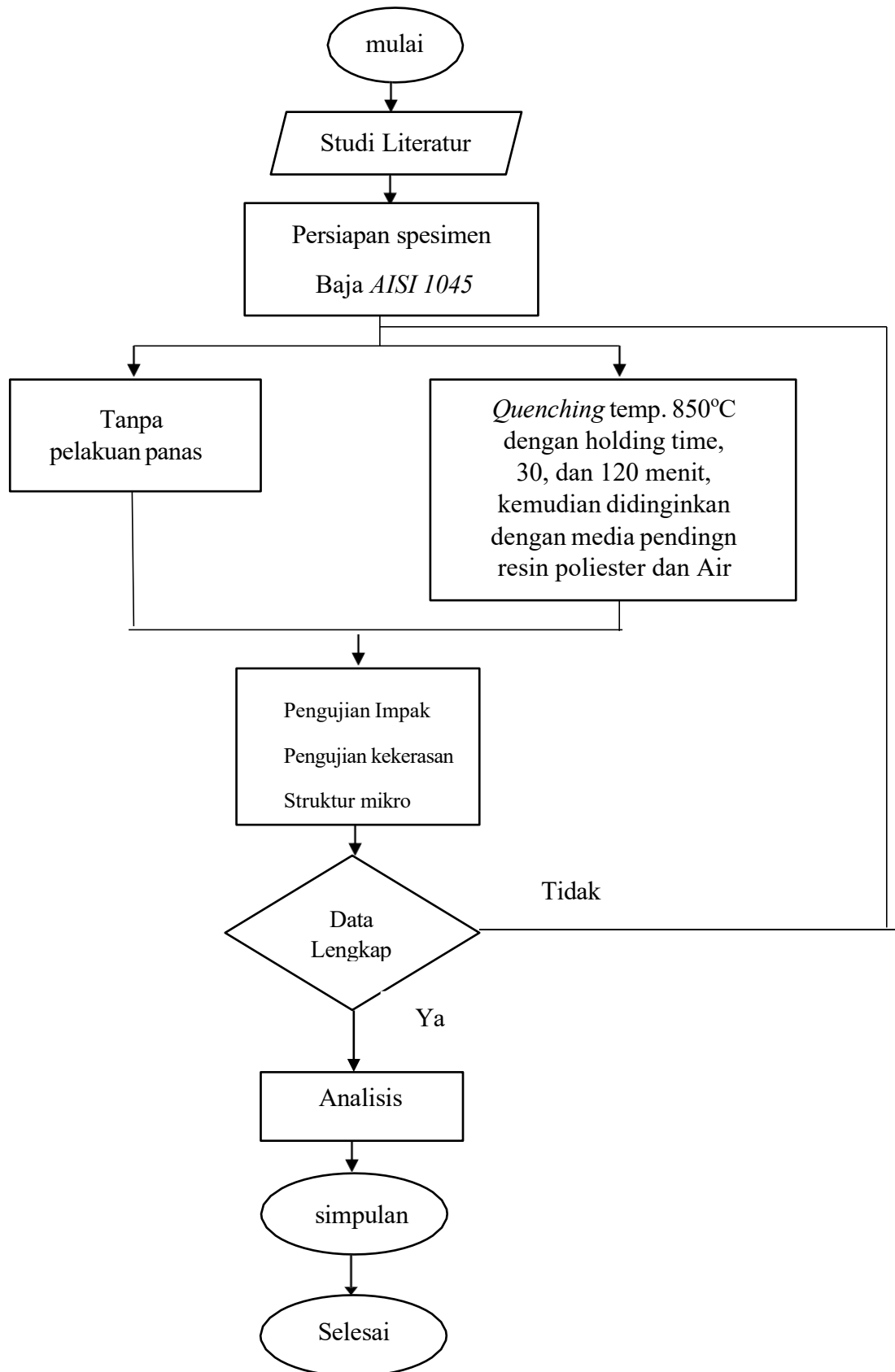
2.6 Pengujian impact

Tabel 3. 6 Hasil Pengujian Impact

Material	Suhu Quenching	Media Pendingin	Holding time	Spesimen	Energy E (Joule)	Harga impact (HI)	Rata-rata J/mm ²
Baja AISI 1045	850°C		0 menit	Raw material 1			
				Raw material 2			
				Raw material 3			
		Resin Poliester tak jenuh	30 menit	Spesimen 1			
				Spesimen 2			
				Spesimen 3			
			120 menit	Spesimen 1			
				Spesimen 2			
				Spesimen 3			
		Air	60 menit	Spesimen 1			
				Spesimen 2			
				Spesimen 3			
			120 menit	Spesimen 1			
				Spesimen 2			
				Spesimen 3			

3.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



BAB V PENUTUP

5.1 Simpulan

Adapun simpulan yang telah didapatkan setelah dilakukan penelitian pengaruh variasi temperatur *quenching* pada baja AISI 1045 terhadap kekerasan, ketangguhan bahan dan struktur mikro adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian, waktu holding time pada proses quenching berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kekerasan baja AISI 1045. Nilai kekerasan material awal sebesar 201,2553 Kg/mm² meningkat drastis pada media air menjadi 353,6214 Kg/mm² (30 menit), 474,0935 Kg/mm² (60 menit), dan 596,0369 Kg/mm² (120 menit), atau naik masing-masing sebesar 75,71%, 135,59%, dan 196,18%. Pada media resin poliester tak jenuh, peningkatan kekerasan terjadi lebih rendah, yaitu 188,5660 Kg/mm² (-6,30%), 195,3519 Kg/mm² (+2,04%), dan 229,7673 Kg/mm² (+14,17%). Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama holding time, kekerasan meningkat akibat austenitisasi yang lebih homogen, namun besarnya peningkatan sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan, di mana media air menghasilkan pembentukan martensit yang lebih optimal dibandingkan resin poliester.
2. Berdasarkan hasil pengujian, waktu holding time pada proses quenching berpengaruh signifikan terhadap penurunan nilai ketangguhan (impact strength) baja AISI 1045. Material awal memiliki nilai energi serap sebesar 0,3852 J/mm², kemudian menurun pada media air menjadi 0,3545 J/mm² (30 menit), 0,1273 J/mm² (60 menit), dan 0,1057 J/mm² (120 menit), atau turun masing-masing sebesar 7,97%, 66,95%, dan 72,56%. Pada media resin poliester tak jenuh, nilai impact sebesar 0,3917 J/mm² (30 menit) meningkat 1,69% dari material awal, namun kemudian menurun menjadi 0,2659 J/mm² (-30,98%) pada 60 menit dan 0,2099 J/mm² (-45,51%) pada

120 menit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama *holding time*, ketangguhan material cenderung menurun akibat meningkatnya pembentukan martensit yang bersifat getas, dengan penurunan yang lebih drastis terjadi pada media pendingin dengan laju pendinginan lebih cepat seperti air.

3. Pengaruh *holding time* quenching terhadap struktur mikro baja *AISI 1045*
Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa material awal tanpa perlakuan panas memiliki struktur ferit–perlit yang khas baja karbon menengah, dengan ferit sebagai fase terang dan perlit sebagai fase gelap berlamela. Setelah perlakuan quenching, terutama dengan media air dan *holding time* yang lebih lama, struktur mikro berubah dengan meningkatnya pembentukan martensit, yang ditandai dengan struktur lebih rapat dan halus. Semakin lama waktu *holding time*, struktur mikro yang terbentuk semakin homogen akibat proses austenitisasi yang lebih sempurna. Pada media resin polyester tak jenuh, perubahan struktur mikro berlangsung lebih lambat, sehingga masih memungkinkan terbentuknya campuran martensit dan ferit/perlit, yang berpengaruh pada nilai kekerasan dan ketangguhan yang lebih moderat.

5.2 Saran

Adapun saran yang telah didapatkan setelah dilakukan penelitian pengaruh variasi temperatur *quenching* pada baja *AISI 1045* terhadap kekerasan, ketangguhan bahan dan struktur mikro adalah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi temperatur austenitisasi dan jenis media pendingin yang lebih beragam (misalnya air garam, oli dengan viskositas berbeda, atau polymer quenchant) agar diperoleh kombinasi perlakuan panas yang lebih optimal antara kekerasan dan ketangguhan baja *AISI 1045*
2. Untuk mengurangi sifat getas akibat tingginya kandungan martensit, khususnya pada quenching dengan media air dan *holding time* lama, disarankan dilakukan proses tempering. Proses ini diharapkan dapat menurunkan tegangan sisa, meningkatkan ketangguhan, serta

menghasilkan keseimbangan sifat mekanik yang lebih sesuai untuk aplikasi komponen mesin.

3. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan mikroskop elektron (SEM) atau analisis kuantitatif fasa untuk memperoleh gambaran struktur mikro yang lebih detail. Selain itu, pengujian tambahan seperti uji tarik dan uji keausan dapat dilakukan untuk memperkuat korelasi antara struktur mikro dan sifat mekanik baja *AISI 1045* secara menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Yuwita, P. E., Habib, A., & Faila, R. N. (2024). Studi Pengaruh Variasi Media Pendingin Quenching dan Waktu Penahanan pada Proses Heat Treatment terhadap Kekerasan Baja *AISI 1045*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Universitas Nahdlatul Ulama Gresik.
- Purba, E. F. T. (2025). *Karakteristik baja AISI 1045 yang mengalami heat treatment dengan laju pemanasan yang berbeda dan pendingin air dan oli*. Universitas HKBP Nommensen. Budi, S., Zonny, A.P, dan Nofri, H. 2017. *Analisis Kekerasan Baja ASSAB 705 Yang Diberikan Perlakuan Panas dan Pendingin*. Padang :Invotek-Hlm. 17-18.
- Haryadi, G. D., & Utomo, A. F. (2021). *Pengaruh variasi temperatur quenching dan media pendingin terhadap tingkat kekerasan baja AISI 1045*. *Jurnal Rekayasa*, 202 Handoyo Yopi. (2015). “*Pengaruh Quenching dan Tempering pada baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis*,” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol.III Nomor 2 Fakultas Teknik – Universitas Islam 45 Bekasi,
- Inggy, I. W. S., Jufri, M., & Hasanah, N. (2025). *Pengaruh variasi temperatur*

heat treatment (quenching) baja karbon AISI 1045 terhadap uji mikrostruktur dan kekuatan impact pada poros roda depan sepeda motor. TURBINE Journal Technology and Renewable Energy, Universitas Muhammadiyah Malang.

- Wicaksono,A.A., & Prasetyo, R. D. (2022). “Pengaruh Proses Heat Treatment terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Karbon Sedang AISI 1045.” *Jurnal Rekayasa Material dan Energi, Universitas Negeri Malang*. Mulyadi, M., Tafrant, D., & Hendradinata, H. (2022). *The effect of quenching media on the hardness of AISI 1045 steel*. Proceedings of the 5th FIRST T1-T2 2021 International Conference.
- Purboputro, P. I., Putro, S., & Satrijo, D. (2023). *The analysis of carburizing with 15, 30, 40, 45, 60 minutes holding time due to hardness and microstructure on ST 60 steel*. JTTM: Jurnal Terapan Teknologi Mesin, 4(2), 115–122.
- Rizky, D. A. (2022). *Pengaruh perlakuan quenching dengan variasi media pendingin (air, oli bekas, minyak goreng) terhadap kekerasan egrek*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Rifnaldy, R., & Mulianti, M. (2019). *Pengaruh perlakuan panas hardening dan tempering terhadap kekerasan (hardness) baja AISI 1045*. Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research, 1(2), 12–20.
- Haryadi, G. D., & Utomo, A. F. (2021). *Pengaruh variasi temperatur quenching dan media pendingin terhadap tingkat kekerasan baja AISI 1045*. Jurnal Rekayasa Mesin dan Manufaktur, 8(2), 55–62.
- Rifnaldy, R., & Mulianti, M. (2019). *Pengaruh perlakuan panas hardening dan*

tempering terhadap kekerasan (hardness) baja AISI 1045. Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research, 1(2), 12–20.

Prasetyo, R., & Suryana, D. (2020). *Analisis pengaruh kadar karbon terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon rendah. Jurnal Rekayasa Material dan Manufaktur, 5(2), 33–40.*