

**PENGARUH *HOLDING TIME* PADA PROSES *ANNEALING*
TERHADAP SIFAT MAGNETIK DAN KEKERASAN BAJA
KARBON RENDAH AISI 1020**

Skripsi

Oleh:

**RYON ADI PRAYOGA
NPM 2155021009**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

**PENGARUH *HOLDING TIME* PADA PROSES *ANNEALING*
TERHADAP SIFAT MAGNETIK DAN KEKERASAN BAJA
KARBON RENDAH AISI 1020**

Oleh

RYON ADI PRAYOGA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2026

ABSTRAK

PENGARUH *HOLDING TIME* PADA PROSES *ANNEALING* TERHADAP SIFAT MAGNETIK DAN KEKERASAN BAJA KARBON RENDAH AISI 1020

Oleh:

RYON ADI PRAYOGA

Baja karbon rendah AISI 1020 banyak digunakan dalam industri karena memiliki keuletan yang baik dan mudah difabrikasi, namun memiliki keterbatasan pada nilai kekerasan dan sifat magnetik. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan panas untuk meningkatkan karakteristik material tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu penahanan (*holding time*) pada proses annealing terhadap nilai kekerasan dan sifat magnetik baja karbon rendah AISI 1020. Proses annealing dilakukan pada temperatur 850°C dengan variasi *holding time* 30, 60, dan 90 menit, kemudian didinginkan secara perlahan di dalam furnace. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Vickers, sedangkan pengujian sifat magnetik dilakukan menggunakan magnetometer berbasis aplikasi Phyphox. Selain itu, dilakukan pengamatan struktur mikro untuk mengetahui perubahan fasa akibat perlakuan panas.

Hasil sifat magnetik baja karbon rendah AISI 1020 meningkat setelah proses annealing dibandingkan kondisi awal. *Holding time* 30 menit meningkatkan kuat medan magnet sekitar $\pm 6\text{--}8\%$, sedangkan peningkatan tertinggi terjadi pada 60 menit sebesar $\pm 10\text{--}12\%$. Pada 90 menit, peningkatan masih berlangsung namun cenderung stabil dan lebih rendah, yaitu sekitar $\pm 7\text{--}9\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa *holding time* 60 menit merupakan kondisi optimum untuk meningkatkan sifat magnetik.

Kata kunci: AISI 1020, annealing, *holding time*, kekerasan, sifat magnetik.

ABSTRACT

THE EFFECT OF HOLDING TIME IN THE ANNEALING PROCESS ON THE MAGNETIC PROPERTIES AND HARDNESS OF AISI 1020 LOW CARBON STEEL

By:

RYON ADI PRAYOGA

Low carbon steel AISI 1020 is widely used in industry because it has good toughness and is easy to fabricate, but it has limitations in terms of hardness and magnetic properties. Therefore, heat treatment is required to improve these material characteristics. This study aims to analyze the effect of holding time variations in the annealing process on the hardness and magnetic properties of low carbon steel AISI 1020. The annealing process was carried out at a temperature of 850°C with variations in holding time of 30, 60, and 90 minutes, then slowly cooled in the furnace. Hardness testing was carried out using the Vickers method, while magnetic property testing was carried out using a Phyphox-based magnetometer. In addition, microstructural observations were made to determine the phase changes resulting from heat treatment.

The magnetic properties of low-carbon AISI 1020 steel increased after the annealing process compared to the initial condition. A holding time of 30 minutes increased the magnetic field strength by approximately ± 6 –8%, while the highest improvement occurred at 60 minutes, reaching about ± 10 –12%. At a holding time of 90 minutes, the magnetic properties continued to increase but tended to stabilize at a lower level, approximately ± 7 –9%. These results indicate that a holding time of 60 minutes is the optimum condition for enhancing the magnetic properties.

Keywords: AISI 1020, annealing, holding time, hardness, magnetic properties.

Judul Skripsi : **PENGARUH *HOLDING TIME* PADA PROSES *ANNEALING* TERHADAP SIFAT MAGNETIK DAN KEKERASAN BAJA KARBON RENDAH AISI 1020**

Nama Mahasiswa : **Ryon Adi Prayoga**

No. Pokok Mahasiswa : **2155021009**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI
Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



Zulhanif, S.T., M.T.
NIP. 197304022000031002



Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M. Met.
NIP. 197402021999102001

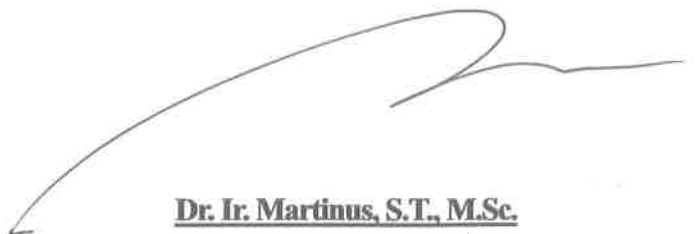
MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin



Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 197408162000121001

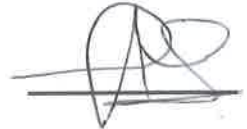


Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
NIP. 197908212003121003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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



Penguji Utama : **Harnowo Supriadi, S.T., M. T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 04 febuari 2026

SURAT PERNYATAAN

Sebagai civitas akademika Universitas Lampung Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ryon Adi Prayoga
NPM : 2155021009
Judul Skripsi : Pengaruh *Holding Time* Pada Proses *Annealing* Terhadap Sifat Magnetik Dan Kekerasan Baja Karbon Rendah AISI 1020

Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis bukan terjemahan, saduran ataupun terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi. Dalam skripsi ini terdapat tulisan ataupun pendapat yang diterbitkan atau dibuat oleh orang lain dan dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan tercantum sebagai acuan dalam naskah yang tercantum di dalam daftar pustaka. Pernyataan ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Peraturan Rektor no. 13 tahun 2019, jika dikemudian hari terdapat penyimpangan atau kebohongan, Saya bersedia menerima hukuman ataupun sanksi akademika sesuai dengan peraturan dan norma yang berlaku di Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 13 Februari 2026



Ryon Adi Prayoga
NPM. 2155021009

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Teluk Betung Timur, (Bandar Lampung) pada tanggal 10 november 2002 merupakan Anak ketiga dari Bapak Sukirno dengan Ibu Tati Suwarti. Penulis beralamat di Kampung, Sinar Laut Gang anyar Teluk Betung Timur Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penulis mengawali pendidikan di SD Negeri 01 Kota Karang (2009-2015), SMP Negeri 3 Bandar Lampung (2015-2018), SMK Negeri SMTI Bandar Lampung (2018-2021), Universitas Lampung (2021-sekarang). Pada tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur SMMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai bidang minat dan bakat divisi Sekertaris Bidang Dana Dan Usaha (DANUS) periode 2023/2024. Penulis melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa/Kelurahan Aji Permai Talang Buah, Kecamatan Gedong Ratub Aji, Kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung pada Januari – Februari 2024. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PTPN 4 Regional VII Lampung Tengah Pabrik Sawit, Desa Sinar Banten, Kecamatan Bekri, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung. pada Juni – juli 2024, dengan topik **“Analisis Performa Kerja Mesin Sterilizer Di PT Perkebunan Nusantara IV Unit Usaha Bekri Lampung Tengah”**. Penulis melakukan penelitian di bidang Material dengan judul **“Pengaruh *Holding Time* Pada Proses *Annealing* Terhadap Sifat Magnetik Dan Kekerasan Baja Karbon Rendah AISI 1020”**. Dibawah bimbingan Bapak Zulhanif, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M. Met. Serta Bapak Hamowo Supriadi, S.T., M. T. sebagai pembahas.

MOTTO

“Jangan pernah menyerah, karena sering kali itulah kunci terakhir yang membuka pintu.”

— *Paulo Coelho*

“Janganlah engkau bersedih, sesungguhnya Allah bersama kita.”

(Qs. At-Taubah ayat 40)

“Ketika kita tidak lagi mampu mengubah keadaan, kita ditantang untuk mengubah diri kita sendiri.”

— *Viktor E. Frankl*

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati,
Saya mempersembahkan karya sederhana ini
Sebagai ungkapan cinta, kasih sayang, dan rasa terima kasih saya

KARYA TULISKU INI AKU PERSEMBAHKAN KEPADA :

Ayah Sukirno Yang Sudah Almarhum Pada Tanggal 20 Desember 2023 dan Ibu
Tati Suwarti tercinta,
yang dengan segala keterbatasan dan pengorbanan tanpa pamrih, selalu
mengiringi setiap langkah penulis dengan doa dan kasih sayang yang tak pernah
terucap, menjadi alasan utama penulis untuk terus bertahan dan menyelesaikan
skripsi ini.

SANWACANA

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah Swt karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan tepat pada waktunya walaupun jauh dari kata sempurna. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan program sarjana S1, dan juga salah satu syarat menyelesaikan pendidikan sarjana di jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Dalam menyelesaikan skripsi ini, tentunya penulis dapat banyak masukan, semangat kritik dan saran, mendapatkan pengalaman dan pembelajaran dari berbagai pihak.

Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku Pembimbing I yang telah membina selama perkuliahan dan membimbing dalam menyelesaikan skripsi.
5. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M. Met. selaku Pembimbing II yang telah membina saya selama perkuliahan dan membimbing dalam menyelesaikan skripsi.

6. Bapak Hamowo Supriadi, S.T., M. T. selaku Dosen Pembahas yang telah membimbing selama perkuliahan dan membina dalam menyelesaikan skripsi.
7. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing akademik yang telah membimbing dan membina penulis selama perkuliahan.
8. Mas Ruwanto, S.T. Selaku PLP material yang telah membantu dan membina saat di lab material.
9. Seluruh Dosen-dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan pengetahuan dasar kepada penulis.
10. Seluruh Staf tenaga pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
11. Kedua Orang tua penulis Almarhum Ayah Sukirno dan Ibu Tati Suwarti, serta keluarga besar Termasuk Kakak Pertama Herwin Sonavian Dan Kakak Kedua Hayden Risman yang penulis cintai dan selalu memberikan doa, motivasi, semangat dari luar maupun didalam, serta menjalankan menyelesaikan program studi Teknik Mesin di Universitas Lampung.
12. Teman sekaligus sahabat dan rumah kedua, teman satu atap, kos gun, material Sahabat Grup PPPP, yang telah menemani dalam penyelesaian skripsi.
13. Teman seluruh keluarga besar Teknik Mesin angkatan 2021 yang telah membantu memberikan semangat dan mendoakan kelancaran selama perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 13 Februari 2026

Ryon Adi Prayoga

2155021009

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Sistematika Penulisan	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Perlakuan Panas	6
2.2 Waktu penahanan (<i>Holding Time</i>).....	10
2.3 Baja	11
2.3.1 Baja Karbon	11
2.4 Uji kekerasan	12

2.4.1 Uji Kekerasan Brinell (Brinell Hardness Test – BHN).....	12
2.4.2 Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> (<i>Rockwell Hardness Test</i> – HR)	13
2.4.3 Uji Kekerasan Vickers (Vickers Hardness Test – VHN).....	14
2.5 Baja AISI 1020.....	14
2.6 Definisi Diagram fasa	15
2.6.1 Diagram TTT Dan CCT	16
2.6.2 Diagram TTT	16
2.7 Magnet dan Sifat-sifat Dasar Magnetik	17
2.7.1 Struktur Mikro dan Komposisi Baja Karbon	19
2.7.2 Sifat Magnetik Khusus AISI 1020 dalam Aplikasi Industri.....	20
BAB III.....	22
METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2. Alat dan Bahan.....	22
3.3 Prosedur Penelitian	24
3.4 Pengambilan Data	30
3.5 Diagram Penelitian.....	32
BAB IV	33
BAB V.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Hardening	7
Gambar 2.2 Annealing	8
Gambar 2.3 Proses Normalizing	9
Gambar 2.4 Quenching	10
Gambar 2.5 Diagram Keseimbangan Fe-Fe ₃ C	15
Gambar 2.6 Diagram CCT	16
Gambar 2.7 Diagram TTT	17
Gambar 2.8 Magnet.....	18
Gambar 3.1 Tungku Pemanas (Furnace).....	23
Gambar 3.2 Vickres.....	24
Gambar 3.3 Diagram Poses Annealing	26
Gambar 3.4 Alat Uji Magnetometer Berbasis Aplikasi.....	29
Gambar 3. 5 Diagram Alr Penelitian.....	32
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Rata-Rata Pengujian Kekerasan Metode Vickers.....	37
Gambar 4. 2 Grafik Rata-Rata Keseluruhan Uji kuat Magnet	40

Gambar 4. 3 Struktur Mikro A (Raw), B (30 menit), C (60 Menit), D (90 menit)
(pembesaran 100X) 43

Gambar 4. 4 Struktur Mikro A (Raw), B (30 menit), C (60 Menit), D (90 menit)
(pembesaran 500 X) 44

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Baja AISI 1020 (Nasution & Nasution, 2020)	14
Tabel 3.2 Spesifikasi Tungku Pemanas (Furnace)	23
Tabel 3.3 Spesifikasi Alat Uji Micro Vickers	24
Tabel 3.4 Spesifikasi Magnetometer Berbasis Aplikasi	29
Tabel 3.5 Hasil Uji Kekerasan Vickers	30
Tabel 3.6 Spesimen Uji Kuat Medan Magnet	31
Tabel 4. 1 Kandungan Material Baja AISI 1020	33
Tabel 4. 2 Data hasil pengujian kekerasan Vickers	35
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Magnet	38
Tabel 4. 4 Hasil perhitungan pengukuran ukuran butir Raw	46
Tabel 4. 5 Hasil perhitungan pengukuran ukuran butir annealing 30	47
Tabel 4. 6 Hasil perhitungan pengukuran ukuran butir annealing 60	47
Tabel 4. 7 Hasil perhitungan pengukuran ukuran butir annealing 90	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan terhadap material baja karbon rendah di industri manufaktur, konstruksi, dan otomatis terus meningkat seiring perkembangan teknologi modern. Baja karbon rendah banyak dipilih karena harganya yang relative murah, kemudahan dalam proses fabrikasi, serta sifat keuletan dan daktilitas yang baik. Namun, kekuatan dan kekerasan baja karbon rendah umumnya masih bawah standar untuk aplikasi tertentu, sehingga diperlukan upaya peningkatan sifat mekanik dan fungsional melalui perlakuan panas (*heat treatment*) (Rizki & Razi, 2022).

Perlakuan panas atau *heat treatment* merupakan metode yang sangat penting dalam proses rekayasa sifat mekanik dan struktur mikro pada material logam, khususnya baja. Pada jenis baja karbon rendah, yang banyak dimanfaatkan di dunia industri karena karakteristiknya seperti biaya produksi yang ekonomis, kemudahan dalam pembentukan, dan ketersediaannya yang melimpah, penerapan perlakuan panas dapat secara signifikan meningkatkan performa material tersebut. Kandungan karbon pada baja jenis ini umumnya kurang dari 0,3%, yang membuatnya mudah dibentuk namun memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan baja karbon sedang atau tinggi. Melalui tahapan perlakuan panas seperti *annealing*, *normalizing*, *quenching*, dan *tempering*, sifat-sifat penting seperti ketahanan terhadap beban, abrasi, dan perubahan suhu dapat ditingkatkan. Proses ini berperan dalam mengubah struktur mikro baja, terutama dalam mengatur ukuran butir dan proporsi fasa dominan seperti ferit dan perlit, sehingga dihasilkan kombinasi sifat mekanik yang seimbang antara kekuatan dan keuletan. Oleh sebab itu, pemahaman yang mendalam mengenai teknik serta parameter

dalam heat treatment menjadi sangat krusial untuk memperoleh hasil material yang optimal (Andreansyah, et al., 2024).

Meski memiliki keuletan tinggi, baja karbon rendah (dengan kandungan karbon $<0,3\%$) memiliki keterbatasan dalam kekerasan dan ketahanan aus, sehingga diperlukan intervensi proses termomekanik untuk meningkatkan performa (Batubara & Korda, 2024). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa variasi holding time selama proses pemanasan memengaruhi transformasi fasa austenite dan pembentukan struktur martensit bainit yang berdampak pada peningkatan kekerasan material. Salah satu parameter penting dalam proses heat treatment adalah waktu penahanan atau *holding time*. *Holding time* merupakan durasi waktu dimana material dipertahankan pada temperature tertentu sebelum proses difusi atom-atom karbon dan perubahan struktur mikro, seperti transformasi austenite, pembentukan martensit, bainit, pearlite, dan feerite yang mempengaruhi sifat akhir material, baik secara mekanik maupun fisik. Penelitian menunjukkan bahwa semakin lama holding time pada proses heat treatment, nilai kekerasan baja karbon rendah cenderung meningkat akibat pembentukan struktur mikro yang lebih homogen dan terjadinya pelarutan karbida yang optimal (Supriyanto & Ismanto, 2020).

Beberapa studi seperti yang dilakukan pada baja AISI 1020 membuktikan peningkatan kekrasan dari 262,67HV menjadi 589,29 HV ketika holding time diperpanjang dari 0 menit (raw material) menjadi 90 menit. Fenomena serupa teramati pada baja AISI 1020 dimana peningkatan holding time dari 30 menit menjadi 90 menit meningkatkan kekerasan dari 91,1 HRB ke 93,4 HRB melalui pembentukan struketur martensit. Namun, penelitian tentang dampak holding time terhadap sifat magnetic masih terbatas, padahal transformasi fasa selama heat treatment dapat mengubah domain magnetic material melalui mekanisme struktur kristal dan distribusi karbida. Temuan terkini pada baja karbon rendah menunjukkan bahwa kombinasi temperature 900°C dengan holding time 30 menit menghasilkan peningkatan kekrasan hingga 340 HV (naik 51% dari kondisi awal). Namun efek simultan terhadap sifat magnetic seperti koersivitas dan ramenan belum terpetakan secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan mengisi celah

pengetahuan tersebut dengan menganalisis korelasi antara durasi holding time, perubahan mikrostruktur, serta evolusi sifat mekanik dan magnetic pada baja karbon rendah (Munandar et al., 2023).

Penelitian pada baja ASTM A36 dengan metode Quenching-Partitioning-Tempering (Q-P-T) mengungkapkan bahwa variasi holding time selama 30,60, dan 90 menit pada suhu 920°C mampu meningkatkan kekuatan tarik, regangan, modulus elastisitas, dan kekerasan material. Nilai kekerasan tertinggi tercapai pada holding time 60 menit sebesar 140,67 VHN, sedangkan struktur mikro didominasi oleh fasa pearlite dan ferrite. Hasil serupa juga ditemukan pada baja karbon rendah lain, dimana peningkatan holding time dari 10 hingga 30 menit pada suhu 900°C mampu meningkatkan kekerasan hingga 51% dari kondisi awal. Pada baja AISI 1020, penambahan holding time dari 30 hingga 90 menit menyebabkan nilai kekasaran naik dari 91,1 HRB menjadi (#,4 HRB, seiring dengan pembentukan struktur martensit dan bainit yang lebih sempurna (Gunawan et al., 2024).

Dengan demikian, penelitian mengenai pengaruh holding time pada proses heat treatment terhadap sifat magnetic dan kekerasan baja karbon rendah sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi material, khususnya dalam optomasi parameter proses heat treatment untuk memperoleh baja karbon rendah dengan sifat mekanik dan magnetic yang unggul serta sesuai dengan kebutuhan aplikasi insdustri modern.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun batasan masalah pada penelitian ini agar pembahasan lebih fokus dan terarah adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh *holding time* pada proses *heat treatment* terhadap nilai kekerasan baja karbon rendah
2. Menganalisis besar nilai kemagnetan pada baja karbon rendah setelah proses *heat treatment*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini agar pembahasan lebih fokus dan terarah sebagai berikut.

1. Temperatur yaitu 850°C
2. Waktu penahanan 50, 60, 120 menit
3. Media *annealing* yang digunakan adalah air.

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut.

I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah yang akan diambil dengan jelas, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori dasar yang berkaitan dengan materi yang diangkat pada laporan tugas akhir ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan mengenai metode-metode yang dilakukan dalam mengumpulkan data dan menjabarkan tahapan-tahapan kegiatan yang dilakukan selama penelitian berlangsung sampai pada penyusunan laporan serta pengujian yang dilakukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan data yang dari penelitian yang telah dilakukan, serta pembahasan dari hasil penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari pembahasan pengujian selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam peneletian ini.

LAMPIRAN

Berisikan data-data yang mendukung pada penelitian ini

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah proses pemanasan dan pendinginan material yang terkontrol dengan maksud merubah sifat fisik untuk tujuan tertentu. Secara umum proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

- a. Pemanasan material sampai suhu tertentu dengan kecepatan tertentu pula.
- b. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu sehingga temperaturnya merata.
- c. Pendinginan dengan media pendingin (air, oli, udara).

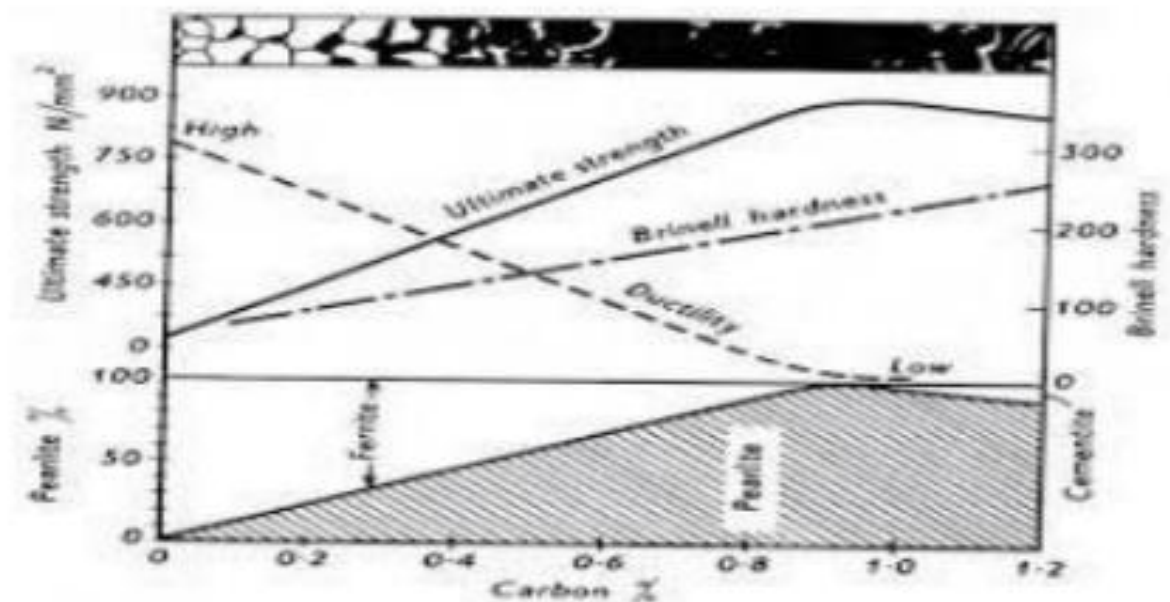
Ketiga hal diatas tergantung dari material yang akan di *heat treatment* dan sifat-sifat akhir yang diinginkan. Melalui perlakuan panas yang tepat tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia logam harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon (C) dapat mengakibatkan perubahan sifat fisis.

Perlakuan panas terdiri dari 2 pendekatan, yakni *near equilibrium* (mendekati kesetimbangan) dan *non equilibrium* (tidak setimbang). *Near equilibrium* dilakukan 2 mendekati kondisi *equilibrium*, sehingga menghasilkan struktur mikro yg mendekati diagram fasenya. Bertujuan untuk melunakkan struktur kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam, dan memperbaiki *machineability*. Perlakuan panas *near equilibrium* dapat berupa *annealing*, *spheroidizing*, *normalizing*, dan *homogenizing*. Sedangkan *non equilibrium* bertujuan untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Perlakuan Panas *non-equilibrium* dapat berupa pengerasan (*hardening*), *tempering*, *austempering*, *martempering*, dan *surface hardening carburizing*,

nitriding, cyaniding, flame hardening, Induction hardening) (Rifnaldi & Mulianti, 2019).

a. *Hardening*

Hardening merupakan proses pemanasan logam sampai suhu di atas daerah kritis. Pada proses *hardening* ini pendinginan dilakukan secara cepat dengan media pendingin seperti oli, dan air garam. Tujuan perlakuan panas ini untuk mendapatkan struktur baja martensit yang memiliki sifat keras. Proses pada perlakuan panas ini adalah dengan cara memanaskan baja sampai suhu martensit. Penentuan suhu tersebut dipengaruhi oleh komposisi penyusun paduan. Selanjutnya, proses penahan suhu beberapa saat sesuai dengan standar. Setelah proses pemanasan dan penahanan suhu, kemudian didinginkan secara cepat dengan mencelupkan dalam media pendingin berupa air garam, air, oli atau media pendingin yang lain. Pendinginan cepat tersebut mengakibatkan struktur austenit tidak memiliki cukup waktu untuk berubah menjadi perlit dan ferit atau perlit dan sementit. Pendinginan cepat ini mengakibatkan austenit langsung berubah menjadi martensit (Zayadi, et al., 2022)



Gambar 2.1 *Hardening*

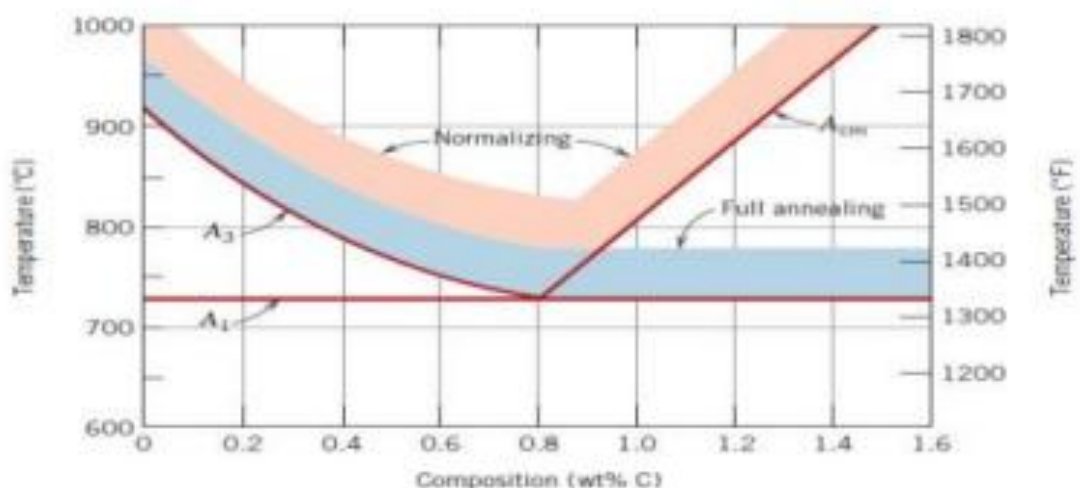
(Sumber : Zayadi, et al., (2022))

b. *Tempering*

Perlakuan tempering dimaksudkan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan. *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan kembali baja setelah *hardening* atau *quenching*, pada temperatur *tempering* (di bawah temperatur suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai ketangguhannya memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun tetapi keuletan baja bertambah (Beno, et al., 2022).

c. *Annealing*

Proses *annealing* adalah proses laku panas dengan bahan mengalami pemanasan yang mendadak, temperatur dipertahankan tetap selama waktu tertentu kemudian dilakukan pendinginan secara pelan-pelan. Temperatur yang dipertahankan tetap pada proses ini dinamakan temperatur annealing. Proses *quenching* merupakan laku panas dengan cara bahan mengalami pemanasan yang mendadak, temperatur dipertahankan tetap selama waktu tertentu kemudian dilakukan pendinginan secara sangat cepat. Temperatur yang dipertahankan tetap pada proses ini dinamakan temperatur *quenching* (Istiyono, 2009).



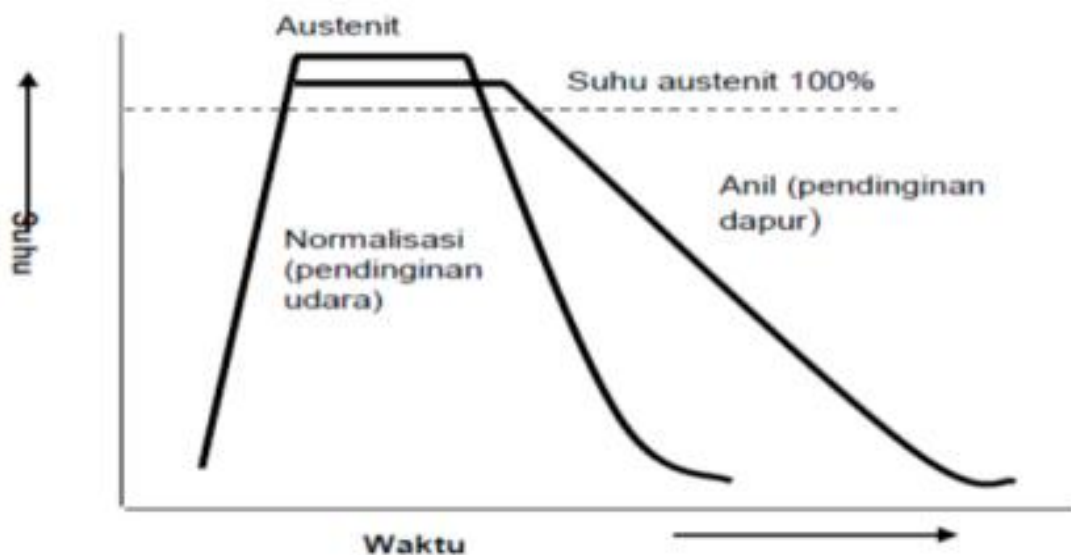
Gambar 2.2 *Annealing*

(Sumber : Zayadi et al., 2022)

d. *Normalizing*

Normalizing adalah proses perlakuan panas dimana proses pemanasan mencapai temperatur, kemudian didinginkan perlahan dengan menggunakan media pendingin udara. *Normalizing* baja adalah proses pemanasan baja ke fase austenite sehingga diperoleh struktur mikro austenite, selanjutnya didinginkan dengan media pendingin udara normal hingga suhu kamar. Sehingga struktur dalam material yang telah berubah akibat perlakuan mekanik, ataupun karena bekerja pada temperatur tinggi atau rendah dapat dikembalikan ke struktur yang normal lagi melalui proses *normalizing*.

Awalnya baja dipanaskan diatas suhu kritis (800-950°C), kemudian setelah mencapai suhu kritisnya baja ditahan (holding) pada suhu tersebut, dan yang terakhir baja didinginkan, pendinginannya sesuai dengan suhu kamar, yaitu didinginkan hingga suhu kurang lebih 270°C, lama pendinginan inilah yang sangat mempengaruhi sifat mekanik dari baja, semakin cepat pendinginannya maka akan menghasilkan baja dengan sifat mekanik berupa kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi, dan jika pendinginannya lambat maka akan terjadi hal yang sebaliknya.

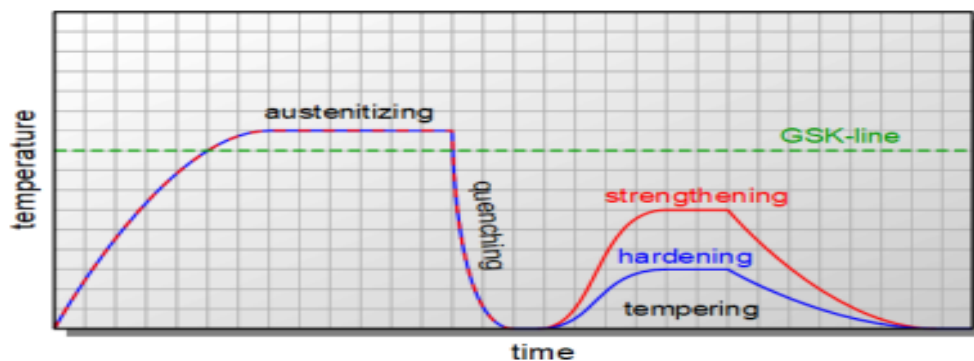


Gambar 2.3 Proses *Normalizing*

(Sumber : Sardi et al., 2018)

e. *Quenching*

Pendinginan cepat adalah salah satu perlakuan panas dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan didalam suatu media pendingin air garam, air atau oli. Proses *quenching* bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik yang keras. *Quenching* merupakan proses perpindahan panas pendinginan dengan sangat cepat dari *fasa austenit* pada umumnya suhu antara 815-870°C untuk material baja. Media pendingin yang biasa digunakan untuk proses *quenching* yaitu air, oli, larutan garam, dan udara. Media pendingin yang digunakan untuk proses *quenching* tergantung dari komposisi kimia baja yang diproses, kekerasan yang ingin dicapai, dan kompleksitas bentuk benda kerja. Jenis baja, ketebalan penampang, dan sifat yang ingin diperoleh dari benda kerja yang diproses menentukan metode atau cara *quenching* (Bahtiar, et al., 2014).



Gambar 2.4 *Quenching*

(Sumber: Zayadi et al., 2022)

2.2 Waktu penahanan (*Holding Time*)

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *quenching* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan homogen. Pada proses *pack carburizing*, *holding time* sangat diperlukan untuk menghasilkan kelarutan karbon pada material baja, semakin lama *holding time*-nya maka akan semakin banyak karbon yang berdifusi dengan besi (Purboputro, 2006). Pada saat tercapainya suhu kritis atas, memang *fase* struktur sudah hampir semuanya *austenit* tetapi *austenit* masih berbutir halus

dan kadar karbon dan unsur paduannya belum homogen untuk itulah dibutuhkan penahanan waktu beberapa saat (Waas, 2020)

$$T = 1,4 \times H \dots\dots\dots(1)$$

T = waktu penahanan (menit)

H = Tebal benda kerja (mm)

2.3 Baja

Baja merupakan logam paduan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon pada baja berkisar antara 0.2 hingga 2.1 (wt.%). Fungsi utama karbon dalam baja sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan nikel. Baja karbon bukan hanya terdiri dari unsur selain besi (Fe) dan karbon (C). Baja karbon tetap mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak mempengaruhi sifatnya seperti Si, Mn, Cr, Mo, Ni, Cu dan Al. Pengaruh utama dari kandungan karbon pada baja berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, dan tingkat kekerasannya. Kandungan karbon yang cukup tinggi pada baja dapat meningkatkan kekerasannya akan tetapi baja akan menjadi getas dan tidak mudah untuk dibentuk.

2.3.1 Baja Karbon

Baja karbon merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur(S), Fosfor (P), Silikon (Si), Mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasnya. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh persentase karbon dan struktur mikro. Perbedaan persentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*Low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

2. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3% C-0,6% C (*medium carbon steel*) dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan Sebagian dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mengandung 0,6% C-1,5% C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hamper tidak diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas (Kristofol & Waas, 2020).

2.4 Uji kekerasan

Pengujian kekerasan bahan merupakan kemampuan bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap, ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji. Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya beban yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan.

2.4.1 Uji Kekerasan *Brinell* (*Brinell Hardness Test – BHN*)

Hardness test merupakan uji NDT (*Non Destructive test*) dimana pada pengujian ini dapat diketahui suatu nilai kekerasan pada sebuah material/specimen uji. cara pengujian hardnes ini dilakukan dengan metode *hardness vickers*, *rockwell* dan *brinell*. Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai bola baja yang dikeraskan kemudian ditekan dengan beban tertentu. Beban diterapkan pada waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diameter lekukan

diukur dengan mikroskop, setelah beban dihilangkan. Permukaan harus relatif halus, rata, bersih dari debu atau kerak. Cara pengujian *Brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja *chrome* yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu oleh suatu gaya tekan secara statis ke dalam permukaan logam yang diuji tanpa sentakan. Permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Setelah gaya tekan ditiadakan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, maka diameter paling atas dari lekukan tersebut diukur secara teliti. Kekerasan ini disebut kekerasan *Brinell*, yang biasa disingkat dengan HB atau BHN (*Brinell Hardness Number*). Semakin keras logam yang diuji, maka semakin tinggi nilai HB (Syahrillah, et al 2016).

2.4.2 Uji Kekerasan *Rockwell* (*Rockwell Hardness Test – HR*)

Pengujian kekerasan (*hardness test*) adalah suatu proses yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap deformasi pada daerah lokal atau permukaan material, khusus untuk logam deformasi yang di maksud adalah *deformasi plastis*. *Deformasi plastis* sendiri adalah suatu keadaan dari material yang ketika diberikan gaya maka struktur mikronya tidak akan kembali ke bentuk semula. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: Uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, *Knoop*, dan lain sebagainya. Pengujian *Rockwell* merupakan proses pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai indenter atau penetrator yang ditekan dengan Parameter Satuan Spesifikasi Panjang Lebar Tebal Bobot mm kg 227 sampai dengan 243 171 sampai dengan $185 \geq 2$ 1 sampai dengan 2,5 541 beban tertentu. Pada pengujian *rockwell* angka kekerasan yang ditunjukkan merupakan kombinasi antara beban dan indenter yang dipakai, maka perlu diberikan awalan huruf pada angka kekerasan yang menunjukkan kombinasi beban dan penumbuk tertentu untuk skala beban yang digunakan, skala yang sering digunakan adalah A dengan beban 60 kgf, B beban 100 kgf, dan C beban 150 kgf. Pada pengujian kekerasan bahan dengan metode *Rockwell*, kedalaman penetrasi permanen yang dihasilkan dari penerapan dan pelepasan beban utama dipakai untuk menentukan angka kekerasan *Rockwell*, dapat dilihat pada persamaan (Sulaeman, et al., 2018)

2.4.3 Uji Kekerasan Vickers (Vickers Hardness Test – VHN)

Pengujian kekerasan dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode goresan (*scratch hardness*), metode pantul (*rebound*), dan metode penekanan (*indentation hardness*). Prinsip dasar yang digunakan pada metode penekanan sebagai ukuran kekerasan adalah ketahanan bahan terhadap *deformasi plastis*. Metode *vickers* memiliki ketelitian yang tinggi dalam pengukuran, serta dapat digunakan pada material yang keras. Sebagai indenter digunakan piramida intan yang berbentuk bujur sangkar. Spesimen ditekan selama waktu tertentu dan setelah diangkat, nilai kekerasan dapat diketahui dari diagonal bekas penekanan. Dalam proses uji tarik, benda kerja akan diletakkan secara vertikal untuk kemudian ditarik. Pada proses penarikan akan diberikan tarik beban maksimum, beban tarik maksimum inilah yang akan menentukan seberapa besara kekuatan tarik dari spesimen tersebut (Mohruni & Kembaren, 2013).

2.5 Baja AISI 1020

Baja AISI 1020 merupakan salah satu baja karbon rendah dengan unsur karbon (1,40-1,70)% Ni, (0,90- 1,40)% Cr, dan (0,20-0,30)% Mo. Baja AISI 1020 setara dengan baja DIN CK22.C22, JIS S20C. Menurut standart AISI (*American Iron and Steel Institute*) dan DIN CK22.C22, komposisi kimia dari baja AISI 1020 dapat dilihat pada Tabel 1.

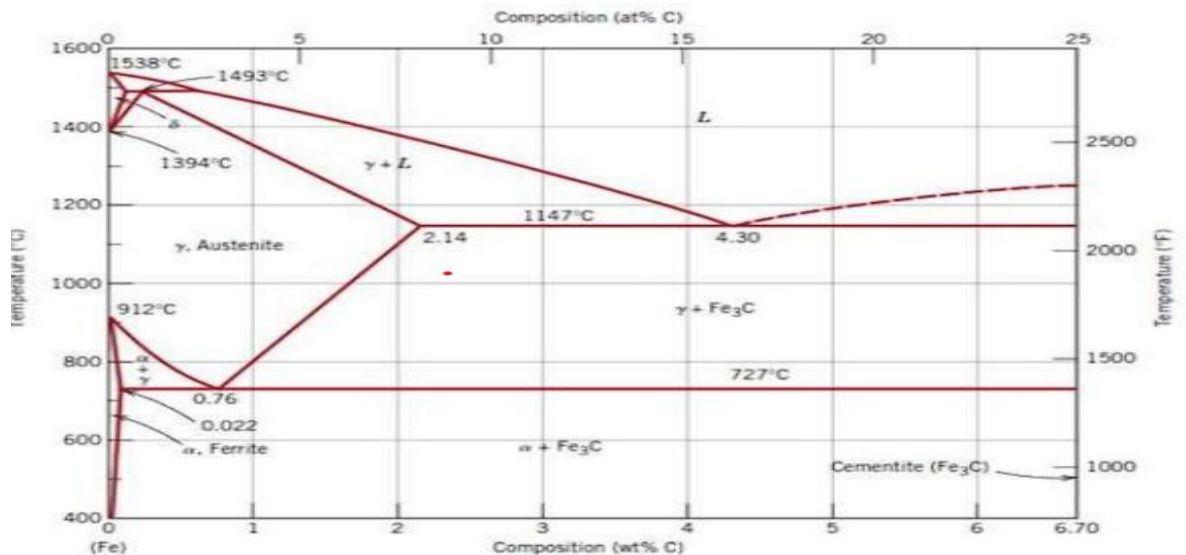
Tabel 2.1 Komposisi Baja AISI 1020 (Nasution & Nasution, 2020)

Kode	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	Cr%
AISI	0,20-	0,15-	0,50-	0,20-	0,035-	0,90-
1020	0,30	0,35	0,70	0,30	max	1,40

Baja AISI 1020 yang secara luas mudah tersedia sebagai *gear*, *billet bar*, batang *forging*, lembaran, tabung, dan kawat las. Aplikasi yang umum dari baja ini adalah baut, skrup, roda gigi, batang piston untuk mesin, roda pendaratan, dan komponen landing gear pesawat terbang. Baja AISI 1020 dengan kadar bajanya paduannya memungkinkan baja ini untuk dikeraskan dengan perlakuan panas (Nasution & Nasution, 2020).

2.6 Definisi Diagram fasa

Diagram kesetimbangan atau diagram *fasa* seperti terlihat pada gambar, merupakan diagram untuk perlakuan panas bagi logam, dan diagram fasa besi karbon diberlakukan untuk baja.



Gambar 2.5 Diagram Kesetimbangan Fe-Fe₃C

(Callister, 2010)

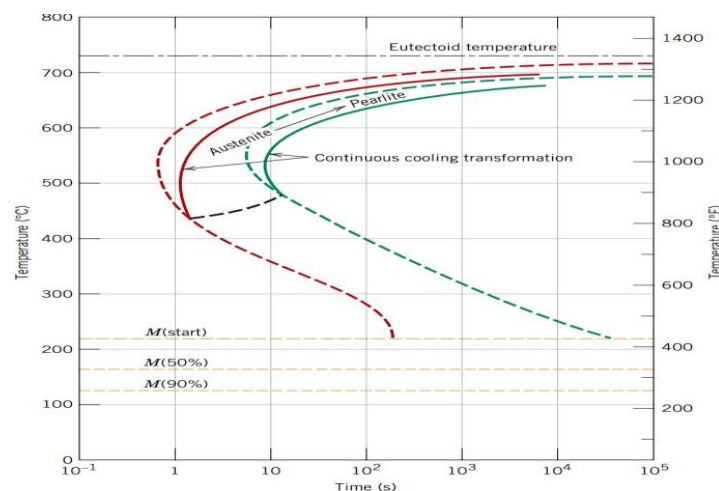
Dari diagram fasa yang ditunjukkan pada gambar 2. 4 terlihat bahwa suhu sekitar 7230C merupakan suhu transformasi austenit menjadi fasa perlit (yang merupakan gabungan fasa ferit dan sementit). Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi eutectoid dan merupakan dasar proses perlakuan panas dari baja. Sedangkan daerah fasa yang prosentase larutan karbon hingga 2 % yang terjadi di temperatur 1.1470C merupakan daerah besi gamma (γ) atau disebut austenit bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk dan mempunyai struktur kristal Face Centered Cubic (FCC).

Besi murni pada suhu dibawah 9100C mempunyai struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC). Besi BCC dapat melarutkan karbon dalam jumlah sangat rendah, yaitu sekitar 0,02 % maksimum pada suhu 7230C. Larutan pada intensitas dari karbon didalam besi ini disebut juga besi *alpha* (α) atau fasa ferit. Pada suhu diantara 9100C sampai 1.3900C, atom-atom besi menyusun diri menjadi bentuk

kristal *Face Centered Cubic* yang juga disebut besi gamma (γ) atau fasa austenit. Besi gamma ini dapat melarutkan karbon dalam jumlah besar yaitu sekitar 2.06 % maksimum pada suhu sekitar 1.1470C. Penambahan karbon ke dalam besi FCC ditransformasikan kedalam struktur BCC dari 9100C menjadi 7230C pada kadar karbon sekitar 0,8 %. Diantara temperatur 1.3900C dan suhu cair 1.5340C, besi gamma berubah menjadi susunan BCC yang disebut besi delta (δ) (Sumiyanto, et al., 2021).

2.6.1 Diagram TTT Dan CCT

Untuk memahami macam-macam fase dan bentuk kristal yang muncul saat logam didinginkan, digunakan diagram *time temperature transformation* (TTT). Diagram ini membantu mengetahui seberapa cepat perubahan fasa terjadi. Untuk melihat hubungan antara kecepatan Pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk, diagram TTT bisa digabung dengan diagram pendinginan berkelanjutan yaitu *Continuous cooling tranformation* (CCT).



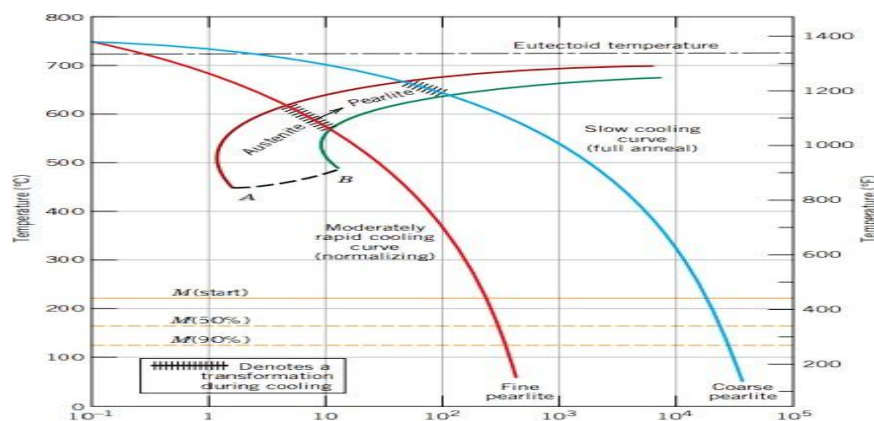
Gambar 2.6 Diagram CCT

(Callister, 2010)

2.6.2 Diagram TTT

Diagram IT (Isothermal Transformation) atau yang lebih dikenal dengan diagram TTT (Time Temperature Transformation) merupakan suatu representasi penting dalam ilmu material, khususnya untuk memahami perubahan fasa pada baja karbon. Proses pembentukan diagram ini dilakukan dengan cara memanaskan baja

hingga mencapai temperatur austenisasi, yaitu suhu di mana struktur kristal baja berubah sepenuhnya menjadi austenit. Setelah kondisi austenit tercapai, baja kemudian didinginkan dengan laju pendinginan tertentu secara kontinyu hingga berada pada rentang temperatur di mana fasa austenit masih stabil. Pada tahap ini, spesimen ditahan atau dipertahankan suhunya selama jangka waktu tertentu untuk mengamati transformasi yang terjadi, misalnya pembentukan fasa ferrit, pearlit, bainit, atau bahkan martensit tergantung kondisi pendinginan. Setelah periode penahanan selesai, material kembali didinginkan secara berkesinambungan hingga mencapai temperatur kamar. Dengan cara inilah, pola perubahan struktur mikro baja akibat variasi waktu dan temperatur dapat dipetakan ke dalam sebuah diagram TTT. Diagram ini sangat berguna untuk memprediksi perilaku transformasi fasa, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan perlakuan panas (*heat treatment*) yang tepat agar baja karbon memiliki kombinasi sifat mekanik sesuai kebutuhan aplikasinya (Mizhar & Pandiangan, 2014).



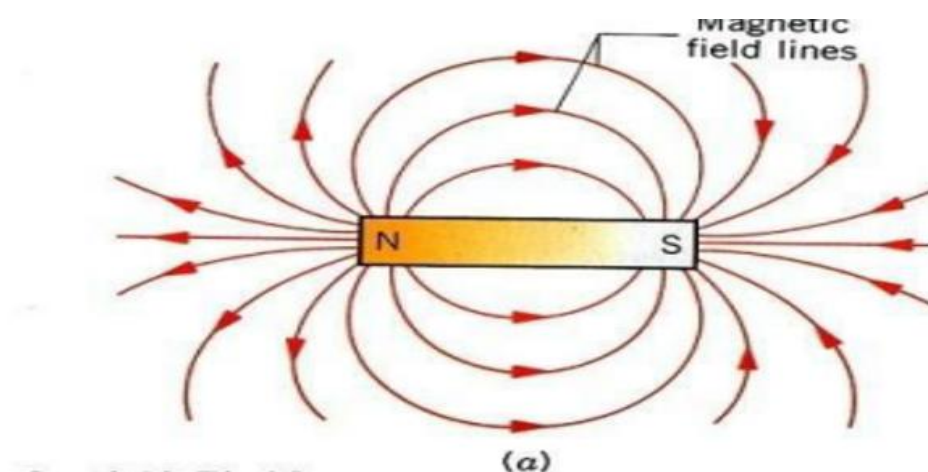
Gambar 2.7 Diagram TTT

(Callister, 2010)

2.7 Magnet dan Sifat-sifat Dasar Magnetik

Magnet merupakan material yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan medan magnet, baik secara permanen maupun sementara. Sumber dari sifat kemagnetan berasal dari gerakan elektron dalam atom, terutama elektron yang tidak berpasangan pada kulit terluar yang menghasilkan momen magnetik. Dalam material feromagnetik seperti besi dan baja, momen-momen magnetik ini saling

sejajar dalam domain magnetik (Weiss domain), sehingga menimbulkan kemagnetan makroskopis. Ketika material tersebut dikenai medan magnet luar, domain-domain tersebut akan sejajar dengan arah medan, sehingga menyebabkan peningkatan sifat magnetiknya secara signifikan (Costa et al., 2023). Sifat dasar magnetik pada suatu material dapat dikarakterisasi melalui beberapa parameter penting, seperti permeabilitas magnetik, koersivitas, remanensi, dan induksi saturasi. Permeabilitas magnetik menggambarkan seberapa mudah suatu material dapat dilalui medan magnet, sedangkan koersivitas menunjukkan ketahanan material terhadap proses demagnetisasi. Material dengan koersivitas rendah diklasifikasikan sebagai magnet lunak (*soft magnetic materials*), yang cocok digunakan pada aplikasi elektromagnetik seperti inti transformator dan motor listrik. Sebaliknya, material dengan koersivitas tinggi dikategorikan sebagai magnet keras, yang digunakan pada magnet permanen. Perilaku magnetik suatu material sangat bergantung pada struktur mikronya, komposisi kimia, dan perlakuan termal yang diterapkan. Sebagai contoh, perubahan ukuran butir, tegangan sisa, serta distribusi fase ferit dan perlit dalam baja karbon rendah dapat secara langsung memengaruhi nilai permeabilitas dan induksi magnetik maksimum. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa baja karbon rendah dengan struktur dominan ferit memiliki permeabilitas tinggi namun koersivitas rendah, menjadikannya material ideal untuk aplikasi dengan kebutuhan respons magnetik cepat dan minim kerugian hysteresis (Costa et al., 2023)



Gambar 2.8 Magnet

Sumber: Matsun, et al. (2018)

2.7.1 Struktur Mikro dan Komposisi Baja Karbon

Baja karbon merupakan paduan logam yang terutama tersusun dari besi (Fe) dan karbon (C) sebagai unsur utama penguat. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu baja karbon rendah ($\leq 0,25\%$), sedang ($0,25-0,60\%$), dan tinggi ($> 0,60\%$). Baja karbon rendah seperti AISI 1020 memiliki kandungan karbon sekitar $0,18-0,23\%$, sehingga tergolong sebagai baja dengan kekuatan sedang namun mudah dibentuk, dilas, dan dimesin. Kandungan karbon yang rendah ini menyebabkan struktur mikronya didominasi oleh ferit (Fe α), dengan sedikit perlit sebagai fasa kedua. (Adawiyah, et al, 2024).

Struktur mikro baja karbon terbentuk dari kombinasi fasa ferit dan perlit, yang terbentuk selama proses pendinginan dari fase austenit. Ferit merupakan struktur kubik berpusat badan (*body centered cubic*/BCC) yang memiliki sifat lunak dan plastis, sedangkan perlit adalah campuran lamelar dari ferit dan sementit (Fe₃C) yang memberikan kekuatan lebih tinggi pada baja. Jumlah perlit dalam baja karbon rendah seperti AISI 1020 biasanya tidak melebihi 25%, tergantung pada laju pendinginan dan perlakuan panas yang diterapkan. Komposisi ini menjadikan AISI 1020 sebagai material yang seimbang antara kekuatan mekanik dan keuletan.

Struktur mikro baja karbon sangat sensitif terhadap perlakuan panas, seperti *annealing*, *quenching*, dan *tempering*. Proses *annealing* pada baja AISI 1020 dapat memperbesar ukuran butir ferit dan mengurangi tegangan sisa, sehingga menghasilkan sifat magnetik dan mekanik yang lebih homogen. Sebaliknya, proses *quenching* dengan pendinginan cepat akan membentuk struktur martensit yang keras dan getas, mengurangi fraksi ferit, dan secara signifikan meningkatkan kekerasan baja. Struktur mikro akhir dari AISI 1020 dapat disesuaikan untuk kebutuhan spesifik melalui kontrol suhu dan waktu selama proses perlakuan termal.

Di sisi lain, penambahan unsur paduan seperti mangan (Mn), silikon (Si), atau krom (Cr) dalam jumlah kecil juga dapat memengaruhi struktur mikro dan perilaku baja karbon. Mangan, misalnya, dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kemampuan pengerasan, serta membantu stabilisasi *fasa austenit* selama

pemanasan. Namun, karena AISI 1020 merupakan baja karbon polos (*plain carbon steel*), kandungan unsur paduannya dibatasi untuk menjaga karakteristik dasarnya. Komposisi kimia ini, bersama struktur ferit-perlitnya, menjadikan AISI 1020 sangat cocok digunakan dalam industri otomotif, manufaktur komponen mesin, serta aplikasi teknik lainnya yang membutuhkan material dengan performa serba guna (Purbonugroho, et al., 2023)

2.7.2 Sifat Magnetik Khusus AISI 1020 dalam Aplikasi Industri

Baja AISI 1020 merupakan baja karbon rendah yang dikenal memiliki sifat mekanik yang seimbang serta kemudahan dalam perlakuan termal dan fabrikasi. Namun, selain keunggulan mekanik, AISI 1020 juga memiliki karakteristik magnetik yang cukup signifikan, menjadikannya relevan untuk berbagai aplikasi elektromagnetik. Sifat magnetiknya yang khas disebabkan oleh struktur mikronya yang didominasi oleh ferit, yang merupakan fase feromagnetik dengan permeabilitas relatif tinggi dan koersivitas rendah. Kombinasi ini menjadikan AISI 1020 sebagai material magnet lunak yang ideal untuk komponen yang memerlukan respons magnetik cepat namun tanpa menyimpan magnetisasi permanen. Dalam konteks aplikatif, AISI 1020 sering digunakan sebagai inti elektromagnet, bagian dari motor listrik, solenoid, relai, serta komponen transformator yang tidak memerlukan saturasi magnetik ekstrem. Penelitian menunjukkan bahwa AISI 1020 memiliki induksi magnetik saturasi sekitar 1,93 Tesla, dengan permeabilitas relatif maksimum mendekati 700 dan koersivitas sekitar 731 A/m². Nilai ini cukup kompetitif untuk aplikasi di mana efisiensi medan magnet dan kemudahan pembentukan sangat penting. Selain itu, resistivitas listriknya yang relatif tinggi (sekitar 19,19 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$) membantu mengurangi arus eddy, yang penting untuk efisiensi pada frekuensi tinggi.

Sifat magnetik AISI 1020 dapat dimodifikasi melalui perlakuan termal seperti *annealing*, *normalizing*, dan *quenching*. Perlakuan *annealing* meningkatkan homogenitas struktur *ferit*, memperbesar ukuran butir, serta mengurangi tegangan sisa, sehingga meningkatkan permeabilitas dan menurunkan koersivitas. Sebaliknya, proses *quenching* dapat menurunkan sifat magnetik akibat terbentuknya martensit, yang bersifat keras dan tidak begitu responsif terhadap

medan magnet luar. Oleh karena itu, kontrol proses termal menjadi penting untuk memastikan bahwa baja AISI 1020 tetap berada dalam kisaran sifat magnetik yang diinginkan untuk aplikasi elektromekanis. Keunggulan lain dari AISI 1020 dalam aplikasi industri adalah ketersediaannya yang luas, biaya produksi yang rendah, serta kemudahan dalam pemrosesan seperti pemotongan, pembentukan, dan pengelasan. Hal ini memungkinkan penggunaannya secara luas dalam pembuatan komponen elektromekanik berskala besar, seperti aktuator, komponen robotik, dan peralatan listrik rumah tangga. Kemampuannya untuk dimodifikasi secara termal dan diproses secara ekonomis menjadikan baja ini sebagai alternatif efisien terhadap material feromagnetik mahal seperti baja silikon atau paduan berbasis nikel dan yang lainnya.

Selain perlakuan termal, sifat magnetik baja AISI 1020 juga dipengaruhi oleh faktor mikrostruktural seperti distribusi fase ferit–perlit dan ukuran butir yang terbentuk selama proses pemanasan dan pendinginan. Ukuran butir yang lebih besar umumnya mempermudah pergerakan domain magnet, sehingga meningkatkan respons material terhadap medan magnet eksternal. Sebaliknya, keberadaan cacat kristal, batas butir yang rapat, serta tegangan internal dapat menghambat pergerakan domain magnet dan menurunkan performa magnetik material. Oleh karena itu, pemahaman hubungan antara struktur mikro dan sifat magnetik menjadi aspek penting dalam perancangan proses perlakuan panas AISI 1020 agar diperoleh kombinasi sifat mekanik dan magnetik yang optimal sesuai dengan kebutuhan aplikasi teknis.

Perubahan temperatur operasi, beban mekanik berulang, serta paparan medan magnet eksternal dalam jangka panjang dapat menyebabkan variasi sifat magnetik akibat relaksasi tegangan atau perubahan mikrostruktur secara gradual. Dengan pemilihan parameter perlakuan panas yang tepat, baja AISI 1020 dapat mempertahankan karakteristik magnetiknya secara relatif stabil selama masa pakai, sehingga meningkatkan keandalan dan umur layanan komponen elektromekanik. Hal ini menjadikan AISI 1020 tidak hanya unggul dari sisi ekonomis, tetapi juga layak secara teknis untuk aplikasi industri yang membutuhkan performa magnetik yang konsisten (Safriwardy, et al., 2023).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2025 hingga Januari 2026, dilakukan proses perlakuan panas pada baja AISI 1020 yang dilaksanakan di laboratorium SMK SMTI Bandar Lampung, pengujian *Vickers* dan pengujian mikrostruktur dilakukan di laboratorium Teknik Mesin, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Pengujian magnet secara mandiri dilakukan di rumah.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini terdapat alat seperti gambar dibawah ini:

1. Bahan yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut.

a. Baja karbon rendah (*AISI 1020*)

Material utama dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah tipe AISI 1020. Spesimen baja AISI 1020 dipotong dan dipersiapkan sesuai standar pengujian.

b. Kawat Baja

Kawat ini digunakan untuk mengait spesimen ketika akan dimasukkan atau diambil dari dalam tungku pemanas, guna memudahkan manipulasi selama pemanasan.

2. Alat yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut.

a. Tungku pemanas (*furnace*)

Furnace digunakan untuk proses perlakuan panas dalam penelitian ini. *Furnace* ini terdapat di Laboratorium Grafi SMK SMTI Bandar Lampung.

Gambar 3.1 Tungku Pemanas (*Furnace*)**Tabel 3.1 Spesifikasi Tungku Pemanas (*Furnace*)**

Model	Barnstead Thermolyne Thermofisher 4800 Series Muffle Furnace F48025-60-80
Power Rating	120 Volts
Hertz	50/60 Hz
Amps	15 Watt
Phase	1
Temperature Range	Continues: 1093°C Intermittent: 1200°C
Dimensions in Inchse	Chamber: 7 (17,8) W X 5 (12,7) X 10 (25,4) D Overall: 13,25 (33,7) W X 19 (48,3) H. X 19,5 (49,5) D

b. Alat uji kekerasan (*Vickers*)

Mesin uji kekerasan merupakan salah satu peralatan penting dalam bidang material engineering, karena berfungsi untuk mengukur tingkat kekerasan permukaan suatu spesimen setelah melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*). Kekerasan sendiri merupakan sifat mekanik yang menunjukkan ketahanan material terhadap deformasi plastis, khususnya ketika menerima beban tekan. Nilai kekerasan ini sangat menentukan kualitas suatu material dalam berbagai aplikasi teknik maupun industri, karena berhubungan langsung dengan ketahanan aus, ketahanan deformasi, serta umur pakai material tersebut. Oleh karena itu, pengukuran kekerasan setelah perlakuan panas menjadi indikator penting untuk menilai sejauh mana proses perlakuan panas berhasil mengubah sifat mikrostruktur baja atau paduan logam lain.

Gambar 3.2 *Vickres***Tabel 3.2 Spesifikasi Alat Uji Micro Vickers**

Asal Alat	Jepang
Dikalibrasi Oleh	Pt. Global Quality Indonesia
Nomor kalibrasi	LK-057-IDN
Tanggal Terakhir Dikalibrasi	23 Maret 2022
Ketelitian	1 HV
Uji Kekuatan	10, 25, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 gf
Kontrl Kreta	Memuat/Tinggal/Mengunggah(Otomatis)
Aplifikasi Mikroskop	100x, 400x
Waktu tanggal Angkatan Uji	5-60s
Nilai KelulusanDari roda Penguji Dram	0,0625 μ m
Bidang Pengujian	1 HV-2967 HV
Dimensi Meja XY	100 $\times$ 100 mm
Bidang Gerakan XY Tabel	25 $\times$ 25 mm
Max. Ketinggian Spesimen	70 mm
Max. Lebar Spesimen	95 mm
Powor Supply	110 V/220 V, 60 V/50 Hz
Dimensi	425 $\times$ 245 $\times$ 490 mm
Berat Bersih	35 kg

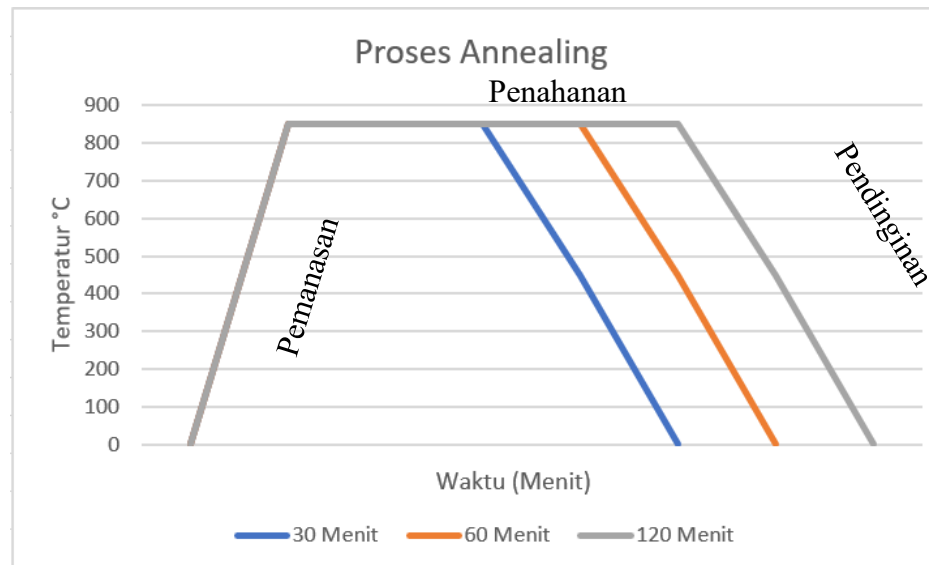
3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian pada tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa tahapan antara lain sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen

Material yang akan diuji pada penelitian ini adalah baja karbon rendah *AISI* 1020. Berikut adalah tahapan proses pembuatan spesimen:

- a. Material *AISI* 1020 berbentuk batang dipotong menggunakan mesin potong hidrolik menjadi beberapa bagian berukuran seragam. Tujuannya agar tiap spesimen memiliki dimensi yang seragam untuk menjamin konsistensi pengujian.
- b. Pelabelan Spesimen
Tiap spesimen diberi kode tertentu sesuai dengan waktu tahan pemanasan yang berbeda, agar mudah dalam identifikasi saat pengujian.
- c. Proses *Polishing*
Setiap sisi spesimen diampelas menggunakan kertas amplas basah dengan urutan grit: 500, 800, 1200. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan oksida, goresan, dan kontaminasi dari permukaan yang akan di uji.
- d. Proses Pembilasan
Setelah diampelas, spesimen dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan residu, lalu dikeringkan menggunakan kain bebas serat atau udara hangat.
- e. Pemasangan Kawat Baja
Spesimen kemudian dililitkan kawat baja tahan panas yang berfungsi sebagai pengait agar mudah dimasukkan dan diangkat dari dalam tungku pemanas (*furnance*).
- f. Proses *Annealing*
Proses *Annealing* dilakukan pada temperatur 850 °C dengan variasi waktu penahanan 30 menit, 60 menit dan 90 menit dan ditinggu hingga 24 Jam.



Gambar 3.3 Diagram Proses *Annealing*

g. Proses *polishing*

Setiap sisi spesimen diampelas menggunakan kertas amplas basah dengan urutan grit: 500 , 800 , 1200. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan oksida, goresan, dan kontaminasi dari permukaan yang akan diuji.

2. Pelaksanaan

Berikut ini adalah tahap proses pemanasan :

- Spesimen pada baja AISI 1020 terlebih dahulu dipotong sesuai dengan dimensi pengujian menggunakan mesin potong.
- Setelah pemotongan, permukaan spesimen diampelas secara bertahap menggunakan amplas basah dengan ukuran grit 500, 800, 1200 untuk mendapatkan permukaan yang bersih dan rata. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminasi, karat, serta ketidakraturan pada permukaan logam.
- Spesimen yang sudah diampelas kemudian dicuci menggunakan air bersih dan dikeringkan menggunakan kain bekas serat. Salah sisi spesimen disiapkan secara khusus sebagai permukaan uji setelah proses perlakuan panas.
- Selanjutnya, kawat baja tahan panas dililitkan pada spesimen untuk memudahkan proses pengangkatan dari tungku setelah pemanasan.

- e. Tungku pemanas (*furnance*) dinyalakan dan di *setting* hingga mencapai suhu 850°C.
- f. Setelah suhu di dalam tungku stabil pada 850°C, spesimen dimasukkan kedalam ruang pemanasan menggunakan penjepit logam tahan panas. Posisi spesimen diatur agar berada berada di tengah ruang *furnace* untuk mendapatkan distribusi panas yang merata.
- g. Waktu tahan pemanasan (*holding time*) 30, 60, 90 menit dihitung mulai dari saat suhu dalam *furnace* mencapai nilai konstan sebesar 850°C.
- h. Setelah waktu penahanan terpenuhi, *furnace* dimatikan dan spesimen tetap dibiarkan di dalamnya. Pendinginan berlangsung secara perlahan mengikuti penurunan suhu dalam *furnace* hingga mencapai suhu ruang. Pendinginan yang berlangsung lambat merupakan ciri khas dari proses *annealing* yang bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan keuletan, serta memperbaiki struktur mikro.
- i. Setelah spesimen dingin, permukaan kembali diampas ringan untuk menghilangkan kerak oksidasi atau lapisan sisa karbon yang mungkin terbentuk selama pemanasan.
- j. Spesimen yang telah melalui proses *heat treatment*, kemudian disiapkan untuk tahap pengujian kekerasan dan kemagnetan, guna mengevaluasi efek perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan fisik pada baja karbon rendah *AISI 1020*.

3. Pengujian spesimen

a. Pengujian kekerasan *Vickers*

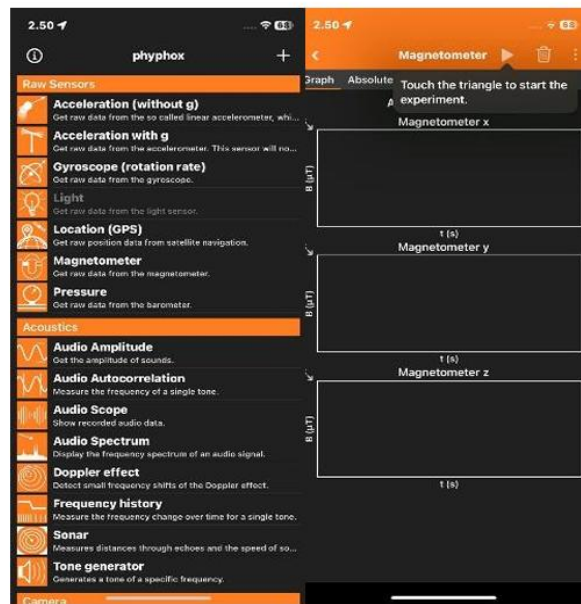
Adapun proses pengujian kekerasan permukaan sebagai berikut :

- Menyiapkan spesimen uji dan membersihkan permukaan benda uji serta melakukan pengamplasan sehingga kedua permukaan tersebut benar-benar rata dan sejajar.
- Memasang penetrator piramid sesuai dengan jenis material.
- Memastikan handle dalam posisi unholding.
- Memutar *exchanging handle/proper weight* sesuai pengujian kekerasan.

- Memasangkan benda uji aluminium 6061 pada kedudukannya (anvil) lalu mengencangkan dengan memutar handwheel. Hingga spesimen menyentuh penetrator dan jarum kecil pada dial indicator menuju garis merah.
- Mengatur indikator sehingga jarum besar tepat pada garis indikator C dan B.
- Menarik *handle* ke depan untuk pengetesan pembebanan utama. Pada saat itu jarum panjang akan berputar *anticlockwise* dan *handle* bergerak kedepan secara perlahan.
- Ketika jarum panjang berhenti, mendorong *handle* untuk menghilangkan pengetesan pembebanan utama. (Saat menarik *handle* dan mendorong *handle* secara perlahan dan berhati-hati).
- Melakukan pembacaan pada indikator. Untuk pengujian dengan diamond penetrator, baca pada garis bagian luar indikator (garis berwarna hitam). Untuk pengujian *stell ball* penetrator baca pada bagian dalam indikator (garis berwarna merah).

b. Pengujian Kemagnetan

Uji kuat medan magnet dilakukan dengan menggunakan sensor magnetometer yang terhubung dengan aplikasi *Phyphox* (*Physical Telephone Experiments*). *Phyphox* adalah aplikasi yang mendukung berbagai percobaan di bidang fisika. Aplikasi ini mengandalkan sensor-sensor yang terdapat pada perangkat *smartphone* untuk melakukan pengukuran eksperimen. Dengan *phyphox*, pengguna dapat memanfaatkan alat uji berbasis aplikasi, seperti magnetometer, untuk mengukur kuat medan magnet secara praktis. Sensor magnetometer pada *smartphone* bekerja dengan mendeteksi perubahan fluks medan magnet di sekitar perangkat dan menampilkannya dalam satuan mikrottesla (μT). Data hasil pengukuran dapat direkam secara real-time serta diekspor untuk keperluan analisis lebih lanjut. Penggunaan magnetometer berbasis aplikasi ini dinilai efektif karena mudah dioperasikan, memiliki resolusi pengukuran yang cukup baik, serta sesuai untuk pengujian laboratorium berskala sederhana. Spesifikasi alat magnetometer yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4 Alat Uji Magnetometer Berbasis Aplikasi

Tabel 3.3 Spesifikasi Magnetometer Berbasis Aplikasi

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tipe	Aplikasi <i>phyphox open source</i>
2	Akurasi	0,5 – 1,0 μT
3	Sensitivitas	0,1 – 0,5 μT

Pada uji kuat medan magnet ini, pengaruh medan magnet dari luar diberikan pada spesimen penelitian.

- a. Langkah-langkah uji kuat medan magnet dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
 - Menyiapkan alat dan bahan, seperti magnet, penggaris, dan sebuah batang besi sepanjang 10 cm.
 - Menyiapkan aplikasi Phyphox yang akan digunakan sebagai sensor magnetometer untuk mengukur kuat medan magnet.
 - Menempelkan medan magnet pada ujung batang besi, sedangkan ujung lainnya ditempelkan pada spesimen yang akan diuji.

- Melakukan pengujian dengan variasi jarak 0,5 cm, 1 cm, dan 1,5 cm.
- Menempatkan smartphone yang berfungsi sebagai sensor magnetometer pada spesimen sesuai dengan variasi jarak yang diuji.
- Mencatat nilai yang ditampilkan pada aplikasi Phyphox.
- Mengulang pengujian sesuai dengan jumlah spesimen yang akan diuji.
- Mengolah hasil pengujian untuk menentukan kekuatan medan magnet pada spesimen.

3.4 Pengambilan Data

Data yang diperoleh dari hasil penelitian ini dilampirkan dalam tabel dibawah ini:

1. Pengujian Kekerasan

Tabel 3.4 Hasil Uji Kekerasan Vickers

Variasi <i>Holding Time</i> (menit)	d1(μm)	d2(μm)	d(μm)	VHN	Kekerasan <i>Vickers</i> rata-rata(kg/mm^2)
30					
60					
90					

2. Pengujian Kemagnetan

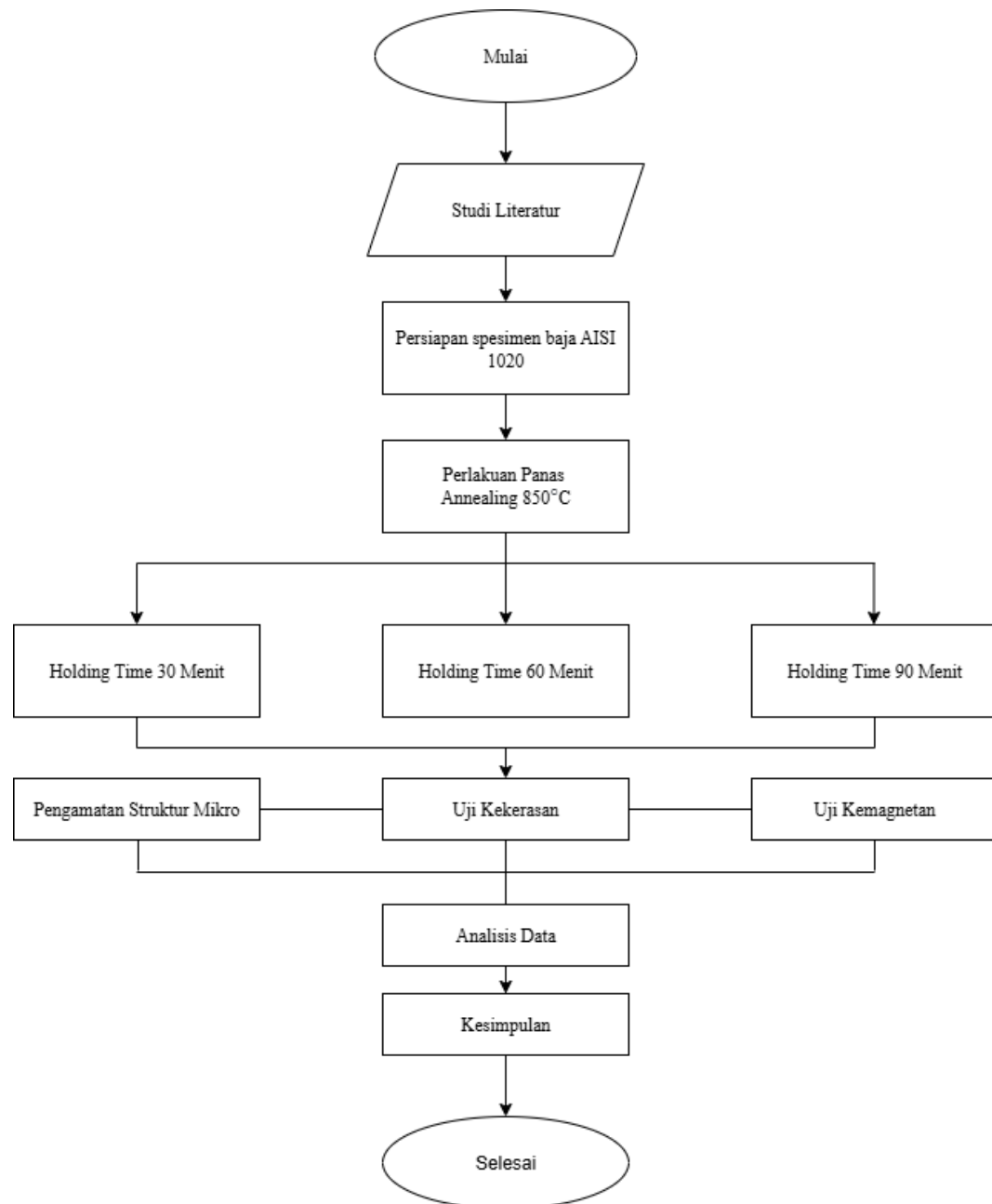
Dalam penelitian ini, jumlah spesimen yang diuji untuk kuat medan magnet dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.5 Spesimen Uji Kuat Medan Magnet

Pengujian	Nama Spesimen	Suhu <i>Heat Treatment</i>	Variasi	Jumlah Spesimen
Uji Kuat Medan Magnet	Baja AISI 1020	850 °C	30 menit	3
			60 menit	3
			90 menit	3
	Total			

3.5 Diagram Penelitian

Adapun diagram alur pada penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 3. 5 Diagram Alr Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh *holding time* pada proses *heat treatment* terhadap sifat magnetik dan kekerasan baja karbon rendah aisi 1020 sebagai berikut:

1. Hasil penelitian mengenai pengaruh *holding time* pada proses *heat treatment annealing* terhadap sifat magnetik dan kekerasan baja karbon rendah AISI 1020, dapat disimpulkan bahwa variasi *holding time* pada temperatur 850°C memberikan pengaruh yang nyata terhadap perubahan nilai kekerasan material. Perbedaan waktu penahanan selama proses *annealing* menyebabkan terjadinya proses difusi dan rekristalisasi yang memengaruhi struktur mikro baja AISI 1020, khususnya pada distribusi dan ukuran butir ferit serta perlit. Perubahan struktur mikro tersebut berdampak langsung pada nilai kekerasan *Vickers*, di mana sifat mekanik material mengalami perubahan dibandingkan dengan kondisi raw material.
2. Selain mempengaruhi sifat mekanik, variasi *holding time* pada proses *heat treatment annealing* juga berpengaruh terhadap sifat magnetik baja karbon rendah AISI 1020. Proses *annealing* dengan waktu penahanan yang berbeda menghasilkan struktur mikro yang lebih homogen dan mengurangi tegangan sisa di dalam material, sehingga domain magnetik menjadi lebih stabil. Kondisi ini menyebabkan terjadinya perubahan nilai kuat medan magnet yang terukur pada spesimen. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengendalian *holding time* merupakan parameter penting dalam proses *heat treatment*.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat saya berikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian berikutnya dapat menggunakan variasi temperatur *annealing* yang beragam untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap sifat mekanik, sifat magnetik, dan struktur mikro baja AISI 1020 secara lebih menyeluruh.
2. Perlu dilakukan pengujian sifat magnetik yang lebih lengkap, seperti kekuatan medan magnet, sisa kemagnetan, dan kemampuan material dalam menghantarkan medan magnet, dengan menggunakan alat ukur yang sesuai agar karakteristik magnetik material dapat dianalisis dengan lebih akurat.
3. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode perlakuan panas lain, seperti *normalizing* atau *quenching–tempering*, untuk dibandingkan dengan proses *annealing* pada baja karbon rendah AISI 1020.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, D. R., Hunaefi, D., & Nurtama, B. (2024). *Evaluasi Sensori Produk Pangan*. Bandung: Bumi Aksara.
- Alfariji Munandar, M. H., Kardiman, K., & Santoso, D. T. (2023). Pengaruh Variasi Holding Time Pada Proses Heat Treatment (Hardening) Untuk Baja S50c Sebagai Pisau Mesin Pencacah Kayu. *Jurnal Mesin Nusantara*, 6(2), 127–136. <https://doi.org/10.29407/jmn.v6i2.20304>
- Andreansyah, M., Anjani, R. D., & Naubnome, V. (2024). Pengaruh Proses Heat Treatment (Quenching dan Tempering) terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7864–7872.
- Bahtiar, Iqbal, M., & Supramono. (2014). Pengaruh Media Pendingin Minyak Pelumas SAE 40 pada Proses Quenching dan Tempering Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah. *Jurnal Mekanikal*, 5(1), 455–463.
- Batubara, F., & Korda, A. A. (2024). Pengaruh Heat Treatment Variasi Temperatur dan Waktu Penahanan (Holding Time) Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah. *Repository ITS*.
- Beno, J., Silen, A. P., & Yanti, M. (2022). Dampak Pandemi pada Kegiatan Ekspor Impor (Studi pada PT Pelabuhan Indonesia II (Persero) Cabang Teluk Bayur). *Jurnal Sains dan Teknologi Maritim*, 22(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.33556/jstm.v22i2.314>
- Bhaskara Sardi, V., Jokosisworo, S., & Yudo, H. (2018). Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1), 142–149.
- Costa, E. C., Lima, A. O., Santos, M. N. L., Souza, R. M., Wendhausen, P. A. P., & Xavier, F. A. (2023). On the Mechanical Behavior of the Sintered Nd-Fe-B Permanent Magnet During Diamond Scratching. *Journal of Manufakturing Processes*, 29, 79–93. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.03.060>
- Gunawan, L. Van, Andika, P. S., Endramawan, T., Haris, E., Sukardi, C., & Jati, U. S. (2024). Analisis Pengaruh Variasi Suhu Tempering Pada Sifat Mekanik Baja ASTM A36 Setelah Pengelasan SMAW Menggunakan Elektroda E 7016.

Infotekmesin, 15(01), 187–193.
<https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v15i1.2144>

Istiyono, E. (2009). Analisis Sifat Magnetik Bahan yang Mengalami Proses Annealing dan Quenching. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*, 311–319.

Jordi, M., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Pengaruh Proses Quenching dengan Media Berbeda terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 dengan Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1).

Kristofol, W., & Waas, V. (2020). Pengaruh Holding Time dan Variasi Media Quenching Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah ST 42 Pada Proses Pengkarbonan Padat Menggunakan Arang Batok Biji Pala (*Myristica Fagrans*). *Jurnal Simetrik*, 10(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.31959/js.v10i1.359>

Matsun, Ramadhani, D., & Lestari, I. (2018). Pengembangan Bahan Ajar Listrik Magnet Berbasis. *Jurnal PMIPA*, 9(1), 99–107.

Mizhar, S., & Pandiangan, I. H. (2014). Pengaruh Masukan Panas terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Ketangguhan pada Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) dari Pipa Baja Diameter 2,5 Inchi. *Jurnal Dinamis*, 2(1), 16–22.

Mohruni, A. S., & Kembaren, B. H. (2013). Pengaruh Variasi Kecepatan dan Kuat Arus terhadap Kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah dengan Elektroda E6013. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 1–8.

Nasution, M., & Nasution, R. H. (2020). Analisa Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1020 terhadap Perlakuan Carburizing dengan Arang Batok Kelapa. *Jurnal Buletin Utama Teknik*, 15, 165–174.

Proch, R., Koukol, M., Džugan, J., & Konop, P. (2022). Extended Continuous Cooling Transformation (CCT) Diagrams. *Materials*, 15(3076), 1–13.

Purbonugroho, H., Suprihanto, A., & Haryadi, G. D. (2023). Analisis Metode Pengelasan SMAW terhadap Laju Korosi dan Nilai Kekerasan pada Baja Karbon Rendah AISI 1020. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(4), 227–234.

Purboputro, I. P. (2006). Pengaruh Waktu Penahanan Terhadap Sifat Mekanis Pada Proses Pengkarbonan Baja Mild Steel Roda Gigi Rantai Sepeda Motor RX Spesial. *Jurnal MEDIA MESIN*, 7(1).

Rifnaldi, R., & Mulianti. (2019). Pengaruh Perlakuan Panas Hardening dan Tempering Terhadap Kekerasan (Hardness) Baja AISI 1045. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 1(4), 950–959.

- Rizki, M. A., & Razi, M. (2022). Pengaruh Proses Pack Carburizing dengan Variasi Temperatur dan Karbon Aktif terhadap Kekerasan Permukaan Baja AISI 1020. *Jurnal Mesin Sains*, 6(2), 63–67.
- Safriwardy, F., Rizki, M. N., Masrullita, M., & Daniel, M. (2023). Analysis of the Influence of Temperature and Hold Time in the Solid Carburization Process on the Hardness and Microstructure of AISI 1020 and 1045 using Oil Cooling. *International Journal for Educational and Vocational Studies*, 5(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.29103/ijevs.v5i1.12486>
- Sulaeman, M., Budiman, H., & Koswara, E. (2018). Proses Uji Dimensi, Uji Kekerasan dengan Metode Rockwell dan Uji Komposisi Kimia pada Cangkuk di Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Bandung. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (hal. 539–543).
- Sumiyanto, R. S. (2012). Analisis Sifat Mekanis Baja Dua Fasa Akibat Variasi Temperatur Austenisasi. *Ft, Upnvj*, 71–80.
- Sumiyanto, Sapura, R., & Darmawan, R. R. (2021). Analisa Perbandingan Kualitas Katup Original, Katup Original Ex-Pakai Dan Katup Imitasi Sepeda Motor Yjz 110Cc. *Jurnal Tera*, 1(1), 84–97.
- Supriyanto, S., & Ismanto, I. (2020). Analisa Pengaruh Holding Time pada Proses Karburasi dalam Media Arang Kayu Jati Terhadap Kekerasan Baja ST-37. *Jurnal Mesin Nusantara*, 3(1), 29–36. <https://doi.org/10.29407/jmn.v3i1.14636>
- Syahrillah, Gusti R. F., Firman, M., & Andi, S. M. (2016). Analisa Uji Kekerasan pada Poros Baja ST 60 dengan Media Pendingin yang Berbeda. *Al-Jazari Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 01(02), 21–26.
- Waas, K.-. (2020). Pengaruh Holding Time (Waktu Tahan) Dan Variasi Media Quenching (Pendinginan) Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah ST 42 Pada Proses Pengkarbonan Padat Menggunakan Arang Batok Biji Pala (*Myristica fagrans*). *Jurnal Simetrik*, 10(1), 269–278. <https://doi.org/10.31959/js.v10i1.361>

Zayadi, A., Sungkono, Masyhudi, & Setyawan T, E. (2022). Pengaruh Waktu Tempering terhadap Karakter Baja s45c Pasca Quenching pada 950oc dan Tempering 500 C. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 7(1), 34–65. <https://doi.org/10.35894/jtk.v7i1.53>