

**PENGARUH AKTIVASI KARBON DARI ARANG KAYU
MAHONI TERHADAP PROSES *PACK CARBURIZING* PADA
BAJA AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN *QUENCHING***

(Skripsi)

**Oleh :
Orvala Desert Brolian
(2115021083)**



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

**PENGARUH AKTIVASI KARBON DARI ARANG KAYU MAHONI
TERHADAP PROSES *PACK CARBURIZING* PADA BAJA AISI 1020
DENGAN PERLAKUAN *QUENCHING***

Oleh :

Orvala Desert Brolian

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

BANDAR LAMPUNG

2026

ABSTRAK

PENGARUH AKTIVASI KARBON DARI ARANG KAYU MAHONI TERHADAP PROSES *PACK CARBURIZING* PADA BAJA AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN *QUENCHING*

Oleh :

Orvala Desert Brolian

Baja AISI 1020 merupakan baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam industri karena mudah dibentuk dan ekonomis, namun memiliki kekerasan permukaan yang relatif rendah. Untuk meningkatkan sifat mekaniknya, dilakukan proses *pack carburizing* menggunakan karbon aktif dari arang kayu mahoni yang dilanjutkan dengan perlakuan *quenching*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aktivasi arang kayu mahoni terhadap peningkatan kandungan karbon spesimen, nilai kekerasan, dan perubahan struktur mikro baja AISI 1020. Proses *carburizing* dilakukan pada suhu 850°C dengan waktu tahan 2 jam, menggunakan media arang non-aktif dan arang yang telah diaktivasi, kemudian sebagian spesimen didinginkan cepat menggunakan media air. Pengujian meliputi analisis komposisi kimia (OES), uji kekerasan *Micro Vickers*, serta pengamatan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arang kayu mahoni yang diaktivasi mampu meningkatkan difusi karbon ke permukaan baja secara lebih efektif dibandingkan arang non-aktif. Peningkatan kadar karbon berbanding lurus dengan kenaikan nilai kekerasan. Kadar karbon pada permukaan baja meningkat dari kondisi awal sebesar 0,20% menjadi 0,48% dengan arang non-aktif, dan meningkat tinggi menjadi 0,79% menggunakan arang aktif. Penggunaan arang kayu mahoni aktif dan non-aktif berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan komposisi kimia baja AISI 1020. Material *raw* memiliki kekerasan rata-rata sekitar 176,4 HV. Setelah *pack carburizing* menggunakan arang non-aktif tanpa *quenching*, kekerasan meningkat menjadi 249 HV. Pada kondisi arang non-aktif dengan *quenching*, nilai kekerasan naik lebih tinggi mencapai 712 HV. Sementara itu, penggunaan arang mahoni aktif tanpa *quenching* menghasilkan kekerasan rata-rata 307,6 HV, dan kondisi tertinggi diperoleh pada arang mahoni aktif dengan *quenching* dengan nilai rata-rata 917,2 HV, menunjukkan peningkatan yang paling signifikan dibandingkan kondisi lainnya. Dengan demikian, penggunaan karbon aktif dari arang kayu mahoni terbukti efektif sebagai media *pack carburizing* dalam meningkatkan kualitas permukaan baja AISI 1020.

Kata kunci : AISI 1020, karbon aktif, arang kayu mahoni, *pack carburizing*, *quenching*, *micro vickers*, struktur mikro.

ABSTRACT

THE EFFECT OF CARBON ACTIVATION FROM MAHOGANY WOOD CHARCOAL ON THE PACK CARBURIZING PROCESS OF AISI 1020 STEEL WITH QUENCHING TREATMENT

By :

Orvala Desert Brolian

AISI 1020 steel is a low-carbon steel widely used in the industry because it is easy to shape and economical, but it has relatively low surface hardness. To improve its mechanical properties, a pack carburizing process was carried out using active carbon from mahogany wood charcoal, followed by quenching treatment. This research aims to determine the effect of activating mahogany wood charcoal on the increase in carbon content of the specimens, hardness values, and changes in the microstructure of AISI 1020 steel. The carburizing process was carried out at a temperature of 850°C with a holding time of 2 hours, using inactive charcoal media and activated charcoal, followed by rapid cooling of some specimens using water media. The tests include chemical composition analysis (OES), Micro Vickers hardness testing, and microstructure observation. The research results show that activated mahogany wood charcoal is able to enhance the diffusion of carbon to the steel surface more effectively compared to non-active charcoal. The increase in carbon content is directly proportional to the increase in hardness value. The carbon content on the surface of the steel increased from an initial condition of 0.20% to 0.48% with inactive charcoal, and increased significantly to 0.79% using active charcoal. The use of active and inactive mahogany wood charcoal affects the hardness value and chemical composition of AISI 1020 steel. The raw material has an average hardness of about 176.4 HV. After pack carburizing using non-active charcoal without quenching, the hardness increased to 249 HV. In the condition of non-active charcoal with quenching, the hardness value rose even higher to 712 HV. Meanwhile, the use of active mahogany charcoal without quenching resulted in an average hardness of 307.6 HV, and the highest condition was obtained with active mahogany charcoal with quenching, reaching an average value of 917.2 HV, showing the most significant increase compared to other conditions. Thus, the use of activated carbon from mahogany charcoal has proven effective as a pack carburizing medium in improving the surface quality of AISI 1020 steel.

Keywords: AISI 1020, activated carbon, mahogany wood charcoal, pack carburizing, quenching, micro Vickers, microstructure.

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi

**: PENGARUH AKTIVASI KARBON DARI
ARANG KAYU MAHONI TERHADAP
PROSES *PACK CARBURIZING* PADA BAJA
AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN
*QUENCHING***

Nama Mahasiswa

: Orvala Desert Brolian

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2115021083

Jurusan

: S1 Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik



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

Harnowo Supriadi, S.T., M.T.
NIP. 196909091997031002

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

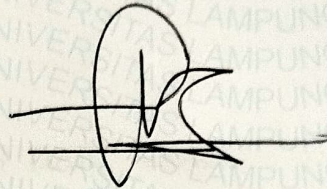
Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 197408162000121001

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

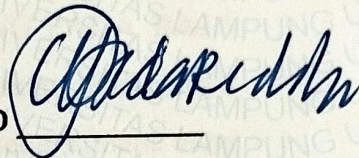
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

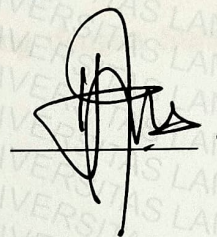
Ketua : Zulhanif, S.T., M.T.



Penguji Utama : Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D



Sekretaris : Harnowo Supriadi, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 2 Februari 2026

PERNYATAAN PENULIS

Skripsi yang berjudul “PENGARUH AKTIVASI KARBON DARI ARANG KAYU MAHONI TERHADAP PROSES *PACK CARBURIZING* PADA BAJA AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN *QUENCHING*” merupakan hasil karya penulis sendiri dan bukan merupakan hasil plagiarisme siapa pun sebagaimana yang diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 17 Februari 2026

Pembuat Pernyataan



Orvala Desert Brolian

NPM. 2115021083

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“To get something you never had, you have to do something you never did.”

(Denzel Washington)

SANWACANA

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rezeki, keberkahan dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaruh Aktivasi Karbon Dari Arang Kayu Mahoni Terhadap Proses *Pack Carburizing* Pada Baja AISI 1020 Dengan Perlakuan *Quenching*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Perjalanan panjang skripsi ini tentunya tidak terlepas dari banyak pihak yang telah memberikan dukungan, doa, bimbingan serta semangat dan motivasi yang luar biasa. Dengan tulus dan penuh kerendahan hati, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Zulhanif, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing utama yang telah membimbing serta memberikan ilmu selama pelaksanaan tugas akhir di perkuliahan.
6. Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama pelaksanaan tugas akhir dan selama perkuliahan.
7. Prof. Mohammad Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembahas yang telah bersedia mengoreksi serta meluruskan dalam penyusunan skripsi ini.

8. Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D. selaku Pembimbing Akademik yang senantiasa memberi nasihat selama masa studi.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang tidak bisa disebutkan satu persatu namanya, terima kasih atas ilmu yang telah kalian berikan. Semoga kelak ilmu yang telah saya dapatkan bermanfaat.
10. Staf dan karyawan Teknik Mesin Universitas Lampung, yang telah banyak membantu secara teknis dan administratif selama proses akademik dan penyusunan skripsi ini.
11. Kedua orang tua penulis, Bapak Subroto dan Ibu Juli Andriani yang selalu mendampingi, mendidik, mendoakan, mendukung, dan memberikan restu penulis agar tetap semangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin.
12. Adik-adik tersayang Serilda dan Zizi. Terima kasih atas kehadirannya di keluarga ini. Kalian secara tidak langsung merupakan penyemangat bagi penulis. Semoga kelak kalian bisa menggapai impian yang kalian inginkan.
13. Kakek dan nenek penulis, Bapak Lilik Basuki dan Ibu Supartini yang selalu mendukung penulis, mendoakan, dan terimakasih atas segala hal yang telah diberikan kepada penulis. Semoga kakek dan nenek selalu diberikan kesehatan dan bahagia selalu.
14. Kepada wanita dengan NPM 2111011055. Terima kasih atas pemberian semangat, dukungan, bantuan, dan motivasi untuk penulis. Dukunganmu menjadi semangat bagi penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Terimakasih sudah hadir dalam perjalanan penulis menyusun skripsi ini. Semoga langkah kita selalu dipermudah dan segala kebaikanmu dibalas dengan sebaik-baiknya.
15. Partner TA yaitu Hanif yang telah membantu, menyemangati penulis, dan memberikan ilmu kepada penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
16. Teman-teman angkatan 2021 yang telah menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat.
17. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, penulis sampaikan terima kasih yang tulus atas setiap bantuan dan do'a. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan kalian.

18. Almamater tercinta, Universitas Lampung, tempat di mana penulis tumbuh, belajar, dan berproses menjadi pribadi yang lebih baik.

Akhir kata, penulis berterima kasih kepada pihak yang telah berjasa dalam proses sampai di titik ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, namun penulis berharap karya sederhana ini dapat memberikan manfaat dan inspirasi bagi pembaca.

Bandar Lampung

Penulis,

Orvala Desert Brolian

NPM 2115021083

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, 19 September 2003 sebagai anak pertama dari Ayah dan Ibu. Penulis menempuh Pendidikan dasar di SDN 1 Beringin Raya, lalu dilanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 13 Bandar Lampung dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 7 Bandar Lampung. Pada tahun 2021 penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menjalani masa studi di Universitas Lampung, penulis aktif dalam kegiatan organisasi dan pengembangan diri. Penulis aktif mengikuti kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin pada divisi kominfo dan kreativitas dan berbagai kepanitiaan di Jurusan Teknik Mesin. Selain itu, penulis melaksanakan kerja praktek di PT. Pindo Deli Pulp And Paper Mills 2. Penulis memulai melakukan penelitian dengan judul “PENGARUH AKTIVASI KARBON DARI ARANG KAYU MAHONI TERHADAP PROSES *PACK CARBURIZING* PADA BAJA AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN *QUENCHING*” yang telah dimulai pada Mei 2025.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Baja	7
2.2 Baja AISI 1020.....	9
2.3 Perlakuan panas (<i>Heat Treatment</i>).....	11
2.4 Diagram TTT (<i>Time Temperature Transformation</i>).....	12
2.5 Proses <i>Pack Carburizing</i>	14
2.6 Karbon Aktif dari Arang Kayu	16
2.7 Arang Kayu Mahoni.....	18
2.8 <i>Quenching</i>	18
2.9 Pengujian Kekerasan	20
2.9.1 <i>Brinell</i>	20
2.9.2 <i>Vickers</i>	22
2.9.3 <i>Rockwell</i>	23
2.9.4 <i>Micro Vickers</i>	24
2.10 Struktur Mikro.....	25

2.10.1	Ferit	26
2.10.2	Perlit	26
2.10.3	Martensit	27
2.10.4	Austenit	27
2.10.5	Sementit	27
2.10.6	Bainit	28
2.11	Difusi	28
III.	METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.1.1	Waktu penelitian	30
3.1.2	Tempat Penelitian	30
3.1.3	Alat dan Bahan	31
3.2	Prosedur Penelitian	36
3.3	Diagram Alir Penelitian	42
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Hasil dan Analisis Pengujian	43
4.1.1	Hasil Proses <i>Carburizing</i>	43
4.1.2	Kedalaman Difusi Karbon	44
4.1.3	Uji Komposisi Kimia	46
4.1.4	Uji Kekerasan <i>Micro Vickers</i>	48
4.1.5	Pengamatan Struktur Mikro	51
V.	PENUTUP	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	58
	DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1020	10
Tabel 3.1 Spesifikasi Furnace	32
Tabel 3. 2 Spesifikasi alat uji kekerasan (micro vickers).....	33
Tabel 3. 3 Spesifikasi alt uji komposisi kimia	34
Tabel 3.4 Komposisi kimia pada baja karbon rendah (AISI 1020) sebelum dan sesudah proses pack carburizing.	41
Tabel 4.1 Parameter proses Carburizing	44
Tabel 4.2 Komposisi Kimia Baja AISI 1020 Raw Material	46
Tabel 4.3 Komposisi Kimia Baja AISI 1020 dengan Arang Non-Aktivasi.....	46
Tabel 4.4 Komposisi Kimia Baja AISI 1020 dengan Arang Aktif	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baja AISI 1020.....	11
Gambar 2.2 Diagram fasa Fe-Fe ₃ C.	12
Gambar 2.3 Diagram TTT (Time Temperature Transformation)	13
Gambar 2.4 Proses pack carburizing.....	15
Gambar 2.5 Diagram quenching.	19
Gambar 3.1 Baja AISI 1020.....	31
Gambar 3.2 Arang Kayu Mahoni.....	31
Gambar 3.3 Furnace.....	32
Gambar 3.4 Alat uji kekerasan (micro vickers).	33
Gambar 3.5 Optical Emission Spectroscopy (OES).	34
Gambar 3.6 Ampleas.....	35
Gambar 3.7 Tang penjepit.....	35
Gambar 3.8 Kawat baja.....	35
Gambar 3.9 Tabung sementasi.....	36
Gambar 3.10 Wadah air & air.	36
Gambar 3.11 Diagram alir penelitian.....	42
Gambar 4.1 Baja AISI 1020 hasil pack carburizing	43
Gambar 4.2 Grafik Uji Komposisi Kimia	47
Gambar 4.3 Grafik rata-rata nilai kekerasan <i>Micro Vickers</i>	50
Gambar 4.4 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020.....	51
Gambar 4.5 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020 arang non-aktif tanpa quenching (500x)	52
Gambar 4.6 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020 arang non-aktif dengan quenching (500x).....	53
Gambar 4.7 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020 arang aktif tanpa quenching (500x)	53

Gambar 4.8 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020 arang aktif dengan quenching (500x)	54
---	----

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan salah satu material teknik yang paling banyak digunakan dalam berbagai bidang industri, mulai dari otomotif, manufaktur, konstruksi, hingga alat-alat pertanian. Salah satu jenis baja yang sering digunakan adalah baja karbon rendah seperti AISI 1020, yang memiliki keunggulan dari sisi kemudahan pembentukan, kemampuan las, serta biaya produksi yang relatif rendah. Namun, di balik kelebihanannya, baja karbon rendah memiliki kelemahan utama yaitu tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Hal ini menjadi kendala ketika baja tersebut digunakan pada komponen yang mengalami beban gesek atau keausan tinggi, seperti roda gigi, poros, atau komponen mesin lainnya.

Untuk mengatasi kekurangan tersebut, dilakukan modifikasi pada sifat permukaan material tanpa mengubah sifat inti melalui proses perlakuan panas seperti *pack carburizing*. Proses ini memungkinkan penambahan karbon pada permukaan baja, sehingga permukaan menjadi lebih keras sementara bagian dalam tetap ulet. Penelitian yang dilakukan oleh (Nasution & Nasution, 2020), membahas tentang analisa kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1020 setelah diberi perlakuan *carburizing* menggunakan arang batok kelapa dengan variasi proses *quenching* menggunakan media pendingin air, air garam, dan oli. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan baja AISI 1020 melalui proses penambahan karbon dan membandingkan hasil kekerasan serta struktur mikro pada masing-masing media pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *carburizing* yang dilanjutkan dengan *quenching* secara signifikan meningkatkan kekerasan baja, di mana nilai kekerasan tertinggi

diperoleh pada quenching dengan media air garam 674,8970 VHN, diikuti oleh oli 621,2040 VHN, dan air 395,3990 VHN, dibandingkan dengan baja asli yang hanya memiliki kekerasan rata-rata 191,3336 VHN. Kesimpulannya, perlakuan *carburizing* dengan arang batok kelapa dan variasi *quenching* efektif meningkatkan kekerasan permukaan baja AISI 1020, terutama dengan media pendingin air garam

Penelitian yang dilakukan oleh (Safriwardy dkk., 2023) membahas pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan pada proses solid *carburizing* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1020 dan AISI 1045 dengan pendinginan oli. Penelitian ini menggunakan temperatur 850°C dan 950°C serta waktu tahan 15 dan 30 menit, dengan sumber karbon berupa serbuk arang kayu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan terendah terjadi pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 15 menit, yaitu sebesar 82,00 HRB untuk AISI 1020 dan 95,66 HRB untuk AISI 1045, sedangkan kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur 950°C dengan waktu tahan 30 menit, yaitu 93,00 HRB untuk AISI 1020 dan 105,33 HRB untuk AISI 1045. Dari penelitian ini dapat diketahui semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu tahan pada proses carburizing, maka nilai kekerasan baja semakin meningkat, yang juga diikuti oleh perubahan struktur mikro material.

Penelitian yang dilakukan oleh (Prayitno & Hengki, 2022) membahas tentang pengaruh proses *pack carburizing* yang dilanjutkan dengan *quenching* terhadap kekerasan baja AISI 1020, yang umumnya digunakan sebagai material sproket sepeda motor. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja karbon rendah agar lebih tahan terhadap keausan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *pack carburizing* saja mampu meningkatkan kekerasan permukaan dari 180 HV menjadi 256 HV, sedangkan *pack carburizing* yang dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan minyak goreng meningkatkan kekerasan secara signifikan hingga 638 HV. Selain itu, kandungan karbon pada permukaan baja juga meningkat dan struktur mikro berubah dari ferit-perlit menjadi martensit setelah proses *quenching*. Dari

penelitian ini kombinasi proses *pack carburizing* dan *quenching* terbukti efektif dalam meningkatkan kekerasan permukaan dan kualitas mekanik baja AISI 1020.

Selain itu, temperatur proses juga memegang peranan penting dalam proses *carburizing*. Penelitian yang dilakukan oleh (Rizki dkk., 2022) membahas tentang pengaruh proses *pack carburizing* dengan variasi temperatur 880°C, 900°C, dan 920°C serta jenis karbon aktif (arang tempurung kelapa dan arang cangkang sawit) terhadap kekerasan permukaan baja AISI 1020. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja AISI 1020 yang umumnya digunakan pada produk *sprocket* dan gear sepeda motor, dengan metode *pack carburizing* selama 120 menit dan pendinginan menggunakan air sumur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan penggunaan arang cangkang sawit sebagai media karbon menghasilkan nilai kekerasan permukaan yang lebih tinggi, di mana nilai kekerasan tertinggi mencapai 327,2 HV pada suhu 920°C dengan arang cangkang sawit, sedangkan dengan arang tempurung kelapa hanya mencapai 260,9 HV pada suhu yang sama. Kesimpulannya, variasi temperatur dan jenis karbon aktif sangat berpengaruh terhadap peningkatan kekerasan permukaan baja AISI 1020, dan arang cangkang sawit terbukti lebih efektif dibandingkan arang tempurung kelapa dalam proses *pack carburizing*.

Setelah *carburizing*, perlakuan lanjutan berupa *quenching* menjadi langkah penting untuk membentuk struktur martensit pada lapisan permukaan. Penelitian (Adi dkk., 2021) membahas tentang pengaruh variasi media *pack carburizing* terhadap kekerasan baja AISI 1020. Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah batubara, arang kayu gelam, dan arang tempurung kelapa. Proses *pack carburizing* dilakukan pada suhu 900°C selama 2 jam, kemudian dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan air PAM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media batubara menghasilkan peningkatan kekerasan paling tinggi, yaitu rata-rata 111 HRB, sedangkan arang tempurung kelapa menghasilkan 101,09 HRB, dan arang kayu gelam menghasilkan 87,93 HRB.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kandungan karbon pada media *pack carburizing* sangat mempengaruhi peningkatan kekerasan permukaan baja, di mana batubara sebagai media dengan kandungan karbon tertinggi memberikan hasil paling optimal.

Berdasarkan paparan di atas, penelitian ini akan mengkaji pengaruh karbon aktif dari arang kayu mahoni terhadap proses *pack carburizing* pada baja AISI 1020 dengan perlakuan *quenching*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi material yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh berbagai faktor pada proses *pack carburizing* baja AISI 1020 menggunakan karbon aktif dari arang kayu. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apakah penggunaan arang kayu mahoni sebelum dan sesudah diaktivasi sebagai media karbon dalam proses *pack carburizing* berpengaruh terhadap nilai kekerasan, dan komposisi kimia pada baja AISI 1020?
2. Apakah terdapat perubahan struktur mikro antara spesimen yang dilakukan proses *quenching* dan yang tidak dilakukan proses *quenching* pada baja AISI 1020 setelah dilakukan *pack carburizing*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan karbon aktif dari arang kayu mahoni terhadap nilai kekerasan dan komposisi kimia baja AISI 1020 pada proses *pack carburizing*.
2. Untuk mengetahui perubahan struktur mikro antara spesimen yang diberi perlakuan *quenching* dan yang tidak setelah proses *pack carburizing* pada baja AISI 1020.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan tidak melebar dari tujuan utama, maka batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada proses *pack carburizing* terhadap baja karbon rendah tipe AISI 1020.
2. Media karbon aktif yang digunakan berasal dari arang kayu mahoni, tanpa membandingkannya dengan jenis karbon aktif lain.
3. Temperatur perlakuan *pack carburizing* yang digunakan, yaitu 850°C.
4. Lama waktu proses *carburizing* ditetapkan konstan, yaitu selama 2 jam.
5. Proses *quenching* dilakukan menggunakan media pendingin air.
6. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi: komposisi kimia spesimen, nilai kekerasan, serta perubahan struktur mikro antara spesimen yang dilakukan proses *quenching* dan yang tidak dilakukan proses *quenching*.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematik penulisan pada dalam laporan kerja praktik ini adalah sebagai berikut :

I. Pendahuluan

Bab ini berisi pendahuluan yang berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika laporan.

II. Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan tentang landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung pembahasan tentang studi kasus yang diambil, yaitu Pengaruh Aktivasi Karbon Dari Arang Kayu Terhadap Proses *Pack Carburizing* Pada Baja AISI 1020 Dengan Perlakuan *Quenching*.

III. Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang waktu dan pelaksanaan penelitian, metode penelitian dan alur proses penelitian.

IV. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil penelitian serta pembahasan yang meliputi analisis data yang diperoleh selama dan setelah proses pengujian.

V. Penutup

Bab ini memuat kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian serta saran yang diberikan oleh peneliti.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja adalah salah satu material teknik yang paling banyak digunakan di berbagai bidang industri, termasuk konstruksi, otomotif, dan manufaktur. Sifat mekanik yang sangat baik, seperti kekuatan tarik tinggi dan keuletan yang memadai, menjadikan baja sebagai pilihan utama untuk aplikasi-aplikasi yang memerlukan material dengan daya tahan tinggi. Baja terdiri dari unsur utama, yaitu besi (Fe), yang dipadukan dengan karbon (C) dalam jumlah yang bervariasi, yakni antara 0,02% hingga 2,0%. Variasi kecil dalam kandungan karbon dapat berdampak signifikan terhadap sifat fisik dan mekanik baja, mempengaruhi aspek seperti kekerasan dan keuletan (Gusmantoro dkk., 2023).

Baja dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan kandungan karbonnya. Secara umum baja karbon dibagi menjadi:

1. Baja karbon rendah

Memiliki kadar karbon terlarut dari 0,05% hingga 0,3%. Karakteristik baja secara umum lunak. Mudah dibentuk, ditempa, dan dilas, tetapi kurang kuat dibandingkan jenis baja karbon lainnya. Biasanya digunakan untuk suku cadang mobil, pipa maupun kerangka bangunan.

2. Baja karbon sedang

Memiliki kadar karbon antara 0,3% - 0,6%. Baja karbon sedang memiliki mampu las dan ketangguhan yang baik. Lebih kuat dan keras daripada baja karbon rendah, namun lebih sulit dibentuk. Baja kategori ini biasa digunakan pada aplikasi seperti poros, roda gigi, dan rel kereta api.

3. Baja karbon tinggi

Memiliki kadar karbon sebesar 0,6% - 1,7%. Kandungan karbon yang tinggi membuat baja memiliki karakteristik keras yang tinggi. tetapi juga lebih rapuh dan sulit dilas dibandingkan baja karbon rendah. Baja karbon tinggi cocok untuk material yang menerima pembebanan tinggi atau rentan aus seperti peralatan pemotong, mata bor, dan komponen yang membutuhkan ketahanan aus tinggi (Hartanto dkk., 2020)

Penggunaan unsur paduan lain dalam baja dapat mengubah sifat-sifat mekanik dan fisik dari material tersebut. Unsur-unsur kimia seperti mangan, krom dan nikel dapat ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan kekuatan pada suhu tinggi. Penambahan krom dan nikel, misalnya, dapat menghasilkan baja yang lebih tahan terhadap oksidasi dalam kondisi ekstrem. Pemilihan komposisi paduan sangat bergantung pada tujuan akhir dari penggunaan material, termasuk kebutuhan terhadap ketahanan korosi dan kekuatan mekanik (Leni dkk., 2023). Pemilihan jenis dan jumlah unsur paduan sangat bergantung pada tujuan akhir dari penggunaan baja tersebut serta kondisi lingkungan tempat baja tersebut digunakan.

Sifat mekanik baja sangat bergantung pada struktur mikronya, yang dipengaruhi oleh komposisi kimia, metode pembentukan, dan perlakuan panas yang diterima. Struktur mikro dapat terdiri dari beberapa fase, seperti ferit, perlit, dan martensit, masing-masing dengan karakteristik yang berbeda. Ferit cenderung lunak dan ulet, perlit memiliki kekuatan yang sedang, sedangkan martensit dikenal karena kekerasannya yang tinggi namun keuletannya rendah (Wibowo dkk., 2021). Melalui proses perlakuan panas yang tepat, seperti tempering atau quenching, struktur mikro ini dapat disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan spesifik aplikasi teknik, sehingga memberikan keuntungan kompetitif bagi produsen dan pengguna (Ginting dkk., 2020).

Proses perlakuan panas merupakan tahap penting dalam memodifikasi sifat baja agar sesuai untuk aplikasi tertentu. Melalui proses tersebut, sifat fisik dan mekanik baja dapat diubah untuk meningkatkan performa. Misalnya, perlakuan yang dilakukan dengan temperature yang sesuai dapat meningkatkan kekerasan permukaan baja tanpa mengorbankan kekuatan inti baja, menjadikannya ideal bagi komponen yang mengalami keausan atau gesekan tinggi. Proses *carburizing* adalah salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja, di mana karbon diperkenalkan ke permukaan baja untuk memperkuat lapisan terluar, sementara area terdalam tetap ulet (Purboputro dkk., 2022)

Dengan kemampuannya untuk dimodifikasi baik dari sisi komposisi kimia maupun melalui proses perlakuan panas dan perlakuan permukaan, baja menjadi material yang sangat fleksibel dan serbaguna. Keunggulan ini, ditambah dengan biaya produksinya yang relatif rendah dan ketersediaannya yang melimpah, menjadikan baja sebagai bahan utama dalam berbagai aplikasi teknik.

2.2 Baja AISI 1020

Baja AISI 1020 merupakan material baja karbon rendah yang memainkan peranan penting dalam berbagai aplikasi teknik karena kemudahan pengerjaan dan ekonomisitasnya yang tinggi, yang membuatnya menjadi pilihan utama untuk komponen struktural di industri otomotif dan mesin industri. Material ini diklasifikasikan oleh American Iron and Steel Institute (AISI) dengan penomoran “1020” yang menunjukkan bahwa baja tersebut mengandung karbon dalam kisaran rendah, yaitu sekitar 0,17–0,23%, sehingga menghasilkan sifat mekanik yang cukup seimbang antara keuletan dan kekuatan tarik (Dewangan dkk., 2022).

Karakteristik kimia baja AISI 1020 ditentukan oleh kombinasi unsur yang terdistribusi secara seimbang, di mana karbon berada dalam kisaran 0,17–0,23% dan mangan berkisar antara 0,30–0,60%, sehingga menghasilkan

material dengan kemampuan mekanik yang optimal Unsur karbon dalam jumlah rendah memungkinkan baja ini mempertahankan keuletan yang tinggi serta daya tanggap terhadap deformasi plastis, sedangkan mangan berperan penting dalam meningkatkan kekuatan tarik dan membantu proses deoksidasi selama peleburan. Selain itu, kadar fosfor dan sulfur yang dijaga pada tingkat yang sangat rendah membantu mencegah kerapuhan, sehingga memastikan kestabilan struktur material dalam kondisi operasional ekstrim. Hasil evaluasi menyeluruh terhadap struktur kimia ini memberikan kepercayaan bahwa baja AISI 1020 dapat diproses dengan teknik termal dan mekanis secara optimal.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1020

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

Sumber: (ASM *Handbook* Vol.1, 1993)

Sifat mekanik baja ini, yang mencakup kekuatan tarik antara 394 hingga 490 MPa dan kekerasan *Brinell* sekitar 111 HB pada kondisi normal, menjadikannya material yang ideal untuk berbagai aplikasi teknik menengah (Dewangan dkk., 2022). Kapasitas baja untuk menahan beban mekanis yang cukup tinggi tanpa mengalami deformasi berlebihan sangat penting dalam desain struktural dan elemen mesin. Akan tetapi, kekerasan yang diperoleh secara alami belum memadai untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus yang tinggi, sehingga pengolahan melalui perlakuan panas seperti *carburizing* seringkali diterapkan. Teknik tersebut memungkinkan penambahan karbon di lapisan permukaan, yang menghasilkan gradien kekerasan permukaan menjadi keras sedangkan inti tetap mempertahankan keuletan optimal.



Gambar 2.1 Baja AISI 1020.

Sumber: (Adi dkk., 2021)

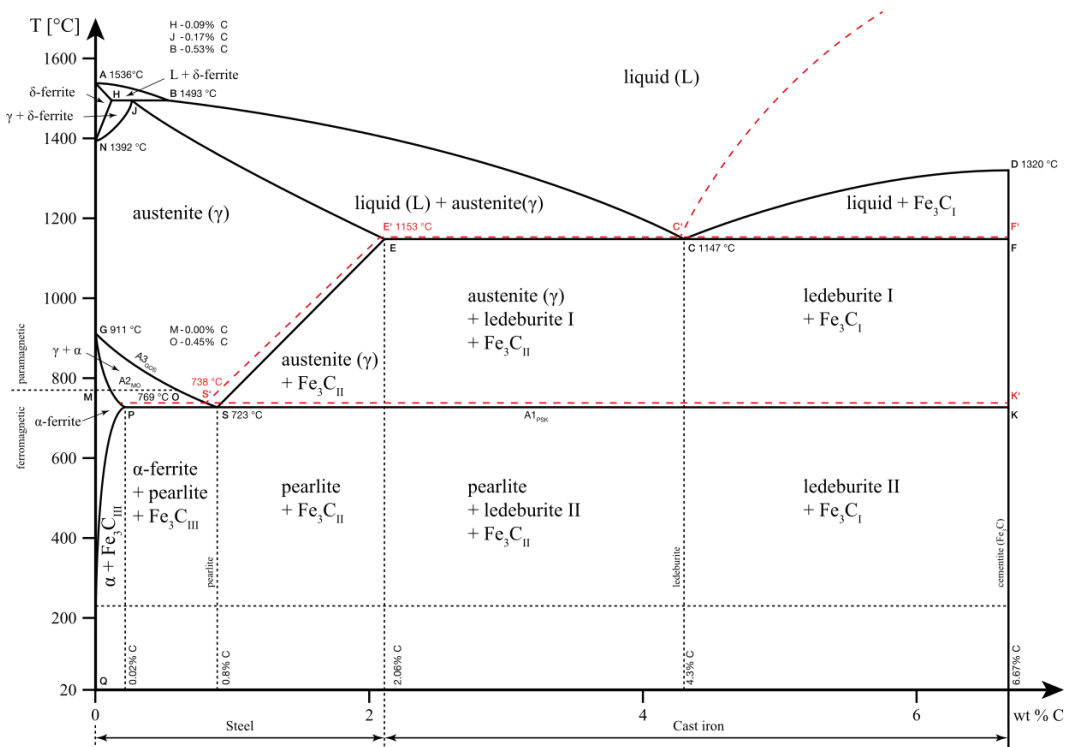
Keunggulan lainnya dari baja AISI 1020 adalah kemudahannya dalam pengolahan secara mekanik, seperti pembubutan, pengeboran, dan pengelasan. Hal ini membuat baja ini sangat efisien dalam proses manufaktur massal, baik pada industri otomotif, alat berat, maupun peralatan mekanik lainnya. Fleksibilitas pemrosesan inilah yang menjadikan baja AISI 1020 sering digunakan dalam penelitian dan praktik teknik sebagai material dasar dalam perlakuan panas, khususnya untuk mempelajari pengaruh parameter seperti temperatur, media karbon, dan metode pendinginan terhadap sifat akhir material.

2.3 Perlakuan panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas merupakan suatu proses yang dilakukan terhadap material logam, terutama baja, dengan cara memanaskannya hingga mencapai suhu tertentu, mempertahankannya pada suhu tersebut dalam jangka waktu tertentu, lalu mendinginkannya dengan laju pendinginan yang terkontrol. Tujuan utama dari perlakuan panas adalah untuk mengubah struktur mikro material sehingga dapat diperoleh sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi teknis. Melalui perlakuan panas, sifat-sifat penting dari logam seperti kekerasan, keuletan, kekuatan tarik, ketangguhan, hingga

ketahanan aus dapat diatur secara sistematis tanpa merubah bentuk fisik atau dimensi benda kerja.

Dalam praktik teknik, perlakuan panas menjadi tahapan penting dalam proses manufaktur karena menentukan performa akhir dari suatu komponen logam. Sebagai contoh, komponen mesin seperti poros, gear, atau komponen kendaraan tidak hanya dituntut kuat, tetapi juga tahan terhadap beban kejut dan gesekan.



Gambar 2.2 Diagram fasa Fe-Fe₃C.

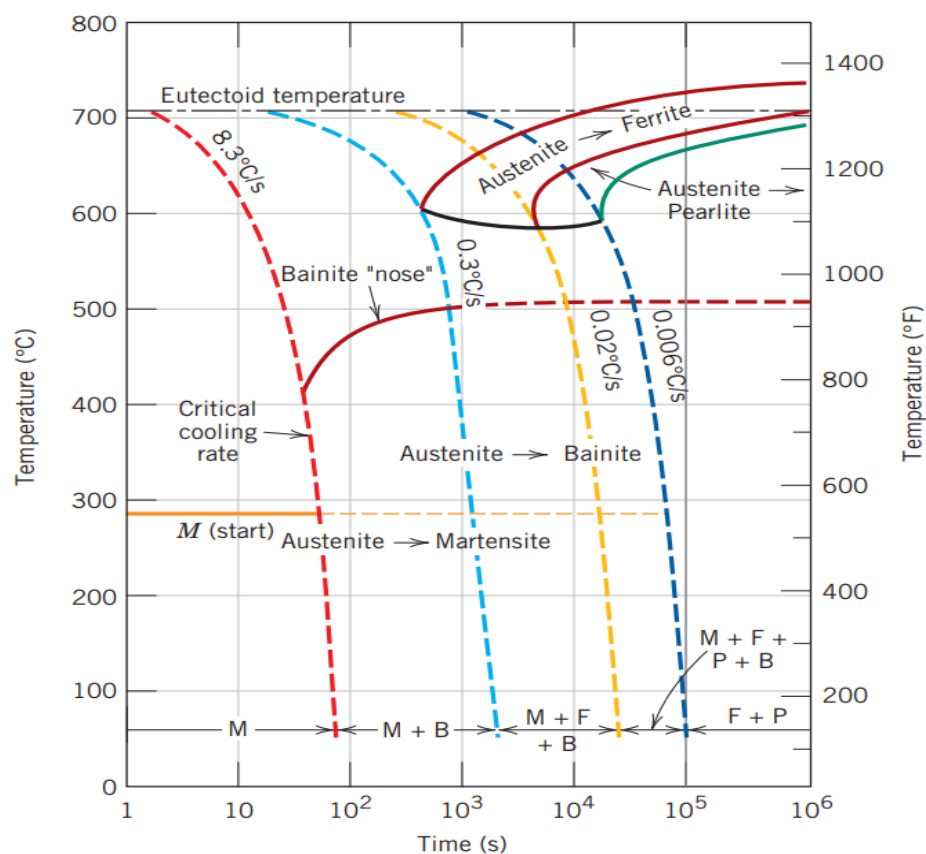
Sumber: (*Introduction to physical metallurgy*, 2008)

2.4 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)

Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) adalah representasi grafis yang memvisualisasikan perubahan mikrostruktur baja selama proses pendinginan kontinu dari keadaan austenit. Sementara diagram TTT memetakan transformasi pada suhu konstan (pendinginan isothermal), diagram CCT menggambarkan transformasi ketika suhu menurun secara kontinu

sesuai dengan laju pendinginan aktual. Konsep ini sejalan dengan fungsi diagram transformasi sebagai alat untuk memprediksi kinetika perubahan austenit menjadi perlit, bainit, atau martensit, tetapi dengan kondisi proses yang lebih dekat dengan praktik industri. (Martin dkk., 2020)

Secara umum, kurva pada diagram CCT akan bergeser dibandingkan TTT karena pendinginan kontinu memberi waktu transformasi yang berbeda pada tiap rentang suhu. Akibatnya, kebutuhan laju pendinginan kritis untuk menghindari zona pembentukan perlit atau bainit dapat dipetakan lebih realistis, terutama untuk proses *quenching*. Hal ini penting karena pada aplikasi perlakuan panas, pengendalian lintasan pendinginan sangat menentukan apakah austenit sempat berubah menjadi perlit atau bainit, atau langsung membentuk martensit saat melewati garis M_s hingga M_f .



Gambar 2.3 Diagram CTT (*Continuous Cooling Transformation*)

Sumber: (*Materials science and engineering : an introduction*, 2014)

Diagram CCT juga dipengaruhi oleh interaksi unsur paduan yang mengubah kinetika transformasi, sehingga prediksi CCT dapat digunakan untuk memperkirakan respons baja terhadap variasi komposisi dan laju pendinginan. Pendekatan ini relevan untuk perancangan perlakuan panas karena membantu menghubungkan parameter proses dengan hasil mikrostruktur secara terukur. Dengan demikian, diagram CCT dapat dipakai sebagai acuan saat merancang pendinginan setelah austenitisasi atau setelah proses yang menaikkan kadar karbon permukaan, karena perubahan komposisi akan mengubah posisi kurva transformasi dan kecenderungan terbentuknya fase hasil pendinginan.

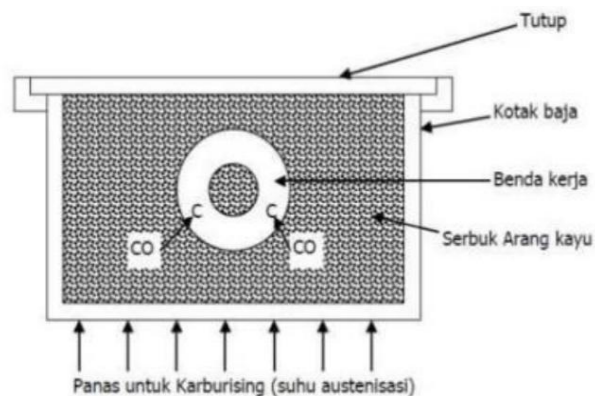
2.5 Proses *Pack Carburizing*

Pack carburizing merupakan salah satu metode perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja melalui proses difusi karbon ke dalam permukaan logam. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan baja dalam wadah tertutup yang berisi media padat kaya karbon, seperti arang kayu atau karbon aktif, hingga mencapai temperatur tertentu, umumnya antara 850°C hingga 950°C. Selama proses ini, karbon dari media akan terdisosiasi menjadi unsur karbon aktif yang kemudian berdifusi masuk ke dalam permukaan baja. Akibatnya, lapisan luar baja menjadi jenuh karbon dan memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dibandingkan bagian dalamnya.

Pack carburizing disebut juga sebagai *carburizing* padat karena menggunakan media karbon berbentuk padat. Pemilihan media padat sebagai sumber karbon, seperti arang kayu, didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah, karakter ramah lingkungan, dan biaya yang relatif rendah. Media tersebut biasanya dicampur dengan bahan akselerator (misalnya, barium karbonat, kalsium karbonat, atau natrium karbonat) yang berfungsi untuk mempercepat pelepasan karbon dalam atmosfer padat dan meningkatkan potensial karbon yang tersedia untuk difusi. Selanjutnya, selama tahap pemanasan, variabel proses seperti suhu, waktu tahan, serta jenis media dan

proporsinya sangat mempengaruhi kedalaman dan konsentrasi karbon yang berdifusi ke dalam baja, sehingga secara langsung menentukan pembentukan lapisan martensitik setelah *quenching* (Sinarep & Darmo, 2021)

Proses *pack carburizing* diawali dengan memasukkan baja ke dalam wadah tertutup yang telah diisi dengan media karbon aktif. Tabung tersebut kemudian dimasukkan ke dalam furnace dan dipanaskan pada temperatur yang telah ditentukan, misalnya 850°C, 900°C, atau 950°C. Lama pemanasan juga berpengaruh terhadap kedalaman lapisan karbon yang terbentuk; semakin lama waktu tahan, semakin dalam karbon berdifusi ke dalam permukaan baja. Selama pemanasan, karbon akan terdifusi dari media ke permukaan baja dalam bentuk atomik atau gas karbon monoksida yang terurai pada suhu tinggi.



Gambar 2.4 Proses *pack carburizing*.

Sumber: (Istiqlaliyah & Setyowidodo, 2021)

Setelah proses pemanasan dan penahanan suhu selesai, baja mengalami perlakuan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media seperti air, oli, atau larutan garam untuk membekukan struktur mikro yang telah terbentuk, sehingga menghasilkan transformasi dari austenit ke martensit pada lapisan permukaan yang telah jenuh karbon. Proses *quenching* ini sangat penting untuk mencapai kombinasi sifat mekanik berupa permukaan yang keras dan tahan aus serta inti yang lunak dan ulet, sehingga responsif terhadap beban mekanik dan menyerap energi kejut. Parameter *quenching* dan langkah pasca

perlakuan (*post-treatment*) seperti tempering sering kali dioptimalkan untuk menghindari terjadinya retak atau keretakan prematur pada baja, yang mana hal ini juga telah diobservasi pada berbagai studi mengenai perlakuan *pack carburizing* pada baja rendah karbon (Baali dkk., 2023)

Melalui proses *pack carburizing*, dihasilkan komponen baja dengan permukaan keras yang tahan terhadap keausan dan tekanan, namun tetap memiliki inti yang lunak dan mampu menyerap energi kejut atau beban mekanik yang berubah-ubah. Kombinasi sifat ini sangat penting dalam aplikasi teknik seperti roda gigi, poros transmisi, camshaft, dan berbagai komponen mesin lainnya. Oleh karena itu, pemahaman yang tepat tentang parameter proses seperti temperatur, waktu tahan, jenis media karbon, serta perlakuan setelah carburizing sangat penting dalam mengoptimalkan hasil akhir dari proses ini.

2.6 Karbon Aktif dari Arang Kayu

Karbon aktif merupakan bentuk karbon yang telah diolah sedemikian rupa sehingga memiliki porositas tinggi dan luas permukaan yang sangat besar. Struktur mikropori yang dimiliki karbon aktif memungkinkan material ini memiliki daya serap (adsorpsi) yang tinggi, baik terhadap zat gas, cair, maupun partikel padat. Oleh karena itu, karbon aktif banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti filtrasi air, pemurnian udara, pengolahan limbah, hingga sebagai media reaktif dalam proses metalurgi seperti *carburizing*. Dalam proses *pack carburizing*, karbon aktif berfungsi sebagai sumber utama karbon yang akan ditransfer ke permukaan baja, memungkinkan terjadinya peningkatan kadar karbon lokal yang akan berdampak pada terbentuknya lapisan keras setelah pendinginan cepat.

Salah satu bahan baku pembuatan karbon aktif yang mudah diperoleh, ekonomis, dan ramah lingkungan adalah arang kayu. arang kayu merupakan salah satu bahan baku pembuatan karbon aktif yang mudah diperoleh, ekonomis, dan ramah lingkungan, karena arang kayu dihasilkan melalui

proses karbonisasi biomassa dengan pembakaran tidak sempurna tetapi masih membutuhkan perlakuan aktivasi tambahan untuk meningkatkan luas permukaan dan jumlah pori aktifnya. Proses aktivasi ini dapat dilakukan secara fisik dengan pemanasan tinggi menggunakan uap air atau CO_2 , maupun secara kimia dengan menggunakan bahan seperti KOH atau ZnCl_2 , yang semuanya bertujuan untuk mengoptimalkan kemampuan adsorpsi (Jamilatun dkk., 2021)

Jenis kayu yang digunakan dalam pembuatan arang sangat memengaruhi kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Kayu keras seperti jati, mahoni, atau rambutan cenderung menghasilkan arang dengan struktur yang lebih kuat dan padat, sehingga proses aktivasi fisiknya lebih efektif dalam membentuk jaringan pori yang stabil. Proses aktivasi pada temperatur tinggi menyebabkan terjadinya pengembangan pori dan pembukaan permukaan internal dari arang kayu, sehingga karbon aktif yang terbentuk memiliki daya serap dan pelepasan karbon yang lebih efisien. Selain itu, ukuran partikel arang juga berperan penting, partikel yang terlalu besar akan memperlambat proses reaksi karena luas permukaannya kecil, sedangkan partikel yang terlalu halus dapat menyebabkan kesulitan dalam pengemasan dan sirkulasi gas selama proses.

Penggunaan karbon aktif dari arang kayu dalam *pack carburizing* juga membawa nilai tambah dari sisi keberlanjutan. Dengan memanfaatkan limbah biomassa, proses ini mendukung prinsip ekonomi sirkular dan pengurangan limbah organik. Pemanfaatan bahan alami sebagai media proses industri juga sejalan dengan tren global menuju proses manufaktur yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi. Selain itu, karbon aktif dari arang kayu tidak mengandung zat beracun atau korosif seperti beberapa media kimia lainnya, sehingga lebih aman digunakan dalam skala laboratorium maupun industri.

2.7 Arang Kayu Mahoni

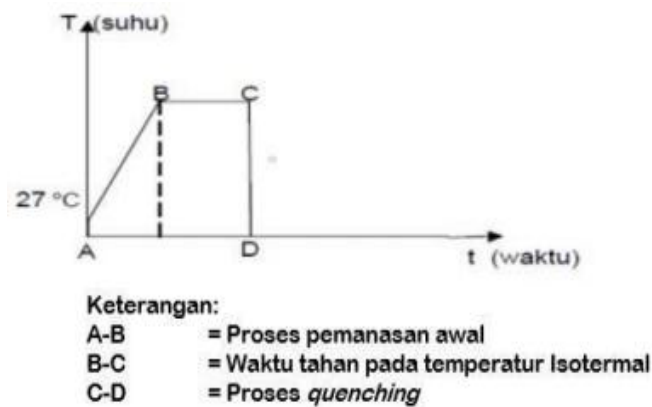
Arang kayu mahoni dipilih sebagai sumber karbon aktif dalam proses *pack carburizing* karena memiliki karakteristik yang sangat mendukung proses difusi karbon ke dalam permukaan baja. Kayu mahoni dikenal memiliki struktur selulosa dan lignin yang padat, sehingga setelah melalui proses pirolisis, arang yang dihasilkan memiliki porositas tinggi serta luas permukaan yang besar. Porositas yang baik ini sangat penting karena karbon aktif dengan pori-pori yang banyak dan halus akan lebih efektif dalam menyediakan karbon saat proses *carburizing* berlangsung. Semakin luas permukaan aktif yang dimiliki arang, semakin besar pula jumlah karbon yang dapat berdifusi ke dalam baja pada temperatur tinggi.

Kayu mahoni diketahui memiliki kandungan karbon yang tinggi, yaitu sekitar 48,1%, sehingga berpotensi menjadi sumber karbon aktif yang efisien dalam proses *pack carburizing* (Ghufron dkk., 2021). Kandungan karbon alami yang besar ini memungkinkan arang mahoni menghasilkan karbon monoksida (CO) yang cukup selama proses pemanasan, yang kemudian bereaksi dengan permukaan baja membentuk senyawa Fe_3C yang berperan dalam peningkatan kekerasan material.

2.8 *Quenching*

Quenching adalah salah satu tahapan penting dalam proses perlakuan panas yang bertujuan untuk mengubah struktur mikro logam melalui pendinginan cepat setelah pemanasan pada suhu tertentu. Proses ini dilakukan dengan cara merendam logam yang telah dipanaskan ke dalam media pendingin seperti air, oli, atau larutan garam untuk menghentikan perubahan struktur mikro secara tiba-tiba. Tujuan utama dari *quenching* adalah untuk memperoleh struktur mikro yang keras, seperti martensit, sehingga sifat mekanik logam terutama kekerasan dan ketahanannya terhadap aus dapat meningkat secara signifikan.

Quenching sangat erat kaitannya dengan proses austenisasi, yaitu pemanasan baja hingga berada di atas suhu kritis sekitar 800°C – 950°C (tergantung jenis baja) agar struktur mikro baja berubah menjadi austenit. Setelah mencapai suhu ini dan ditahan dalam waktu tertentu, logam kemudian didinginkan secara cepat melalui *quenching* agar austenit tidak sempat berubah menjadi struktur yang lunak seperti perlit atau ferit. Pendinginan cepat ini menyebabkan terbentuknya martensit, struktur kristal supersaturasi karbon yang sangat keras namun bersifat getas. Oleh karena itu, meskipun *quenching* meningkatkan kekerasan, ia juga dapat menurunkan ketangguhan logam.



Gambar 2.5 Diagram *quenching*.

Sumber: (Asisi dkk., 2024)

Media pendingin yang digunakan dalam proses *quenching* sangat menentukan hasil akhir dari struktur mikro logam. Air adalah media *quenching* yang paling umum digunakan karena konduktivitas panasnya tinggi, sehingga menghasilkan pendinginan yang sangat cepat. Namun, pendinginan yang terlalu cepat dapat menimbulkan tegangan sisa dan kemungkinan distorsi atau retak. Oli memberikan pendinginan yang lebih lambat dan lebih seragam, serta mengurangi risiko distorsi, namun menghasilkan kekerasan yang sedikit lebih rendah. Selain media, suhu *quenching* dan suhu benda kerja saat dicelupkan juga berpengaruh besar terhadap hasil perlakuan. Jika suhu logam terlalu rendah sebelum dicelupkan,

maka konversi struktur tidak akan maksimal. Sebaliknya, jika suhu terlalu tinggi, risiko deformasi atau retak akan meningkat.

Secara keseluruhan, *quenching* setelah *pack carburizing* merupakan teknik yang efektif untuk memperoleh lapisan permukaan baja yang memiliki kekerasan tinggi dan ketahanan aus yang memadai. Perbandingan sifat mekanik antara spesimen yang mengalami *quenching* dan yang tidak menunjukkan bahwa kehadiran fase martensit merupakan kunci dari perbaikan sifat permukaan, meskipun dengan trade-off berupa penurunan ketangguhan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan yang menguji pengaruh parameter *quenching*, pemilihan media pendingin, serta pengaturan waktu penahanan pada suhu austenit sangat diperlukan untuk mendapatkan keseimbangan properti mekanik yang optimal pada baja, khususnya baja AISI 1020 (Safriwardy dkk., 2023).

2.9 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan salah satu metode evaluasi sifat mekanik yang paling banyak digunakan dalam ilmu teknik material untuk mengetahui seberapa besar kemampuan suatu material dalam menahan deformasi plastis lokal akibat gaya tekan atau penetrasi. Kekerasan menjadi indikator penting dalam menilai ketahanan material terhadap keausan, goresan, dan penetrasi, terutama pada komponen yang bekerja di bawah kondisi beban gesek atau kejutan yang tinggi. Kekerasan suatu material dapat diketahui dengan pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan (*hardness testers*). Berikut beberapa metode pengujian kekerasan yang umum digunakan dalam pengujian logam antara lain:

2.9.1 *Brinell*

Metode *Brinell* merupakan salah satu metode pengujian kekerasan paling awal yang dikembangkan dan digunakan secara luas untuk menguji logam dan paduan logam yang memiliki struktur mikro kasar

dan tidak terlalu keras. Dalam metode ini, bola baja atau bola karbida tungsten dengan diameter tertentu, biasanya 10 mm, ditekan ke permukaan spesimen menggunakan beban besar yang bervariasi tergantung pada jenis material yang diuji, umumnya antara 500 kgf hingga 3000 kgf. Waktu penekanan biasanya sekitar 10 hingga 15 detik.

Setelah indentor ditekan, lekukan bulat (indentasi) terbentuk di permukaan logam. Diameter lekukan ini kemudian diukur dengan mikroskop atau alat pembaca optik, dan nilai kekerasan *Brinell* (HB) dihitung berdasarkan beban yang diberikan dan luas permukaan lekukan yang terbentuk. Nilai HB memberikan indikasi seberapa tahan permukaan material terhadap beban tekan yang besar dan luas.

Keunggulan dari metode *Brinell* adalah kemampuannya dalam mengukur kekerasan pada material yang relatif lunak sampai sedang, serta ketahanannya terhadap variasi mikrostruktur yang luas. Oleh karena itu, metode ini sering digunakan untuk baja struktural, besi tuang, dan logam non-ferro seperti aluminium atau tembaga.

Selain itu, pada aplikasi praktis seperti pengujian kekerasan permukaan baja AISI 1020 pasca proses *carburizing* dan *quenching*, metode *Brinell* menjadi kurang ideal. Hal ini disebabkan oleh sensitivitas metode yang rendah terhadap variasi permukaan yang terjadi akibat perlakuan panas, di mana perubahan mikrostruktur yang halus tidak terekam secara tepat melalui pengukuran makroskopis dari indentasi. Proses *carburizing* sendiri menimbulkan perubahan komposisi dan kekerasan secara lokal, yang memerlukan metode pengujian dengan resolusi yang lebih tinggi daripada yang disediakan oleh *Brinell* untuk mencatat perbedaan kekerasan secara akurat (Nitha dkk., 2023).

Rumus pengujian metode *Brinell*:

$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)D - \sqrt{D^2 - d^2}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

BHN = *Brinell Hardness Numbers*

P = beban yang diterapkan (kg)

D = diameter bola (mm)

d = diameter lekukan (mm)

2.9.2 *Vickers*

Metode *Vickers* dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan pada metode *Brinell*, terutama untuk pengujian material yang sangat keras dan lapisan tipis. Metode ini menggunakan indenter berbentuk piramida segi empat dari intan (*diamond pyramid*) dengan sudut antara sisi-sisinya sebesar 136°. Beban yang digunakan bervariasi dari 10 gram hingga 100 kgf, tergantung pada jenis pengujian (mikro atau makro *Vickers*), dan waktu penekanan biasanya sekitar 10 hingga 15 detik.

Keunggulan utama dari metode *Vickers* adalah bahwa ia dapat digunakan untuk berbagai jenis material, baik yang sangat keras maupun yang sangat lunak, serta untuk spesimen berukuran kecil atau memiliki lapisan tipis. Karena indenter dari metode ini tidak berubah bentuk dan sangat presisi, hasil pengukuran *vickers* memiliki konsistensi yang tinggi dan dapat dibandingkan antara satu material dengan yang lain. Nilai kekerasan *vickers* (HV) dihitung berdasarkan beban yang diberikan dibagi dengan luas permukaan lekukan piramida yang terbentuk. Metode ini sangat cocok untuk pengujian lapisan tipis hasil perlakuan permukaan, seperti hasil *carburizing*, karena menghasilkan lekukan yang kecil dan tajam. Oleh karena itu,

metode *vickers* ideal jika pengujian dilakukan pada bagian penampang melintang spesimen untuk menentukan profil kekerasan dari permukaan ke inti material.

Rumus pengujian metode *Vickers*:

$$HV = \frac{1.854 \times F}{d^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

HV = Nilai kekerasan *Vickers* (*Vickers Hardness Number*)

F = Beban yang diberikan (kgf)

D = Rata-rata panjang diagonal lekukan (mm)

1.854 = Konstanta berdasarkan geometri piramida segi empat

2.9.3 *Rockwell*

Metode *Rockwell* merupakan salah satu metode pengujian kekerasan yang paling cepat dan praktis karena memberikan hasil pembacaan langsung tanpa memerlukan perhitungan tambahan. Metode ini menggunakan indenter berbentuk bola baja atau kerucut berlian (*cone diamond*, disebut *brale*), tergantung pada jenis skala yang digunakan. Beban yang diberikan berkisar antara 60 kgf hingga 150 kgf, dan waktu uji singkat, biasanya hanya beberapa detik. Hasil pengujian langsung ditampilkan dalam skala kekerasan *Rockwell* (misalnya HRC, HRB, dan lainnya).

Untuk pengujian baja keras yang telah melalui proses perlakuan panas seperti quenching, skala *Rockwell C* (HRC) adalah skala yang paling umum digunakan. Skala ini menggunakan indenter kerucut berlian dengan beban utama 150 kgf. Nilai HRC mencerminkan kedalaman penetrasi dari indenter ke dalam material setelah beban utama diterapkan, dikurangi dengan penetrasi awal dari beban minor.

Keunggulan metode *Rockwell* adalah kecepatan dan kemudahan penggunaannya. Mesin uji *Rockwell* memungkinkan pengujian cepat terhadap banyak spesimen dengan hasil yang langsung terbaca secara digital maupun analog. Selain itu, metode ini tidak terlalu memerlukan persiapan permukaan yang sangat halus seperti pada metode *Vickers*.

Namun, metode *Rockwell* memiliki beberapa keterbatasan. Ia kurang cocok untuk material tipis karena kedalaman penetrasinya relatif besar. Selain itu, hasil pengujian sangat bergantung pada kondisi permukaan spesimen dan kestabilan landasan uji. Oleh karena itu, meskipun efisien, metode *Rockwell* perlu digunakan dengan hati-hati dan spesifikasi material harus diperhatikan dengan saksama untuk menghindari kesalahan pengukuran.

2.9.4 *Micro Vickers*

Pengujian *micro vickers* merupakan metode pengukuran kekerasan yang dirancang khusus untuk mengevaluasi material dengan lapisan tipis, area kecil, atau bagian spesimen tertentu yang memerlukan presisi tinggi dalam identifikasi sifat mekaniknya. Metode ini menggunakan indenter berbentuk piramida intan dengan sudut puncak 136° yang ditekan ke permukaan material dengan beban yang jauh lebih kecil dibandingkan pengujian makro *vickers* (Tekbas Atay dkk., 2021). Beban yang digunakan dalam pengujian *micro vickers* biasanya berkisar antara 1 gram hingga 1 kilogram, memungkinkan pengujian dilakukan pada permukaan yang sangat tipis seperti lapisan hasil *carburizing*, *coating*, atau zona tertentu pada penampang mikrostruktur logam.

Dalam pengujian *micro vickers*, indenter berbentuk piramida intan dengan sudut puncak 136° ditekan ke permukaan material menggunakan beban tertentu selama waktu penahanan yang telah

ditentukan. Setelah indentasi terbentuk, dua diagonal lekukan diukur menggunakan mikroskop optik berperbesaran tinggi. Lekukan yang kecil dan tajam memungkinkan pengujian dilakukan pada area yang sangat spesifik, termasuk zona transisi antara lapisan carburizing dan material induk. Kemampuan ini menjadikan *micro vickers* sebagai salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam penelitian metalurgi material yang melibatkan perlakuan permukaan.

2.10 Struktur Mikro

Struktur mikro dari baja AISI 1020 merupakan representasi internal dari material logam yang dipengaruhi secara signifikan oleh kandungan karbon, proses pembentukan, serta parameter perlakuan panas seperti *pack carburizing* dan *quenching*. Pada kondisi awal, karena baja AISI 1020 termasuk baja karbon rendah (sekitar 0,2% C), struktur mikro utamanya terdiri atas ferit dan sejumlah perlit yang relatif sedikit. Ferit merupakan fasa lunak yang stabil pada suhu kamar, sedangkan perlit, yang merupakan campuran lamelar antara ferit dan sementit (Fe_3C), terbentuk selama pendinginan dari austenit. Kondisi ini menghasilkan sifat mekanik yang lunak dan ulet, meskipun keuletan yang tinggi bukanlah karakteristik yang diinginkan untuk aplikasi dengan tuntutan kekerasan dan ketahanan aus tinggi (Ramli dkk., 2023).

Struktur mikro terbentuk sebagai hasil dari kondisi proses manufaktur yang dialami suatu material, seperti pemadatan, perlakuan panas, pembentukan plastis, atau bahkan proses pengelasan. Dalam konteks logam, struktur mikro sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan, suhu perlakuan, serta komposisi kimia unsur paduan. Sebagai contoh, baja karbon yang mengalami pendinginan lambat akan membentuk struktur perlit, sedangkan pendinginan cepat akan menghasilkan martensit yang jauh lebih keras.

Rekayasa struktur mikro merupakan strategi utama dalam meningkatkan kinerja komponen mekanis. Sebagai contoh, komponen mesin seperti gear

atau *crankshaft* membutuhkan kekerasan tinggi di permukaan namun tetap ulet di bagian dalam. Hal ini dapat dicapai dengan merekayasa struktur mikro melalui proses seperti *carburizing* dan *quenching*, yang menghasilkan lapisan martensit pada permukaan dan ferrit atau perlit di inti material.

Struktur mikro pada logam dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis fasa dan morfologi yang terbentuk selama proses pendinginan, maupun perlakuan termal. Setiap struktur mikro memiliki karakteristik mekanik dan fisik yang berbeda, tergantung pada parameter proses dan kandungan unsur paduannya. Pemahaman terhadap klasifikasi struktur mikro sangat penting untuk memastikan bahwa logam atau paduan yang digunakan sesuai dengan kebutuhan kekuatan, keuletan, ketahanan aus, dan sifat lainnya. Berikut ini adalah beberapa struktur mikro utama yang umum ditemukan pada logam, khususnya baja karbon dan baja paduan:

2.10.1 Ferit

Ferit merupakan fasa padat dengan struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC) yang stabil pada suhu rendah (di bawah 912°C untuk besi murni). Ferit memiliki kemampuan melarutkan karbon sangat rendah, yaitu sekitar 0,02% pada suhu kamar. Struktur ini bersifat lunak, ulet, dan memiliki konduktivitas termal yang baik. Dalam mikrostruktur, ferrit tampak sebagai bidang terang dengan batas butir halus ketika diamati di bawah mikroskop optik setelah etsa.

2.10.2 Perlit

Perlit merupakan campuran lamelar (berlapis) dari ferit dan sementit (Fe_3C) yang terbentuk dari transformasi eutektoid austenit saat pendinginan lambat. Struktur ini memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan ferit murni, namun lebih rapuh. Perlit sering ditemukan dalam baja karbon sedang dan tinggi yang tidak mengalami *quenching*. Dalam mikrograf, perlit terlihat seperti garis-garis gelap terang yang membentuk pola lamelar khas.

2.10.3 Martensit

Martensit terbentuk dari transformasi difusi-nonsetimbang austenit yang didinginkan secara cepat (*quenching*). Struktur ini memiliki bentuk kristal *Body Centered Tetragonal* (BCT) yang terdistorsi akibat supersaturasi karbon. Martensit sangat keras dan rapuh, sehingga sering diikuti oleh proses tempering untuk meningkatkan keuletannya. Struktur ini umum digunakan pada komponen mesin yang memerlukan kekerasan tinggi seperti poros, mata bor, dan gigi transmisi. Pada mikroskop, martensit tampak sebagai struktur jarum atau lath yang padat dan kasar.

2.10.4 Austenit

Austenit adalah fasa dengan struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC), yang stabil pada suhu tinggi (sekitar 912–1394°C pada besi murni). Struktur FCC memiliki kemampuan melarutkan karbon jauh lebih tinggi dibandingkan ferit, hingga sekitar 2,11% pada 1147°C. Austenit bersifat lunak, sangat ulet, dan dapat mengalami deformasi besar tanpa retak. Meskipun austenit tidak stabil pada suhu kamar dalam baja karbon biasa, pada baja tahan karat austenitik (seperti AISI 304), struktur ini dapat distabilkan dengan penambahan unsur paduan seperti nikel. Dalam mikroskop, austenit biasanya tampak sebagai bidang gelap homogen pada baja yang telah distabilisasi.

2.10.5 Sementit

Sementit adalah senyawa intermetalik dari besi dan karbon yang sangat keras dan getas. Dalam baja, sementit tidak muncul sebagai fasa tunggal dalam jumlah besar, tetapi sebagai bagian dari perlit atau tersebar dalam ferit. Kandungan sementit yang tinggi akan meningkatkan kekerasan material namun mengurangi keuletan. Dalam mikroskop, sementit tampak sebagai garis atau partikel berwarna sangat gelap.

2.10.6 Bainit

Bainit adalah struktur mikro antara perlit dan martensit, terbentuk pada kisaran suhu intermediat saat pendinginan *isothermal* dari austenit. Bainit terdiri dari ferit dan sementit halus, namun tidak memiliki struktur lamelar seperti perlit. Struktur ini terbagi menjadi dua jenis yaitu: *upper bainite* (terbentuk pada suhu lebih tinggi, lebih kasar) dan *lower bainite* (terbentuk pada suhu lebih rendah, lebih halus dan kuat). Bainit menawarkan kombinasi kekuatan tinggi dan keuletan yang lebih baik daripada perlit, namun dengan kekerasan di bawah martensit. Bainit banyak diaplikasikan pada komponen otomotif dan rel kereta api.

2.11 Difusi

Difusi adalah proses perpindahan atom dari tempat yang memiliki konsentrasi tinggi menuju tempat dengan konsentrasi yang lebih rendah. Dalam penelitian ini, difusi terjadi ketika atom karbon yang berasal dari arang kayu mahoni masuk dan menyebar ke dalam permukaan baja AISI 1020. Karena ukuran atom karbon jauh lebih kecil dibandingkan dengan atom besi, atom karbon tersebut tidak menggantikan posisi atom besi, melainkan menyusup masuk ke dalam sela-sela atau ruang kosong di antara atom-atom besi tersebut. Cara masuknya atom karbon melalui celah-celah ini disebut dengan istilah difusi interstisi (*interstitial diffusion*).

Proses masuknya karbon ke dalam baja ini sangat dipengaruhi oleh suhu pemanasan. Agar difusi berjalan dengan baik, baja harus dipanaskan hingga mencapai suhu tinggi (suhu austenisasi). Pada suhu ini, struktur atom besi menjadi lebih renggang sehingga mampu menampung lebih banyak atom karbon. Panas yang tinggi juga memberikan energi bagi atom karbon untuk bergerak aktif dan menembus permukaan baja. Tanpa suhu yang cukup tinggi, atom karbon akan sulit masuk dan proses pengerasan permukaan tidak akan maksimal (Pei dkk., 2021).

Perpindahan atom karbon ini dipicu oleh adanya perbedaan jumlah kandungan karbon yang sangat besar antara media arang dan baja. Arang kayu mahoni yang menempel di permukaan baja memiliki kandungan karbon yang sangat padat, sedangkan baja AISI 1020 memiliki kandungan karbon yang rendah. Perbedaan inilah yang menyebabkan karbon terus mengalir masuk ke dalam baja selama proses pemanasan berlangsung. Semakin banyak karbon yang berhasil masuk dan tertahan di permukaan, maka semakin keras lapisan tersebut setelah dilakukan proses pendinginan cepat atau *quenching*.

Hukum Fick II menyatakan laju perubahan konsentrasi suatu unsur yang berdifusi sebagai fungsi waktu sama dengan koefisien difusi dikalikan turunan kedua konsentrasi terhadap posisi. Untuk kasus difusi satu dimensi (arah kedalaman x), persamaan diferensialnya adalah:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan:

C = konsentrasi karbon sebagai fungsi kedalaman dan waktu.

T = waktu (s)

x = jarak/kedalaman dari permukaan (m)

D = koefisien difusi (m^2/s)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun waktu dan tempat pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1.1 Waktu penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan dari bulan Mei s.d. Desember 2025. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu uji komposisi kimia, pengujian kekerasan, dan pengamatan struktur mikro

3.1.2 Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di beberapa tempat, yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen pengujian dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Proses *pack carburizing* dilakukan di Laboratorium SMK SMTI Bandar Lampung.
3. Pengujian komposisi kimia dilakukan di Laboratorium PT. Detech Profesional Indonesia.
4. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium PT. Detech Profesional Indonesia.
5. Pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung.

3.1.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Baja AISI 1020

Sebagai spesimen yang digunakan dalam pengujian ini.



Gambar 3.1 Baja AISI 1020.

2. Arang Kayu Mahoni

Sebagai sumber karbon aktif pada proses *pack carburizing*.



Gambar 3.2 Arang Kayu Mahoni.

3. *Furnace*

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



Gambar 3.3 *Furnace*.

Tabel 3.1 Spesifikasi *Furnace*

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

4. Alat uji kekerasan (*micro vickers*)

Sebagai alat uji yang digunakan untuk mengukur kekerasan baja.



Gambar 3.4 Alat uji kekerasan (*micro vickers*).

Tabel 3. 2 Spesifikasi alat uji kekerasan (micro vickers)

Kekuatan uji	0,098 N (10 gf), 0,245 N (25 gf), 0,49 N (50gf), 0,9807 N (100 gf), 1,961 N (200 gf), 2,942 N (300 gf), 4,903 N (500 gf), 9,807 N (1000 gf)
Loading method	Automatic
Amplifikasi mikroskop	400x (untuk pengukuran), 100x (untuk observasi)
Tinggal waktu uji kekuatan	0-60 detik
Nilai kelulusan min	0,25 μm / grid
Tinggi maksimal spesimen	70 mm
Berat	25 kg
Sumber daya	AC220 V / 50 – 60 Hz
Ukuran (L x W x H)	(415 295 $\times$ 503) mm

5. Alat uji komposisi kimia

Sebagai alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur kimia pada Baja AISI 1020.



Gambar 3.5 *Optical Emission Spectroscopy (OES).*

Tabel 3. 3 Spesifikasi alt uji komposisi kimia

<i>Optical System</i>	<i>Multi-detector optics Robust Paschen-Runge mounting ClearSpectrum technology Highest spectral sensitivity</i>
<i>Models</i>	Q4 TASMAR 200 λ : 200 - 620 nm Q4 TASMAR 170 λ : 170 - 620 nm Q4 TASMAR 130 λ : 130 - 620 nm
<i>Source Generator</i>	<i>Maintenance-free, two phase PWM generator</i> <i>Frequency 50 to 1000 Hz</i> <i>Discharge time from 10 μs to 2 ms</i>
<i>Analytical Solution Packages (ASP)</i>	<i>Available for all common matrices All relevant alloying elements Calibrations for all grade/alloy groups</i>
<i>Electrical Data</i>	100 to 240 V (50/60 Hz) 600 W during measurement, 50 W standby 16 A (240 V) slow blow fuse or 25 A (100 V) slow blow fuse
<i>Weights & Dimensions</i>	<i>Width 540 mm / 21.26 inch</i> <i>Height 685 mm / 26.96 inch</i> <i>Depth 820 mm / 32.28 inch</i> <i>Weight ~75 kg / ~165 lbs</i>

6. Ampelas

Sebagai pembersih kerak yang menempel pada spesimen Baja AISI 1020.



Gambar 3.6 Ampelas.

7. Tang penjepit

Sebagai alat untuk mengambil spesimen baja dari serbuk arang.



Gambar 3.7 Tang penjepit.

8. Kawat baja

Sebagai alat yang akan dipasang di spesimen baja agar mempermudah dalam pengambilan baja dalam keadaan panas.



Gambar 3.8 Kawat baja.

9. Tabung sementasi

Tabung sementasi sebagai tempat untuk menimbun baja dengan arang kayu mahoni saat proses karburisasi.



Gambar 3.9 Tabung sementasi.

10. Wadah Air & air

Sebagai wadah pendingin *quenching*.



Gambar 3.10 Wadah air & air.

3.2 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur pada penelitian 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. Pemotongan spesimen

Pemotongan spesimen ini dilakukan dengan menggunakan mesin potong. Dengan ukuran spesimen (2 x 2 x 0,5) cm sebanyak 16 buah.

b. Proses *polishing*

Proses ini di maksudkan untuk menghilangkan kontaminasi kotoran dan membentuk struktur permukaan spesimen yang baik

c. Proses pembilasan

Proses pembilasan dengan menggunakan air yang berfungsi untuk membersihkan sisa bekas pengamplasan.

2. Proses Pengaktifan Karbon

Karbon adalah unsur penting dalam proses *pack carburizing* karena dalam pelapisan logam karbon harus diaktifkan terlebih dahulu, karna tujuan dari pelapisan ini membutuhkan peranan dari karbon itu sendiri jenis karbon yang digunakan pada *pack carburizing* ini adalah arang kayu mahoni yang dihancurkan hingga menjadi halus, berikut tahapan dalam pengaktifan karbon adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan arang kayu mahoni, lalu haluskan arang hingga menjadi berbentuk serbuk.
- b. Ayak arang yang sudah dihaluskan tersebut.
- c. Cara pengaktifan yaitu dengan campuran senyawa kimia berupa *calcium clorida* (CaCl_2) dengan perbandingan 75% air atau sebanyak 1,5 liter dan 25% *calcium clorida* (CaCl_2) atau sebanyak 500 gram, kemudian dicampurkan hingga *calcium clorida* (CaCl_2) tercampur dan terurai dengan air.
- d. Selanjutnya proses pengaktifan karbon dengan cara arang sebanyak 1 kg dicampurkan dengan larutan *calcium clorida* tadi lalu diaduk hingga merata dalam sebuah wadah dan tutup wadah tersebut lalu diamkan arang selama 1x24 jam.
- e. Apabila telah mencapai waktu 1x24 jam selanjutnya kita keluarkan ditiriskan dan dijemur hingga arang tersebut kering.

- f. Ayak kembali dengan ukuran 200 *mesh* sebelum dilakukan proses pemanggangan.
- g. Arang kayu mahoni yang di aktivasi maupun tidak di aktivasi dicampur dengan barium karbonat (BaCO_3) dengan perbandingan 80% arang dan 20% BaCO_3 dan diaduk hingga merata.
- h. Arang siap digunakan untuk proses selanjutnya.

3. Proses Karburisasi dan Proses *Quenching*

Berikut adalah tahapan proses karburisasi :

- a. Spesimen diletakkan ke dalam tabung sementasi lalu ditimbun dengan karbon dari arang kayu mahoni hingga menutupi seluruh permukaan.
- b. Masukkan tabung sementasi ke dalam *furnace*, lalu *furnace* ditutup. Nyalakan *furnace* dan lihat temperatur awal (27-30)°C. Tunggu sampai temperatur akhir pemanasan 850°C dengan waktu penahanan 2 jam. Kemudian setelah proses tersebut, matikan *furnace* lalu buka *furnace*. Selanjutnya keluarkan tabung sementasi dari dalam dengan menggunakan tang penjepit.
- c. Angkat benda uji dari dalam tabung sementasi dengan menggunakan tang penjepit dan salah satu spesimen dimasukkan ke wadah berisi air bersih pada suhu ruang sebagai media pendingin, lalu biarkan hingga dingin sempurna.
- d. Angkat benda uji dari dalam media pendingin tersebut, bersihkan dari sisa-sisa proses karburisasi hingga bersih untuk proses pengujian selanjutnya.

4. Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Pengujian Komposisi Kimia

Mengetahui perubahan kandungan unsur karbon dan unsur lainnya pada permukaan baja AISI 1020 setelah proses pack *carburizing* menggunakan media karbon aktif (arang kayu yang diaktivasi) dan

karbon non-aktif (tanpa aktivasi). Tujuan utamanya adalah membandingkan efektivitas difusi karbon pada kedua media tersebut. Berikut adalah tahapan dari uji komposisi kimia:

- 1) Ambil sampel baja AISI 1020 yang telah diproses dengan media karbon aktif dan media karbon non-aktif.
- 2) Bersihkan permukaan sampel dari kerak, sisa arang, dan oksida menggunakan amplas halus.
- 3) Gunakan alkohol atau aseton untuk memastikan permukaan bebas kontaminan.
- 4) Analisis Komposisi dengan Metode OES (*Optical Emission Spectrometry*).
- 5) Kalibrasi alat dengan standar logam baja karbon.
- 6) Letakkan sampel pada elektroda alat OES.
- 7) Lakukan pengujian pada bagian permukaan, karena fokusnya pada lapisan hasil difusi karbon.
- 8) Hasil spektrum dari plasma dianalisis untuk menentukan kandungan unsur.
- 9) Parameter yang dianalisis fokus utama pada unsur Karbon (C).
- 10) Catat hasil komposisi kimia masing-masing sampel.
- 11) Bandingkan kadar karbon permukaan antara media aktif dan non-aktif.

b. Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan permukaan baja AISI 1020 setelah dilakukan proses perlakuan panas *carburizing* dan *quenching*. Metode *micro vickers* dipilih karena mampu mengukur kekerasan pada daerah kecil dengan tingkat akurasi tinggi. Adapun langkah-langkah pengujian kekerasan menggunakan metode *micro vickers* adalah sebagai berikut :

- 1) Potong spesimen baja AISI 1020 yang telah mengalami proses perlakuan panas menjadi ukuran kecil.

- 2) Amplas permukaan uji hingga rata dan halus menggunakan kertas amplas bertingkat, dari kasar ke halus.
- 3) Lakukan proses *polishing* (pemolesan) menggunakan kain pemoles dan larutan alumina agar permukaan benar-benar cermin.
- 4) Nyalakan mesin *micro vickers hardness tester*.
- 5) Kalibrasi alat terlebih dahulu
- 6) Tentukan titik uji pada permukaan spesimen, khususnya pada permukaan hasil *carburizing*.
- 7) Menggunakan beban uji 200 gram-force (gf) atau 0,2 kgf.
- 8) Tahan beban selama $\pm 10-15$ detik sesuai standar pengujian.
- 9) Mesin akan membuat lekukan berbentuk belah ketupat di permukaan material.
- 10) Ukur panjang diagonal lekukan menggunakan mikroskop yang terintegrasi pada alat.
- 11) Nilai kekerasan *Vickers* (HV) dihitung secara otomatis oleh mesin.
- 12) Catat nilai kekerasan pada beberapa titik.

c. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mengamati perubahan struktur mikro baja AISI 1020 akibat perlakuan panas *carburizing* dan *quenching*. Melalui pengamatan mikroskopis, dapat diketahui bentuk, ukuran, dan distribusi fasa seperti *ferrite*, *pearlite*, *martensite*, dan lapisan karbon hasil difusi. Adapun langkah-langkah dari pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut :

- 1) Potong spesimen baja AISI 1020 (yang telah melalui proses *carburizing* dan *quenching*) secara melintang.
- 2) Ukuran spesimen adalah 2 cm x 2 cm x 0,5 cm.
- 3) Amplas permukaan spesimen menggunakan kertas amplas bertingkat, mulai dari grit kasar hingga halus. Tujuannya adalah agar permukaan menjadi rata dan bebas goresan kasar.
- 4) Lakukan pemolesan dengan kain pemoles dan *autosol*.
- 5) Hasil akhir harus permukaan mengkilap seperti cermin.

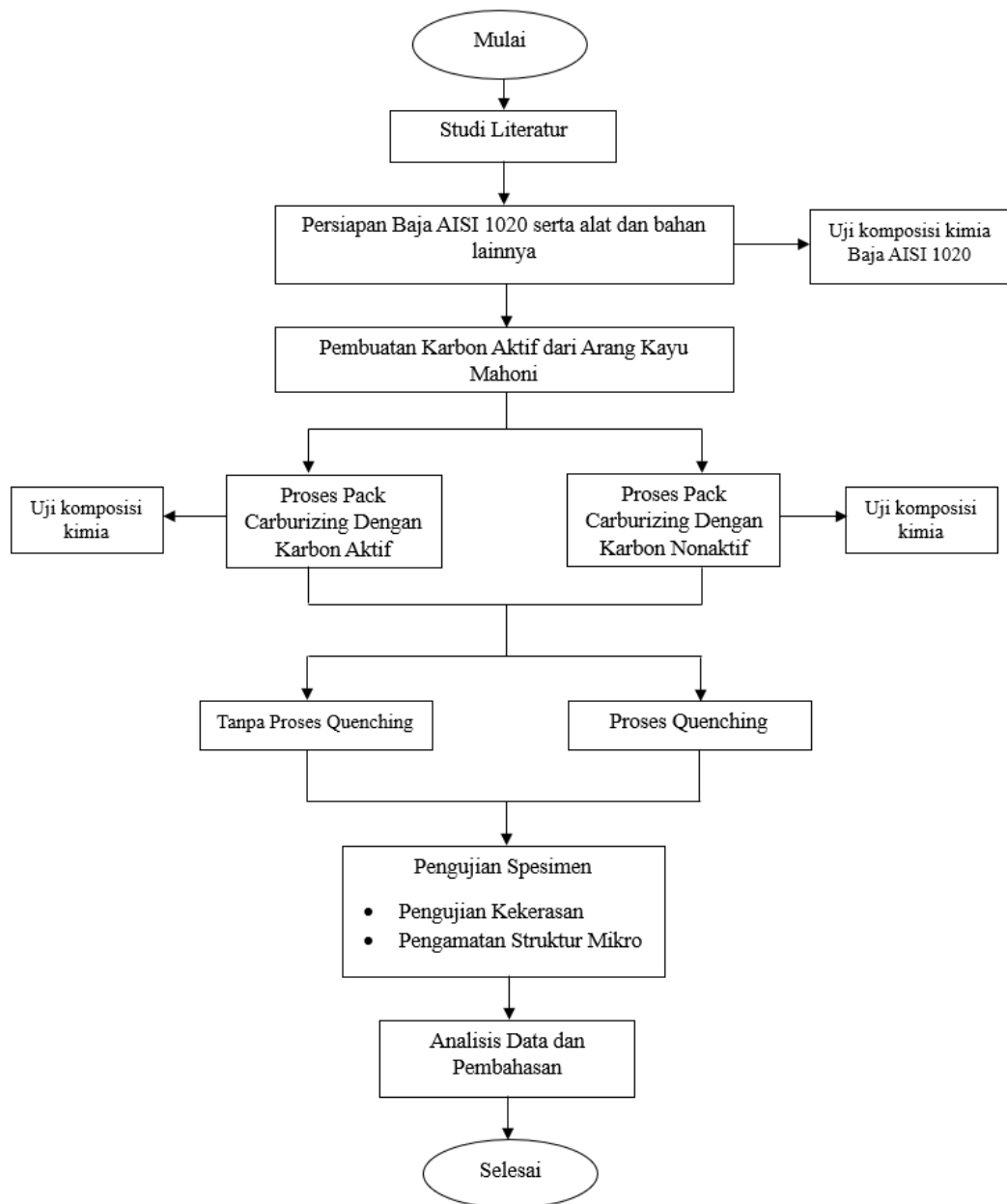
- 6) *Etching* (pelarutan kimia) dilakukan untuk menampakkan struktur mikro.
- 7) Gunakan larutan Nital 2% (campuran 2 ml asam nitrat (HNO₃) dan 98 ml alkohol).
- 8) Celupkan spesimen ke larutan selama ± 5 detik.
- 9) Bilas segera dengan air dan keringkan.
- 10) Amati spesimen di bawah mikroskop optik metalografi dengan pembesaran 100x hingga 500x.
- 11) Amati dan dokumentasikan struktur mikronya.
- 12) Foto hasil struktur mikro untuk analisis dan pelaporan.

Data hasil pengujian komposisi kimia dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.4 Komposisi kimia pada baja karbon rendah (AISI 1020) sebelum dan sesudah proses *pack carburizing*.

Sampel Uji	Unsur utama baja (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Fe
Baja AISI 1020						

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.11 Diagram alir penelitian.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian proses pack carburizing pada baja AISI 1020 menggunakan arang kayu mahoni dengan kondisi karbon aktif dan karbon non-aktif, pada suhu 850°C selama 2 jam serta perlakuan *quenching* dan non-*quenching*, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan arang kayu mahoni yang diaktivasi secara signifikan meningkatkan efektivitas difusi karbon dibandingkan arang non-aktif. Kadar karbon pada permukaan baja meningkat dari kondisi awal sebesar 0,20% menjadi 0,48% dengan arang non-aktif, dan meningkat tinggi menjadi 0,79% menggunakan arang aktif. Penggunaan arang kayu mahoni aktif dan non-aktif berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan komposisi kimia baja AISI 1020. Material *raw* memiliki kekerasan rata-rata sekitar 176,4 HV. Setelah pack carburizing menggunakan arang non-aktif tanpa *quenching*, kekerasan meningkat menjadi 249 HV. Pada kondisi arang non-aktif dengan *quenching*, nilai kekerasan naik lebih tinggi mencapai 712 HV. Sementara itu, penggunaan arang mahoni aktif tanpa *quenching* menghasilkan kekerasan rata-rata 307,6 HV, dan kondisi tertinggi diperoleh pada arang mahoni aktif dengan *quenching* dengan nilai rata-rata 917,2 HV, menunjukkan peningkatan yang paling signifikan dibandingkan kondisi lainnya.
2. Spesimen yang dilakukan *quenching* mengalami transformasi fasa yang lebih dominan menuju fasa keras seperti martensit pada lapisan permukaan akibat pendinginan cepat setelah proses pemanasan. Sebaliknya, spesimen tanpa *quenching* cenderung menghasilkan struktur ferit dan perlit sehingga nilai kekerasan lebih rendah dan sifat mekanik

tidak sekeras spesimen yang diberi *quenching*. Hal ini menunjukkan bahwa proses *quenching* memiliki peran penting dalam memaksimalkan hasil *pack carburizing*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan menambahkan variasi media pendingin *quenching* seperti oli, air garam, atau media lain dapat diteliti untuk mengetahui pengaruh jenis pendingin
2. Disarankan dilakukan pengamatan struktur mikro lebih detail untuk mendukung hasil penelitian.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan variasi waktu tahan dan suhu pada proses *pack carburizing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, R. B., Yunus, M., & Suparjo. (2021). *ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA PACK CARBURIZING TERHADAP KEKERASAN BAJA AISI 1020*.
- Asisi, A. N., Badaruddin, M., Sugiyanto, & Supriadi, H. (2024). *Pengaruh perlakuan panas quenching terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja JIS SUP 9A*. <https://doi.org/10.23960/mech.v15.i1.2024192>
- Avner, S. H. (2008). *Introduction to physical metallurgy*. McGraw -Hill Education (India).
- Baali, S., Benarioua, Y., & Essaddiq Mazouz, A. (2023). An Experimental Study of the Influence of Carburizing Treatment Holding Time on the Structure and Hardness of 16NC6 Steel. Dalam *Technology & Applied Science Research* (Vol. 13, Nomor 2). www.etasr.com
- Callister, W. D. ., & Rethwisch, D. G. . (2014). *Materials science and engineering : an introduction*. Wiley.
- Dewangan, S., Selvaraj, S. K., Karthikeyan, B., Adane, T. M., Chattopadhyaya, S., Królczyk, G., & Raju, R. (2022). Metallographic Investigation on Postweld Heat-Treated 0.21%C-1020 Steel Plates Joined by SMAW Method. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9377591>
- Ghufron, M., Istiroyah, & In'am, R. W. D. (2021). SPECTA Journal of Technology Pengerasan Baja AISI 316L Menggunakan Metode Pack Carburizing Bersumber Karbon Kayu Mahoni. *SPECTA Journal of Technology*, 5. <https://journal.itk.ac.id/index.php/sjt>
- Ginting, E., -, E., & Marjunus, R. (2020). Pengaruh Variasi Waktu Tahan pada Austenisasi dengan Pendinginan Cepat terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Baja AISI 1045. *Jurnal Fisika Indonesia*, 24(1), 47. <https://doi.org/10.22146/jfi.v24i1.54038>

- Gusmantoro, D., Erwansyah, & Dwi Krishnaningsih, S. (2023). *Pengaruh Media Pendingin Bio Solar Pada Perlakuan Panas Untuk Meningkatkan Kekerasan Roda Gigi Sproket*. 01(2).
- Hartanto, D. S., Suprpto, A., & Widyastuti, I. (2020). ANALISA VARIASI WAKTU PENAHANAN KARBURISASI DAN PERLAKUAN CRYOGENIC TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA ST37. *TRANSMISI*, 16(1). <https://doi.org/10.26905/jtmt.v16i1.4499>
- Istiqlalayah, H., & Setyowidodo, I. (2021). *Efektivitas Proses Carburizing dan Quenching Terhadap Nilai Kekerasan Baja S45C*.
- Jamilatun, S., Setyawan, M., Janah, L., Alfiyani, R., & Mufandi, I. (2021). Activation of Coconut Shell Charcoal and Application for Bleaching Used Cooking Oil. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 8(1), 56. <https://doi.org/10.26555/chemica.v8i1.20085>
- Leni, D., Earnestly, F., Sumiati, R., Adriansyah, A., & Kusuma, Y. P. (2023). Evaluasi sifat mekanik baja paduan rendah berdasarkan komposisi kimia dan suhu perlakuan panas menggunakan teknik exploratory data analysis (EDA). *Dinamika Teknik Mesin*, 13(1), 74. <https://doi.org/10.29303/dtm.v13i1.624>
- Martin, H., Amoako-Yirekyi, P., Pohjonen, A., Frempong, N. K., Komi, J., & Somani, M. (2020). Statistical Modeling for Prediction of CCT Diagrams of Steels Involving Interaction of Alloying Elements. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 52, 223–235. <https://doi.org/10.1007/s11663-020-01991-w>
- Nasution, M., & Nasution, R. H. (2020). ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1020 TERHADAP PERLAKUAN CARBURIZING DENGAN ARANG BATOK KELAPA.
- Nitha, Arma, L. H., Sutresman, O. S., & Aminy, A. Y. (2023). IDENTIFYING OF CHEMICAL COMPOSITION CHANGES DURING THE CARBURIZING PROCESS OF CARBON STEEL UNDER TENSION. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(12(124)), 26–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286199>

- Pei, Y., Qu, X., Ge, Q., & Wang, T. (2021). Effect of heat treatment temperature on microstructure and properties of pm borated stainless steel prepared by hot isostatic pressing. *Materials*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/ma14164646>
- Prayitno, D., & Hengki, S. B. (2022). PENGARUH PROSES PACK CARBURIZING – QUENCHING PADA KEKERASAN BAJA AISI 1020. *JURNAL PENELITIAN DAN KARYA ILMIAH LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS TRISAKTI*, 7(1), 45–52. <https://doi.org/10.25105/pdk.v7i1.10561>
- Purboputro, P. I., Partono, P., & Ekaputra, R. (2022). The analysis of carbon carburizing of ST 60 steel with 80 mesh due to hardness and microstructure. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 3(2), 80–88. <https://doi.org/10.37373/jttm.v3i2.297>
- Ramli, Suhdi, Rodiawan, & Wu, C. C. (2023). Study on microstructure and wear characteristics of carburized steel at different carburizing times using catalyst strombus turturella shell waste powders. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1267(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1267/1/012019>
- Rizki, M. A., Razi, M., & Bukhari. (2022). PENGARUH PROSES PACK CARBURIZING DENGAN VARIASI TEMPARATUR DAN KARBON AKTIF TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN BAJA AISI 1020.
- 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), 1. <https://doi.org/10.29103/ijevs.v5i1.12486>
- Sinarep, S., & Darmo, S. (2021). EFFECT OF PACK CARBURIZING WITH CHICKEN EGG SHELL POWDER AGENT AND VIBRATOR QUENCHING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF AISI 9310 STEEL. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(12(114)), 12–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244118>
- Tekbas Atay, M., Mediha Buyukgoze, M., & Ozveren, N. (2021). Effect of Disposable Sheaths on the Vickers Microhardness of Resin Composites.

Clinical and Experimental Health Sciences, 11(3), 393–398.
<https://doi.org/10.33808/clinexphealthsci.752555>

Tibbetts, G. G. (1980). Diffusivity of carbon in iron and steels at high temperatures.
Journal of Applied Physics, 51(9), 4813–4816.
<https://doi.org/10.1063/1.328314>

Wibowo, A., Widiastuti, H., Arifin, N. L., & Aryanto, N. P. (2021). Pengaruh Holding Time Annealing terhadap Perubahan Mikrostruktur Baja Struktur S690QL dan S235JR. Dalam *Jurnal Integrasi* | (Vol. 46, Nomor 1).