

**PENGARUH AKTIVASI KARBON ARANG TEMPURUNG
KELAPA TERHADAP HASIL PROSES *PACK CARBURIZING*
PADA BAJA AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN *QUENCHING***

(SKRIPSI)

Oleh :

HANIF IQBAL AZZAHARAN

(2115021080)



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

**PENGARUH AKTIVASI KARBON ARANG TEMPURUNG
KELAPA TERHADAP HASIL PROSES *PACK CARBURIZING*
PADA BAJA AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN *QUENCHING***

Oleh

Hanif Iqbal Azzahran

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 AKTIVASI KARBON ARANG TEMPURUNG KELAPA TERHADAP HASIL PROSES *PACK CARBURIZING* PADA BAJA AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN *QUENCHING*

Oleh :

Hanif Iqbal Azzahran

Baja AISI 1020 merupakan baja karbon rendah yang banyak digunakan karena keuletan dan kemudahan fabrikasinya, namun memiliki kekerasan permukaan yang rendah sehingga memerlukan perlakuan permukaan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh aktivasi karbon arang tempurung kelapa pada proses *pack carburizing* terhadap perubahan komposisi kimia, kekerasan, dan struktur mikro baja AISI 1020 dengan perlakuan *quenching* dan tanpa *quenching*. Proses *pack carburizing* dilakukan pada suhu 850°C dengan waktu penahanan 2 jam menggunakan arang tempurung kelapa non aktif dan arang aktif. Setelah proses *carburizing*, spesimen didinginkan dengan pendinginan udara dan *quenching* air. Pengujian meliputi uji komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES), uji kekerasan *Micro Vickers*, serta pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa kadar karbon baja meningkat dari 0,20% pada *raw material* menjadi 0,51% pada penggunaan arang non aktif dan 1,08% pada penggunaan arang aktif. Hasil uji kekerasan menunjukkan nilai rata-rata sebesar 176,4 HVN pada *raw material*, meningkat menjadi 294,6 HVN pada arang non aktif tanpa *quenching*, 309,6 HVN pada arang aktif tanpa *quenching*, 882 HVN pada arang non aktif dengan *quenching*, dan mencapai nilai tertinggi 927,2 HVN pada arang aktif dengan *quenching*. Pengamatan struktur mikro menunjukkan dominasi *ferrite* dan *pearlite* pada *raw material* dan spesimen tanpa *quenching*, sedangkan spesimen dengan *quenching* menunjukkan terbentuknya *martensite* yang berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan permukaan.

Kata Kunci: Baja AISI 1020; *Pack Carburizing*; Karbon Aktif; Arang Tempurung Kelapa; Komposisi Kimia; Kekerasan *Micro Vickers*; Struktur Mikro; *Quenching*.

ABSTRACT

THE EFFECT OF COCONUT SHELL CHARCOAL ACTIVATION ON THE RESULTS OF THE PACK CARBURIZING PROCESS ON AISI 1020 STEEL WITH QUENCHING TREATMENT

By :

Hanif Iqbal Azzahran

AISI 1020 steel is a low-carbon steel widely used due to its good ductility and ease of fabrication; however, it has relatively low surface hardness, which necessitates surface treatment. This study aims to analyze the effect of activated coconut shell charcoal in the pack carburizing process on changes in chemical composition, hardness, and microstructure of AISI 1020 steel with quenching and non-quenching treatments. The pack carburizing process was conducted at a temperature of 850°C with a holding time of 2 hours using non-activated and activated coconut shell charcoal. After the carburizing process, the specimens were cooled by air cooling and water quenching. The tests carried out included chemical composition analysis using Optical Emission Spectroscopy (OES), hardness testing using the Micro Vickers method, and microstructural observation using an optical microscope. The chemical composition test results showed that the carbon content increased from 0.20% in the raw material to 0.51% when non-activated charcoal was used and to 1.08% when activated charcoal was applied. The hardness test results indicated an average hardness value of 176.4 HVN for the raw material, which increased to 294.6 HVN for non-activated charcoal without quenching, 309.6 HVN for activated charcoal without quenching, 882 HVN for non-activated charcoal with quenching, and reached the highest value of 927.2 HVN for activated charcoal with quenching. Microstructural observations revealed that the raw material and non-quenched specimens were dominated by ferrite and pearlite phases, whereas the quenched specimens exhibited the formation of martensite, which contributed significantly to the increase in surface hardness.

Keywords: AISI 1020 Steel; Pack Carburizing; Activated Carbon; Coconut Shell Charcoal; Chemical Composition; Micro Vickers Hardness; Microstructure; Quenching.

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : **PENGARUH AKTIVASI KARBON ARANG
TEMPURUNG KELAPA TERHADAP HASIL
PROSES PACK CARBURIZING PADA BAJA
AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN
QUENCHING**

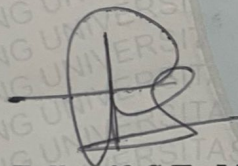
Nama Mahasiswa : **Hanif Iqbal Azzahran**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2115021080**

Program Studi : **S1 Teknik Mesin**

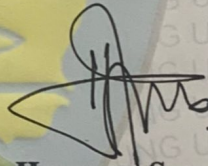
Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI
Komisi Pembimbing



Zulhanif, S.T., M.T.

NIP. 197304022000031002



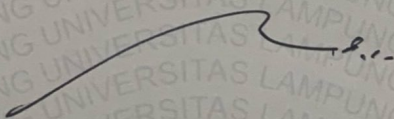
Harnowo Supriadi, S.T., M.T.

NIP. 196909091997031002

MENGETAHUI

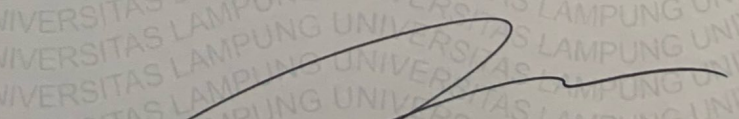
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin



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

NIP. 197408162000121001



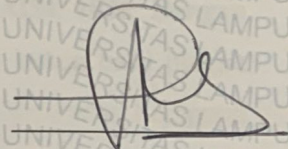
Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.

NIP. 197908212003121003

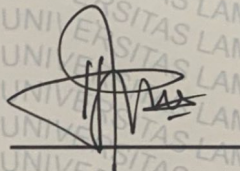
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

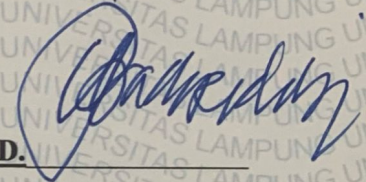
Ketua Penguji : **Zulhanif, S.T., M.T.**



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



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



2. Dekan Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 Januari 2026

LEMBAR PERNYATAAN

Skripsi dengan judul “**Pengaruh Aktivasi Karbon Arang Tempurung Kelapa Terhadap Hasil Proses *Pack Carburizing* Pada Baja AISI 1020 Dengan Perlakuan *Quenching***” 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.

Bandar Lampung, 10 Februari 2026

Pembuat Pernyataan



Hanif Iqbal Azzahran

NPM. 2115021080

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Enim, 22 Februari 2003 sebagai anak pertama sekaligus satu-satunya dari Bapak Mayor INF H. Saiful Anwar dan Ibu Hj. Zar'aini, A.Md. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD N 18 MUARA ENIM, lalu dilanjutkan dengan pendidikan menengah pertama di SMP N 1 MUARA ENIM, dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA N 1 UNGGULAN MUARA ENIM. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Menjadi salah satu mahasiswa, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) dalam 2 periode pada tahun 2022 hingga 2024. Penulis aktif dalam HIMATEM sebagai anggota bidang HUMAS pada periode pertama dan menjadi anggota bidang MINBAK pada periode kedua serta pernah menjadi panitia kegiatan di Jurusan Teknik Mesin. Kemudian penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Bukit Asam Tbk. Penulis memulai melakukan penelitian dengan judul “PENGARUH AKTIVASI KARBON ARANG TEMPURUNG KELAPA TERHADAP HASIL PROSES PACK CARBURIZING PADA BAJA AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN QUENCHING” dimulai pada 14 Mei 2025.

MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sampai mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.”

(QS. Ar-Ra’ad : 11)

“Tanpa cinta, kecerdasan itu berbahaya; dan tanpa kecerdasan, cinta itu tidak cukup”

(B.J. Habibie)

“Strive not to be a success, but rather to be of value.”

(Albert Einstein)

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan dan ketulusan hati serta Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan ridho-Nya, skripsi ini kupersembahkan kepada :

Kedua orang tua tercinta, Saiful Anwar dan Zar'aini yang doanya tidak pernah putus untuk anaknya dan yang selalu menjadi garda terdepan untuk anaknya dikala suka maupun duka, serta senantiasa memberikan kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta motivasi tanpa henti dalam setiap langkah perjalanan hidup dan pendidikan.

**Serta
Untuk Almamater tercinta,
Universitas Lampung**

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena atas rahmat dan ridho-nya penulis dapat menyelesaikan laporan ini yang berjudul **“PENGARUH AKTIVASI KARBON ARANG TEMPURUNG KELAPA TERHADAP HASIL PROSES PACK CARBURIZING PADA BAJA AISI 1020 DENGAN PERLAKUAN QUENCHING”**. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan yang terdapat di dalamnya baik di bagian ini maupun penyajiannya. Hal ini disebabkan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan serta informasi yang penulis peroleh.

Laporan ini dapat penulis buat dan selesaikan berkat bimbingan, pendapat, dan saran-saran dari instruktur atau pembimbing dari pada dosen dan segenap teman-teman Tim Tugas Akhir, oleh karena itu pada kesempatan ini diperkenankan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih yang terhormat :

1. Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ahmad Su’udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Zulhanif, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing utama yang telah membimbing serta memberikan ilmu selama pelaksanaan tugas akhir di perkuliahan.

5. Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama pelaksanaan tugas akhir dan selama perkuliahan.
6. Prof. Moh. Badaruddin, S. T., M. T., Ph. D. selaku Dosen Pembahas yang telah bersedia mengoreksi dan memberikan arahan serta meluruskan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu namanya, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan. Semoga kelak ilmu yang telah saya dapatkan bermanfaat dan menjadi amal jariyah untuk Bapak dan Ibu.
8. Orang tua penulis, Bapak Mayor INF H. Saiful Anwar dan Ibu Hj. Zar'aini, A.Md. yang selalu mendoakan, mendidik, memberikan dukungan, mendampingi, dan memberikan restu kepada penulis baik secara moril maupun materil agar selalu semangat dalam menempuh pendidikan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin.
9. Teruntuk Nadira, terima kasih sudah selalu kebersamaan penulis sejak awal perkuliahan hingga penulis mengerjakan dan menyelesaikan skripsi ini, terima kasih sudah selalu memberikan semangat, motivasi, dukungan, doa, serta menjadi tempat untuk penulis berkeluh kesah selama penulisan skripsi ini dan tidak bisa dipungkiri bahwa telah menjadi orang yang sangat berpengaruh bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih karena sudah selalu menjadi pemeran utama dalam semua episode perjalanan penulis. Sekali lagi terima kasih banyak.
10. Teman- teman Teknik Mesin angkatan 2021 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terima kasih sudah selalu menemani, memberikan motivasi, memberikan dukungan, memberikan semangat, dan selalu menghibur penulis selama menjalani perkuliahan. Semoga yang sudah lulus diberikan kemudahan

dalam mendapatkan pekerjaan dan semoga yang masih berjuang dilancarkan dan dapat segera lulus.

11. Keluarga besar grup TA material atau bisa disebut “Ormat” yang telah membantu, memberikan semangat, serta menjadi tempat bertukar pikiran selama penyusunan skripsi ini hingga dapat diselesaikan, semoga dapat bertemu kembali di kemudian hari dan sudah sukses dengan profesi masing-masing.

Bandar Lampung, 17 Februari 2026

Penulis,

Hanif Iqbal Azzahran

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Baja.....	6
2.2 Baja AISI 1020.....	8
2.3 <i>Carburizing</i>	9
2.4 Arang Tempurung Kelapa	12
2.5 <i>Quenching</i>	14
2.6 Kekerasan	16
2.6.1 Metode Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	17
2.6.2 Metode Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	18
2.6.3 Metode Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	18
2.7 Struktur Mikro.....	19
2.7.1 <i>Ferrite</i>	21
2.7.2 <i>Pearlite</i>	22
2.7.3 <i>Bainite</i>	23
2.7.4 <i>Martensite</i>	24
2.7.5 <i>Cementite</i>	25

2.8	Diagram CCT (<i>Continuous Cooling Temperature</i>)	26
2.9	Difusi.....	29
III.	METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2.1	Waktu Penelitian	31
3.2.2	Tempat Penelitian.....	31
3.2	Alat dan Bahan.....	32
3.3	Prosedur Penelitian.....	39
3.4	Diagram Alir	45
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1	Hasil dan Analisa Pengujian	46
4.1.1	Hasil Proses <i>Carburizing</i>	46
4.1.2	Kedalaman Difusi Karbon pada Baja AISI 1020	47
4.1.3	Uji Komposisi Kimia.....	49
4.1.4	Uji Kekerasan <i>Micro Vickers</i>	52
4.1.5	Pengamatan Struktur Mikro	55
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran.....	62
	DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Baja AISI 1020	8
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Furnace</i>	33
Tabel 3.2 Spesifikasi Alat <i>Micro Vickers</i>	35
Tabel 3.3 Spesifikasi Alat OES.....	36
Tabel 3.4 Komposisi Kimia pada baja karbon rendah AISI 1020 sebelum dan sesudah proses pack carburizing.....	44
Tabel 4.1 Parameter proses <i>pack carburizing</i>	47
Tabel 4.2 Komposisi kimia tanpa perlakuan (<i>raw material</i>).....	49
Tabel 4.3 Komposisi kimia hasil <i>carburizing</i> dengan campuran arang non aktif dan <i>holding time</i> 2 jam.....	50
Tabel 4.4 Komposisi kimia hasil <i>carburizing</i> dengan campuran arang aktif dan <i>holding time</i> 2 jam.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemodelan terjadinya difusi :	9
Gambar 2.2 Proses <i>Pack Carburizing</i>	10
Gambar 2.3 Pengaruh Pada Kedalaman Difusi Atom.....	10
Gambar 2.4 Arang Tempurung Kelapa	12
Gambar 2.5 Laju Pendinginan Media Pendingin	15
Gambar 2.6 Grafik Pendinginan Langsung.....	15
Gambar 2.7 Pendinginan Tunggal (<i>Single Quenching</i>)	16
Gambar 2.8 Diagram <i>Iron Phase</i>	21
Gambar 2.9 <i>Ferrite</i>	22
Gambar 2.10 <i>Pearlite</i>	23
Gambar 2.11 <i>Bainite</i>	24
Gambar 2.12 <i>Martensite</i>	25
Gambar 2.13 <i>Cementite</i>	26
Gambar 2.14 Diagram CCT (<i>Continuous Cooling Temperature</i>)	28
Gambar 3.1 Baja AISI 1020.....	32
Gambar 3.2 Arang Tempurung Kelapa.....	32
Gambar 3.3 <i>Furnace</i>	33
Gambar 3.4 Ampelas.....	34
Gambar 3.5 Alat uji kekerasan (<i>micro Vickers</i>).....	34
Gambar 3.6 <i>Optical Emission Spectroscope</i>	35
Gambar 3.7 Tang Penjepit	37
Gambar 3.8 Kawat Baja	37
Gambar 3.9 Pinset	38
Gambar 3.10 Tabung sementasi	38
Gambar 3.11 Bak Air	39

Gambar 4.1 Baja AISI 1020 Hasil Proses <i>Pack Carburizing</i>	46
Gambar 4.2 Grafik Uji Komposisi Kimia	51
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Rata-rata	54
Gambar 4.4 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020	55
Gambar 4.5 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020	56
Gambar 4.6 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020	57
Gambar 4.7 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020	58
Gambar 4.8 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020	59
Gambar 4.9 Hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1020	60

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur menuntut penggunaan komponen logam, seperti poros dan roda gigi, yang memiliki permukaan keras dan tahan aus. Baja karbon rendah seperti baja AISI 1020 banyak digunakan karena sifat mekaniknya yang baik dan harganya terjangkau. Namun, kekerasan permukaan yang rendah menjadi hambatan dalam aplikasi beban yang tinggi. Untuk mengatasinya, metode *pack carburizing* adalah solusi yang efektif, di mana baja dipanaskan pada suhu sekitar 850-950°C bersama media karbon padat seperti arang tempurung kelapa dan diikuti dengan *quenching* untuk membentuk lapisan martensit keras tanpa mengorbankan sifat inti baja (Fatkhurrohman dkk., 2025).

Menurut penelitian (Santoso dkk., 2024), menyatakan bahwa “*pack carburizing* menggunakan arang tempurung kelapa dicampur Na_2CO_3 pada 900°C selama 50 menit menghasilkan ketebalan lapisan kasus sebesar 0,46 μm ”. Hasil tersebut menunjukkan potensi signifikan arang tempurung kelapa untuk meningkatkan ketahanan permukaan baja AISI 1020 melalui peningkatan penetrasi karbon. Selain itu, pemilihan tempurung kelapa sebagai sumber karbon pada *pack carburizing* menawarkan keunggulan yaitu ketersediaannya melimpah, biaya rendah, dan alami.

Meski efektif, arang non aktif memiliki luas permukaan dan porositas terbatas yang membatasi difusi karbon. Oleh karena itu, aktivasi dilakukan. (Yasdi dkk., 2021) mencatat bahwa aktivasi dengan KOH menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan hingga 1.178 m^2/g . Penelitian (Afiah Anwar dkk.,

2020) lebih lanjut menunjukkan bahwa aktivasi optimal menggunakan KOH dapat mencapai BET sebesar $2.083 \text{ m}^2/\text{g}$. Struktur pori mikro dan meso dalam karbon aktif ini sangat meningkatkan kemampuan media untuk menyerap dan melepaskan atom karbon.

Pengaruh penggunaan karbon aktif sebagai media *carburizing* juga terlihat nyata pada hasil kekerasan permukaan. Penelitian (Nasution & Nasution, 2020) melaporkan peningkatan kekerasan dari 191 VHN (sebelum *carburizing*) menjadi antara 395-675 VHN setelah *pack carburizing* pada 900°C selama 7 jam. Dengan menggunakan variasi media *quenching* (air, garam, dan oli). Hal ini menunjukkan efektivitas karbon aktif dalam menghasilkan struktur mikro martensitik yang lebih padat dan juga keras.

Variasi media *quenching* ternyata juga memainkan peran krusial. Struktur karbon aktif yang memiliki pori mikro dan meso memberikan jalur difusi tambahan yang mempercepat pelepasan atom karbon. Pada penelitian (Wiranata & Prasetyo, 2022) menemukan bahwa media NaCl 25% memberikan hasil kekerasan tertinggi serta struktur mikro *martensite* yang paling homogen dibandingkan air dan oli. Ini menegaskan bahwa keberhasilan *pack carburizing* tidak hanya ditentukan oleh kualitas media karbon, tetapi juga oleh strategi pendinginan setelahnya.

Kombinasi antara media karbon aktif dan optimalisasi suhu serta waktu juga berpengaruh terhadap kedalaman difusi. Penelitian (Rizki dkk., 2022) menyatakan bahwa *pack carburizing* pada suhu 920°C selama 120 menit dengan media karbon sawit menghasilkan kekerasan permukaan hingga 327 HV, sedangkan arang kelapa menghasilkan 260 HV dalam kondisi serupa. Data ini memperlihatkan bahwa baik jenis media maupun parameter suhu dan durasi sangat memengaruhi hasil akhir.

Karakterisasi struktur mikro melalui SEM dan *metaallografi* memperkuat temuan tersebut. Permukaan baja AISI 1020 yang menggunakan arang aktif dan *quenching* membentuk lapisan martensitik rapat ketimbang struktur *ferrite* dan perlit awalnya. Hal ini memperkuat argumen bahwa difusi karbon dan

pendinginan cepat optimal menghasilkan struktur mikro permukaan yang homogen dan juga keras.

Media *carburizing* non-aktif, seperti batubara atau arang kayu, menunjukkan performa lebih rendah. Menurut penelitian (Adi dkk., 2021) dalam studi variasi media *pack carburizing*, mencatat peningkatan kekerasan rata-rata hanya sekitar 101 HRB bila menggunakan arang tempurung kelapa dibandingkan media batubara (111 HRB) dan kayu gelam (87 HRB). Hasil ini menegaskan bahwa media aktif diperlukan agar difusi karbon menjadi lebih maksimal.

Dengan berdasarkan bukti empiris dan literatur relevan dan perkembangan teknologi *pack carburizing*, maka sangat penting dilakukan penelitian tugas akhir yang membandingkan penggunaan arang tempurung kelapa non-aktif dan karbon aktif sebagai media *carburizing* pada baja AISI 1020. Penelitian ini juga akan mengevaluasi efek dari terdapat atau tidaknya proses *quenching* terhadap tiga parameter utama yaitu kekerasan permukaan, tebal lapisan, dan struktur mikro. Hasil penelitian diharapkan mendukung implementasi praktis dan berkelanjutan dalam proses peningkatan kinerja permukaan baja di sektor industri.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan arang tempurung kelapa sebelum dan sesudah diaktivasi sebagai media karbon dalam proses *pack carburizing* terhadap kekerasan, dan struktur mikro baja AISI 1020?
2. Sejauh mana perbedaan sifat mekanik dan struktur mikro antara spesimen yang dilakukan proses *quenching* dan yang tidak dilakukan proses *quenching* setelah *carburizing*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui efektivitas arang tempurung kelapa sebagai media karbon aktif dalam proses *pack carburizing* terhadap baja AISI 1020.
2. Membandingkan hasil komposisi kimia antara *raw material* dengan baja AISI 1020 setelah proses *carburizing*.
3. Membandingkan hasil kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1020 yang mengalami perlakuan *quenching* dan yang tidak di *quenching* setelah proses *carburizing*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya menggunakan baja karbon rendah tipe AISI 1020 sebagai spesimen uji.
2. Media karburisasi yang digunakan adalah arang tempurung kelapa, baik sebelum maupun sesudah diaktivasi.
3. Perlakuan setelah karburisasi dibatasi pada dua kondisi : dengan dan tanpa proses *quenching*.
4. Parameter yang diamati terbatas pada kekerasan permukaan dan struktur mikro baja.
5. Temperatur yang digunakan pada pengujian *pack carburizing* baja AISI 1020 adalah 850°C dengan waktu penahanan selama 2 jam.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam menyusun skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori yang berhubungan dan mendukung pembahasan dalam penelitian.

BAB III. METODE PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode-metode yang dilakukan dalam pengumpulan data, dan menjelaskan tahapan-tahapan kegiatan yang dilakukan selama penelitian berlangsung sampai pada penyusunan laporan serta pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil serta data dari penelitian yang telah dilakukan, juga pembahasan dalam hasil penelitian.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari pembahasan pengujian selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi-referensi yang digunakan pada penelitian.

LAMPIRAN

Berisi tentang data-data yang mendukung pada penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja (*steel*) adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon, dengan kandungan kurang lebih sekitar 1,7%. Produk ini secara teknik dan dinyatakan sebagai baja karbon. Pembuatan baja dapat dilakukan dengan konverter, dapur Siemens Martin, dan pada dapur listrik. Baja juga dapat dilakukan perlakuan, baik panas maupun dingin.

Dalam bidang material baja, terdapat beberapa cara atau pada perlakuan untuk meningkatkan suatu nilai kekerasan baja, diantaranya yaitu perlakuan panas (*Heat Treatment*) dan deformasi plastis. Baja karbon yang dipanaskan hingga mencapai suhu *austenite* kemudian didinginkan secara cepat akan terbentuk struktur *martensite* yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari struktur *pearlite* maupun *ferrite*, proses ini biasa dikenal sebagai *quenching*. Struktur mikro baja akan terbentuk bergantung pada jenis dari proses kecepatan pendinginannya dari suhu daerah *austenite* sampai ke suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya merupakan sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah (Nasution & Nasution, 2020).

Baja karbon merupakan salah satu jenis dari baja paduan. Baja karbon atau *carbon steel* merupakan material logam yang terbentuk dari dua unsur antara unsur utama (Fe) serta unsur kedua yang berpengaruh pada sifat-sifatnya yakni karbon (C), sedangkan unsur yang lain berpengaruh menurut persentasenya (Suprpto, 2015). Baja karbon umumnya memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,3% hingga 1,7% (C), di mana unsur karbon berfungsi sebagai unsur pengeras dalam struktur baja. Menurut besar kandungan

karbonnya, baja karbon dibagi menjadi :

a. Baja Karbon Rendah

Baja ini memiliki komposisi karbon kurang dari 0,3% serta struktur mikronya *ferrite* dan *pearlite*. Karena kandungan karbonnya rendah maka sifat besi ini sangat lunak, tetapi mempunyai keuletan yang tinggi. Baja karbon ini dapat dituang, dikeraskan permukaannya (*case hardening*), mudah dilas dan ditempa.

b. Baja Karbon Sedang

Baja ini memiliki komposisi karbon antara 0,3% sampai 0,6%. Baja karbon ini lebih kuat dan keras dibanding baja karbon rendah. Sifat-sifat dari baja ini adalah dapat dikeraskan, *distempering*, dilas, dan dikerjakan mesin dengan baik.

c. Baja Karbon Tinggi

Baja ini memiliki komposisi karbon antara 0,6% sampai 1,7%. Kekerasannya lebih tinggi bila dibandingkan dengan kedua baja karbon di atas. Baja karbon ini tingkat keuletannya rendah namun baja ini bersifat tahan aus.

Baja karbon memiliki sifat-sifat dan reaksi beraneka ragam sehingga dapat digunakan oleh manusia untuk berbagai kebutuhan. Baja terdiri dari beberapa jenis, masing-masing memiliki keunggulan tersendiri. Baja terdiri dari tiga bentuk utama. Tiga bentuk utama tersebut yaitu :

- a. Ferit (*ferrite*) merupakan kristal besi murni yang terletak rapat saling berdekatan tidak teratur bentuk maupun besarnya. Ferit merupakan bagian baja paling lunak.
- b. Perlit (*pearlite*) merupakan campuran erat antara ferit dan *cementite* dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Kristal *ferrite* terdiri dari serpihan *cementite* halus yang memperoleh penempatan saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel.
- c. Karbida besi (Fe_3C) suatu senyawa kimia antara besi (Fe) dengan karbon (C) sebagai unsur struktur tersendiri yang dinamakan *cementite* dan

mengandung 6,7% karbon. *Cementite* dalam baja merupakan unsur paling keras.

2.2 Baja AISI 1020

Baja AISI 1020 merupakan jenis 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 dan JIS S20C. Menurut standar AISI (*American Iron and Steel Institute*) dan DIN CK22.C22, komposisi kimia dari baja AISI 1020 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi 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)

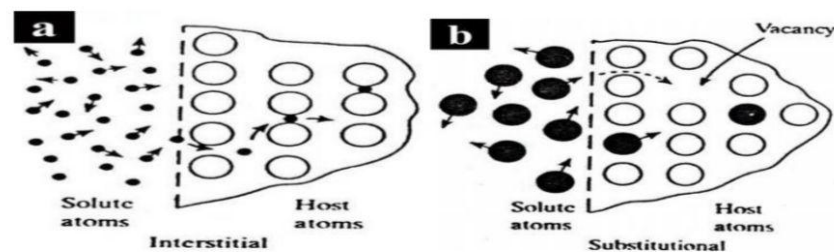
Sifat mekanik dari baja AISI 1020 menjadikannya cocok untuk berbagai aplikasi teknik ringan seperti poros, roda gigi, baut, dan komponen struktural lainnya. Meskipun memiliki keuletan yang baik, kekerasan dan ketahanan aus baja ini masih tergolong rendah. Oleh karena itu, baja AISI 1020 sering kali mengalami proses perlakuan permukaan seperti *carburizing* untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus pada permukaannya tanpa mengorbankan keuletan inti logam.

Secara mikro struktur, dalam kondisi normalisasi, baja AISI 1020 terdiri dari ferit dan sedikit perlit. Komposisi ini menyebabkan baja menjadi lunak namun tangguh. Melalui proses *carburizing*, terutama dengan media padat seperti karbon aktif, struktur mikro permukaan baja dapat diubah menjadi *martensite* setelah dilakukan *quenching*, sehingga meningkatkan kekerasan secara signifikan (Supriyono, 2018).

2.3 Carburizing

Carburizing merupakan salah satu jenis perlakuan panas (*heat treatment*) yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan karbon pada permukaan baja, sehingga meningkatkan kekerasan permukaan logam tersebut. Proses ini dilakukan pada suhu austenisasi, yaitu antara 850°C hingga 950°C, di mana karbon dari media eksternal yang berdifusi ke dalam permukaan baja yang sebelumnya memiliki kandungan karbon rendah. Hal ini menyebabkan terbentuknya lapisan permukaan yang lebih keras, sedangkan bagian inti baja tetap ulet dan tidak getas.

Difusi adalah gerak spontan dari atom atau molekul di dalam bahan yang cenderung membentuk komposisi yang seragam. Hukum pertama *Fick's* menyatakan bahwa difusi dari sebuah elemen dalam suatu bahan substrat merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi. Gradien konsentrasi adalah jumlah atom yang terdapat di sekitar substrat dibandingkan dengan jumlah atom yang terdapat di dalam substrat (Kuntari dkk., 2019).



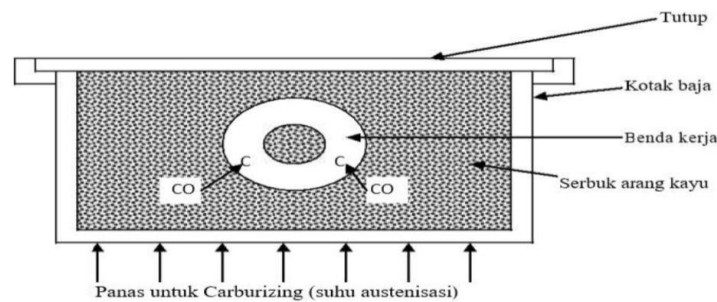
Gambar 2.1 Pemodelan terjadinya difusi :

(a) Secara Interstisi, (b) Secara Subtitusi

(Sumber : Budinski, 1999)

Metode *carburizing* yang umum digunakan adalah *pack carburizing*, yaitu dengan cara membungkus spesimen baja di dalam wadah tertutup yang diisi dengan media karbon padat seperti arang tempurung kelapa. Untuk membantu proses difusi karbon, media ini sering ditambahkan *energizer* seperti barium karbonat (BaCO_3) yang menghasilkan karbon monoksida saat proses

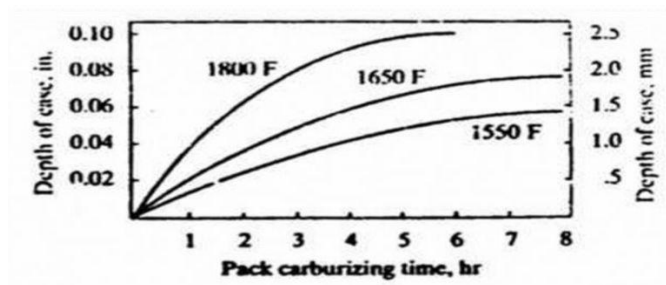
pemanasan berlangsung. Pada sistem *pack carburizing*, baja (benda kerja) dimasukkan di sekitar serbuk arang tempurung kelapa yang di mana saat pemanasan mengeluarkan gas CO_2 dan CO . Saat proses berlangsung yang terjadi pada logam baja, gas karbon monoksida akan terdegradasi masuk ke dalam permukaan logam yang mengakibatkan sifat luar dari logam lebih keras.



Gambar 2.2 Proses *Pack Carburizing*

(Sumber : Budinski, 1999)

Kedalaman difusi dan kekerasan yang dihasilkan pada proses *carburizing* tidak ada batasan secara teknik, tapi dari pengamatan praktis umumnya kedalaman *carburizing* sekitar 0,05 in atau 1,27 mm.



Gambar 2.3 Pengaruh Pada Kedalaman Difusi Atom

(Sumber : Budinski, 1999)

Pada penelitian ini, proses *pack carburizing* dilakukan dengan holding time selama 2 jam dan suhu 850°C . Pada proses *pack carburizing*, *holding time* atau waktu penahanan pada temperatur tinggi berpengaruh langsung terhadap

kedalaman difusi karbon pada baja. Hubungan antara waktu penahanan dan kedalaman difusi mengikuti hukum Fick, yaitu kedalaman lapisan karbon bertambah sebanding dengan akar kuadrat waktu. Karena hubungan ini tidak bersifat linier, peningkatan waktu dari 1 jam menjadi 2 jam memberikan efek yang lebih signifikan dibandingkan penambahan waktu dari 2 jam ke 3 jam. Fenomena ini juga ditemukan pada penelitian proses *carburizing* menggunakan arang tempurung kelapa yang membuktikan bahwa laju peningkatan kedalaman difusi menurun seiring penambahan waktu penahanan (Wibowo & Soemowidagdo, 2011)

Pada suhu pemanasan 850°C dengan *holding time* 2 jam, baja AISI 1020 umumnya telah mencapai kondisi *austenite* penuh sehingga karbon dari media arang tempurung kelapa dapat berdifusi dengan optimal. Pada durasi 2 jam tersebut, konsentrasi karbon pada permukaan baja telah relatif stabil sehingga lapisan *austenite* kaya karbon terbentuk sebelum proses pendinginan cepat. Setelah dilakukan *quenching*, lapisan ini akan berubah menjadi *martensite* sehingga meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus. Penelitian mengenai karburisasi baja AISI 1020 menunjukkan bahwa waktu 2 jam memberikan keseimbangan antara kedalaman difusi yang cukup dan mikrostruktur yang tetap stabil tanpa terjadi pertumbuhan butir berlebih (Santoso dkk., 2024)

Jika dibandingkan dengan waktu penahanan yang lebih singkat seperti 1 jam, *holding time* 2 jam memberikan hasil yang lebih optimal karena karbon memiliki waktu yang lebih lama untuk berdifusi masuk ke dalam kisi *austenite*, sehingga kedalaman lapisannya lebih tebal. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan waktu penahanan yang lebih panjang, misalnya 3 hingga 4 jam, kenaikan kedalaman yang diperoleh tidak sebesar kenaikan pada rentang awal. Selain itu, durasi yang terlalu lama berpotensi menyebabkan pertumbuhan butir *austenite* yang dapat menurunkan kekerasan dan ketangguhan setelah proses *quenching*. Beberapa jurnal Indonesia mengenai *pack carburizing* menggunakan arang tempurung kelapa juga mencatat adanya kecenderungan

peningkatan risiko *grain growth* ketika waktu penahanan diperpanjang secara berlebihan (Joni, 2021).

2.4 Arang Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa adalah sumber limbah biomassa yang sangat ideal untuk produksi arang, karena kandungan karbonnya tinggi dan struktur permukaan yang mendukung proses termal. Menurut penelitian (Afrianah dkk., 2023), arang tempurung kelapa memiliki nilai kalor sekitar 19,4 MJ/kg, kadar air rendah ($\sim 5,6\%$), serta abu sedikit ($\sim 1,8\%$), menciptakan karakteristik yang stabil dan bebas kontaminan untuk aplikasi karbonisasi. Morfologi arang ini juga menunjukkan pori-pori makro alami yang menunjang difusi karbon saat digunakan untuk *pack carburizing*.

Arang tempurung kelapa merupakan salah satu media karbon padat alami yang banyak digunakan dalam proses *pack carburizing* karena memiliki kandungan karbon tetap yang tinggi serta reaktivitas karbon yang baik. Kandungan karbon tetap pada arang tempurung kelapa yaitu sebesar 74,3% (Rahayu, 2021). Dalam konteks perlakuan panas baja, seperti baja AISI 1020 yang termasuk baja karbon rendah, pemanfaatan arang tempurung kelapa sebagai media karbon sangat potensial karena mampu menyediakan atom karbon yang dibutuhkan untuk proses difusi ke permukaan baja pada suhu austenisasi. Karakteristik lain dari arang ini yaitu kandungan abu yang rendah dan sifat porositas yang baik, sehingga mampu menghasilkan karbon aktif yang efektif saat dipanaskan dalam *furnace*.



Gambar 2.4 Arang Tempurung Kelapa

(Sumber : Budi dkk., 2012)

Dalam proses *pack carburizing*, arang tempurung kelapa berfungsi sebagai sumber atom karbon yang akan terdifusi ke permukaan baja selama proses pemanasan pada suhu austenisasi yaitu 850-950°C. Pemanasan ini menyebabkan arang melepaskan gas CO dan CO₂ yang selanjutnya akan mengurai menjadi atom karbon bebas, yang kemudian terdifusi ke permukaan baja dan membentuk senyawa *cementite* atau memperkaya lapisan permukaan dengan karbon. Penambahan *energizer* seperti BaCO₃ atau CaCO₃ pada arang tempurung kelapa juga dapat mempercepat pembentukan gas karbon aktif yang dibutuhkan dalam proses ini (Nugraha dkk., 2018).

Untuk meningkatkan performa arang, langkah lanjutan berupa aktivasi yang menghasilkan karbon aktif. Proses aktivasi arang tempurung kelapa bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dan porositas, sehingga arang menjadi lebih reaktif terhadap proses difusi karbon. Aktivasi dapat dilakukan secara fisik (menggunakan uap atau gas CO₂) maupun kimia (menggunakan bahan kimia seperti KOH, NaOH, ZnCl₂, atau H₃PO₄). Karbon aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa memiliki luas permukaan yang sangat besar. Pada penelitian oleh (Yasdi dkk., 2021), aktivasi dengan KOH menghasilkan luas permukaan hingga 1.178 m²/g. Aktivasi dengan H₃PO₄ juga menunjukkan hasil yang menjanjikan, dengan luas permukaan mencapai 435-508 m²/g dan volume pori yang signifikan. Penelitian lainnya oleh (Afiah Anuwar dkk., 2020) menjelaskan bahwa luas permukaan karbon aktif dari tempurung kelapa mencapai 2.158 m²/g dengan kondisi aktivasi optimal menggunakan KOH.

Perbedaan struktur antara arang biasa dan karbon aktif dapat dilihat secara visual melalui citra *Scanning Electron Microscope* (SEM). Arang biasa menunjukkan permukaan padat dan tidak berpori, sementara karbon aktif hasil aktivasi memperlihatkan struktur berpori yang kompleks, menyerupai tekstur sarang lebah (*honeycomb*). Struktur ini menciptakan banyak jalur mikro untuk atom karbon berdifusi ke permukaan logam. Hasil penelitian (Das dkk., 2015) menunjukkan bahwa karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki dominasi

mikropori, dengan radius pori rata-rata 0,90 nm dan volume pori sebesar 0,372 cm³/g.

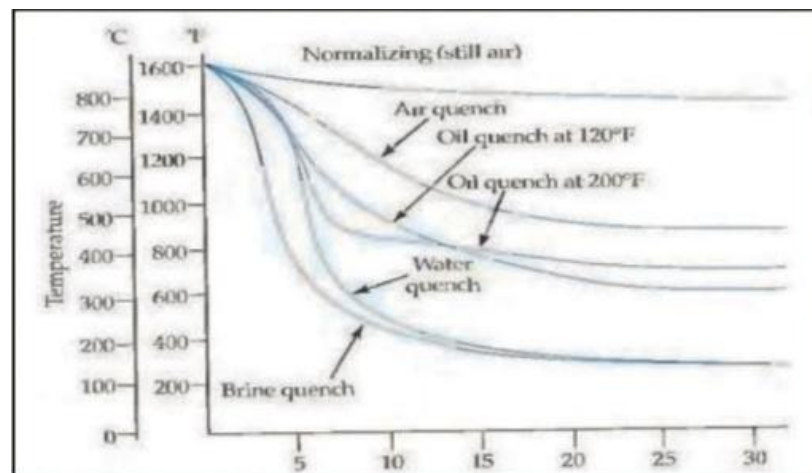
Efektivitas penggunaan karbon aktif dalam proses *pack carburizing* tercermin pada hasil akhir dari perlakuan baja. Penelitian (Hendri Chandra, 2013) menunjukkan bahwa ketika baja karbon rendah AISI 1020 diproses dengan media arang biasa, ketebalan lapisan karbon hanya sekitar 0,32 mm dan kekerasannya 178 HV. Namun, ketika menggunakan karbon aktif, ketebalan lapisan meningkat hingga 0,6 mm dan kekerasannya mencapai lebih dari 400 HV. Ini membuktikan bahwa karbon aktif dari tempurung kelapa dapat secara signifikan meningkatkan sifat mekanik dan struktur mikro pada baja melalui peningkatan daya difusi karbon yang lebih baik.

2.5 Quenching

Proses *quenching* adalah proses heat transfer (perpindahan panas) dengan laju yang sangatlah cepat. Pada perlakuan *quenching* akan terjadi percepatan pendinginan yang terdiri dari temperatur diakhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *bainite* dan *martensite* untuk dapat menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Pengerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di *quenching* hampir sepenuhnya dan akan ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Media *quenching* meliputi air, air garam, oli, air *polymer*, dan beberapa kasus digunakan *inert gas* (Nasution & Nasution, 2020).

Laju pendinginan adalah kecepatan penurunan temperatur material selama proses pendinginan dari suhu austenitisasi. Laju pendinginan sangat dipengaruhi oleh jenis media pendingin, temperatur media, dan kondisi permukaan spesimen. Media air memiliki laju pendinginan yang lebih tinggi dibandingkan minyak atau pendinginan udara, sehingga lebih efektif dalam membentuk *martensite*. Pembentukan *martensite* terjadi apabila laju

pendinginan cukup cepat untuk menghindari daerah transformasi *ferrite* dan *pearlite*. Semakin tinggi laju pendinginan, semakin besar fraksi *martensite* yang terbentuk, yang secara langsung meningkatkan nilai kekerasan. Namun, laju pendinginan yang terlalu tinggi juga dapat meningkatkan risiko distorsi dan retak pada material.



Gambar 2.5 Laju Pendinginan Media Pendingin

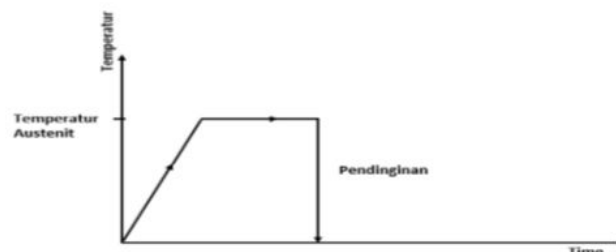
(Sumber : Doloksaribu & Afrilinda, 2014)

Proses *quenching* dapat dilakukan dengan tiga cara, tiga cara tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pendinginan Langsung (*Direct Quenching*)

Pendinginan secara langsung dari media *carburizing* yang menimbulkan efek yang kemungkinan adanya pengelupasan pada benda kerja. Pada pendinginan langsung ini diperoleh permukaan benda kerja yang getas.

Grafik pendinginan langsung dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



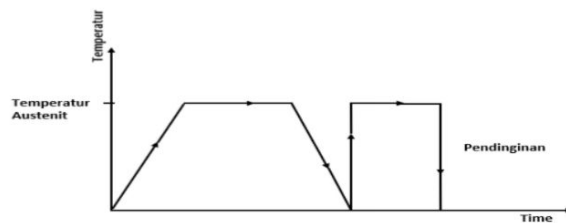
Gambar 2.6 Grafik Pendinginan Langsung

(Sumber : Pieter Th. Berhиту, 2014)

Untuk mencapai struktur material maka austenit yang terjadi harus dengan didinginkan cukup cepat, setidaknya dapat mencapai laju pendinginan kritis dari baja yang bersangkutan. Untuk ini baja harus didinginkan dengan media pendingin tertentu yang umumnya ditentukan oleh jenis baja atau paduannya (Pieter Th. Berhиту, 2014).

2. Pendinginan Tunggal (*Single Quenching*)

Single quenching merupakan pendinginan benda kerja setelah benda kerja tersebut di *carburizing* dan telah didinginkan pada suhu ruang.



Gambar 2.7 Pendinginan Tunggal (*Single Quenching*)

(Sumber : Budinski, 1999)

3. *Double Quenching*

Double quenching adalah proses pendinginan atau pengerasan pada benda kerja atau spesimen yang telah dikarbursasi dan didinginkan pada temperatur suhu ruang kemudian dipanaskan lagi di luar kotak karbon pada temperatur suhu ruang lalu dipanaskan (Budinski, 1999).

2.6 Kekerasan

Kekerasan merupakan salah satu bentuk sifat mekanik dari suatu pengujian material, dan didefinisikan sebagai ketahanan sebuah material (benda kerja) terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang akan lebih keras (penetrator). Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang sebagian besar dipengaruhi oleh unsur-unsur paduan dan kekerasan dari suatu bahan tersebut dapat berubah bila dikerjakan dengan *cold worked* seperti pengerolan,

penarikan, pemakanan serta kekerasan yang dapat dicapai sesuai kebutuhan dengan perlakuan panas. Kekerasan suatu bahan (baja) dapat diketahui dengan pengujian kekerasan memakai mesin uji kekerasan (*hardness testers*) menggunakan tiga metode umum yang dilakukan (Nasution & Nasution, 2020).

2.6.1 Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*

Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan bola baja (indikator) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (spesimen). Metode uji kekerasan yang di ajukan oleh J.A Brinell pada tahun 1900an ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali yang banyak digunakan dan disusun pembakuannya. Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam menggunakan indentor. Indentor untuk *Brinell* berbentuk bola dengan diameter 10 mm, diameter 5 mm, diameter 2,5 mm, dan diameter 1 mm dan merupakan diameter bola standar internasional. Bola *Brinell* yang standar internasional tersebut ada 2 bahan pembuatannya. Ada yang terbuat dari baja yang dikeraskan atau dilapis dengan chrome, dan ada juga yang terbuat dari *tungsten carbide*. *Tungsten carbide* lebih keras dari baja, jadi *tungsten carbide* biasanya dipakai untuk pengujian benda yang keras yang dikhawatirkan akan merusak bola baja. Rumus perhitungan metode *Brinell* adalah sebagai berikut :

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

Dimana :

BHN = *Brinell Hardness Numbers*

P = Beban yang diterapkan (kg)

D = Diameter Bola (mm)

d = Diameter Lekukan (mm)

2.6.2 Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* menggunakan indentor berupa bola baja yang dikeraskan atau dapat juga menggunakan indentor berupa kerucut intan. Beban atau gaya yang digunakan untuk dapat melakukan penekan adalah bervariasi tergantung pada logam yang diuji. Nilai kekerasannya didasarkan pada kedalaman indentasi yang terjadi. Rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kekerasan dengan metode *Rockwell* adalah sebagai berikut :

$$HR = E - e \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

F_0 = Beban Minor (*Minor Load*) (kgf)

F_1 = Beban Mayor (*Major Load*) (kgf)

F = Total Beban (kgf)

E = Jarak antara indentor saat diberi *minor load* dan *zero reference line* yang untuk tiap jenis indentor berbeda-beda.

e = Jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 yang dibagi dengan 0,002 mm

HR = Besarnya nilai kekerasan dengan metode *hardness*.

2.6.3 Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*

Prinsip pengujian kekerasan metode *Vickers* mirip dengan metode *Brinell*. Sudut indentor piramida berlian pengujian *Vickers* adalah 136°. Jejak dan indentasi yang dihasilkan oleh indentor *Vickers* lebih jelas, daripada jejak indentor dari pengujian metode *Brinell*. Sehingga metode ini memiliki akurasi yang sangat lebih baik. Karena kelebihan ini, maka metode *Vickers* lebih dari banyak digunakan dalam dunia penelitian dan pendidikan. Aplikasi dari metode ini sangat luas, mulai untuk logam yang memiliki nilai *Vickers* rendah 5 HV pada logam yang lunak, sampai logam dengan nilai *Vickers* tinggi sekitar 1500 HV pada logam yang sangat keras. Beban yang telah digunakan sangat bervariasi mulai dari 1 kgf sampai 120 kgf, untuk uji kekerasan makro, dan 15 - 1000 gram untuk uji kekerasan makro. Waktu dengan

jangka waktu yang digunakan untuk pembebanan indentasi biasanya adalah selama kurang lebih 30 detik. Rumus perhitungan metode *Vickers* adalah sebagai berikut :

$$VHN = 1,854 \frac{P}{d^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

VHN = *Vickers Hardness Numbers*

P = Beban yang diterapkan (kgf)

d = Panjang diagonal jejak indentasi

2.7 Struktur Mikro

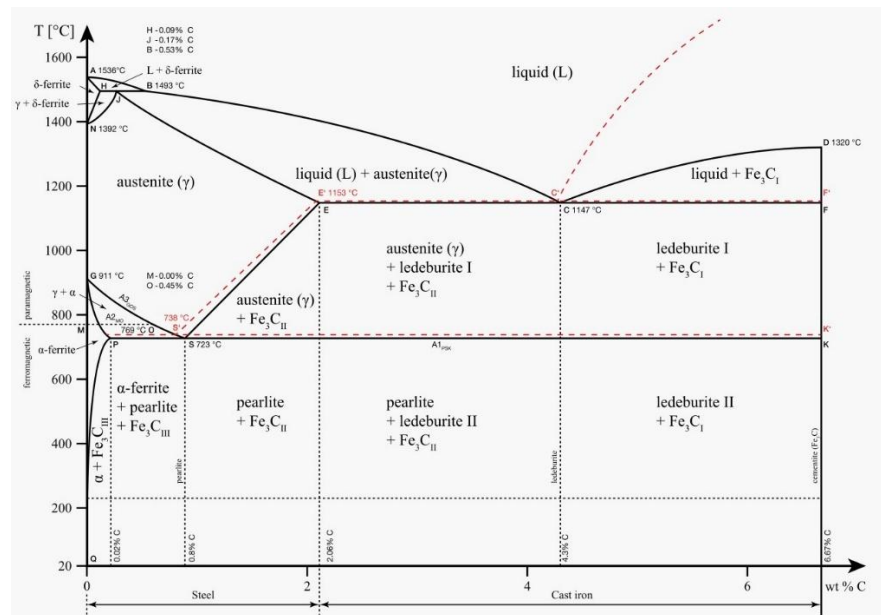
Struktur mikro adalah susunan internal suatu material yang terdiri dari fasa-fasa, batas butir, dan cacat kristal yang hanya dapat diamati dengan mikroskop optik atau mikroskop elektron. Elemen-elemen ini membentuk pola dan konfigurasi khas dalam material yang berbeda, tergantung pada proses pembuatannya, perlakuan panas, serta komposisi kimia. Pengamatan terhadap struktur mikro biasanya dilakukan untuk menilai kualitas hasil proses manufaktur atau perlakuan termal tertentu. Struktur mikro sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mekanik material seperti kekuatan tarik, kekerasan, ketangguhan, dan keuletan. Misalnya, baja yang memiliki struktur mikro dominan *ferrite* akan cenderung lebih lunak dan ulet, sedangkan struktur perlit atau *martensite* akan meningkatkan kekerasan namun menurunkan keuletannya. Dengan demikian, pemilihan struktur mikro sangat penting dalam mendesain material yang sesuai untuk aplikasi tertentu, terutama dalam industri teknik mesin dan manufaktur.

Pada baja AISI 1020 sebelum perlakuan *pack carburizing*, struktur mikronya umumnya terdiri dari fasa *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* memiliki struktur kristal kubus berpusat badan (BCC) yang lunak dan ulet, sementara *pearlite* adalah campuran lamelar *ferrite* dan *cementite* yang memberikan kekuatan tambahan. Kombinasi ini menghasilkan baja dengan kekuatan sedang dan keuletan yang

baik, namun dengan kekerasan permukaan yang relatif rendah, sehingga kurang ideal untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan aus tinggi (Rahmadhani, 2022).

Proses *pack carburizing* melibatkan difusi atom karbon ke dalam permukaan baja pada suhu austenitisasi, sekitar 900°C. Hal ini menyebabkan terbentuknya lapisan kaya karbon di permukaan baja. Setelah pendinginan cepat (*quenching*), struktur mikro pada lapisan permukaan berubah menjadi *martensite*, struktur yang sangat keras dan rapuh, sementara bagian inti tetap berupa *ferrite* dan *pearlite*. Ketebalan lapisan *martensite* ini bergantung pada parameter proses seperti suhu, waktu tahan, dan jenis media karbon yang digunakan.

Struktur mikro memiliki hubungan yang erat dengan sifat mekanis baja. Terdapat variasi dalam sifat-sifat mekanis, terutama disebabkan oleh kandungan karbon dalam baja. Perbedaan ini tidak hanya dipengaruhi oleh kadar karbon, tetapi juga oleh cara ikatan yang terbentuk dengan besi, yang dapat mempengaruhi sifat baja. Baja yang didinginkan secara perlahan hingga suhu ruangan dapat dibedakan menjadi tiga bentuk utama struktur mikro, yaitu *ferrite*, *cementite*, dan *pearlite*. Gambar 2.7 merupakan *iron phase diagram* yang menunjukkan perubahan struktur penyusun suatu baja jika dilakukan *heat treatment*. Struktur penyusun yang terdapat pada baja (tergantung kadar C) adalah sebagai berikut.



Gambar 2.8 Diagram *Iron Phase*

(Sumber : Introduction to physical metallurgy, 2008)

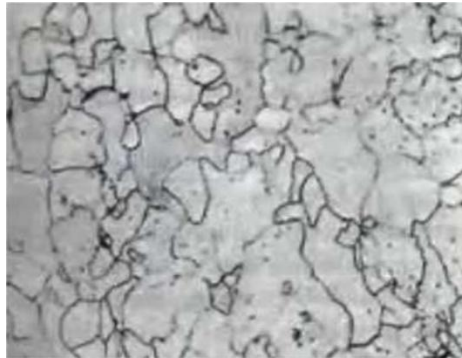
2.7.1 *Ferrite*

Ferrite merupakan salah satu bentuk struktur mikro dalam baja dan besi, yang merupakan fase padat dari besi murni (Fe) dengan struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC). *Ferrite* bersifat feromagnetik pada suhu kamar dan memiliki kandungan karbon yang sangat rendah, yaitu maksimum sekitar 0,02% pada suhu 723°C. Fasa ferrite umumnya terbentuk saat baja didinginkan perlahan dari fasa *austenite*. *Ferrite* memiliki kekerasan dan kekuatan yang rendah, tetapi daktilitas dan keuletannya tinggi, sehingga mudah dibentuk dan dikerjakan. Sifat ini menjadikan *ferrite* sebagai komponen utama dalam baja lunak (*mild steel*) yang digunakan luas dalam industri konstruksi dan manufaktur.

Dalam diagram fasa Fe-C, *ferrite* biasanya muncul pada temperatur 912°C, dan dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu :

1. Alpha *ferrite* (α -*ferrite*) : stabil pada suhu di bawah 912°C.
2. Delta *ferrite* (δ -*ferrite*) : stabil pada suhu tinggi antara 1394°C hingga 1538°C.

Ferrite sering ditemukan berdampingan dengan *pearlite* atau *bainite*, tergantung pada proses pendinginan dan perlakuan panas yang diterapkan pada baja.



Gambar 2.9 *Ferrite*

(Sumber : Wibowo dkk., 2016)

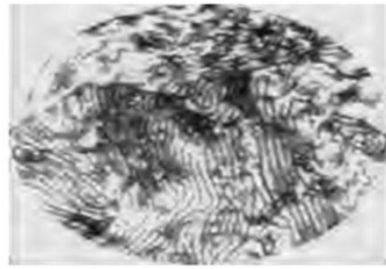
2.7.2 *Pearlite*

Pearlite adalah struktur mikro pada baja yang terbentuk dari transformasi eutektik *austenite* menjadi campuran *ferrite* dan *cementite* (Fe_3C) sekitar 727°C . Struktur *pearlite* memiliki bentuk khas berupa lapisan-lapisan tipis (lamelar) antara *ferrite* (lunak) dan *cementite* (keras), yang tersusun secara bergantian.

Pearlite terbentuk terutama pada baja dengan kadar karbon sekitar 0,76%, dan memiliki sifat mekanik yang seimbang yaitu :

1. Kekuatan sedang hingga tinggi, tergantung pada jarak antar lamela.
2. Keuletan yang baik, terutama dibandingkan struktur yang lebih keras seperti *martensite*.

Struktur lamelar ini meningkatkan ketahanan aus dan kekuatan tarik baja tanpa mengorbankan keuletan secara signifikan. Kecepatan pendinginan memengaruhi halus-kasarnya lapisan *pearlite*, semakin cepat pendinginan, semakin halus dan keras *pearlite* yang terbentuk.



Pearlite.
 Ferrite = Light Areas
 Cementite = Dark Areas

Gambar 2.10 *Pearlite*

(Sumber : Wibowo dkk., 2016)

2.7.3 *Bainite*

Bainite adalah struktur mikro pada baja yang terbentuk dari transformasi *austenite* saat didinginkan pada kisaran suhu menengah, yaitu antara suhu pembentukan *pearlite* dan *martensite* (sekitar 250°C hingga 550°C, tergantung komposisi baja). *Bainite* terbentuk melalui transformasi *isothermal* (pada suhu tetap), dan memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik, yakni kekuatan tinggi dan keuletan sedang. Struktur bainite terdiri dari *ferrite* halus yang mengandung partikel-partikel *cementite* (Fe_3C) yang tersebar secara acak. Berdasarkan suhu pembentukannya, *bainite* dibagi menjadi dua jenis yaitu :

1. *Upper bainite* : terbentuk pada suhu lebih tinggi, memiliki struktur yang agak kasar.
2. *Lower bainite* : terbentuk pada suhu lebih rendah, strukturnya lebih halus dan lebih keras.

Bainite umumnya lebih keras dari *pearlite*, tetapi tidak sekeras *martensite*. Karena memiliki struktur halus dan kekuatan tinggi, *bainite* sering digunakan dalam aplikasi teknik yang membutuhkan ketahanan aus dan kekuatan tarik tinggi, tanpa getas seperti *martensite*.



Gambar 2.11 *Bainite*

(Sumber : Wibowo dkk., 2016)

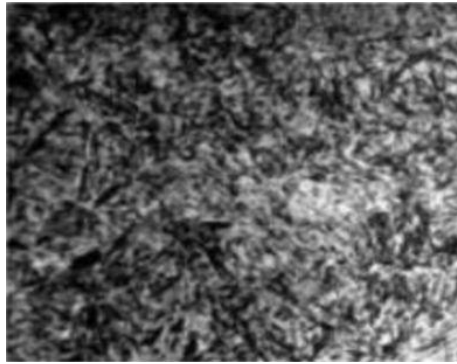
2.7.4 *Martensite*

Martensite adalah struktur mikro yang terbentuk dari transformasi cepat (*quenching*) austenite pada baja. Transformasi ini terjadi tanpa difusi, disebut transformasi displasif, sehingga menghasilkan perubahan bentuk kristal dari *Face Centered Cubic* (FCC) (*austenite*) menjadi *Body Centered Tetragonal* (BCT). *Martensite* terbentuk saat baja didinginkan sangat cepat melewati suhu kritis, sehingga atom karbon terjebak di dalam kisi kristal besi. Hal ini menyebabkan tegangan internal yang tinggi, menjadikan *martensite* sangat keras dan kuat, namun juga sangat getas.

Karakteristik utama *martensite* :

1. Kekerasan sangat tinggi (bisa mencapai >60 HRC).
2. Kerapuhan tinggi, sehingga mudah retak jika tidak diolah lanjut.
3. Tidak memerlukan waktu, hanya tergantung suhu, prosesnya instan saat suhu turun di bawah titik *Ms* (*Martensite start*) dan selesai di *Mf* (*Martensite Finish*).

Untuk meningkatkan keuletannya, *martensite* biasanya diolah lanjut melalui proses *tempering* guna mengurangi kerapuhan tanpa menghilangkan kekuatan secara drastis.



Gambar 2.12 *Martensite*

(Sumber : Wibowo dkk., 2016)

2.7.5 *Cementite*

Cementite adalah senyawa intermetalik antara besi dan karbon dengan rumus kimia Fe_3C . *Cementite* mengandung 6,67% karbon secara teoritis dan merupakan fase keras dan rapuh yang sering ditemukan dalam struktur mikro baja dan besi tuang.

Dalam mikrostruktur baja, *cementite* tidak berdiri sendiri, tetapi biasanya muncul sebagai bagian dari struktur campuran, seperti :

1. *Pearlite* (campuran *ferrite* dan *cementite* berlapis)
2. *Bainite* (*ferrite* dengan partikel *cementite* tersebar)
3. Lapisan *cementite* bebas pada baja karbon tinggi.

Cementite memiliki kekerasan tinggi, tetapi sangat getas, sehingga keberadaannya dalam jumlah banyak akan menurunkan keuletan material. Namun, dalam jumlah terkendali, *cementite* membantu meningkatkan kekuatan dan ketahanan aus baja. *Cementite* terbentuk selama proses pendinginan dari *austenite*, terutama pada baja dengan kadar karbon tinggi dan *cementite* merupakan salah satu komponen penting dalam diagram fasa Fe-C.



Gambar 2.13 *Cementite*
(Sumber : Wibowo dkk., 2016)

2.8 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)

Diagram *Continuous Cooling Transformation (CCT)* merupakan diagram yang menunjukkan perubahan fasa yang terjadi pada baja ketika didinginkan secara kontinu dari kondisi austenit. Diagram ini menggambarkan hubungan antara temperatur, waktu pendinginan, dan produk transformasi fasa yang terbentuk selama pendinginan non-isothermal. Berbeda dengan diagram *Time-Temperature-Transformation (TTT)* yang menggambarkan transformasi pada temperatur konstan, diagram CCT lebih merepresentasikan kondisi nyata dalam proses industri seperti *normalizing*, *quenching*, dan pendinginan udara karena pendinginan berlangsung secara terus-menerus. Oleh karena itu, diagram CCT menjadi alat penting dalam rekayasa material untuk memprediksi struktur mikro dan sifat mekanik baja setelah perlakuan panas.

Diagram CCT umumnya memiliki sumbu vertikal berupa temperatur dan sumbu horizontal berupa waktu dalam skala logaritmik. Kurva pada diagram menunjukkan batas awal dan akhir transformasi fasa seperti *ferrite*, *pearlite*, *bainite*, dan *martensite*. Ketika baja didinginkan secara lambat, *austenite* akan mengalami transformasi difusional menjadi *ferrite* dan *pearlite* karena atom karbon masih memiliki cukup waktu untuk berdifusi. Pendinginan dengan laju sedang memungkinkan terbentuknya *bainite*, yaitu struktur mikro yang memiliki kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang baik. Sebaliknya,

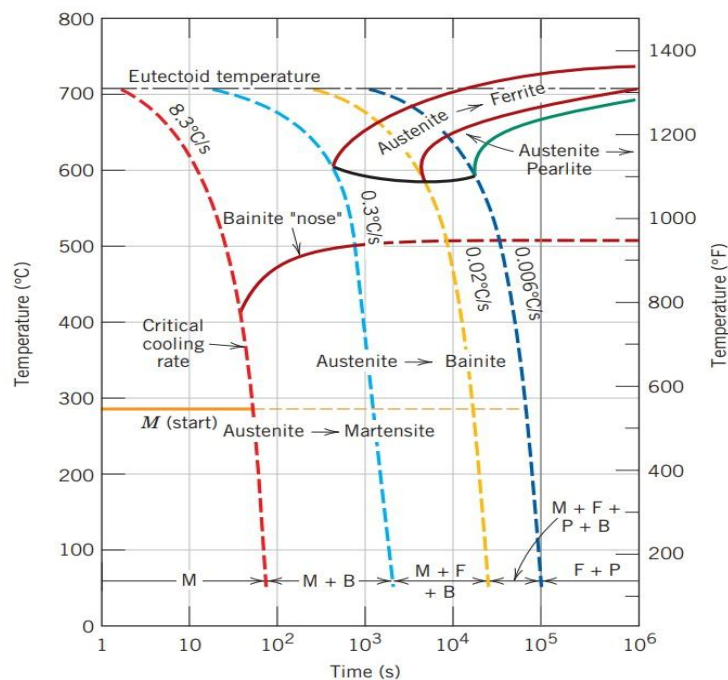
pendinginan cepat (*quenching*) menghambat difusi karbon sehingga *austenite* berubah menjadi *martensite*, yaitu larutan padat karbon dalam besi yang bersifat sangat keras namun getas. Menurut (Bhadeshia & Honeycombe, 2017), *martensite* terbentuk ketika pendinginan melewati suhu *martensite* start (M_s) tanpa didahului transformasi difusional.

Bentuk dan posisi kurva transformasi pada diagram CCT dipengaruhi oleh komposisi kimia baja, ukuran butir *austenite*, serta kandungan unsur paduan. Unsur paduan seperti kromium (Cr), nikel (Ni), dan molibdenum (Mo) dapat menggeser kurva transformasi ke arah kanan (meningkatkan *hardenability*), sehingga pembentukan *martensite* dapat terjadi pada laju pendinginan yang lebih lambat. Hal ini sangat penting dalam pengerasan komponen dengan penampang tebal karena memungkinkan transformasi *martensite* terbentuk hingga bagian dalam material. Penelitian oleh (Bhadeshia & Honeycombe, 2017) menjelaskan bahwa unsur paduan memperlambat difusi karbon dan meningkatkan stabilitas *austenite* sehingga meningkatkan kemampuan pengerasan baja.

Dalam baja karbon rendah seperti AISI 1020, struktur mikro awal umumnya terdiri dari *ferrite* dan *pearlite* karena kandungan karbonnya sekitar 0,20%. Namun, pada proses perlakuan permukaan seperti *pack carburizing*, kadar karbon pada lapisan permukaan meningkat sehingga kurva transformasi bergeser dan memungkinkan terbentuknya *martensite* setelah pendinginan cepat. Akibatnya, lapisan permukaan menjadi sangat keras, sedangkan bagian inti tetap ulet dengan struktur *ferrite-pearlite*. Kondisi ini menghasilkan gradien kekerasan yang menguntungkan karena meningkatkan ketahanan aus permukaan sekaligus mempertahankan ketangguhan inti. Selain itu, diagram CCT digunakan untuk menentukan *critical cooling rate*, yaitu laju pendinginan minimum yang diperlukan untuk menghasilkan *martensite*. Jika pendinginan lebih lambat dari laju kritis tersebut, struktur *bainite* atau *pearlite* akan terbentuk sehingga kekerasan menurun. Pemahaman terhadap laju pendinginan

kritis sangat penting untuk mengontrol sifat mekanik dan menghindari distorsi atau retak akibat tegangan termal selama proses *quenching*.

Selain digunakan untuk memprediksi struktur mikro hasil perlakuan panas, diagram CCT juga berperan penting dalam mengoptimalkan parameter proses industri guna mengontrol sifat mekanik dan stabilitas dimensi komponen baja. Melalui analisis jalur pendinginan pada diagram CCT, insinyur material dapat menentukan media pendingin yang tepat (air, oli, atau udara), meminimalkan risiko retak akibat tegangan termal, serta mengurangi distorsi geometris setelah *quenching*. Diagram ini juga mendukung perancangan proses heat treatment bertahap seperti *austempering* dan *martempering* untuk memperoleh kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik dibandingkan *quenching* konvensional. Penelitian yang dipublikasikan dalam (Bhadeshia & Honeycombe, 2017) melaporkan bahwa pengendalian laju pendinginan berdasarkan diagram CCT dapat meningkatkan ketahanan aus dan umur lelah komponen baja karena terbentuknya mikrostruktur yang lebih seragam serta berkurangnya tegangan sisa.



Gambar 2.14 Diagram CCT (*Continuous Cooling Temperature*)

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

2.9 Difusi

Difusi merupakan mekanisme perpindahan atom dari daerah berkonsentrasi rendah akibat adanya perbedaan energi dan gradien konsentrasi. Pada proses *pack carburizing*, difusi menjadi tahapan kunci yang menentukan keberhasilan penambahan karbon ke dalam permukaan baja AISI 1020. Proses ini terjadi setelah karbon dari media arang tempurung kelapa terdekomposisi dan menghasilkan atom karbon aktif pada temperatur tinggi. Pada waktu terjadi kenaikan suhu, atom akan bergetar lebih agresif. Getaran menyebabkan perpindahan atom atau fraksi atom yang menyebabkan perubahan posisi fraksi atom pada kisi-kisinya.

Pergerakan atom tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur, tetapi juga dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar atom pada posisinya. Energi aktivasi adalah energi yang diperlukan atom untuk mengubah posisinya. Energi aktivasi juga dapat diartikan energi yang diperlukan untuk melepas ikatan antar atom, sehingga atom bisa berpindah. Jika berpindahnya menuju materi lain maka disebut difusi. Jadi syarat terjadinya difusi adalah gerakan atom yang disebabkan kenaikan suhu, perbedaan ukuran atom, dan perbedaan konsentrasi. Atom karbon bisa mengalami difusi masuk ke dalam celah antar atom besi, karena ukuran atau jari-jari atom karbon lebih kecil dibandingkan ukuran atau jari-jari atom besi. Untuk berdifusi, atom karbon memerlukan energi aktivasi sekitar 34.000 Kal/mol (Vlack, 2004). Arah dari atom yang mengalami difusi sebetulnya tidak beraturan, tetapi secara keseluruhan arahnya beraturan ditandai meningkatnya entropi. Difusi bisa terjadi pada fasa padat, cair, dan gas. Pada fasa cair dan gas lebih mudah terjadi daripada fasa padat, meskipun difusi fasa cair dan gas memerlukan waktu yang lebih lama. Pada kristal, cacat kristal *vacancy* berupa kekosongan posisi atom memberikan atom lain untuk berdifusi. Atom lain menyusup menempati posisi interstisial, dengan syarat ukuran jari-jari atom asing tersebut lebih kecil daripada atom tujuan difusi. Faktor penyebab lain terjadinya difusi perbedaan konsentrasi, sesuai analogi segerakan muatan listrik yang menyebabkan arus listrik.

Dalam material logam, mekanisme difusi dapat terjadi melalui dua cara utama, yaitu difusi interstisial dan difusi substitusional. Difusi interstisial terjadi ketika atom berukuran kecil, seperti karbon, nitrogen, atau hidrogen, bergerak melalui ruang antar kisi kristal logam induk. Mekanisme ini umumnya berlangsung lebih cepat dibandingkan difusi substitusional karena tidak memerlukan pertukaran posisi dengan atom lain. Sebaliknya, difusi substitusional terjadi ketika atom pengganti berpindah dengan cara bertukar tempat dengan atom lain dalam kisi kristal, yang memerlukan energi aktivasi lebih besar.

Fenomena difusi secara teoritis dijelaskan melalui hukum Fick, yang dikemukakan oleh Adolf Fick. Hukum Fick digunakan untuk menggambarkan hubungan antara fluks difusi, gradien konsentrasi, dan waktu. Hukum Fick I berlaku pada kondisi tunak (*steady state*), yaitu ketika gradien konsentrasi tidak berubah terhadap waktu. Namun, pada sebagian besar proses metalurgi, termasuk *carburizing*, kondisi yang terjadi adalah difusi tidak tunak (*non-steady state*), sehingga perubahan konsentrasi unsur di dalam material berlangsung seiring berjalan waktu. Oleh karena itu, analisis difusi proses ini lebih tepat menggunakan Hukum Fick II.

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 :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

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 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat pelaksanaan penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut :

3.2.1 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada bulan Mei s.d. Desember 2025. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan, dan pengamatan struktur mikro.

3.2.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat, yaitu sebagai berikut :

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

3.2 Alat dan Bahan

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

1. Baja AISI 1020

Sebagai spesimen yang digunakan dalam pengujian.



Gambar 3.1 Baja AISI 1020

2. Arang Tempurung Kelapa

Sebagai sumber karbon aktif pada proses *pack carburizing*.



Gambar 3.2 Arang Tempurung Kelapa

3. *Furnace*

Mesin *furnace* sebagai alat untuk proses pemanasan (peleburan).



Gambar 3.3 *Furnace*

Tabel 3.1 Spesifikasi *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 Inches	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

4. *Polisher/ampelas*

Untuk pembersih dari kerak yang menempel pada spesimen baja AISI 1020.



Gambar 3.4 Ampelas

5. Alat uji kekerasan (*micro Vickers*)

Sebagai alat uji yang digunakan untuk mengukur kekerasan baja.



Gambar 3.5 Alat uji kekerasan (*micro Vickers*)

Tabel 3.2 Spesifikasi Alat Micro Vickers

Model	HV-1000A
Kekuatan Uji	0,098 N (10gf), 0,245 N (25 gf), 0,49 N (50 gf), 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)
Metode Aplikasi Gaya	Bongkar muat otomatis
Amplifikasi mikroskop	400x (untuk pengukuran), 100x (untuk observasi)
Tinggal waktu uji kekuatan	0 – 60 detik
Nilai kelulusan min	0,25 μ m / grid
Tinggi maksimal spesimen	70 mm
Berat	25 kg
Sumber daya	AC220 V / 50 – 60 Hz
Ukuran (L x W x H)	(415 x 295 x 503) mm

6. Alat uji komposisi kimia

Sebagai alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur kimia pada material logam.

Gambar 3.6 *Optical Emission Spectroscope*

Tabel 3.3 Spesifikasi Alat OES

Model	Q4 TASMAN 200 λ : 200-620nm Q4 TASMAN 170 λ : 170-620nm Q4 TASMAN 130 λ : 130-620nm
Sistem Optik	Optik multi detektor Pemasangan Paschen-Runge yang kokoh Teknologi Clear Spectrum Sensitivitas Spektral sangat tinggi
Sumber Generator	Bebas Perawatan, generator PWM dua fasa Frekuensi 50-1000 Hz Waktu Pelepasan 10 μ hingga 2 ms.
Paket Solusi Analitik	Tersedia untuk semua matriks umum Mencakup seluruh unsur paduan yang relevan Kalibrasi untuk semua kelompok mutu/paduan
Data Kelistrikan	Tegangan 100-240 V (50/60 Hz) Daya 600 W saat pengukuran, 50 W saat siaga Fuse pelindung arus lambat 16 A (240 V) atau fuse pelindung arus lambat 25 A (100 V)
Berat dan Dimensi	Lebar 540 mm (21,26 inc) Tinggi 685 mm (26,96 inc) Kedalaman 820 mm (32,28 inc) Berat ± 75 kg (± 165 lbs)

7. Tang Penjepit

Sebagai alat untuk membentuk kawat baja yang akan dipasang di spesimen baja.



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. Pinset

Sebagai alat dalam pengambilan kawat yang menempel pada baja dalam keadaan panas.



Gambar 3.9 Pinset

10. Tabung sementasi

Tabung sementasi terbuat dari pipa baja sebagai tempat untuk menimbun baja dengan arang tempurung kelapa saat proses karburisasi.



Gambar 3.10 Tabung sementasi

11. Bak Air

Sebagai wadah pendinginan *quenching*.



Gambar 3.11 Bak Air

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. Pemotongan spesimen

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

b. Proses *polishing*

Proses ini dimaksudkan 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. Pengaktifan Karbon

Karbon adalah unsur penting dalam proses *pack carburizing* karna dalam pelapisan logam karbon harus diaktifkan terlebih dahulu, tanpa pengaktifan karbon maka *pack carburizing* tidak akan sempurna, karna tujuan dari pelapisan ini membutuhkan peranan dari karbon itu sendiri jenis karbon yang digunakan pada *pack carburizing* ini adalah arang batok kelapa yang dihancurkan hingga menjadi halus, berikut tahapan dalam pengaktifan karbon adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan arang tempurung kelapa, 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 *calcium clorida* lalu diaduk hingga merata dalam sebuah wadah dan tutup wadah tersebut lalu diamkan arang terendam selama 1x24 jam.
- e. Apabila telah mencapai waktu 1x24 jam selanjutnya kita keluarkan ditiriskan dan dijemur hingga karbon tersebut kering.
- f. Ayak kembali dengan ukuran 200 (*mesh*) sebelum dilakukan proses pemanggangan.
- g. Arang tempurung kelapa halus baik yang di aktivasi maupun tidak di aktivasi dicampur dengan barium karbonat (BaCO_3) dengan perbandingan 80% arang atau sebanyak 1 kg dan 20% BaCO_3 atau sebanyak 250 gram, kemudian diaduk hingga merata.
- h. Arang siap digunakan untuk proses selanjutnya.

3. Pelaksanaan karburisasi dan Proses *Quenching*

Berikut adalah tahapan proses karburisasi :

- a. Spesimen diletakkan ke dalam tabung sementasi lalu ditimbun dengan karbon dari arang tempurung kelapa 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

a. Uji Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kandungan unsur lainnya pada permukaan baja AISI 1020 setelah proses *pack carburizing* menggunakan media karbon aktif dan karbon non aktif. Selain itu, tujuan utamanya adalah membandingkan efektivitas difusi karbon pada kedua media tersebut. Adapun langkah-langkah dari proses uji komposisi kimia adalah sebagai berikut :

- 1) Ambil sampel baja AISI 1020 yang telah diproses dengan :
- 2) Media karbon aktif (tempurung kelapa diaktivasi)
- 3) Media karbon non aktif (tempurung kelapa tanpa aktivasi)
- 4) Bersihkan permukaan sampel dari kerak, sisa arang, dan oksida menggunakan amplas halus.

- 5) Gunakan alkohol atau aseton untuk memastikan permukaan bebas kontaminan.
- 6) Analisis komposisi dengan metode OES (*Optical Emission Spectrometry*)
- 7) Kalibrasi alat dengan standar logam baja karbon.
- 8) Letakkan sampel pada elektroda alat OES.
- 9) Lakukan pengujian pada bagian permukaan karena fokusnya pada lapisan hasil difusi karbon.
- 10) Hasil spektrum dari plasma dianalisis untuk menentukan kandungan unsur.
- 11) Fokus utama pada unsur karbon (C).
- 12) Catat hasil komposisi kimia masing-masing sampel.
- 13) Bandingkan kadar karbon permukaan antara media aktif dan non aktif.
- 14) Evaluasi seberapa besar peningkatan kandungan karbon pada permukaan baja sebagai indikator keberhasilan proses *carburizing*.

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, termasuk lapisan hasil difusi karbon, 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 menggunakan blok standar kekerasan (*reference block*).
- 6) Tentukan titik uji pada permukaan spesimen, khususnya pada permukaan hasil *carburizing*.
- 7) Untuk pengamatan profil kedalaman kekerasan, titik uji bisa dibuat dari permukaan ke arah dalam (misalnya tiap 50-100 μm).
- 8) Gunakan beban uji rendah, biasanya 100 gram-*force* (gf) atau 0,1 kgf.
- 9) Tahan beban selama ± 10 -15 detik sesuai standar pengujian.
- 10) Mesin akan membuat lekukan berbentuk belah ketupat di permukaan material.
- 11) Ukur panjang diagonal lekukan menggunakan mikroskop yang terintegrasi pada alat.
- 12) Nilai kekerasan *Vickers* (HV) dihitung secara otomatis oleh mesin.
- 13) Catat nilai kekerasan pada beberapa titik.

5. Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian 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 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 0,5\text{ cm}$.
- 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 (*polishing cloth*) dan larutan alumina atau *diamond paste*.
- 5) Hasil akhir harus permukaan mengkilap seperti cermin.

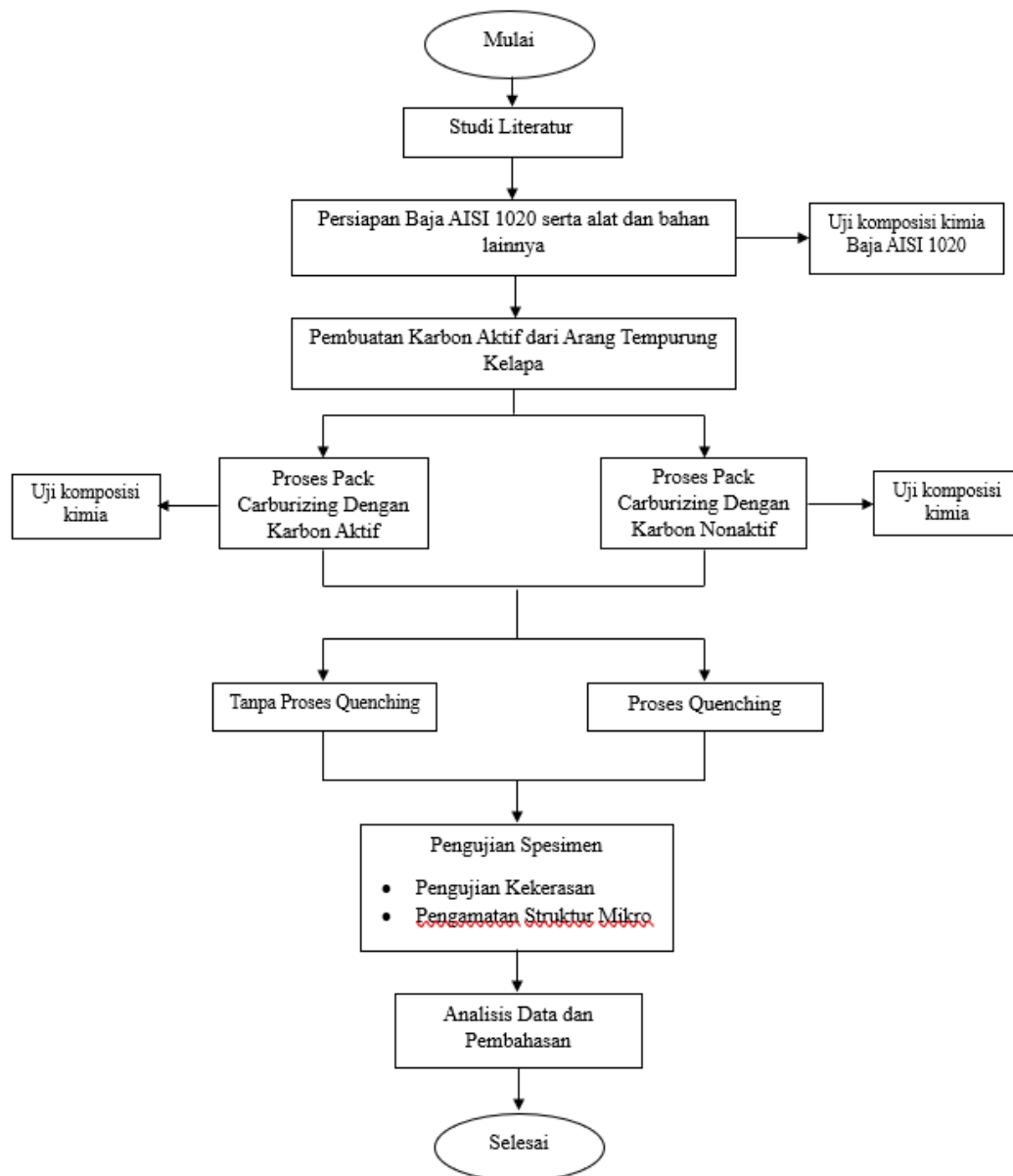
- 6) Cuci spesimen dengan air, alkohol, dan keringkan menggunakan udara atau kain bebas serat.
- 7) *Etching* (pelarutan kimia) dilakukan untuk menampakkan struktur mikro.
- 8) Gunakan larutan Nital 2% (campuran 2 ml asam nitrat (HNO₃) dan 98 ml alkohol).
- 9) Celupkan atau teteskan larutan ke permukaan spesimen selama $\pm 5-10$ detik.
- 10) Bilas segera dengan alkohol dan keringkan.
- 11) Amati spesimen di bawah mikroskop optik metalografi dengan pembesaran 100x hingga 500x.
- 12) Amati dan dokumentasikan struktur mikro di bagian permukaan, zona difusi, dan inti logam, serta untuk analisis di laporan.
- 13) Identifikasi jenis fasa berdasarkan bentuk dan distribusinya.

Data hasil pengujian komposisi kimia dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut :

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

Sampel Uji	Unsur Utama Baja (wt) %					
	C	Si	Mn	P	S	Fe
Baja AISI 1020						

3.4 Diagram Alir



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Arang tempurung kelapa efektif digunakan sebagai media karbon aktif dalam proses *pack carburizing* pada baja AISI 1020. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa proses *pack carburizing* pada baja AISI 1020 menyebabkan peningkatan kandungan karbon yang signifikan pada permukaan baja. Baja AISI 1020 *raw material* memiliki kandungan karbon sebesar 0,20% C. Setelah dilakukan proses *pack carburizing* pada suhu 850°C selama 2 jam, kandungan karbon meningkat menjadi 0,51% C pada spesimen dengan media arang tempurung kelapa non aktif dan mencapai 1,08% C pada spesimen dengan media arang tempurung kelapa aktif. Sementara itu, unsur lain seperti Si, Mn, P, dan S tidak mengalami perubahan yang signifikan. Peningkatan ini membuktikan bahwa arang tempurung kelapa, khususnya yang telah diaktivasi, efektif sebagai sumber karbon dalam proses *pack carburizing*.
2. Nilai kekerasan *Micro Vickers* menunjukkan peningkatan yang sejalan dengan kenaikan kadar karbon dan perlakuan *quenching*. Baja AISI 1020 *raw material* memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 176,4 HVN. Setelah proses *pack carburizing* tanpa *quenching*, nilai kekerasan meningkat menjadi 294,6 HVN pada arang non aktif dan 309,6 HVN pada arang aktif. Peningkatan yang paling signifikan terjadi pada spesimen yang diberi perlakuan *quenching*, yaitu sebesar 882 HVN untuk arang non aktif dan 927,2 HVN untuk arang aktif. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi

peningkatan kadar karbon dan pendinginan cepat melalui *quenching* memberikan kontribusi utama terhadap peningkatan kekerasan permukaan baja AISI 1020..

3. Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa baja AISI 1020 *raw material* didominasi oleh fasa *ferrite* dan *pearlite* dengan ukuran butir relatif besar. Setelah proses *pack carburizing* tanpa *quenching*, struktur mikro masih didominasi *ferrite* dan *pearlite*, namun dengan fraksi *pearlite* yang lebih banyak akibat peningkatan kadar karbon, sehingga kekerasannya meningkat hingga sekitar 300 HVN. Pada spesimen yang mengalami *pack carburizing* dan *quenching*, terbentuk fasa *martensite* pada lapisan permukaan, terutama pada spesimen dengan arang aktif, sedangkan bagian inti tetap didominasi oleh *ferrite*. Pembentukan *martensite* inilah yang menyebabkan peningkatan kekerasan tertinggi hingga 927,2 HVN, sekaligus menunjukkan bahwa proses *carburizing* mampu meningkatkan kekerasan permukaan tanpa menghilangkan keuletan inti baja.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan oleh penulis ialah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi temperatur dan waktu tahan yang lebih beragam.
2. Perlu dilakukan variasi metode pendinginan untuk melihat pengaruhnya terhadap sifat material.
3. Disarankan dilakukan pengamatan struktur mikro lebih detail untuk mendukung hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, R. B., Yunus, M., & Suparjo. (2021). ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA PACK CARBURIZING TERHADAP KEKERASAN BAJA AISI 1020. *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, 2 (2), 110–115.
- Afiqah Anuwar, N., Faizura, P., & Khamaruddin, M. (2020). *Optimization of Chemical Activation Conditions for Activated Carbon From Coconut Shell Using Response Surface Methodology (RSM) and Its Ability to Adsorb CO₂*.
- Afrianah, N., Ruslan, R., Suryadi, H. R., Amir, I., Irsyad, A., Jasruddin, & Nurhayati. (2023). Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Briket Berbasis Arang Sekam Padi Dan Tempurung Kelapa. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 9 (2)(2), 138–147. <https://doi.org/10.24252/jft.v9i2.25566>
- Bhadeshia, H. K. D. H. ., & Honeycombe, R. W. K. . (2017). *Steels : microstructure and properties*. Butterworth-Heinemann.
- Budi, E., Nasbey, H., Budi, S., Handoko, E., Suharmanto, P., Sinansari, R., Fisika, J., & Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, J. (2012). KAJIAN PEMBENTUKAN KARBON AKTIF BERBAHAN ARANG TEMPURUNG KELAPA. Dalam *Seminar Nasional Fisika*.
- Das, D., Samal, D. P., & BC, M. (2015). Preparation of Activated Carbon from Green Coconut Shell and its Characterization. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 6 (5)(05), 1–7. <https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000248>
- Doloksaribu, M., & Afrilinda, E. (2014). PENINGKATAN KUALITAS DODOS DENGAN VARIASI TEMPERATUR AUSTENISASI DAN MEDIA QUENCHING. Dalam *Juni* (Vol. 36, Nomor 1). www.keytometals.com,
- Fatkhurrohman, F., Santoso, E., Putra, S. C., & Firmansyah, A. R. (2025). Analisa

- Ketebalan Lapisan Permukaan Baja AISI 1020 Setelah Proses Perlakuan Panas Pack Carburizing Menggunakan Serbuk Arang Tempurung Kelapa dan Na_2CO_3 . *Jurnal Creative Research in Engineering*, 5 (1)(1), 1–7.
- Hendri Chandra, N. (2013). The Carburizing Process of Low Carbon Steel with Charcoal Media. Dalam *Journal of Mechanical Science and Engineering* (Vol. 1, Nomor 1).
- Introduction to physical metallurgy*. (2008). McGraw -Hill Education (India).
- Joni. (2021). MENINGKATKAN KEKUATAN FATIGUE BAJA AISI 1020 MELALUI PROSES PACK CARBURIZING MENGGUNAKAN ARANG TEMPURUNG KELAPA. *Jurnal Teknologi Terapan*, 05(1).
- Kuntari, F. R., Pranoto, S., Tiswati, K. A., & Sutresno, A. (2019). Studi Proses Difusi melalui Membran dengan Pendekatan Kompartemen. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 15(2), 62. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v15i2.4617>
- Materials science and engineering : an introduction*. (2014). Wiley.
- Nasution, M., & Nasution, R. H. (2020). ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1020 TERHADAP PERLAKUAN CARBURIZING DENGAN ARANG BATOK KELAPA. *Buletin Utama Teknik*, 15 (2), 165–173.
- Nugraha, W. R., Iqbal, M., & Chandrabakty, S. (2018). Pengaruh pack carburizing media arang tempurung kelapa terhadap ketahanan aus baja komersial dengan variasi pelumas. Dalam *Jurnal Teknik Mesin Indonesia* (Vol. 13, Nomor 1).
- Rahayu, T. F. (2021). Pengaruh Variasi Konsentrasi Karbon Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Tinta Spidol Whiteboard Ramah Lingkungan. *Jurnal Kartika Kimia*, 4(2). <https://doi.org/10.26874/jkk.v4i2.86>
- Rahmadhani, M. (2022). *Analisa Uji Nitrocarburizing Pada Temperatur 750°C, 850°C, 950°C Terhadap Pengaruh Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Baja Aisi 1020 Dengan Media Pendingin Menggunakan Metode Taguchi* (Vol. 12, Nomor 1).
- Rizki, M. A., Razi, M., & Bukhari. (2022). PENGARUH PROSES PACK CARBURIZING DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN KARBON AKTIF TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN BAJA AISI 1020. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 6 (2), 63–67.

- Santoso, E., Fatkhurrohman, F., Firmansyah, A. R., & Putra, S. C. (2024). Hardness and Microstructural Characterization of Pack Carburizing AISI 1020 Low-Carbon Steel by Temperature and Holding Time Variations. *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology*, 6 (1)(1), 1–8. <https://doi.org/10.26877/asset.v6i1.17583>
- Supriyono. (2018). THE EFFECTS OF PACK CARBURIZING USING CHARCOAL ON PROPERTIES OF MILD STEEL. *Media Mesin: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 19(1), 38–42.
- 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, H., Ilman, M. N., & Tri Iswanto, P. (2016). Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7 (1)(1), 5–12. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2016.007.01.2>
- Wibowo, H., & Soemowidagdo, L. A. (2011). PROSES KARBURISING PADAT DENGAN MEDIA ARANG TEMPURUNG KELAPA YANG DIGUNAKAN SECARA BERULANG PADA Pengerasan Baja Karbon Rendah (PACK CARBURIZING PROCESS USING RECYCLING COCONUT SHELL CHARCOAL ON LOW CARBON STEEL HARDENING). *Jurnal Penelitian Saintek*.
- Wiranata, W., & Prasetyo, S. (2022). EFFECT OF VARIATIONS OF NaCl QUENCHING MEDIA ON LOW AISI 1020 CARBON STEEL WITH CARBURIZING PROCESS. Dalam *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics* (Vol. 7, Nomor 1).
- Yasdi, Ussarvi, D., Rinaldi, Juita Anggraini, F., & Endah Cahyani, S. (2021). Coconut shell-based activated carbon preparation and its adsorption efficacy in reducing BOD from The Real Wastewater from Kitchen Restaurant (RWKR): Characteristics, Sorption Capacity, and Isotherm Model. *Jurnal Presipitasi*, 18 (1)(1), 116–130.