

Analisis Kandungan Karbon dan Kekerasan Baja AISI 1020 dengan Variasi Media Karburasi Batubara Lignit dan Cangkang Telur

Rabiatul Adawiyah, Noor Rahman, A'yan Sabitah*, Ichwan Noor Ardiyat, Ahmad Robittah

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banjarmasin,

Jl. Brigjen H. Hasan Basri (Komplek Unlam) Kayutangi, Banjarmasin 70123, Indonesia

*E-mail: ayansabitah@poliban.ac.id

Diajukan: 18-09-2024; Diterima: 02-12-2024; Diterbitkan: 21-12-2024

Abstrak

Karburisasi adalah proses perlakuan panas yang meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus baja karbon rendah, seperti AISI 1020, yang sering digunakan dalam industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh fraksi berat batubara lignit dan cangkang telur sebagai media karburisasi terhadap kandungan karbon, kekerasan, dan struktur mikro baja AISI 1020. Karburisasi dilakukan dengan lima variasi fraksi berat (60-100% batubara lignit dan 0-40% cangkang telur) selama dua jam, diikuti pendinginan udara. Kandungan karbon diukur menggunakan optical emission spectrometer (OES), kekerasan diuji dengan microvickers, dan struktur mikro dianalisis menggunakan scanning electron microscope (SEM). Hasil menunjukkan bahwa penambahan cangkang telur sebagai katalis meningkatkan kandungan karbon hingga 0,955%, dengan kekerasan tertinggi sebesar 3937 HV pada variasi 30% cangkang telur. Struktur mikro baja berubah dari dominasi ferit-perlit menjadi lebih banyak perlit-ementit. Kombinasi batubara lignit dan cangkang telur terbukti efektif dan ramah lingkungan.

Kata kunci: karburisasi, AISI 1020, batubara lignit, cangkang telur, kekerasan, struktur mikro

Abstract

Carburizing is a heat treatment process that increases the hardness and wear resistance of low carbon steel, such as AISI 1020, which is commonly used in the industry. This research aims to evaluate the effect of lignite coal heavy fractions and eggshells as carburizing media on the carbon content, hardness, and microstructure of AISI 1020 steel. The carbonization was carried out with five variations of weight fractions (60-100% lignite coal and 0-40% egg shell) for two hours, followed by air cooling. Carbon content is measured using an optical emission spectrometer (OES), hardness is tested with a microhardness tester, and microstructure is analyzed using a scanning electron microscope (SEM). The results show that the addition of eggshells as a catalyst increases the carbon content to 0.955%, with the highest hardness of 3937 HV at the 30% eggshell variation. The microstructure of the steel changes from a dominance of ferrite-pearlite to a greater presence of pearlite-cementite. The combination of lignite coal and eggshells has proven to be effective and environmentally friendly

Keywords: Carburization, AISI 1020, Lignite coal, Eggshell, Hardness, Microstructure

1. Pendahuluan

Karburisasi merupakan proses perlakuan panas penting yang banyak digunakan untuk meningkatkan sifat permukaan baja karbon rendah, seperti AISI 1020. Dengan memasukkan karbon tambahan ke dalam lapisan permukaan, karburisasi secara signifikan meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus baja, sehingga sangat cocok untuk berbagai aplikasi industri, termasuk roda gigi, pengencang, dan komponen otomotif [1],[2]. Efektivitas karburisasi ditentukan oleh difusi karbon ke dalam permukaan baja, sehingga menghasilkan lapisan yang diperkeras yang menunjukkan sifat mekanis yang lebih unggul dibandingkan dengan material inti [3]. Kinerja keseluruhan proses karburisasi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis sumber karbon, suhu perlakuan, dan durasi, yang secara kolektif menentukan potensi karbon dan karakteristik mikrostruktur baja yang dihasilkan [4][5]. Diantara berbagai teknik karburisasi, karburisasi padat terkenal karena kesederhanaan dan efektivitas biayanya. Metode ini memungkinkan penanganan beberapa komponen secara bersamaan, sehingga menguntungkan untuk aplikasi industri. Karburisasi padat melibatkan penanaman komponen baja dalam media kaya karbon, di mana bahan tradisional seperti arang atau kokas telah banyak digunakan. Baru-baru ini, ada peningkatan minat untuk mengeksplorasi bahan karburisasi alternatif seperti batu bara

lignit dan kulit telur, didorong oleh kebutuhan akan solusi yang berkelanjutan secara lingkungan dan layak secara ekonomi [6], [7].

Batubara lignit, jenis batubara peringkat rendah dengan kandungan volatil tinggi, menawarkan hasil karbon yang substansial selama proses karburisasi, yang secara efektif meningkatkan kandungan karbon di lapisan permukaan baja karbon rendah, termasuk AISI 1020. Peningkatan kandungan karbon ini sangat penting untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus baja, sebagaimana dibuktikan oleh penelitian terkini [1]. Secara paralel, cangkang telur, bahan limbah hayati yang melimpah dan kaya akan kalsium, telah diidentifikasi sebagai tambahan yang bermanfaat untuk media karburisasi. Senyawa kalsium dalam cangkang telur tidak hanya berkontribusi pada kandungan karbon tetapi juga memodifikasi struktur mikro baja dengan membentuk karbida kompleks, yang selanjutnya meningkatkan sifat mekanis baja yang diolah [7].

Meskipun ada potensi manfaat dari penggunaan batu bara lignit dan kulit telur sebagai agen karburisasi, efek gabungan dari bahan-bahan ini pada baja AISI 1020 belum dipelajari secara ekstensif. Komposisi fraksi berat yang optimal dan efek dari berbagai waktu penahanan selama karburisasi sebagian besar masih belum dieksplorasi. Memahami parameter ini sangat penting, karena secara langsung memengaruhi efisiensi pemindahan karbon dan sifat akhir baja. Sehingga pada penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh dari variasi fraksi berat media karburisasi batubara lignit dan cangkang telur terhadap kandungan karbon, struktur mikro, dan kekerasan baja AISI 1020. Penggunaan batu bara lignit dan kulit telur tidak hanya memanfaatkan material yang tersedia secara lokal dan berbiaya rendah, tetapi juga sejalan dengan tujuan keberlanjutan lingkungan dengan memanfaatkan kembali material limbah [7].

Pendekatan ini berpotensi menawarkan keuntungan unik dalam hal efisiensi proses dan sifat material akhir, yang menggarisbawahi perlunya penyelidikan lebih lanjut mengenai penggunaan gabungan keduanya dalam karburisasi baja.

2. Material dan metodologi

Baja yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah AISI 1020 dengan ukuran benda uji 10 mm x 10 mm x 5 mm, adapun kandungan komposisi kimia baja AISI 1020 terlihat pada Tabel 1. Media karburisasi menggunakan batubara lignit diperoleh dari sumber lokal dan dihaluskan menjadi bubuk halus untuk memastikan pemerataan distribusi selama proses karburisasi. Cangkang telur dikumpulkan dari sisa makanan, dibersihkan secara menyeluruh untuk menghilangkan residu organik, dan dihaluskan menjadi bubuk halus

Tabel 1. Komposisi kimia baja AISI 1020

C	Fe	Mn	P	S	Cr	Ni
0,17-0,23	99,08 – 99,53	0,30-0,60	0,40	0,50	0,25	0,25

Proses karburisasi dilakukan dalam tungku bersuhu tinggi yang dilengkapi dengan atmosfer terkendali untuk memastikan kondisi karburisasi yang konsisten. Benda uji baja ditempatkan dalam kotak karburisasi dan dikelilingi oleh campuran bubuk batubara lignit dan bubuk cangkang telur. Variasi yang digunakan adalah:

- 60% batubara lignit : 40% cangkang telur
- 70% batubara lignit : 30% cangkang telur
- 80% batubara lignit : 20% cangkang telur
- 90% batubara lignit : 10% cangkang telur
- 100% batubara ligit : 0% cangkang telur

Kotak karburasi tersebut kemudian ditempatkan di dalam tungku dan Suhu tungku ditingkatkan hingga 950°C dan dilakukan penahanan (*holding time*) selama 2 jam untuk memungkinkan difusi karbon yang memadai ke permukaan baja, selanjutnya dilakukan pendinginan menggunakan udara. Untuk mengetahui pengaruh karburasi, sampel baja AISI 1020 dikarakterisasi berdasarkan kandungan karbon, struktur mikro dan kekerasannya. Perubahan kandungan karbon menggunakan pengujian *optical emission spectrometer* (OES). Pengamatan struktur mikro menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan pengukuran kekerasan dilakukan menggunakan alat uji kekerasan *microvickers*. Data yang diperoleh dari teknik karakterisasi dianalisis untuk menentukan hubungan antara komposisi media karburasi terhadap sifat baja AISI 1020 yang di karburasi.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Uji Komposisi Kimia

Hasil analisis komposisi kimia yang dilakukan menggunakan OES secara rinci disajikan pada Tabel 2. Penelitian ini mengutamakan penelitian tentang unsur karbon, sehingga peneliti dapat mengevaluasi apakah jumlah karbon yang berdifusi sudah memenuhi sesuai yang diharapkan. Pengendalian nilai unsur karbon yang tepat sangat penting karena akan berdampak langsung pada sifat mekanik dan kekuatan material setelah proses *carburizing* [8].

Tabel 2. Kandungan karbon baja AISI 1020 menggunakan OES

Unsur	TP	V1(%)	V2(%)	V3(%)	V4(%)	V(%)
C	0,252	0,955	0,910	0,715	0,710	0,647
Si	0,208	0,197	0,180	0,180	0,188	0,159
Mn	0,512	0,468	0,466	0,423	0,485	0,430
P	0,024	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025
S	0,017	0,017	0,017	0,018	0,017	0,017
Cr	0,304	0,292	0,289	0,287	0,297	0,296
Mau	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100
Ini	0,123	0,027	0,049	0,037	0,023	0,022
Cu	0,017	0,028	0,015	0,023	0,014	0,014
Al	0,025	0,026	0,022	0,025	0,023	0,019
Co	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Mg	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Nb	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,024
Ti	0,014	0,014	0,013	0,018	0,013	0,014
V	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
W	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100
Fe	98,47	97,92	97,99	98,22	98,18	98,33

Keterangan:

TP : Tanpa Perlakuan

V1 : Batubara lignit 60% : 40% cangkang telur

V2 : Batubara lignit 70% : 30% cangkang telur

V3 : Batubara lignit 80% : 20% cangkang telur

V4 : Batubara lignit 90% : 10% cangkang telur

V5 : Batubara lignit 100% : 0% cangkang telur

Pada Tabel 2 menunjukkan kandungan karbon baja AISI 1020 sebelum dan sesudah mengalami proses karburasi dengan variasi persentase katalis batubara lignit dan cangkang telur menggunakan pendinginan udara. Spesimen baja AISI 1020 tanpa perlakuan menunjukkan kandungan karbon sebesar 0,252%. Sedangkan spesimen yang mengalami perlakuan karburasi menunjukkan kandungan karbon sebesar 0,647% pada baja AISI 1020 menggunakan 100% batubara lignit. Penambahan katalis cangkang telur sebesar 10%, 20%, 30% dan 40% dapat meningkatkan kandungan karbon. Hasil tertinggi didapatkan kandungan karbon sebesar 0,955% dengan penambahan katalis 30% dan terjadi sedikit penurunan menjadi 0,910% C pada katalis 40%.

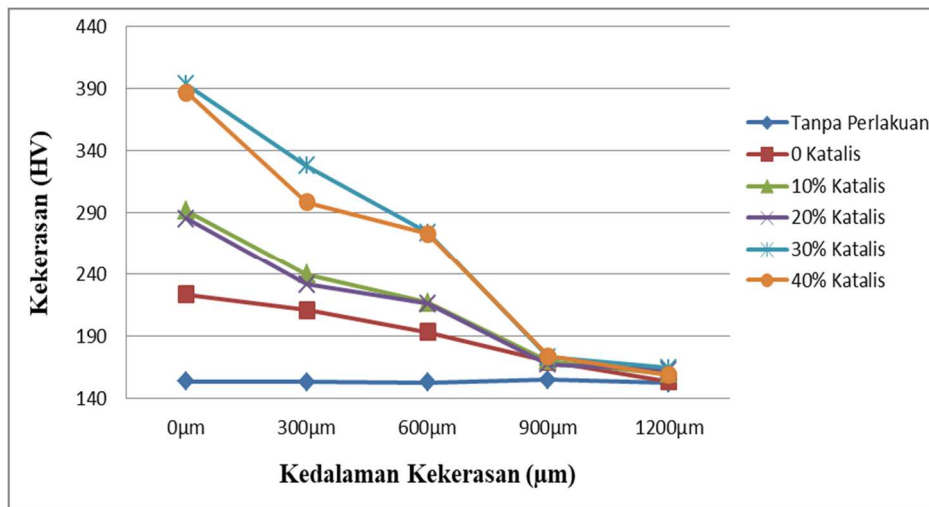
Perlakuan karburasi baja AISI 1020 menggunakan batubara lignit dan cangkang telur mampu meningkatkan kandungan karbonnya. Penggunaan katalis semakin memperkuat efek ini, dengan kandungan karbon tertinggi tercatat pada katalis 30%, hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya [9], [10]. Studi-studi ini menunjukkan bahwa katalis kaya kalsium, seperti cangkang telur, dapat meningkatkan kemampuan difusi, sehingga menghasilkan serapan karbon yang lebih tinggi. Namun, sedikit terjadi penurunan pada katalis 40% menunjukkan potensi titik jenuh, setelah itu efek katalitiknya berkurang [11]. Dengan bertambahnya penamabahn katalis, kandungan karbon baja AISI 1020 semakin meningkat. Hal itu menunjukkan bahwa katalis sangat berperan penting dalam meningkatkan difusi karbon pada material, dengan cara meningkatkan energi aktivasi pada saat proses berlangsung, selain itu dengan mengurangi ambang energi ini, reaksi karbonisasi dapat terjadi pada suhu yang lebih rendah atau dengan intensitas yang lebih tinggi, sehingga mempercepat proses difusi karbon ke dalam material baja sehingga *holding time* yang dibutuhkan semakin sedikit [11].

3.2. Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan metode penting untuk mengevaluasi dampak proses karburasi padat pada benda uji [9]. Dengan cara ini bisa diketahui apakah pengaruh yang dapat terjadi atas adanya proses karburasi dengan tambahan katalis dan tanpa penambahan katalis. Pada pengujian kekerasan micro vickers, spesimen diuji pada lima titik yang terletak pada jarak tertentu dari permukaan, yaitu pada kedalaman 0 μm , 300 μm , 600 μm , 900 μm , dan 1200 μm . Hasil uji kekerasan secara lengkap bisa di lihat pada Gambar 1.

Hasil kekerasan baja AISI 1020, baik yang tidak diberi perlakuan maupun yang diberikan perlakuan karburasi dengan persentase katalis yang bervariasi dengan pendinginan udara, diilustrasikan pada Gambar 1. Baja AISI 1020 yang tidak diberi perlakuan menunjukkan kekerasan yang konsisten sekitar 153,8 HV pada kedalaman yang berbeda. Sebaliknya, sampel yang mengalami perlakuan karburasi menunjukkan kekerasan permukaan yang jauh lebih tinggi (0 μm), yang menurun seiring bertambahnya kedalaman. Secara khusus, sampel yang dikarburasi dengan katalis 0% menunjukkan kekerasan awal sebesar 223,7 HV, yang secara bertahap menurun menjadi 153,5 HV pada 1200 μm . Demikian pula, sampel yang dikarburasi dengan katalis (10%, 20%, 30%, dan 40%) dimulai dengan kekerasan permukaan yang lebih tinggi, dengan katalis 30% menunjukkan kekerasan awal tertinggi yaitu 393,7 HV. Kekerasan

menurun secara progresif ke nilai yang mendekati nilai sampel yang tidak diberi perlakuan seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan karburasi, secara signifikan meningkatkan kekerasan permukaan namun efeknya berkurang seiring dengan kedalaman [12].



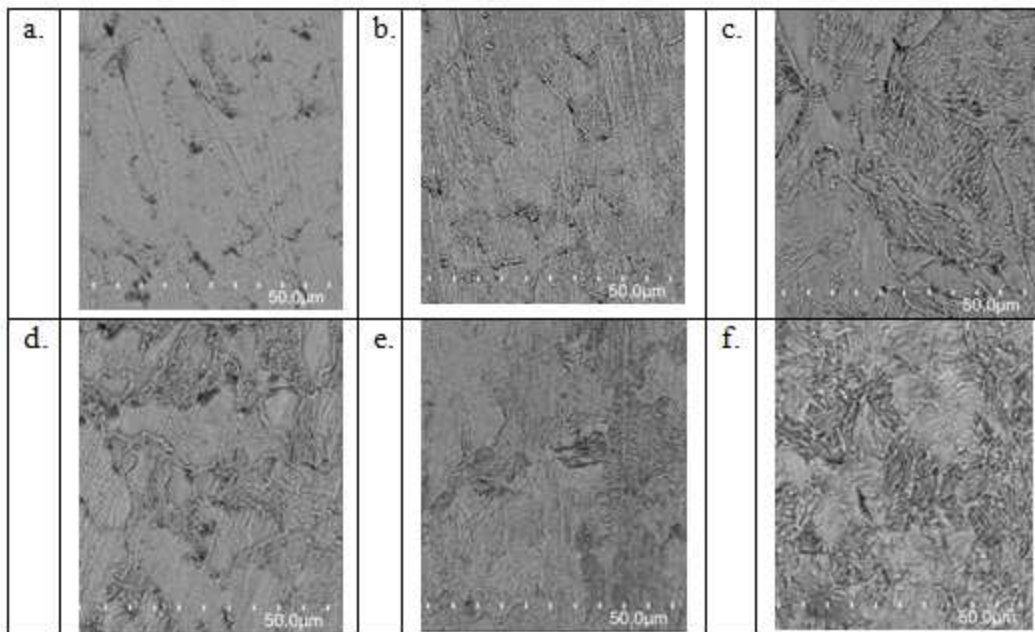
Gambar 1. Grafik nilai kekerasan di berbagai jarak sebelum mengalami proses karburasi, dan setelah mengalami proses karburasi baja AISI 1020

Hasil kekerasan Baja AISI 1020 yang mengalami perlakuan karburasi semuanya mengalami peningkatan kekerasan dengan kekerasan tertinggi pada penambahan katalis cangkang telur 30% sebesar 393,7 HV. Hasil uji kekerasan sejalan dengan hasil uji komposisi kimia yang menunjukkan peningkatan kandungan karbon disetiap sampel yang mengalami proses karburasi. Hal ini membuktikan bahwa proses karburasi berhasil dalam meningkatkan kandungan karbon dan kekerasan baja AISI 1020. Katalis memiliki peran penting dalam meningkatkan difusi karbon ke permukaan baja, sehingga menghasilkan peningkatan kekerasan dan kandungan karbon yang signifikan. Penambahan katalis memudahkan pergerakan atom karbon berdifusi secara interstisi ke celah Fe sehingga menghasilkan terbentuknya lapisan karburasi yang lebih tebal dan keras [13].

3.3. Hasil Uji Struktur Mikro

Perlakuan karburasi padat dengan media karburasi batubara lignit dan cangkang telur akan menyebabkan perubahan struktur mikro. Untuk mengamati perubahan struktur mikro dilakukan dengan pengamatan scanning *electron microscope* (SEM). Hasil dari pengamatan struktur mikro disajikan pada Gambar 2.

Dari hasil struktur mikro yang didapatkan terlihat jelas perbedaan dari hasil pengujian, baja AISI 1020 yang tanpa mengalami perlakuan karburasi dan yang mengalami karburasi dengan berbagai variasi katalis dan jenis pendinginan. Spesimen tanpa perlakuan pada Gambar 2-a menunjukkan struktur mikro yang lebih banyak dimiliki ferit dan sedikit pearlit. Sedangkan pada spesimen yang mengalami perlakuan karburasi pada gambar 2-b menunjukkan struktur mikro ferit dan terjadi peningkatan struktur pearlit dikarenakan kandungan karbon sudah mulai mengalami peningkatan. Pada Gambar 2-c,d struktur mikro pearlit terus mengalami peningkatan dan struktur mikro ferit berkurang. Pada Gambar 2-e,f struktur mikro menampilkan struktur mikro pearlit dan sementit hal ini dikarenakan kandungan karbon mengalami peningkatan semakin tinggi dimana kandungan karbon di daerah *hypereutectoid* akan membentuk struktur mikro pearlit dan sementit [14].



Gambar 2. Struktur Mikro

Perubahan struktur mikro membuktikan bahwa proses karburasi berhasil meningkatkan kandungan karbon di dukung pula dengan terjadinya peningkatan kekerasan. Selain itu pengaruh dari penambahan katalis juga berhasil mempercepat difusi karbon sehingga kandungan karbon meningkat menjadi lebih tinggi yang menyebabkan semakin banyaknya struktur pearlit terbentuk dibandingkan struktur ferit dan adanya sementit. Selain dipengaruhi oleh kandungan karbon struktur mikro juga di pengaruhi oleh pendinginan. Saat kandunga karbon mencukupi > 30% karbon, ketika dilakukan pendinginan lebih cepat seperti menggunakan air, maka struktur mikro martensit yang keras akan terbentuk. Hasil proses karburasi pada penelitian ini menunjukkan kandungan karbon 0,647% karbon dan kandungan tertinggi pada 0,955% karbon. Jika menginginkan kekerasan yang lebih keras maka proses pendinginan dilakukan lebih cepat, bisa menggunakan media oli atau air [15]. Semakin cepat proses pendinginan maka akan semakin keras spesimen yang di dihasilkan, dengan catatan kandungan karbon mencukupi [16]. Proses karburasi menjadi solusi untuk meningkatkan kandungan baja karbon rendah ketika kandungan karbon pada baja karbon rendah tidak mencukupi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi batubara lignit dan cangkang telur sebagai media karburasi efektif dalam meningkatkan kandungan karbon, kekerasan, dan struktur mikro baja AISI 1020. Kandungan karbon tertinggi sebesar 0,955% tercapai pada penambahan katalis cangkang telur sebanyak 30%. Proses karburasi juga menghasilkan peningkatan kekerasan permukaan baja hingga mencapai 393,7 HV pada katalis 30%, dengan kekerasan yang menurun seiring bertambahnya kedalaman dari permukaan. Namun, Transformasi struktur mikro baja menunjukkan perubahan dari dominasi ferit-perlit menjadi dominasi perlit-sementit, membuktikan keberhasilan proses karburasi dalam meningkatkan sifat mekanik baja.

Hasil temuan menunjukkan bahwa perlakuan karburasi dapat menjadi solusi untuk baja karbon rendah dalam meningkatkan kandungan karbon dan sifat mekaniknya. Dengan terjadinya peningkatan kandungan karbon pada baja

karbon rendah saran untuk penelitian kedepannya agar mendapatkan nilai kekerasan maksimal dan struktur mikro yang lebih keras agar melakukan proses pendinginan menggunakan air.

Daftar Pustaka

- [1] F. Safriwardy, M. N. Rizki, M. Masrullita, and M. Daniel, "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," *Int. J. Educ. Vocat. Stud.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, Feb. 2023, doi: 10.29103/IJEVS.V5I1.12486.
- [2] A. Setiawan and A. Dipogusti, "Effect of pack carburizing and viscosity of quenching media on AISI 1010 steel," *J. Energy, Mech. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 9–20, Nov. 2022, doi: 10.22219/JEMMME.V7I1.20743.
- [3] M. R. Ramadhan and S. Sunyoto, "Pengaruh Temperatur Pada Pack Carburizing Menggunakan Campuran Arang Tempurung Kelapa Dan Arang Bambu Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja EMS 45," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 3, p. 527, 2022, doi: 10.32497/jrm.v17i3.3468.
- [4] Supriyono and Jamasri, "Holding time effect of pack carburizing on fatigue characteristic of v-notch shaft steel specimens," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1855, no. 1, p. 20005, Jun. 2017, doi: 10.1063/1.4985450/815603.
- [5] P. E. Yuwita, A. Habib, and R. N. Faila, "Studi Pengaruh Variasi Media Pendingin Quenching dan Waktu Penahanan pada Proses Heat Treatment terhadap Kekerasan Baja AISI 1045," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 1, pp. 77–84, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- [6] M. D. Sebayang, "ST37 Steel Carburization with Coconut Charcoal," *J. Technomaterial Phys.*, vol. 3, no. 1, pp. 29–35, Feb. 2021, doi: 10.32734/JOTP.V3I1.5713.
- [7] "View of Evolution of Microstructure and Wear Resistance of Carburized Low Carbon Steel." <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijic/article/view/7515/4865> (accessed Sep. 17, 2024).
- [8] O. S. Mahmood, "Engineering and Technology Journal Effect of carbonization on the mechanical properties of mild steel utilizing oak charcoal as a carbon source A R T I C L E I N F O," *Eng. Technol. J.*, vol. 42, no. 06, pp. 699–707, 2024, doi: 10.30684/etj.2024.144383.1630.
- [9] Ramli, Suhdi, Rodiawan, and C. C. Wu, "Study on microstructure and wear characteristics of carburized steel at different carburizing times using catalyst strombus turturella shell waste powders," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1267, no. 1, p. 012019, Dec. 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1267/1/012019.
- [10] M. Ç. Tolu and H. Oğuz, "A review on biodiesel production using eggshell as catalyst," *Int. J. Energy Appl. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 147–152, Dec. 2018, doi: 10.31593/IJEAT.445819.
- [11] Ramli, C. C. Wu, and A. Shaaban, "Mechanical Properties of Pack Carburized SCM 420 Steel Processed Using Natural Shell Powders and Extended Carburization Time," *Cryst. 2021, Vol. 11, Page 1136*, vol. 11, no. 9, p. 1136, Sep. 2021, doi: 10.3390/CRYST11091136.
- [12] L. Yin *et al.*, "Pre-Coated Fe–Ni Film to Promote Low-Pressure Carburizing of 14Cr14Co13Mo4 Steel," *Coatings 2019, Vol. 9, Page 304*, vol. 9, no. 5, p. 304, May 2019, doi: 10.3390/COATINGS9050304.
- [13] X. Yu *et al.*, "Effect of Minor Carburizing on Microstructure and Mechanical Properties of M50 Bearing Steel," *steel Res. Int.*, vol. 93, no. 8, p. 2100767, Aug. 2022, doi: 10.1002/SRIN.202100767.
- [14] A. N. Introduction, W. D. Callister, and D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*.
- [15] N. A. Brawira, H. Nurdin, R. Lapisa, and B. Syahri, "Analysis of Hardness on the Tapping Knife of Rubber

Plants Made of Medium Carbon Steel Resulting from Quenching Process with Different Cooling Mediums,”
INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol., vol. 22, no. 2, pp. 91–96, Jul. 2022, doi:
10.24036/INVOTEK.V22I2.1017.

- [16] Q. B. Jamali, A. Farhad, A. S. Jamali, M. Sharif Jamali, A. Hussain, and F. Hussain, “Analysis of Tensile Strength, Hardness and Impact Energy of SAE1040 Steel Using Heat Treatment Processes,” *QUEST Res. J.*, vol. 18, no. 2, pp. 33–37, doi: 10.52584/QRJ.1802.05.