

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI CAMPURAN CARBON ARANG CANGKANG KEMIRI DAN NATRIUM KARBONAT TERHADAP KEKERASAN DAN KEAUSAN PADA *MILD STEEL* DENGAN PROSES *PACK CARBURIZING*

David Bintang Pradana¹, Agung Supriyanto^{2*}, Afif Faishal³

¹Program Studi S1 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta, Sukoharjo, Indonesia

²Program Studi D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta, Sukoharjo, Indonesia

³Program Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo, Indonesia

*Email: agunqtm@sttw.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi campuran arang cangkang kemiri dan natrium karbonat (Na_2CO_3) terhadap kekerasan dan ketahanan aus baja karbon rendah (*mild steel*) melalui proses *pack carburizing*. Variasi komposisi yang digunakan adalah 60%:40%, 70%:30%, 80%:20%, dan 90%:10% antara arang cangkang kemiri dan Na_2CO_3 . Proses karburisasi dilakukan pada suhu 930 °C untuk memungkinkan difusi karbon ke permukaan baja, diikuti dengan pengujian kekerasan metode *Vickers*, uji keausan metode *Ogoshi*, serta analisis komposisi kimia permukaan menggunakan EDX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *pack carburizing* meningkatkan kekerasan baja secara signifikan dibandingkan material awal, dengan kekerasan tertinggi (231,46 HV) diperoleh pada komposisi 80% arang cangkang kemiri 20% Na_2CO_3 . Selain itu, ketahanan aus juga meningkat pada variasi komposisi 90%:10%, dengan nilai keausan spesifik 0,000029103 mm³/kg.m. Analisis EDX mengindikasikan peningkatan kandungan karbon di permukaan baja membuktikan keberhasilan proses difusi karbon.

Kata kunci: *pack carburizing*; arang cangkang kemiri; kekerasan; ketahanan aus; EDX.

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of variations in the composition of candlenut shell charcoal and sodium carbonate (Na_2CO_3) mixtures on mild steel's hardness and wear resistance through the pack carburising process. The composition variations used were 60%:40%, 70%:30%, 80%:20%, and 90%:10% between coconut shell charcoal and Na_2CO_3 . The carburising process was carried out at 930 °C to allow carbon diffusion to the steel surface, followed by Vickers hardness testing, Ogoshi wear testing, and surface chemical composition analysis using EDX. The results showed that pack carburising treatment significantly increased the hardness of the steel compared to the initial material, with the highest hardness (231.46 HV) obtained at a composition of 80% coconut shell charcoal and 20% Na_2CO_3 . In addition, wear resistance also increased in the 90%:10% composition variation, with a specific wear value of 0.000029103 mm³/kg.m. EDX analysis indicated an increase in carbon content on the steel surface, proving the success of the carbon diffusion process.

Keywords: *pack carburizing*; candlenut shell charcoal; sodium carbonate; hardness; wear resistance; EDX.

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur modern tidak lepas dari material baja. Sebagai bahan utama dalam pembuatan komponen mesin dan material konstruksi, baja menjadi elemen penting. Dengan beragam jenis baja yang ditawarkan, pemilihan bahan yang tepat menjadi kunci untuk mencapai efisiensi dan efektivitas yang tinggi dalam produksi.

Untuk memenuhi tuntutan pasar yang semakin tinggi, industri logam terus berupaya mengembangkan kualitas dan kapasitas produksi baja melalui metode *pack carburizing* [1]. Baja karbon adalah salah satu jenis baja yang banyak diminati adalah baja yang sering dipakai dalam pembangunan gedung serta dalam pembuatan komponen mesin, seperti roda gigi dan poros [2].

Dalam perkembangan teknologi saat ini, diperlukan metode yang efektif untuk meningkatkan sifat material logam. Perlakuan permukaan merupakan salah satu solusi untuk modifikasi sifat material [3]. Metode ini bertujuan untuk merekayasa permukaan material dan meningkatkan sifat mekanisnya, termasuk ketahanan aus yang lebih baik. Kandungan karbon dalam komposisi baja juga memengaruhi sifat mekanis ini, yang sangat penting untuk beberapa komponen mesin yang saling bergesekan, karena komponen tersebut harus memiliki tingkat kekerasan yang baik [4]. Baja dengan kandungan karbon lebih dari 0,35% memiliki kekerasan yang sudah baik untuk keperluan manufaktur. Sementara itu, untuk baja dengan kandungan karbon di bawah 0,35%, diperlukan proses tambahan karbon agar mencapai sifat yang diinginkan [5].

Pengerasan permukaan dalam proses perlakuan panas dapat dilakukan dengan meningkatkan kadar karbon di permukaan baja, khususnya melalui proses karburasi [6]. Metode ini sangat cocok diterapkan pada baja yang memiliki kandungan karbon rendah. Perlakuan panas adalah proses di mana bahan dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu, lalu didinginkan dengan metode yang sesuai [7]. Tujuan utama dari perlakuan panas ini adalah untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan sesuai dengan aplikasi bahan tersebut, terutama dalam hal kekerasan [8], kekuatan [9], dan sifat ketangguhan [10]. Untuk mengurangi keausan pada logam, penting agar permukaannya mendapatkan kekerasan, sementara bagian intinya tetap ulet [11]. Oleh karena itu, proses pengerasan permukaan menjadi suatu langkah yang diperlukan. Dengan demikian, pengerasan dapat diterapkan hanya pada bagian-bagian tertentu sesuai dengan kebutuhan dan fungsi alat.

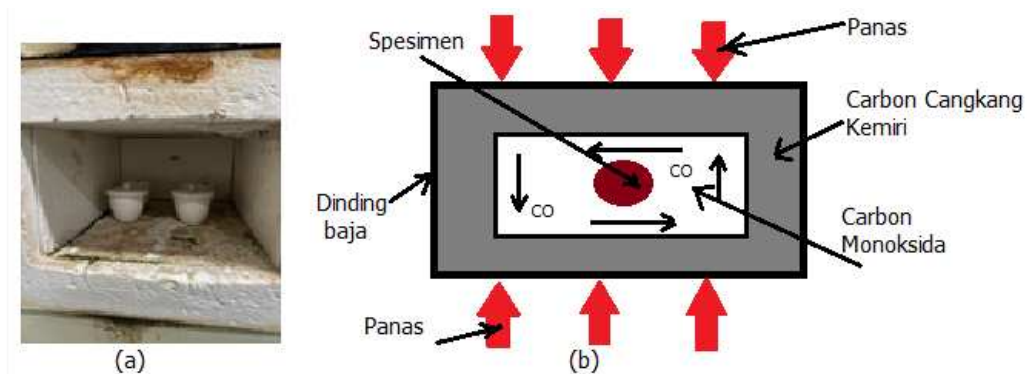
Proses *pack carburizing* adalah metode di mana karbon monoksida yang dihasilkan dari senyawa padat terurai pada permukaan logam, menghasilkan karbon baru dan karbon dioksida. Karbon baru ini akan diserap ke dalam logam, sementara karbon dioksida segera bereaksi dengan bahan karbon dalam senyawa karburisasi padat, membentuk kembali karbon monoksida yang baru. Pembentukan karbon monoksida ini dipercepat oleh penggunaan katalis atau *energizer*, seperti barium karbonat (BaCO_3) [13], kalsium karbonat (CaCO_3) [12], dan natrium karbonat (Na_2CO_3) [14], yang terdapat dalam karburisasi kompleks [15]. Dalam sistem tertutup, jumlah *energizer* akan tetap stabil, dan proses karburisasi akan terus berlangsung selama ada cukup karbon untuk bereaksi dengan karbon dioksida. Difusi karbon sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam arang [14], ukuran butiran [16], suhu *tempering* [8], dan *holding time* [17] dalam proses *carburizing*. Karbon yang terbentuk dalam bentuk atom karbon aktif (*carbon nascent*) berdifusi ke dalam fase austenit baja saat baja dipanaskan, memungkinkan perubahan komposisi kimia pada permukaan baja [18].

2. METODE

Baja *mild steel* yang digunakan sebagai spesimen dipotong dengan ukuran 15 mm. Agar difusi karbon dapat optimal maka perlu perlakuan penghalusan permukaan menggunakan kertas amplas secara bertahap.

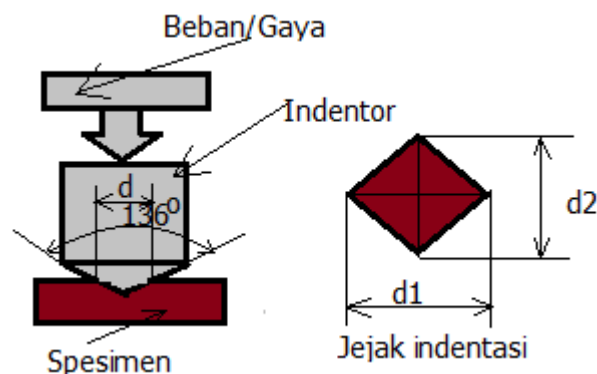
Proses *carburizing* diawali dengan mencampur serbuk karbon cangkang kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan Natrium Karbonat (Na_2CO_3) dengan perbandingan 60%:40%, 70%:30%, 80%:20%, dan 90%:10%. Karbon cangkang kemiri berfungsi sebagai sumber karbon dan Natrium Karbonat sebagai *energizer* yang membantu proses difusi karbon ke dalam material induk (*raw material*). Campuran bahan dimasukkan ke dalam wadah tertutup dan diputar pada mesin pengaduk selama 2 menit. Serbuk yang sudah tercampur

secara homogen beserta spesimen dimasukkan kedalam cawan *crucible* dan dipanaskan kedalam *furnace* dengan suhu 930 °C selama 4 jam (Gambar 1).



Gambar 1. (a) Ruang *chamber furnace*; (b) Ilustrasi perendaman spesimen dalam serbuk karbon

Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers* berdasarkan ASTM A92 [19]. Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen dengan perlakuan dan tanpa perlakuan. Tujuannya agar diketahui pengaruh perlakuan carburizing terhadap kekerasan. Skema pengujian kekerasan *Vickers* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Uji kekerasan *vickers*

Pengujian kekerasan material dilakukan dengan menggunakan indenter intan berbentuk piramida yang ditekan ke permukaan material uji, menghasilkan jejak atau lekukan. Nilai kekerasan *Vickers* diperoleh dengan mengukur diagonal rata-rata jejak menggunakan mikroskop dan kemudian membagi beban uji dengan luas permukaan jejak. Persamaan 1 merupakan

$$HV = \frac{(1,864)P}{D^2} \quad (1)$$

Keterangan:

- HV : nilai kekerasan Vickers (HV)
- P : gaya penekanan (kgf)
- D : rata-rata panjang diagonal (mm)

Kausan material sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan. Kekerasan permukaan juga memainkan peran penting dalam menentukan tingkat keausan. Semakin keras material, semakin rendah keausan yang terjadi. Untuk mengukur keausan, perlu dilakukan analisis bekas keausan pada permukaan yang bergesekan.

Pengujian keausan Ogoshi menggunakan metode *pin-on-disk* sesuai standar ASTM G99. Standar ini menjelaskan prosedur pengujian keausan untuk material yang bergesekan dengan permukaan lain, sehingga dapat digunakan untuk menentukan ketahanan aus suatu material [20]. Metode pengujian keausan Ogoshi, benda uji mengalami gesekan berulang-ulang akibat kontak dengan cincin yang berputar, sehingga menyebabkan kehilangan material pada permukaan. Tingkat keausan ditentukan berdasarkan besarnya jejak permukaan yang dihasilkan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju keausan menggunakan rumus:

$$W_s = \frac{B b_0^3}{8 r P_0 L_0} \quad (2)$$

Keterangan:

W_s : keausan spesifik (mm^2/kg)

B : lebar piringan pengaus (mm)

B_0 : lebar keausan spesimen (mm)

R : jari – jari piringan pengaus (mm)

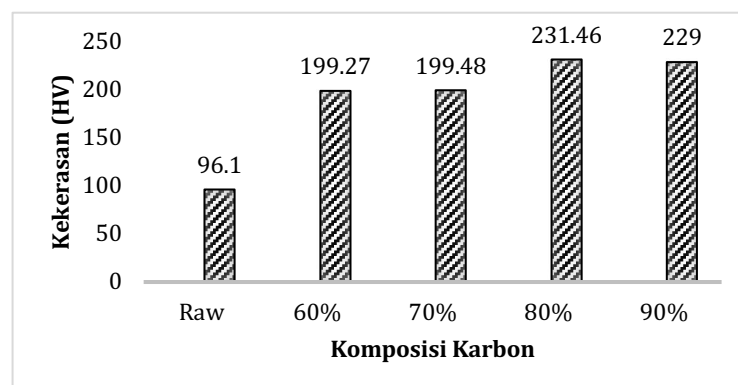
P_0 : gaya tekan pada proses keausan (kg)

L_0 : jarak tempuh pada proses pengausan (m)

EDX digunakan untuk analisis kalitatif dan kuantitatif elemen yang didasarkan pada analisis spektral sinar-X. Karakteristik yang dipancarkan dari atom sampel pada radiasi dengan berkas elektron yang difokus dari SEM [21]. Pengujian EDX dilakukan untuk intepretasi keberadaan mineral dan distribusinya pada sistem porositas [22].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *Vickers* memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan rata – rata pada material sebelum dan sesudah proses *pack carburizing*. Gambar 3 merupakan hasil dari percobaan pengujian kekerasan yang dilakukan pada material sesudah dan sebelum proses *pack carburizing* dengan variasi komposisi karbon cangkang kemiri.

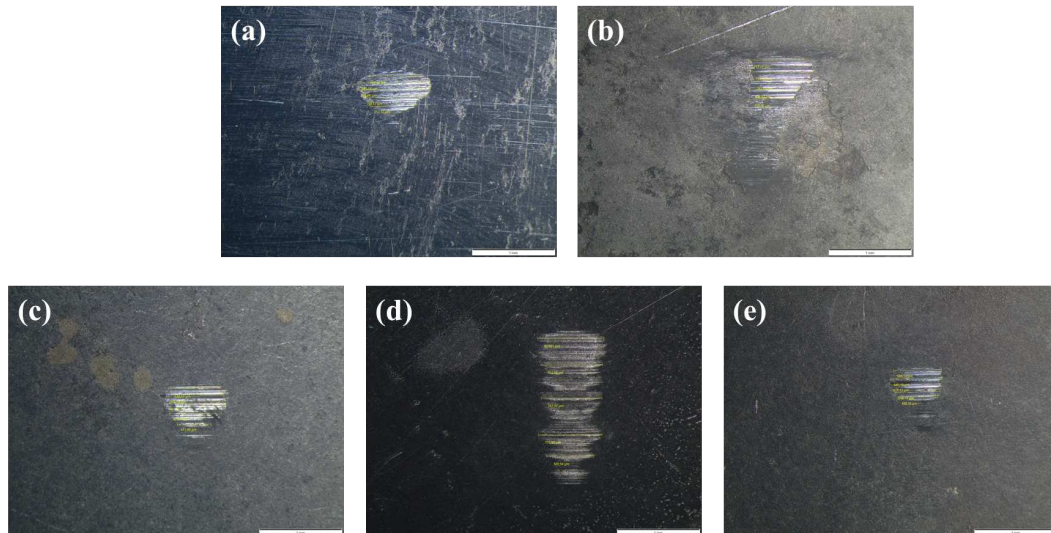


Gambar 3. Nilai kekerasan *Vickers* pada specimen sebelum dan sesudah proses *pack carburizing*

Perlakuan *carburizing* mampu meningkatkan kekerasan secara signifikan. Secara umum peningkatan kekerasan sejalan dengan peningkatan komposisi karbon arang cangkang kemiri. Nilai kekerasan tertinggi pada sampel dengan komposisi karbon 80%.

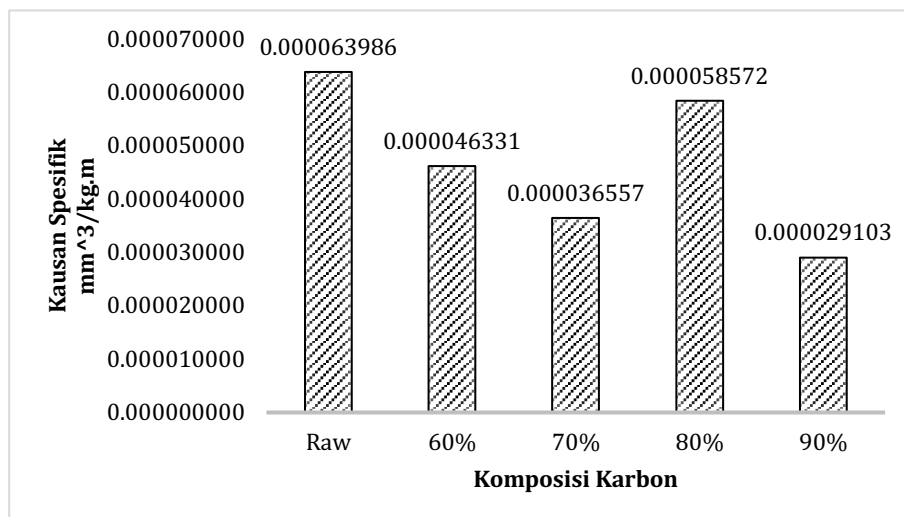
Pada komposisi karbon 90% kekerasannya sedikit turun dimungkinkan difusi karbon pada material sudah jenuh.

Kekerasan material ditentukan oleh komposisi unsur paduannya dan sangat mempengaruhi ketahanan terhadap keausan. Material yang lebih keras cenderung lebih tahan aus [23]. Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian keausan.



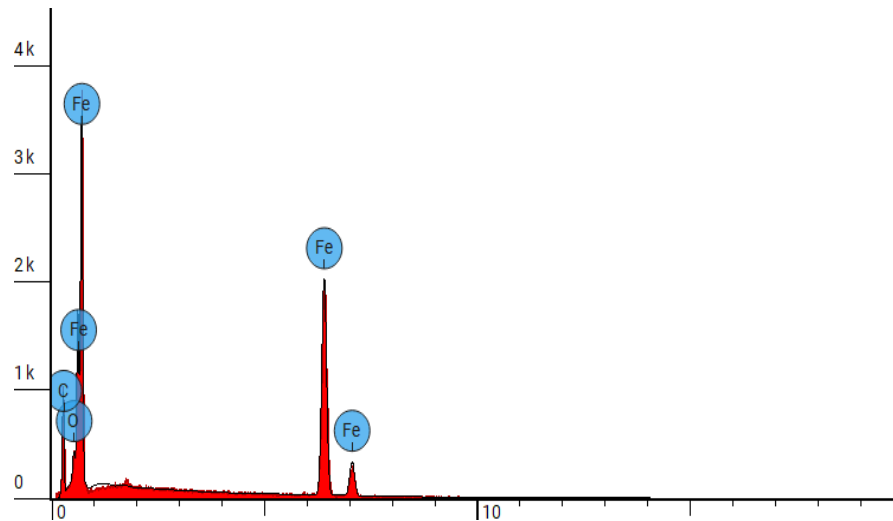
Gambar 4. Pengamatan uji keausan sebelum dan setelah *pack carburizing* dengan perbandingan cangkang kemiri dan Na_2CO_3 : (a) RAW; (b) 60%; (c) 70%; (d) 80%; dan (e) 90%

Pada pengujian keausan, nilai keausan spesifik mengalami penurunan dibanding raw material yang berarti bahwa ketahanan terhadap keausan meningkat. Nilai keausan spesifik tersaji dalam Gambar 5. Ketahanan aus paling tinggi pada komposisi karbon cangkang kemiri 90% : 10 % Na_2CO_3 .



Gambar 5. Hasil keausan spesifik sebelum dan setelah *pack carburizing* dengan perbandingan cangkang kemiri dan Na_2CO_3

Analisis EDX melibatkan penyinaran sampel dengan sinar elektron, yang kemudian menghasilkan interaksi yang dideteksi dan data komposisi kimia seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. EDX penampang melintang pada spesimen komposisi 60%:40%

Tabel 1 menunjukkan adanya unsur karbon yang tinggi yang menandakan bahwa difusi karbon berjalan dengan baik. Proses pendinginan dan difusi karbon dari cangkang kemiri ke dalam baja memungkinkan pembentukan fasa martensit dan reaksi oksidasi dengan karbon sehingga tampak adanya unsur oksigen.

Tabel 1. Hasil Pengujian EDX penampang melintang

Element number	Element symbol	Element name	Atomic conc.	Weight conc.
6	C	Carbon	35.390	10.800
8	O	Oxygen	2.460	1.000
26	Fe	Iron	62.150	88.200

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang sudah dilakukan, maka kajian dengan metode *pack carburizing* dengan spesimen baja *mild steel* dapat disimpulkan bahwa spesimen baja yang telah dilakukan proses *pack carburizing* membentuk material yang lebih keras karena adanya penambahan difusi pada karbon kedalam permukaan spesimen. Sifat mekanik kekerasan tertinggi pada komposisi 80%:20% yaitu 231,46 HV, dan ketahanan aus yang paling tinggi pada komposisi 90%:10% dengan rata rata 0,000029103 mm³/kg.m. Analisis EDX menunjukkan bahwa proses *pack carburizing* berhasil meningkatkan kandungan karbon pada permukaan baja *mild steel*, yang berkontribusi pada peningkatan sifat mekanis material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Sundari, J. Sriyaya, N. Bukit, and B. Palembang, "Proses Pack Carburizing Terhadap Kekerasan Baja Karbon Rendah St 37," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 23–27, 2021.
- [2] M. Nurhilal, "Pengaruh Temperatur, Holding Time Proses Pack Carburizing Baja

- Karbon Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik,” *J. Teknol.*, vol. 10, no. 1, pp. 153–162, 2017.
- [3] A. N. Asisi, “Pengaruh Perlakuan Panas Quenching Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Jis Sup 9a,” *Mechanical*, vol. 15, no. 2, p. 196, 2024, doi: 10.23960/mech.v15i2.4567.
 - [4] F. B. Susetyo, S. T. Dwiwati, M. Yazid, and Y. Nofendri, “Efek Perlakuan Panas pada Substrat Baja Karbon dan Lapisan Hasil Pengerasan Permukaan dengan Metoda MMAW,” *Mechanical*, vol. 11, no. 1, pp. 6–12, 2020, doi: 10.23960/mech.v11i1.1300.
 - [5] Z. Cui and J. An, “Growth mechanisms and properties of carburized layers with a certain extent of surface oxidation on TA1 and TC21 alloys during the process of conventional solid pack carburizing,” vol. 38, no. August, pp. 1457–1471, 2025.
 - [6] D. Saputro, G. Setiadi, and S. Wibowo, “Analisis Pengaruh Waktu Tahan Terhadap Kekerasan Baja AISI 4140 Dengan Metode Karburixing,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 48–54, 2019, [Online]. Available: <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>
 - [7] Yunita Sari and Crisa Diki Cahyo Prasetyo, “Pengaruh Penambahan Carbon dan Proses Quenching dengan Coolant pada Hasil Pengelasan Elektroda E6013 terhadap Tingkat Kekerasan,” *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 6, no. 1, pp. 9–12, Apr. 2019, doi: 10.21009/jkem.6.1.3.
 - [8] Z. Mansjur, R. I. Pratama, and H. J. R. Sumarauw, “Pengaruh Variasi Temperatur dan Media Karburasi Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah,” *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 8, no. 1, pp. 31–42, Jul. 2025, doi: 10.29407/jmn.v8i1.22990.
 - [9] C. W. Annisa, I. Renreng, L. H. Arma, and W. Pian, “Study Experimental the Effect of Normalizing Treatment and Galvanic Pack Carburizing Process on Mechanical Properties of Low Carbon Steel,” *EPI International Journal of Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 128–133, 2022. doi: 10.25042/epi-ije.082022.09.
 - [10] Sujita Sujita and Rudy Sutanto, “The effect of carbonate energizer on pack carburizing ASTM A36 steel,” *Glob. J. Eng. Technol. Adv.*, vol. 23, no. 2, pp. 222–227, 2025, doi: 10.30574/gjeta.2025.23.2.0145.
 - [11] P. Yanuar, I. Mujiarto, and Y. Janto, “Peningkatan Nilai Kekerasan Baja C-Mn dengan Metode Quenching dan Tempering,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 61–66, 2018, doi: 10.24176/simet.v9i1.1706.
 - [12] H. Hafni, “Pengaruh Variasi CaCO_3 terhadap Arang Aktif pada Proses Pack Carburizing terhadap Peningkatan Kekerasan Baja Karbon Rendah ditinjau dari Struktur Mikro dan Kekerasan,” *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, vol. 3, no. 1, pp. 108–115, Jan. 2025, doi: 10.21063/jtv.2025.3.1.108-115.
 - [13] S. Darmo and R. Sutanto, “Study Of The Effect Carburizing Agent Gigantochloa Verticillata Munro Charcoal-Barium Carbonat On Pack Carburizing Low Carbon Steel,” *Res. Inven. Int. J. Eng. Sci.*, vol. 11, no. 9, pp. 2319–6483, 2021, [Online]. Available: www.researchinventy.com
 - [14] “View of Analisa Penambahan Variasi Bahan Carburizing Pada Proses Pack Carburizing Baja EN 39 Untuk Pemakaian Cam Shaft.pdf.”
 - [15] S. T. Mesin, F. Teknik, U. N. Surabaya, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. N. Surabaya, “Pengaruh Jenis dan Komposisi Katalisator Pada Pack Carburizing Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Ss400 Bagas Wildan Firmansyah Novi Sukma Drastiawati Abstrak,” 2021.
 - [16] R. Sadiana, “Pengaruh Ukuran Mesh Serbuk Batubara Proses Karburasi Padat Pada Baja Aisi 4130 Terhadap Nilai Kekerasan Dan Ketangguhan,” vol. 9, no. 1, pp. 25–30.
 - [17] Pramuko Ilmu Purboputro, Sartono Putro, and Djoeli Satrijo, “The analysis of carburizing with 15, 30, 40, 45, 60 minutes holding time due to hardness and microstructure on ST 60 Steel,” *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 55–

- 63, 2023, doi: 10.37373/jttm.v4i1.448.
- [18] E. Santoso, F. Fatkhurrohman, A. R. Firmansyah, and S. C. Putra, “Hardness and Microstructural Characterization of Pack Carburizing AISI 1020 Low-Carbon Steel by Temperature and Holding Time Variations,” *Adv. Sustain. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 2–9, 2024, doi: 10.26877/asset.v6i1.17583.
 - [19] A. Supriyanto, M. -, and K. Roni, “Efek Variasi Komposisi Pasa Komposit Alunimum – Silikondengan Variasi Suhu Sinterig Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro,” *Teknika*, vol. 8, no. 1, pp. 47–54, 2023, doi: 10.52561/teknika.v8i1.249.
 - [20] M. Nurul Ihsan, D. Wicaksono, and S. Sehonon, “Uji Keausan Kampas Rem Berbahan Limbah Organik Menggunakan Metode Ogoshi,” *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 8, no. 1, pp. 92–96, 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i1.559.
 - [21] Julinawati, Marlina, R. Nasution, and Sheilatina, “Applying SEM-EDX Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh,” *J. Nat.*, vol. 15, no. 2, pp. 44–48, 2015.
 - [22] “View of Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi.pdf.”
 - [23] M. A. R. Septiyanto, I. Suroso, and N. Utami, “Analisis kekerasan dan keausan bearing pada pesawat Cessna Grand Carravan 208B,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 117–124, 2022, doi: 10.24127/trb.v11i1.2045.