

OPTIMASI MEDIA PENDINGIN UNTUK MENINGKATKAN KEKERASAN PERMUKAAN BAJA KARBON RENDAH MELALUI PROSES CARBURIZING

*¹ Ghia Pisti Cikarge, ² Nugroho Tri Atmoko, ³ Tito Alfarizi, ⁴Hendi Lilih Wijayanto, ⁵Ibnu Suseno,

^{1,3,5}Rekayasa Mesin & Industri
Pertanian

Politeknik Negeri Cilacap

¹⁾ ghiapisticikarge@pnc.ac.id

²⁾ nugroho.ta@pnc.ac.id

⁵⁾ ibnususeno27@gmail.com

³⁾Program Studi Teknologi Mesin

Politeknik Industri Petrokimia Banten

titoalf@gmail.co.id

⁴⁾Jurusan Teknik Perawatan Mesin

Politeknik Industri Logam Morowali

Hendi.lw@gmail.com

Article history:

Received 30th of June 2025

Revised 18th of July 2025

Accepted 21th of July 2025

Abstract

Carburizing is one of the most effective heat treatment methods to enhance the surface hardness of low-carbon steel by diffusing carbon atoms into the material's surface layer. The final characteristics of the carburized layer are strongly influenced by the quenching medium applied after the heating process. This study aims to analyze the effect of various quenching media on the microstructure and hardness of low-carbon steel specimens subjected to pack carburizing. The quenching media used include air, distilled water, and oil. Vickers hardness testing was conducted across the cross-section of the specimens, and microstructural characterization was performed using optical microscopy. The results show that air cooling produced a ferrite-pearlite structure with a diffusion layer thickness of approximately 188 μm and a hardness of 384 HV. Quenching with distilled water and oil resulted in a mixed structure of fine pearlite and partial martensite with hardness ranging from 780 to 820 HV. These findings indicate that oil is a promising alternative quenching medium for enhancing surface hardness without reducing the toughness of the core material.

Keywords: Carburizing, Cooling media, Hardness Vickers, Microstructure, Mild steel

Pendahuluan

Proses peningkatan kekerasan permukaan material logam, khususnya baja karbon rendah, terus menjadi perhatian dalam industri manufaktur, otomotif, dan kelautan karena kebutuhan akan komponen yang memiliki ketahanan aus tinggi namun tetap mempertahankan ketangguhan inti [1]. Salah satu metode yang umum digunakan adalah proses carburizing, yaitu proses difusi karbon ke dalam permukaan baja untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus tanpa mengorbankan kelenturan bagian inti [2]. Namun demikian, keberhasilan proses ini tidak hanya bergantung pada parameter difusi karbon, tetapi sangat dipengaruhi oleh proses pendinginan (quenching) yang dilakukan setelah carburizing. Media pendingin menentukan laju transformasi fasa dan struktur mikro akhir, yang pada akhirnya berdampak pada karakteristik mekanik material [3].

Berbagai studi sebelumnya telah mengkaji pengaruh media pendingin terhadap hasil perlakuan panas baja. Hiremath et al., menunjukkan bahwa pendinginan cepat dapat menghasilkan transformasi austenit menjadi martensit yang signifikan, sementara pendinginan lambat cenderung menghasilkan struktur pearlite atau bainite [4]. Istiroyah membandingkan media pendingin air, oli, dan udara, dan menyimpulkan bahwa laju pendinginan yang tinggi dari oli dan air menghasilkan peningkatan kekerasan yang substansial, meskipun efektivitas media sangat bergantung pada kondisi permukaan dan transfer panas aktual [5]. Studi lainnya oleh Wiranata et al., menyoroti efektivitas media pendingin berbasis oli yang mengandung senyawa yang dapat menghambat laju pendinginan, yang dapat mencegah pembentukan film boiling dan meningkatkan kontak konduktif antara logam dan media cair [6]. Namun, sebagian besar penelitian berfokus pada karakteristik kekerasan secara global, dan belum secara komprehensif memetakan keterkaitan antara struktur mikro hasil difusi karbon, ketebalan lapisan case hardening, serta distribusi martensit sebagai hasil pendinginan dari media alternatif seperti oli.

Masih terdapat ruang ilmiah yang belum banyak dieksplorasi, yaitu studi tentang pengaruh langsung media pendingin air laut terhadap ketebalan lapisan difusi karbon serta sebaran mikrostruktur martensit dibandingkan dengan media lain seperti udara, aquadest, dan oli. Terlebih, air laut sebagai media pendingin memiliki potensi praktis yang tinggi dalam aplikasi lapangan, terutama untuk industri maritim dan bengkel pesisir, namun sangat minim dibahas dalam literatur teknik metalurgi secara sistematis. Selain itu, kebanyakan studi terdahulu belum mengintegrasikan hasil foto mikro

secara kuantitatif (panjang lapisan difusi) dengan data kekerasan permukaan sebagai satu kesatuan pemahaman.

Pada penelitian ini akan dilakukan kajian mendalam tentang pengaruh variasi media pendingin terhadap hasil proses carburizing pada baja karbon rendah, dengan fokus pada hubungan antara ketebalan lapisan hasil difusi, struktur mikro permukaan, serta nilai kekerasan permukaan. Proses carburizing dilakukan dengan metode carburizing konvensional, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan menggunakan empat media berbeda: udara, aquadest dan oli. Observasi dilakukan melalui pengujian kekerasan Vickers secara melintang dan karakterisasi mikrostruktur menggunakan mikroskop optik.

Metode Penelitian

Metode eksperimen digunakan pada penelitian ini, dimana spesimen baja karbon sedang (mild steel) dilakukan proses carburizing pada suhu 950°C kemudian didinginkan menggunakan media pendingin diantaranya udara, air murni dan oli. serbuk carbon yang berasal dari tulang sapi dimanfaatkan sebagai media carburizing, selain itu energizer berupa Na_2CO_3 digunakan sebagai bahan aktif pada proses carburizing dengan perbandingan komposisi antara serbuk carbon tulang sapi dengan energizer Na_2CO_3 adalah 70%wt:30%wt. Pemasakan pada proses carburizing dilakukan selama 60 menit memanfaatkan furnace. Skema penelitian proses carburizing pada material baja karbon sedang dapat dilihat pada gambar dan pendinginan menggunakan berbagai macam variasi media pendingin dapat dilihat pada Gambar 1. Untuk mengetahui spesifikasi dan jenis material yang digunakan, maka dilakukan uji komposisi kimia. Sedangkan untuk menganalisis sifat fisis dan mekanik spesimen sebelum dan sesudah proses carburizing, pada penelitian ini dilakukan uji foto mikro [7] dan uji kekerasan melintang vickers [8], [9].



Gambar 1. Proses pemanasan spesimen dan media pendinginan setelah proses carburizing

Hasil dan Pembahasan

Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui unsur kimia yang terdapat dalam spesimen. Proses pengujian ini menggunakan alat BRUKER Q2 ION, yang mana pengujian ini dilakukan di Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten. Hasil pengujian komposisi kimia spesimen bisa dilihat pada Tabel 1. Dari hasil pengujian komposisi kimia dapat diketahui bahwa jenis material induk yang digunakan sebagai spesimen pada proses carburizing adalah baja karbon sedang (*mild steel*).

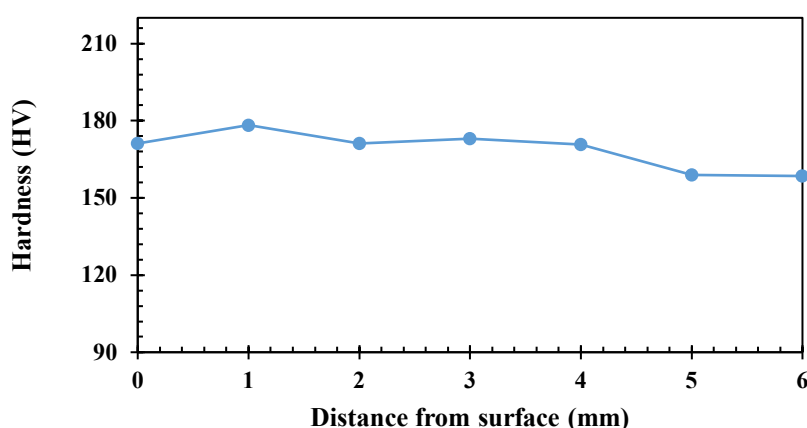
Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia

Unsur	Sampel Uji	
	384/22-S1123 (%)	Standart Deviasi
C	0,175	0,0036
Si	0,282	0,0084
Mn	0,894	0,019
Cr	0,091	0,0007
Ni	0,098	0,0024
Cu	0,253	0,0014

Unsur	Sampel Uji	
	384/22-S1123 (%)	Standart Deviasi
Al	<0,0050	0,00000
Co	0,013	0,0037
Mg	<0,0050	0,00005
Fe	98,10	0,018

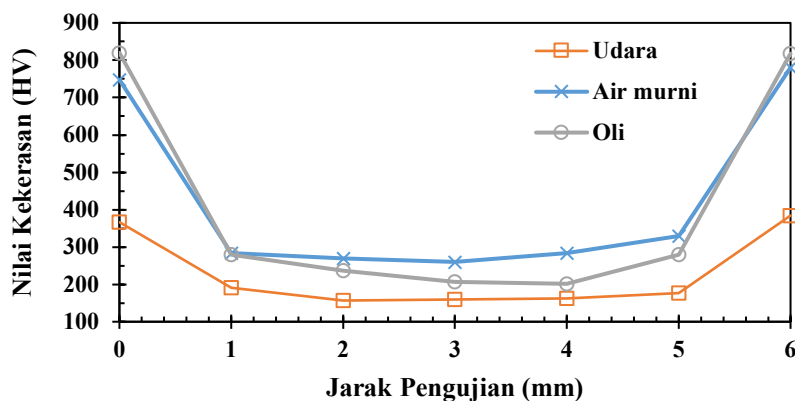
Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan vickers dilakukan secara tampang melintang pada spesimen sebelum dan sesudah proses carburizing. Gambar 2 menunjukkan hasil kekerasan vickers secara tampang melintang pada material *non treatment*, dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa distribusi kekerasan berkisar antara 160 hingga 180 HV, dengan fluktuasi kecil sepanjang penampang yang mencerminkan tingkat homogenitas yang baik dari material. Hal tersebut dapat dipahami karena material yang digunakan merupakan material induk (*raw material*) yang belum mendapatkan perlakuan termal atau mekanik.



Gambar 2. Kekerasan vickers material non treatment

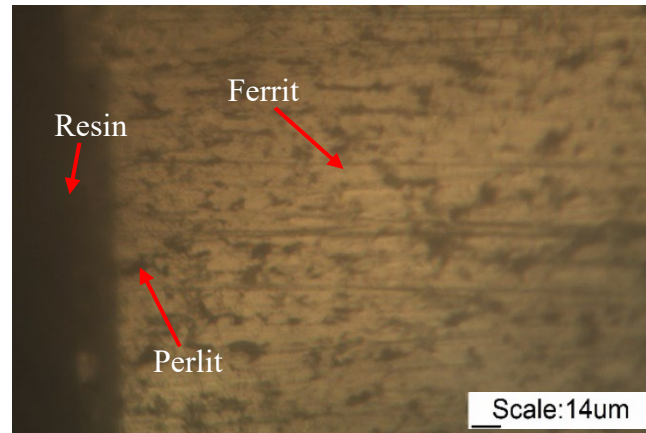
Hasil pengujian kekerasan melintang pada spesimen setelah proses carburizing dilanjut dengan proses pendinginan menggunakan media pendingin yang berbeda dapat dilihat pada gambar 3, dimana semua spesimen menunjukkan nilai kekerasan maksimum di permukaan, yang kemudian menurun drastis hingga kedalaman sekitar 1–2 mm, sebelum stabil di bagian inti. Pendinginan yang cepat setelah proses carburizing mempercepat transformasi fasa martensit sehingga meningkatkan kekerasan permukaan secara signifikan [10]. Media seperti air murni dan oli memiliki laju pendinginan yang lebih tinggi dibanding udara.



Gambar 3. Kekerasan pada spesimen setelah proses carburizing dengan memvariasikan media pendingin

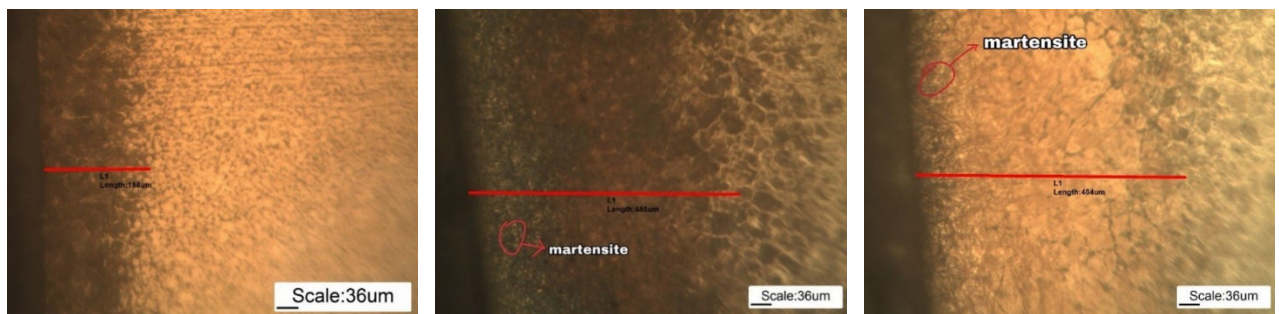
Mikrostruktur

Pengujian fotomikro dilakukan pada spesimen sebelum dan sesudah proses carburizing. Gambar 4 menunjukkan spesimen sebelum dilakukan proses carburizing (*raw material*), dari hasil fotomikro tersebut menunjukkan dominasi fasa ferrit menunjukkan sifat lunak dan fasa pearlite sebagai penguat tambahan [11]–[13].



Gambar 4. Spesimen induk sebelum proses carburizing (*non treatment*)

Gambar 5. Menunjukkan hasil fotomikro spesimen setelah proses carburizing dengan memvariasikan media pendingin diantaranya udara, aquadest dan oli. Dari hasil pengujian dapat terlihat bahwa proses carburizing sangat mempengaruhi struktur mikro. Gambar 5.a yang merupakan fotomikro hasil carburizing dengan pendinginan media udara terlihat pembentukan lapisan difusi karbon sedalam $\sim 188 \mu\text{m}$ dari permukaan selain itu, pendinginan udara menghasilkan transformasi ke pearlite/ferrite, bukan martensit, sehingga kekerasan permukaan tidak maksimal [14]. Sedangkan Gambar 5.c merupakan hasil uji foto mikro pada spesimen hasil proses carburizing dengan pendinginan oli, dimana dari fotomikro terlihat pengaruh proses carburizing dan pendinginan cepat dengan terbentuknya martensit pada permukaan hingga kedalaman $\sim 484 \mu\text{m}$. Pendinginan menggunakan oli cukup efektif untuk meningkatkan kekerasan permukaan melalui transformasi martensit [15].



Gambar 5. Hasil foto micro pada spesimen setelah proses carburizing dengan variasi media pendingin a) Udara, b) Aquadest dan c) Oli

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses carburizing efektif meningkatkan kekerasan permukaan baja karbon rendah melalui pembentukan lapisan difusi karbon, dengan karakteristik mikrostruktur dan nilai kekerasan yang sangat dipengaruhi oleh media pendingin yang digunakan. Pendinginan menggunakan udara menghasilkan struktur ferrite–pearlite dengan kekerasan rendah, sedangkan aquadest dan oli membentuk struktur campuran pearlite halus dan sebagian martensit dengan kekerasan sedang. Pendinginan menggunakan oli terbukti paling efektif, membentuk struktur martensit dominan dengan kedalaman difusi hingga $\pm 484 \mu\text{m}$

dan kekerasan permukaan tertinggi yakni 817 HV, menjadikannya pilihan ideal untuk peningkatan ketahanan aus komponen teknik tanpa mengurangi ketangguhan inti material.

Daftar Pustaka

- [1] Margono, B. H. Priyambodo, and K. C. Nugroho, "Pengaruh Laju Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon S45C," *J. Creat. Res. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 60–66, 2021.
- [2] 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>.
- [3] N. T. Atmoko, B. H. Priyambodo, Margono, and suryono Edy, "The heat treatment effect of cast iron on mechanical properties and microstructure," vol. 070019, 2023, doi: 10.1063/5.0116343.
- [4] P. Hiremath, S. Sharma, M. C. Gowrishankar, M. Shettar, and B. M. Gurumurthy, "Effect of post carburizing treatments on residual stress distribution in plain carbon and alloy steels- A numerical analysis," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 8439–8450, 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.05.104.
- [5] Istiroyah, D. W. Septi, and Suhana, "The Effect of Quenching Media on Hardness and Carbon Content in Carburized Steel," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 546, no. 4, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/546/4/042014.
- [6] F. MS, W. Wiranata, and S. Prasetyo, "EFFECT OF VARIATIONS OF NaCl QUENCHING MEDIA ON LOW AISI 1020 CARBON STEEL WITH CARBURIZING PROCESS," *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 7, no. 1, p. 16, 2022, doi: 10.33021/jmem.v7i1.3504.
- [7] American Society for Testing and Materials, "ASTM E407-07e1: Standard practice for microetching metals and alloys," *Annu. B. ASTM Stand.*, p. 22, 2007, doi: 10.1520/E0407-07.2.
- [8] G. D. Quinn, R. Gettings, and L. K. Ives, "A standard reference material for vickers hardness of ceramics and Hardmetals," *IMEKO TC5 Conf. Hardness Meas. Theory Appl. Lab. Ind. HARDMEKO 2004*, no. February, pp. 90–97, 2004.
- [9] K. Hardness *et al.*, "Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials BT - Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials," vol. i, pp. 1–27, 17AD, doi: 10.1520/E0092-17.2.
- [10] S. G. Onkar, F. C. Raghuwanshi, D. R. Patil, and T. Krishnakumar, "Synthesis, Characterization and Gas Sensing Study of SnO₂ Thick Film Sensor towards H₂S, NH₃, LPG and CO₂," *Mater. Today Proc.*, vol. 23, pp. 190–201, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.017.
- [11] B. H. Priyambodo, Margono, K. C. Nugroho, N. T. Atmoko, and R. I. Yaqin, "Effect of Oil Quenching and Shot Peening to Improve Hardness Behavior of S45C Carbon Steel," *Mater. Sci. Forum*, vol. 1067, pp. 27–33, 2022, doi: 10.4028/p-dt2v5c.
- [12] N. T. Atmoko, Margono, and B. H. Priyambodo, "Analisa Jenis Fluida Pendingin Proses Quenching pada Besi Cor Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro," vol. 23, no. 3, pp. 26–30, 2021.
- [13] F. N. Hidayah and N. Triatmoko, "Karakterisasi sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah hasil proses hardening," vol. 14, no. 1, pp. 75–82, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1080.
- [14] V. Bourg, P. Jenny, A. S. Caro-Bretelle, N. Le Moigne, V. Guillard, and A. Bergeret, "Modeling of internal residual stress in linear and branched polyethylene films during cast film extrusion: Towards a prediction of heat-shrinkability," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 271, no. July 2018, pp. 599–608, 2019, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2019.04.002.
- [15] M. Y. Kolawole, S. A. Aliyu, S. A. Bello, K. O. Oladosu, and I. J. Owoeye, "Effect of bio-mineral oil blend quenchant on the mechanical properties of carburized mild-steel," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 70, no. 1, pp. 1–13, 2023, doi: 10.1186/s44147-023-00263-z.