

Analisis Mikrostruktur dan Performa Aus Baja S45C Dengan Perlakuan Panas pada Suhu 700°C, 750°C, dan 800°C

Agung Supriyanto¹, Agus Jamaldi¹, Margono^{1*}, Budi Nugroho², Afif Faishal³,
Fedrian Ahmadthur Rengga⁴

¹Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi "Warga" Surakarta
Jl. Raya Solo - Baki No.Km 2, Kwarasan, Kec. Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah
57552

²Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi "Warga" Surakarta
Jl. Raya Solo - Baki No.Km 2, Kwarasan, Kec. Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah
57552

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kec. Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah
57162

⁴Prodi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi "Warga" Surakarta
Jl. Raya Solo - Baki No.Km 2, Kwarasan, Kec. Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah
57552

*Corresponding author: margono@sttw.ac.id

Abstract

This study aims to evaluate the effect of heat treatment with varying temperatures on the hardness, microstructure, and wear resistance of S45C carbon steel. Specimens were heated at temperatures of 700°C, 750°C, and 800°C for 30 minutes, then rapidly cooled using a salt water medium. The results showed that an increase in heat treatment temperature significantly increased surface hardness, with the highest value recorded at 800°C, namely 357.4 HV, and cross-sectional hardness, namely 617.3 HV. Microstructural observations revealed that the martensite phase was predominantly formed at high temperatures, contributing to increased hardness and resistance to deformation due to friction. Wear tests showed a correlation between hardness and wear volume, where specimens with higher hardness exhibited narrower and smoother wear marks. These findings confirm that heat treatment temperature control is a key factor in optimising the surface performance of S45C steel for engineering applications requiring high wear resistance.

Keywords: S45C steel, heat treatment, hardness, microstructure, wear resistance.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan panas dengan variasi suhu terhadap kekerasan, struktur mikro, dan ketahanan aus baja karbon S45C. Spesimen dipanaskan pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C selama 30 menit, kemudian didinginkan secara cepat menggunakan media air garam. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan suhu perlakuan panas secara signifikan meningkatkan kekerasan permukaan, dengan nilai tertinggi tercatat pada suhu 800°C, yaitu 357,4 HV dan nilai kekerasan penampang melintang, yaitu 617,3 HV. Pengamatan struktur mikro mengungkapkan bahwa fasa martensit terbentuk dominan pada suhu tinggi, memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekerasan dan ketahanan terhadap deformasi akibat gesekan. Uji keausan menunjukkan korelasi antara kekerasan dan volume keausan, di mana spesimen dengan kekerasan lebih tinggi menunjukkan jejak keausan yang lebih sempit dan halus. Temuan ini menegaskan bahwa pengaturan suhu perlakuan panas merupakan faktor utama dalam optimalisasi performa permukaan baja S45C untuk aplikasi teknik yang membutuhkan ketahanan aus tinggi.

Kata kunci: baja S45C, perlakuan panas, kekerasan, struktur mikro, ketahanan aus.

1. Pendahuluan

Industri manufaktur mengalami pertumbuhan yang signifikan, dengan baja menjadi salah satu material utama dalam berbagai proses produksi, khususnya dalam pembuatan alat dan komponen otomotif.

Kualitas mekanik baja, yang sangat dipengaruhi oleh kadar karbon di dalamnya, memainkan peran penting dalam menentukan performa akhir produk. Oleh karena itu, rekayasa material menjadi aspek krusial dalam upaya meningkatkan sifat mekanik baja agar sesuai dengan kebutuhan



industri.

Perlakuan panas meningkatkan sifat mekanik baja dengan mengubah fasa, dan mikrostruktur. Proses ini melibatkan pendinginan terkontrol, annealing, normalisasi, pengerasan, dan tempering [1][2]. Proses ini sangat penting untuk mengubah mikrostruktur dan sifat bahan teknik, terutama baja karbon sedang. Teknik ini sangat bermanfaat untuk menghasilkan lapisan berkekuatan tinggi, karena mampu meningkatkan kekerasan mikro serta ketangguhan terhadap patahan secara signifikan [3]. Berbagai studi menunjukkan bahwa perlakuan panas juga dapat memperbaiki sifat antarmuka pada lapisan hasil peleburan laser Inconel 625, meskipun mekanisme patah yang terjadi tetap menunjukkan karakter campuran baik sebelum maupun sesudah perlakuan [4].

Pendinginan dapat dilakukan secara lambat di udara terbuka atau secara cepat melalui media pendingin seperti air, minyak, atau larutan garam (*quenching*), yang merupakan metode utama dalam peningkatan kekerasan dan kekuatan baja. Tujuan dari proses *quenching* adalah untuk menghindari terbentuknya fasa ferrit dan perlit, serta mendorong transformasi fasa austenit menjadi bainit atau martensit, yang memiliki karakteristik mekanik unggul. Transformasi martensitik merupakan perubahan fasa non-difusional yang terjadi secara cepat dari austenit selama pendinginan intensif [5]. Studi terdahulu mengenai perlakuan panas yang berpotensi menurunkan kekuatan mekanik baja umumnya berfokus pada baja karbon rendah dan baja paduan rendah [6][7][8]. Namun, pengaruh perlakuan panas terhadap baja karbon sedang, serta potensi aplikasinya dalam industri, masih belum banyak dieksplorasi. Hasil karakterisasi material pasca-perlakuan panas menunjukkan bahwa paparan suhu tinggi dapat menyebabkan penurunan kekuatan leleh (*yield strength*) dan kekuatan maksimum (*ultimate tensile strength*), namun di sisi lain dapat meningkatkan kemampuan deformasi plastis (*elongation*) [9].

Untuk memahami fenomena ini secara lebih mendalam, dilakukan studi

komprehensif terhadap baja S45C dengan variasi suhu perlakuan panas sebesar 700°C, 750°C, dan 800°C, diikuti oleh proses pendinginan cepat yang dikontrol secara presisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan sifat permukaan dan perilaku mekanik material sebagai akibat dari perlakuan termal tersebut.

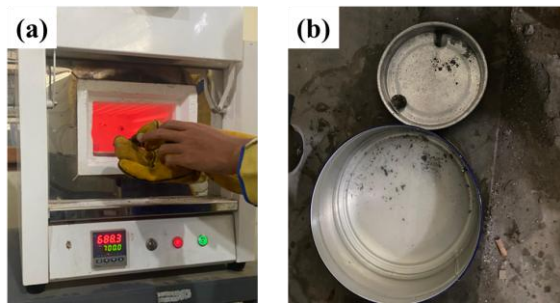
2. Metode Penelitian

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon sedang tipe S45C berbentuk silinder dengan diameter 15 mm dan ketebalan 17 mm. Komposisi kimia spesimen (dalam persen berat) disajikan pada Tabel 1. Untuk memastikan kualitas permukaan yang optimal sebelum pengujian, spesimen terlebih dahulu dihaluskan menggunakan amplas bertingkat, mulai dari grit 400 hingga 2000. Setelah proses pengamplasan, permukaan spesimen dipoles menggunakan autosol guna menghilangkan goresan dan memperoleh permukaan yang halus.

Tabel 1. Komposisi spesimen baja S45C

Unsur	Kandungan (%)
Fe	98,4
C	0,48
Si	0,22
Mn	0,49
Cr	0,29
Mo	0,02
Cu	0,010
Al	0,080
Nb	0,021
Ti	0,006

Spesimen yang telah dipersiapkan kemudian dibersihkan dan dimasukkan ke dalam tungku pemanas. Proses perlakuan panas dilakukan pada tiga variasi suhu, yaitu 700°C, 750°C, dan 800°C, masing-masing dengan waktu penahanan selama 30 menit. Setelah pemanasan, spesimen didinginkan secara cepat dengan merendamnya ke dalam media air garam untuk menghasilkan transformasi fasa yang diinginkan, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses perlakuan panas dan pendinginan dengan media air garam pada spesimen S45C.

Setelah perlakuan panas, dilakukan pengamatan mikrostruktur untuk mengevaluasi perubahan struktur mikro pada permukaan baja S45C. Spesimen kembali dipoles hingga permukaannya halus, kemudian diamati menggunakan mikroskop optik. Selanjutnya, dilakukan pengujian kekerasan mikro pada permukaan dan penampang melintang spesimen, dengan titik pengukuran pada rentang 0–6 mm. Pengujian menggunakan metode Vickers mikro sesuai standar ASTM E92 [10], dengan beban 9,8 N dan waktu penekanan selama 5 detik. Indentor yang digunakan berbentuk piramida berlian dengan sudut 136° pada bidang dasarnya.

Uji keausan dilakukan pada seluruh spesimen menggunakan Ogoshi High-Speed Universal Wear Testing Machine (Model OAT-U) dalam mode cakram berputar (rotating disc). Cakram lawan terbuat dari baja alat AISI D2 yang telah mengalami proses hardening dan tempering, dengan kekerasan sebesar 58 HRC, ketebalan 3 mm, dan diameter luar 30 mm. Parameter pengujian meliputi beban kontak sebesar 6,13 kg, jari-jari kontak 13 mm, dan durasi pengujian selama 60 detik. Laju keausan spesifik dihitung menggunakan Persamaan (1) [11].

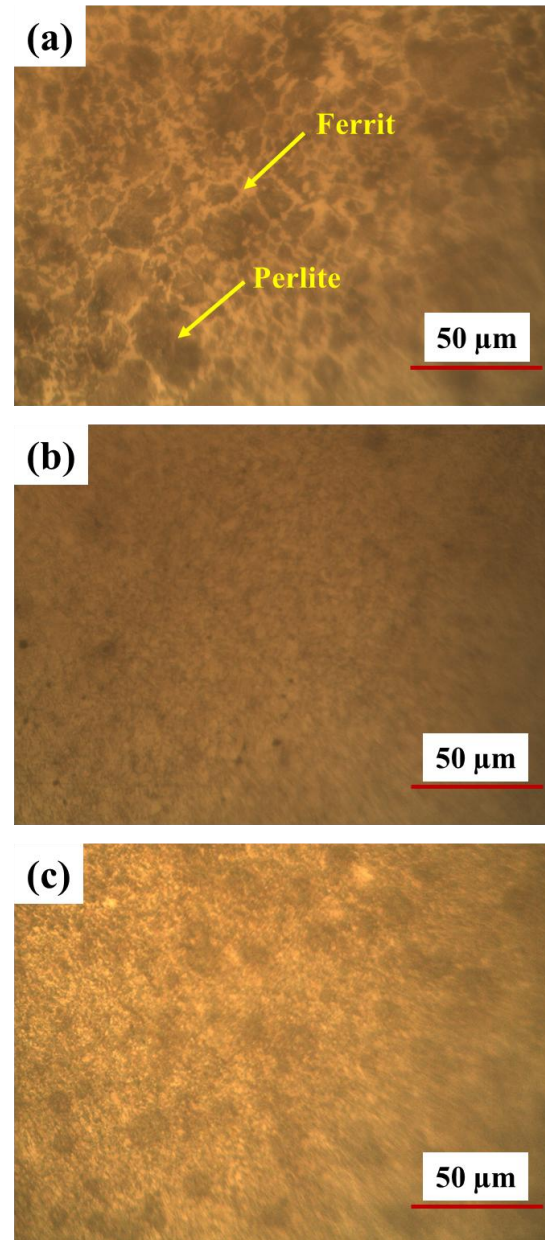
$$W_s = \frac{V}{W \times L} \quad (\text{mm}^3/\text{kg.m}) \quad (1)$$

Laju keausan spesifik (W_s) ditentukan menggunakan volume keausan (V), beban uji (W), dan jarak geser (L), yang dihitung sesuai dengan Persamaan (1). Setelah uji keausan selesai, permukaan keausan diperiksa menggunakan alat mikroskop olympus untuk melihat jejak keausan pada

permukaan. Selanjutnya, dilakukan pengukuran 9 pada bagian jejak aus [12][13].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Struktur mikro



Gambar 2. Mikrostruktur permukaan spesimen S45C setelah perlakuan panas (a) 700°C, (b) 750°C, dan (c) 800°C dengan pendinginan air garam.

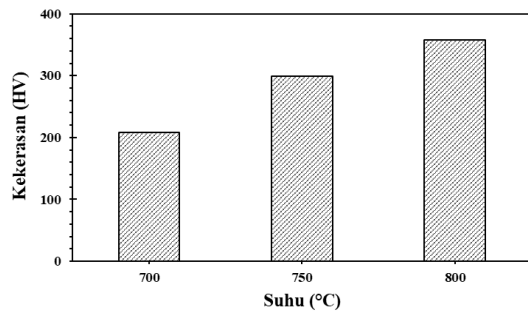
Gambar 2 menunjukkan mikrostruktur baja S45C yang diberi perlakuan panas. Mikrostruktur baja S45C yang dipanaskan dengan suhu 700°C menunjukkan adanya ferrit putih dan perlit hitam. Hal ini disebabkan oleh komposisi bahan kerja yang mengandung 0,44%

karbon. Perlite relatif kuat, keras, dan lentur, sedangkan ferit lunak, dan lentur.

Gambar 2(b) dan 2(c) menunjukkan mikrostruktur spesimen yang dipanaskan dengan media pendinginan air garam, di mana struktur martensit dan bainit terbentuk. Pendinginan cepat dengan media pendinginan air garam, dari fase austenit ke fase martensit. Hal ini akan menyebabkan peningkatan kekerasan spesimen setelah proses pemanasan [14].

3.2 Sifat mekanik

Gambar 3 menyajikan hasil pengujian kekerasan pada spesimen baja karbon S45C setelah menjalani proses perlakuan panas pada tiga variasi suhu, yaitu 700°C, 750°C, dan 800°C, dengan metode pendinginan cepat menggunakan media air garam. Berdasarkan hasil pengujian, terjadi peningkatan signifikan pada nilai kekerasan, di mana spesimen yang dipanaskan pada suhu 800°C menunjukkan kekerasan tertinggi, yaitu sebesar 357,4 HV.

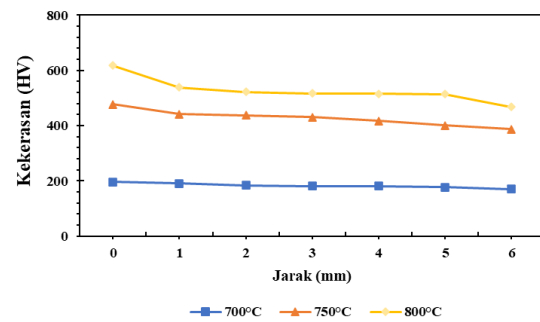


Gambar 3. Kekerasan permukaan spesimen S45C setelah perlakuan panas (a) 700°C, (b) 750°C, dan (c) 800°C dengan pendinginan air garam.

Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan suhu perlakuan panas berkontribusi terhadap pembentukan struktur mikro yang lebih keras, seperti martensit, yang terbentuk selama proses pendinginan cepat [15].

Gambar 4 menyajikan distribusi nilai kekerasan pada penampang melintang spesimen baja karbon S45C setelah perlakuan panas pada tiga variasi suhu, yaitu 700°C, 750°C, dan 800°C, dengan metode pendinginan cepat menggunakan media air garam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen yang dipanaskan pada suhu 800°C

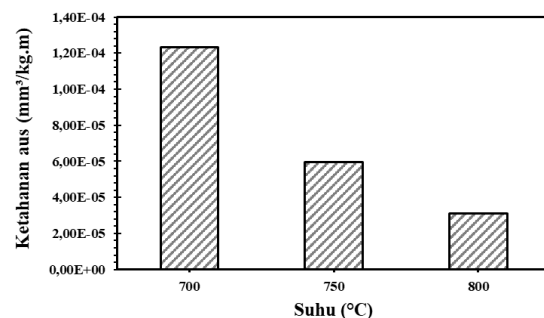
memiliki nilai kekerasan tertinggi, mencapai sekitar 617,3 HV di permukaan, yang kemudian menurun secara bertahap seiring bertambahnya kedalaman pengukuran. Spesimen yang dipanaskan pada suhu 750°C menunjukkan nilai kekerasan menengah, sedangkan spesimen pada suhu 700°C memiliki kekerasan paling rendah, dengan nilai awal sekitar 196,1 HV.



Gambar 4. Kekerasan penampang melintang spesimen S45C setelah perlakuan panas (a) 700°C, (b) 750°C, dan (c) 800°C dengan pendinginan air garam.

3.3 Ketahanan aus

Gambar 5 menunjukkan keausan pada spesimen baja karbon S45C yang telah mengalami perlakuan panas dengan variasi suhu 700°C, 750°C, dan 800°C. Terlihat bahwa ketahanan aus meningkat (volume keausan menurun) seiring dengan kenaikan suhu perlakuan panas.



Gambar 5. Ketahanan aus spesimen S45C setelah perlakuan panas (a) 700°C, (b) 750°C, dan (c) 800°C dengan pendinginan air garam.

Kenaikan suhu perlakuan panas menyebabkan terbentuknya struktur mikro yang lebih keras, seperti martensit, yang secara langsung meningkatkan nilai kekerasan material. Kekerasan yang lebih tinggi membuat permukaan material lebih

tahan terhadap deformasi plastis dan gesekan, sehingga volume keausan menjadi lebih kecil. Sebaliknya, pada suhu yang lebih rendah, struktur mikro yang terbentuk cenderung lebih lunak (seperti perlit atau ferit), sehingga kekerasan menurun dan keausan meningkat [16].

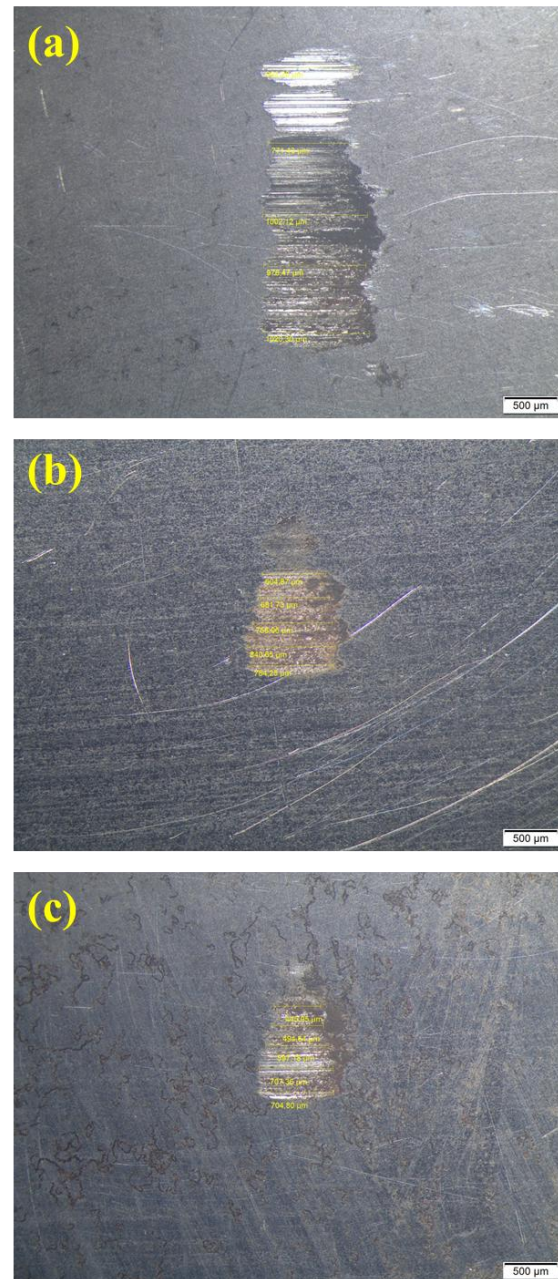
Dengan demikian, terdapat korelasi antara kekerasan dan keausan, semakin tinggi kekerasan material, semakin rendah tingkat keausannya. Korelasi ini penting dalam aplikasi teknik, terutama untuk komponen yang bekerja di lingkungan dengan gesekan tinggi, di mana peningkatan kekerasan melalui perlakuan panas dapat secara signifikan memperpanjang umur pakai material.

Gambar 6 menunjukkan dampak suhu terhadap keausan pada baja S45C sangat erat kaitannya dengan perubahan struktur mikro yang terjadi selama proses perlakuan panas. Berdasarkan hasil pengamatan citra mikro jejak keausan dan data kekerasan permukaan, dapat disimpulkan bahwa peningkatan suhu perlakuan panas menghasilkan peningkatan kekerasan material, yang secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan aus.

Pada suhu rendah (700°C), struktur mikro yang terbentuk cenderung terdiri dari fasa ferit dan perlit, yang memiliki kekerasan relatif rendah. Hal ini menyebabkan permukaan material lebih mudah mengalami deformasi plastis dan abrasi saat mengalami gesekan, sehingga jejak keausan tampak lebih lebar dan dalam. Sebaliknya, pada suhu tinggi (hingga 800°C), terbentuk struktur martensitik yang lebih keras dan rapat, sehingga permukaan material menjadi lebih tahan terhadap gesekan dan menunjukkan jejak keausan yang lebih sempit dan halus [17].

Penelitian oleh Chang et al. (2014) juga menunjukkan bahwa peningkatan suhu perlakuan panas dan modifikasi struktur mikro, seperti melalui pelapisan Ni-P dan pembentukan fasa Ni_3P , dapat meningkatkan kekerasan hingga lebih dari

1000 HV dan secara signifikan mengurangi kedalaman keausan [18].



Gambar 6. Struktur mikro jejak keausan spesimen S45C setelah perlakuan panas (a) 700°C , (b) 750°C , dan (c) 800°C dengan pendinginan air garam.

Hal ini memperkuat korelasi antara kekerasan dan volume keausan, semakin tinggi kekerasan, semakin rendah tingkat keausan.

Dengan demikian, suhu perlakuan panas merupakan parameter kritis dalam pengendalian performa aus baja S45C. Pengaturan suhu yang tepat memungkinkan pembentukan struktur mikro yang optimal

untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus tinggi, seperti komponen mesin dan alat berat. Studi pack-carburizing pada baja S45C menunjukkan bahwa pada suhu 1000 °C selama 60 menit, terjadi peningkatan fasa martensit di permukaan, menghasilkan kekerasan hingga 693 HV dan laju aus sangat rendah ($\sim 1,91 \times 10^{-4}$ mm²/kg). Hasil ini sangat konsisten dengan pernyataan bahwa suhu kritis dan durasi perlakuan panas memengaruhi mikrostruktur dan ketahanan aus [19].

4. Kesimpulan

Perlakuan panas dengan variasi suhu memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan ketahanan aus baja karbon S45C. Semakin tinggi suhu perlakuan, semakin besar pembentukan fasa martensit yang meningkatkan kekerasan permukaan material. Kekerasan yang tinggi berkontribusi langsung terhadap peningkatan ketahanan aus, ditunjukkan oleh jejak keausan yang lebih sempit dan halus. Terdapat korelasi negatif yang kuat antara kekerasan dan volume keausan. Semakin tinggi kekerasan, semakin rendah tingkat keausan. Struktur mikro yang terbentuk pada suhu tinggi lebih stabil dan tahan terhadap deformasi akibat gesekan. Oleh karena itu, pengaturan suhu perlakuan panas menjadi faktor utama dalam optimalisasi performa permukaan baja untuk aplikasi teknik yang menuntut ketahanan aus tinggi.

Ucapan terimakasih

Terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (PPPM) Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta yang telah mendanai penelitian ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada kepala Laboratorium dan teknisi Pengujian Bahan Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta atas segala fasilitas yang diberikan.

Referensi

[1] B. H. Priyambodo, M. Margono, and

- R. I. Yaqin, “Gabungan Quenching-Variasi Tekanan Shot peening Terhadap Kekerasan Permukaan dan Struktur Mikro Permukaan Baja S45C,” *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 4, no. 1, pp. 27–34, 2022, doi: 10.18196/jqt.v4i1.16170.
- [2] M. N. Alwarits, Daswarman, “Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Hardening Terhadap Peningkatan Kekerasan Baja Karbon Sedang,” *Automot. Eng. Educ. Journals*, vol. 2, no. 2, 2014.
- [3] A. Muhyi, N. Ramadhanty, E. Pujiyulianto, K. Rajagukguk, and F. Paundra, “Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Fully Pearlitic Steel,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 189–195, 2023, doi: 10.24127/trb.v12i2.2567.
- [4] N. P. Ramos, M. de Melo Antunes, A. A. A. P. da Silva, G. Guimarães, and S. M. M. de Lima e Silva, “Influence of quenching and tempering heat treatment on heat flux to the workpiece in dry milling of AISI 1045 steel,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 64, no. May, 2024, doi: 10.1016/j.csite.2024.105567.
- [5] 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.
- [6] M. Chamim, M. Margono, F. N. Hidayah, and N. T. Atmoko, “Karakterisasi Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Baja Paduan Rendah Hasil Proses Hardening,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 75–82, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1080.
- [7] AWEDA, T. A. J.O., ORHADAHWE, and I. . OHIJEAGBON, “Rapid Cyclic Heating of Mild Steel and its Effects

- on Microstructure and Mechanical properties,” in *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2018, p. 012016. doi: 10.1088/1757-899X/413/1/012016.
- [8] G. SINGH, “A review on effect of heat treatment on the properties of mild steel,” *Mater. Today Proc.*, vol. xxx, no. xxxx, p. xxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.702.
- [9] V. Javaheri, O. Haiko, S. Sadeghpour, K. Valtonen, J. Komia, and D. Porter, “On the role of grain size on slurry erosion behavior of a novel medium-carbon , low-alloy pipeline steel after induction hardening,” *Wear*, vol. xxx, no. xxxx, p. xxx, 2021.
- [10] ASTM and E92, “Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials,” vol. i, pp. 1–27, 2017, doi: 10.1520/E0092-17.2.
- [11] Margono, D. B. Darmadi, F. Gapsari, T. D. Widodo, and M. Kozin, “Enhancing surface properties of Al 6061 alloy using duplex TiNi films via plasma nitriding,” *Results in Surfaces and Interfaces*, vol. 18, no. 1, p. 100434, 2025, doi: 10.1016/j.rsufi.2025.100434.
- [12] Margono *et al.*, “Optimized deposition parameters for titanium nitride coatings: Enhancing mechanical properties of Al 6011 substrates via DC sputtering,” *Mech. Eng. Soc. Ind.*, vol. 4, no. 2, pp. 252–262, 2024, doi: 10.31603/mesi.12266.
- [13] ASTM and G99-17, “Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus 1,” *ASTM Int.*, vol. 05, no. 2016, pp. 5–10, 2020, doi: 10.1520/G0099-17.Copyright.
- [14] O. O. Agboola *et al.*, “Optimization of heat treatment parameters of medium carbon steel quenched in different media using Taguchi method and grey relational analysis,” *Heliyon*, vol. 6, no. e04444, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04444.
- [15] H. Purwanto, “ANALISA QUENCHING PADA BAJA KARBON RENDAH DENGAN MEDIA SOLAR,” *Momentum*, vol. 7, no. 1, pp. 36–40, 2011.
- [16] A. Rafaaltaweel and M. Tolouei-rad, “Effect Of Quenching Media , Specimen Size And Shape On The Hardenability Of Aisi 4140 Steel,” *Emirates J. Eng. Res.*, vol. 19, no. 2, pp. 33–39, 2014.
- [17] Y. C. Lin, S. W. Wang, and T. M. Chen, “A study on the wear behavior of hardened medium carbon steel,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 120, no. July 2000, pp. 126–132, 2002.
- [18] S. H. Chang, C. C. Chang, and C. Liang, “Improving the Surface Hardness and Wear Resistance of S45C Carbon Steel Via Various Heat Treatments and pH Values of Electroless Ni-P Deposition,” *Eng. Mater.*, pp. 1–13, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-04516-0_1.
- [19] Y. Yan, S. Li, M. Yuan, and Y. Yao, “The Effect of Temperature and Holding Time for Pack Carburizing of S45C Carbon Steel on Hardness , Wear Resistance and Microstructure The Effect of Temperature and Holding Time for Pack Carburizing of S45C Carbon Steel on Hardness , Wear Resistance and Mi,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, no. 1486, p. 012028, 2025, doi: 10.1088/1755-1315/1486/1/012028.