



Analisa Pengaruh Variasi Suhu Dan *Holding Time* Pemanasan Induksi Terhadap Morfologi Dan Sifat Mekanik Baja Sup 9A

Ahmad Muqorrob¹, Lisa Puspita Ariyanto², Merlyanalinda³

¹Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

Email : ahmadmuqorrob1830@gmail.com

Abstract

This study evaluates the effects of varying temperatures (850°C, 900°C, 950°C) and holding times (2, 7, 12 minutes) during induction heating on the microstructure, decarburization depth, and microhardness (Vickers) of SUP 9A spring steel. The experimental method involved induction heat treatment using combinations of these parameters, Vickers microhardness testing at 11 points per specimen, and microstructural analysis via metallographic microscopy at 500× magnification; data were analyzed descriptively and, where necessary, using the One-Way ANOVA statistical test. The results indicate that short holding times (2–7 minutes) maintained high hardness values (~323–327 HV) without significant decarburization, whereas a 12-minute holding time resulted in a significant decrease in hardness (~284–286 HV) accompanied by an increase in decarburization depth to 0.08–0.11 mm; the dominant microstructure remained ferrite-pearlite under the tested conditions.

Keywords: Induction heating, holding time, SUP 9A steel, microhardness, decarburization.

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi suhu (850°C, 900°C, 950°C) dan variasi holding time (2, 7, 12 menit) selama pemanasan induksi terhadap struktur mikro, kedalaman dekarburisasi, dan kekerasan mikro (Vickers) pada baja pegas SUP 9A. Metode eksperimental meliputi perlakuan panas pemanasan induksi dengan kombinasi parameter tersebut, pengujian kekerasan mikro Vickers pada 11 titik tiap spesimen, serta analisis struktur mikro menggunakan mikroskop metalografi pada perbesaran 500×; data dianalisis secara deskriptif dan dengan uji statistik One-Way ANOVA bila diperlukan. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan holding time singkat (2–7 menit) mempertahankan nilai kekerasan tinggi (~323–327 HV) tanpa tanda dekarburisasi bermakna, sedangkan holding time 12 menit menurunkan kekerasan signifikan (~284–286 HV) disertai peningkatan kedalaman dekarburisasi hingga 0,08–0,11 mm; struktur mikro dominan tetap ferrit–pearlit pada kondisi yang diuji.

Kata kunci : Pemanasan induksi, holding time, baja SUP 9A, kekerasan mikro, dekarburisasi.

1. Pendahuluan

Pegas adalah suatu komponen yang berfungsi struktural jangka panjang. Pegas daun untuk menerima beban dinamis dan memberikan memerlukan bahan dengan kombinasi kekuatan kenyamanan dalam berkendara. Salah satu material tarik tinggi, elastisitas, dan ketahanan lelah agar dasar yang digunakan untuk pegas daun adalah JIS dapat berfungsi optimal dalam sistem suspensi SUP 9A. Material JIS SUP 9A mempunyai kendaraan, oleh karena itu pemilihan baja SUP 9A kekuatan tarik yang tinggi, kekuatan elastic yang dan pengendalian parameter perlakuan panas baik dan ketahan terhadap korosi yang lebih baik sangat penting untuk menjamin performa dan umur dari baja karbon lainnya [1]. Karakteristik baja pegas pakai pegas daun [3]. Dalam penggunaannya, merujuk pada sifat-sifat khusus yang membuat komponen pegas bekerja secara kontinu di bawah material ini mampu bekerja secara optimal dalam beban dinamis dan siklik sehingga memerlukan aplikasi yang memerlukan kemampuan menahan sifat mekanik yang stabil. Kegagalan material,

seperti deformasi permanen, retak lelah (*fatigue crack*), maupun patah dini, umumnya dipengaruhi oleh kondisi struktur mikro yang terbentuk selama proses manufaktur dan perlakuan panas. Oleh karena itu, optimasi parameter perlakuan panas menjadi salah satu upaya penting untuk meningkatkan performa baja SUP 9A sehingga mampu memenuhi tuntutan aplikasi industri modern [2] Baja SUP 9A memiliki komposisi paduan menengah yang memberikan kemampuan pengerasan yang baik, namun sifat mekaniknya sangat dipengaruhi oleh homogenitas struktur mikro yang terbentuk selama proses austenitisasi, quenching, dan tempering [3] Pemanasan induksi menawarkan laju pemanasan cepat sehingga mengurangi risiko dekarburisasi permukaan, namun laju tersebut menimbulkan tantangan pada penentuan holding time agar pelarutan karbida dan homogenisasi austenit tercapai dengan benar [4] Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi suhu dan holding time pemanasan induksi terhadap kekerasan serta struktur mikro baja SUP 9A [5]

Baja pegas, khususnya seri SUP, dirancang untuk menahan beban siklik tinggi dengan keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan yang diperoleh melalui pengerasan (*quenching*) dan tempering; komposisi unsur paduan seperti C, Si, Mn, dan Cr mempengaruhi hardenability dan kestabilan mikrostruktur [1] Transformasi fasa pada baja (ferrit, perlit, austenit, martensit, sementit) dijelaskan oleh diagram fase Fe–Fe₃C dan sangat dipengaruhi oleh suhu perlakuan serta durasi penahanan (*holding time*), yang menentukan tingkat difusi karbon dan ukuran butir austenit. Dekarburisasi permukaan dapat terjadi jika atmosfer atau durasi pemanasan memungkinkan karbon berdifusi keluar, sehingga menyebabkan lapisan permukaan yang lebih lunak dan penurunan ketahanan lelah [6]

2. Metode Penelitian

Penelitian bersifat eksperimental kuantitatif untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan *holding time* pada proses pemanasan induksi terhadap morfologi struktur mikro serta sifat mekanik baja SUP 9A. Pendekatan eksperimental dipilih karena penelitian ini memerlukan perlakuan langsung terhadap spesimen dengan parameter yang berbeda, kemudian hasilnya diamati dan dibandingkan secara sistematis. Tujuan utama dari metode ini adalah memperoleh hubungan yang jelas antara variabel bebas berupa suhu dan holding time dengan variabel terikat berupa kekerasan mikro,

struktur mikro, dan kedalaman dekarburisasi pada material baja SUP 9A.

3. Hasil dan Pembahasan

Nilai kekerasan rata-rata menunjukkan pola konsisten antara suhu dan *holding time*. Untuk *holding time* 2 dan 7 menit, nilai rata-rata HV berada pada kisaran 323–327 HV untuk ketiga suhu yang diuji, sedangkan untuk *holding time* 12 menit terjadi penurunan tajam menjadi sekitar 284–286 HV. Secara spesifik, pada suhu 850°C nilai rata-rata HV adalah 327,5 (2 menit) 327,3 (7 menit) dan 286,7 (12 menit). Pada suhu 900°C nilai rata-rata HV adalah 325,0 (2 menit), 326,1 (7 menit), dan 285,6 (12 menit). Pada suhu 950°C nilai rata-rata HV adalah 325,4 (2 menit), 323,4 (7 menit) dan 284,5 (12 menit). Pengamatan struktur mikro memperlihatkan dominasi fasa ferrit dan pearlit pada semua perlakuan yang diuji, tanpa pembentukan martensit tegas setelah pengamatan pasca tempering pada kondisi penelitian. Pengukuran kedalaman dekarburisasi menunjukkan nilai 0,00 mm untuk semua perlakuan pada *holding time* 2 dan 7 menit, sedangkan pada *holding time* 12 menit muncul kedalaman dekarburisasi berkisar 0,08–0,11 mm tergantung suhu, menandakan kehilangan karbon permukaan pada durasi penahanan panjang.

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa peningkatan *holding time* hingga 12 menit selama pemanasan induksi memicu mekanisme difusi karbon keluar dari lapisan permukaan sehingga menimbulkan dekarburisasi yang mengurangi kandungan karbon efektif di permukaan; akibatnya nilai kekerasan yang bergantung pada kandungan karbon menurun signifikan.

Pada *holding time* singkat (2–7 menit) pemanasan induksi berhasil menaikkan suhu austenitisasi tanpa memberi waktu difusi karbon yang cukup untuk terjadi dekarburisasi, sehingga nilai kekerasan tetap tinggi dan permukaan tidak tampak menipis kandungan karbonnya. Perbedaan kecil nilai HV antara suhu 850–950°C pada holding time singkat menunjukkan bahwa pada pemanasan induksi, laju pemanasan yang cepat lebih dominan daripada perbedaan suhu terkontrol dalam menentukan homogenisasi austenit bila holding time tetap pendek. Dominasi ferrit–pearlit pada pengamatan mikro dapat dijelaskan oleh kondisi tempering yang mengembalikan sebagian struktur martensitik menjadi temper yang lebih stabil, sehingga penampakan akhir pasca tempering tidak menunjukkan martensit tajam. Secara praktis, temuan ini merekomendasikan bahwa untuk menjaga kekerasan permukaan dan mencegah

dekarburisasi pada baja SUP 9A saat pemanasan induksi, holding time harus dibatasi (≤ 7 menit) atau atmosfer pelindung/penanganan permukaan diterapkan bila durasi lebih panjang diperlukan. Dengan spesimen baja SUP 9A berukuran $70 \times 11 \times 534$ mm yang dipotong untuk pengujian. Perlakuan panas dilakukan dengan pemanasan induksi pada suhu 850°C , 900°C , dan 950°C masing-masing dengan holding time 2, 7, dan 12 menit, kemudian diikuti proses pendinginan/quenching dan tempering sesuai prosedur penelitian. Pengukuran kekerasan dilakukan memakai *Microhardness Vickers* dengan beban 300 gf dan dwell time 10 detik pada 11 titik tiap spesimen; rata-rata nilai HV dihitung untuk setiap kondisi. Persiapan metalografi (amplas, poles, etsa) dan pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan perangkat *Microstructure Scope* pada pembesaran $500\times$; kedalaman dekarburisasi diukur dari citra metalografi. Data kekerasan dianalisis deskriptif; penelitian juga menyebutkan penggunaan *One-Way ANOVA* untuk menguji signifikansi perbedaan antar perlakuan bila asumsi prasyarat terpenuhi.

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen laboratorium. Dalam penelitian ini, peneliti melakukan perlakuan panas pada spesimen baja SUP 9A dengan variasi suhu pemanasan induksi dan variasi holding time yang telah ditentukan. Setelah proses perlakuan panas selesai, spesimen diuji melalui pengamatan mikrostruktur dan pengujian kekerasan untuk mengetahui perubahan sifat material akibat perbedaan parameter perlakuan.[7] Perubahan morfologi akibat variasi suhu dan holding time berkorelasi langsung dengan sifat mekanik baja SUP 9A. Semakin tinggi fraksi martensit halus yang terbentuk, semakin tinggi nilai kekerasan dan kekuatan tarik material. Hal ini disebabkan martensit memiliki struktur body centered tetragonal (BCT) yang menghambat pergerakan dislokasi sehingga meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis.[8] Selain meningkatkan kekerasan, distribusi martensit yang homogen juga berpengaruh terhadap ketahanan lelah (*fatigue resistance*), yang merupakan sifat utama baja pegas. Struktur mikro yang homogen mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata sehingga mengurangi konsentrasi tegangan lokal yang menjadi titik awal propagasi retak. Sebaliknya, keberadaan martensit kasar maupun sisa ferit menyebabkan distribusi tegangan menjadi tidak seragam sehingga mempercepat inisiasi retak selama pembebanan berulang [9]

Pemanasan induksi memiliki keunggulan berupa laju pemanasan yang sangat cepat, efisiensi energi tinggi, serta pemanasan yang terlokalisasi sehingga mampu menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dibandingkan pemanasan konvensional apabila parameter proses dikendalikan dengan baik. Kombinasi suhu austenitisasi yang optimum dengan holding time yang memadai akan menghasilkan struktur martensit halus, distribusi karbon yang homogen, kekerasan tinggi, serta ketangguhan yang tetap baik. Sebaliknya, penyimpangan terhadap salah satu parameter tersebut dapat menyebabkan pertumbuhan butir, heterogenitas struktur mikro, hingga penurunan umur lelah komponen pegas. Oleh karena itu, pengaturan suhu dan holding time merupakan faktor kunci dalam optimasi proses induction hardening baja SUP 9A untuk aplikasi otomotif maupun industri yang memerlukan kombinasi kekuatan, kekerasan, dan ketahanan lelah yang tinggi [10]

4. Kesimpulan

Holding time pada pemanasan induksi berpengaruh signifikan terhadap kekerasan mikro dan kedalaman dekarburisasi pada baja SUP 9A. *Holding time* panjang (12 menit) menyebabkan penurunan kekerasan dari $\sim 323\text{--}327$ HV menjadi $\sim 284\text{--}286$ HV disertai munculnya dekarburisasi permukaan ($0,08\text{--}0,11$ mm). Variasi suhu antara 850°C hingga 950°C memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap nilai kekerasan bila holding time singkat diterapkan, tetapi suhu yang sama dengan *holding time* panjang mendukung proses dekarburisasi lebih cepat. Struktur mikro akhir yang diamati dominan ferit–pearlit sesuai dengan kondisi tempering yang mengurangi ciri martensit tajam; hal ini menunjukkan pentingnya penentuan siklus tempering untuk mencapai keseimbangan kekerasan dan ketangguhan [7]

5. Daftar Rujukan

- [1] N. A. Fadli, A. S. Ismy, and I. syahri Cebro, "PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN BAJA JIS SUP 9A PADA MATA PISAU," *J. Teknol.*, vol. 22, no. 1, pp. 24–30, 2022.
- [2] Z. Qi *et al.*, "Effect of Induction Heating Temperature on the Uniformity of Mechanical Properties of Bulb Flat Steel Sections in the Quenched State," *Materials*, vol. 18, no. 11, p. 2626, 2025. doi: 10.3390/ma18112626.

- [3] D. A. Duque-Sarmiento and D. A. Baño-Morales, "Assessment of hydraulic oil properties during operation of a mini loader," *Lubricants*, vol. 12, no. 9, p. 320, 2024.
- [4] K. Waas and V. Danny, "Pengaruh holding time dan variasi media quenching terhadap nilai kekerasan baja karbon rendah st 42 pada proses pengkarbonan padat menggunakan arang batok biji pala (*myristica fagrans*)," *J. Simetrik*, vol. 10, no. 1, p. 308, 2020.
- [5] K. Şahin *et al.*, "Metformin with Versus without Concomitant Probiotic Therapy in Newly Diagnosed Patients with Type 2 Diabetes or Prediabetes: A Comparative Analysis in Relation to Glycemic Control, Gastrointestinal Side Effects, and Treatment Compliance.," *Turkish J. Gastroenterol. Off. J. Turkish Soc. Gastroenterol.*, vol. 33, no. 11, pp. 925–933, Nov. 2022, doi: 10.5152/tjg.2022.211063.
- [6] J. W. Santrock, "Life-span development, edisi ketigabelas," *Jakarta: Erlangga*, 2012.
- [7] D. Indata and D. V. Wijanarko, "Pengaruh Variasi Holding Time Pada Proses Hardening Terhadap Kekerasan Baja JIS 9 SUP," *J. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 02, pp. 25–30, 2024.
- [8] A. L. Indratmoko, I. Sukmana, and M. Badaruddin, "Effect of Full Annealing and Single Quenching-Tempering Heat Treatment on the Mechanical Properties of JIS SUP 9A Steel," *J. Polimesin*, vol. 21, no. 2, pp. 259–265, 2023.
- [9] R. D. Ardika, A. Fitriani, Y. Winardi, F. Fadelan, S. Hastuti, and R. Muhammad, "Pengaruh Quenching dan Tempering terhadap Sifat Fisik Mekanik Leaf Spring Steel/Baja Per Daun JIS SUP 9A," *J. CRANKSHAFT*, vol. 28, pp. 63–69, 2024.
- [10] V. Jászfi *et al.*, "Influence of the Parameters of Induction Heat Treatment on the Mechanical Properties of 50CrMo4*," vol. 74, no. 6, pp. 366–379, 2019, doi: 10.3139/105.110398.