REKAYASA SIFAT BAJA S45C SEBAGAI MATERIAL *FLANGE AXLE SHAFT* GARNESA EV MELALUI PROSES *SURFACE HARDENING*

Ahmad Rifqi Agustianto
S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: ahmad.23081@mhs.unesa.ac.id

Hanna Zakiyya
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: hannazakiyya@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi temperatur austenisasi pada proses hardening terhadap kekerasan baja S45C sebagai material *flange axle shaft* Garnesa EV. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan variasi temperatur austenisasi 800°C, 850°C, dan 900°C, waktu tahan 10 menit, serta quenching menggunakan minyak sayur. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell dengan skala HRC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur austenisasi memengaruhi kekerasan material melalui perubahan struktur mikro, terutama pembentukan martensit selama proses pendinginan. Pada temperatur 800°C, kekerasan material belum mencapai nilai optimal karena transformasi austenit diduga belum berlangsung sempurna. Temperatur 850°C menghasilkan kekerasan sebesar 39,8 HRC, yang mendekati target kekerasan 40 HRC. Sementara itu, temperatur 900°C menghasilkan kekerasan lebih tinggi, tetapi berpotensi memicu pertumbuhan butir *(grain growth*) yang dapat meningkatkan kecenderungan getas. Berdasarkan hasil penelitian, temperatur 850°C direkomendasikan sebagai temperatur austenisasi yang sesuai karena mampu menghasilkan kekerasan mendekati target dengan mempertimbangkan kestabilan struktur mikro material.

Kata Kunci: baja s45c,perlakuan bahan,nilai kekerasan

Abstract

This study aims to analyze the effect of austenitizing temperature variations during the hardening process on the hardness of S45C steel as a material for the flange axle shaft of Garnesa EV. The experimental method was employed using austenitizing temperatures of 800°C, 850°C, and 900°C, a holding time of 10 minutes, and quenching in vegetable oil. Hardness testing was conducted using the Rockwell hardness method on the HRC scale. The results indicate that increasing the austenitizing temperature influences material hardness through microstructural changes, particularly martensite formation during the cooling process. At 800°C, the hardness had not reached its optimum value, presumably because austenite transformation was incomplete. At 850°C, the hardness reached 39.8 HRC, approaching the target hardness of 40 HRC. Meanwhile, a temperature of 900°C produced higher hardness but potentially promoted grain growth, which may increase brittleness. Therefore, 850°C is recommended as a suitable austenitizing temperature because it achieves hardness close to the target while considering the stability of the material's microstructure.

Keywords: *s45c steel, heat treatment, hardness value*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomotif mendorong penggunaan material yang memiliki sifat mekanik sesuai kebutuhan operasional kendaraan, termasuk pada komponen *flange axle shaft* mobil hemat energi. Salah satu material yang banyak digunakan adalah baja S45C, yaitu baja karbon menengah yang memiliki kemampuan manufaktur dan potensi peningkatan sifat mekanik melalui perlakuan panas (*heat treatment*).Pada kondisi awal, baja S45C memiliki nilai kekerasan yang perlu dievaluasi untuk memastikan kesesuaiannya sebagai material komponen otomotif (Cerri & Ghio, 2024). Kekerasan merupakan parameter penting yang menunjukkan kemampuan material dalam menahan deformasi plastis dan keausan. Salah satu metode untuk meningkatkan kekerasan baja S45C adalah proses *hardening*, yang melibatkan pemanasan hingga temperatur austenisasi, penahanan selama waktu tertentu, dan pendinginan cepat (*quenching*) (Callister, W. D., & Rethwisch, 2018). Proses ini dapat mendorong pembentukan martensit sehingga meningkatkan kekerasan material.Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi temperatur austenisasi 800°C, 850°C, dan 900°C dengan waktu tahan 10 menit serta media quenching minyak sayur terhadap nilai kekerasan baja S45C. Hasil penelitian diharapkan dapat menentukan temperatur austenisasi yang sesuai untuk memperoleh nilai kekerasan optimal sebagai material *flange axle shaft* Garnesa EV

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian percobaan di laboratorium untuk memproses dan menguji nilai kekerasan baja S45C melalui perlakuan

panas *(hardening)*.Proses perlakuan panas dilakukan dengan variasi temperatur austenisasi 800°C, 850°C, dan 900°C, waktu tahan 10 menit, serta media pendingin minyak sayur. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell dengan skala HRC. Hasil pengujian dari setiap variasi temperatur kemudian dibandingkan untuk menganalisis pengaruh temperatur austenisasi terhadap nilai kekerasan baja S45C serta menentukan temperatur yang menghasilkan kekerasan paling sesuai untuk aplikasi flange axle shaft Garnesa EV.

a) Tempat dan Waktu Penelitian

A. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium yang mendukung proses perlakuan panas dan pengujian material. Proses *hardening* baja S45C dilakukan menggunakan *furnace* dengan media pendingin minyak sayur, sedangkan pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji Rockwell untuk memperoleh nilai kekerasan dalam skala HRC.

B. Waktu Penelitian

Waktu yang dialokasikan untuk pelaksanaan penelitian, mulai dari persiapan bahan, proses fabrikasi, pengujian spesimen, hingga analisis data, selama empat (4) bulan mulai dari bulan April–Agustus 2026.

b) Variabel Penelitian

A. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi temperatur austenisasi: 800 °C ,850 °C dan ,900 °C.

B. Variabel Terikat

Variable terikat pada penelitian ini meliputi: Nilai kekerasan baja S45C baik sebelum maupun setelah perlakuan panas.

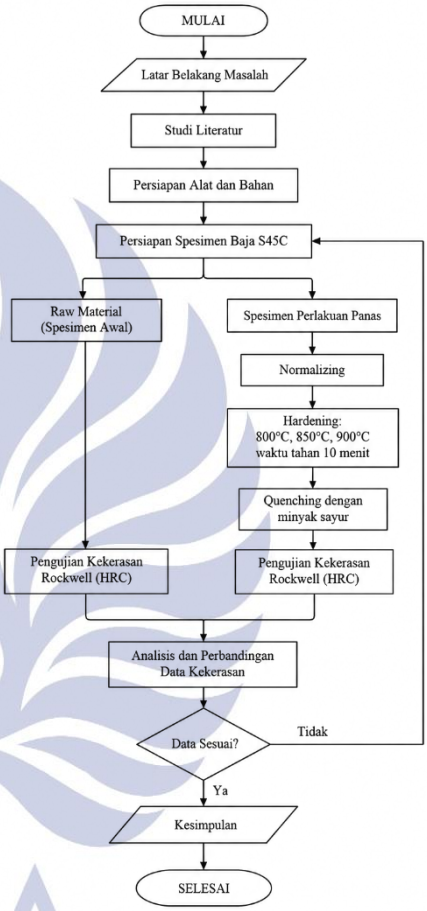
C. Variabel Kontrol

variabel yang dipertahankan dalam kondisi konstan selama proses penelitian meliputi:

1. Material : baja s45c
2. Holding time 10 menit
3. Media pendingin minyak sayur
4. Nilai kekerasan (HRC)

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teori yang relevan, dilanjutkan dengan persiapan alat, bahan, dan spesimen baja S45C yang akan digunakan dalam penelitian. Spesimen kemudian dibagi menjadi *raw material* sebagai pembanding dan spesimen yang akan diberikan perlakuan panas. Spesimen perlakuan panas terlebih dahulu melalui proses *normalizing*, kemudian dilanjutkan dengan proses hardening pada variasi temperatur austenisasi 800°C, 850°C, dan 900°C dengan waktu tahan selama 10 menit. Setelah mencapai temperatur dan waktu tahan yang ditentukan, spesimen didinginkan secara cepat (*quenching*) menggunakan media minyak sayur. Selanjutnya, pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen *raw material* dan spesimen hasil perlakuan panas menggunakan metode rockwell dengan skala HRC. Pengujian dilakukan untuk memperoleh nilai kekerasan pada setiap spesimen sebagai dasar perbandingan. Data hasil pengujian kemudian diolah, dianalisis, dan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur austenisasi terhadap nilai kekerasan baja S45C.Berdasarkan hasil analisis tersebut, ditentukan kecenderungan perubahan kekerasan serta temperatur austenisasi yang menghasilkan nilai kekerasan paling sesuai dengan kebutuhan material *flange axle shaft* Garnesa EV. Rangkaian tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tabel hasil pengujian, nilai kekerasan baja S45C meningkat setelah perlakuan panas dibandingkan raw material sebesar 29,27 HRC. Pada temperatur 800°C, kekerasan permukaan mencapai 33,40 HRC, sedangkan bagian core sebesar 32,15 HRC. Pada temperatur 850°C, kekerasan permukaan meningkat menjadi 39,80 HRC dan bagian core sebesar 34,23 HRC. Sementara itu, temperatur 900°C menghasilkan kekerasan tertinggi, yaitu 42,53 HRC pada permukaan dan 36,15 HRC pada bagian *core.* Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan temperatur austenisasi cenderung meningkatkan kekerasan, terutama pada permukaan spesimen. Selain itu, perbedaan kekerasan antara permukaan dan *core* menunjukkan adanya gradien kekerasan akibat perlakuan panas, dengan selisih terbesar

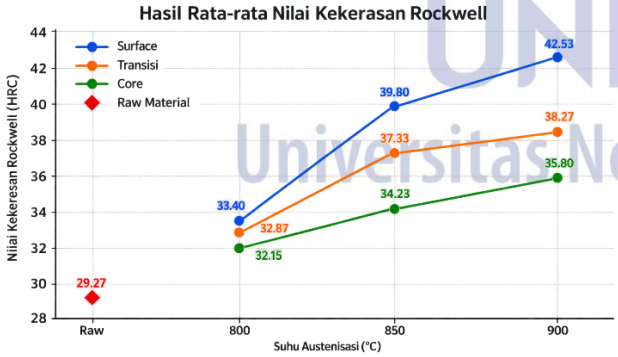
UNESA Universitas Negeri Surabaya

pada temperatur 900°C . Perbedaan nilai kekerasan antara permukaan, bagian transisi, dan core menunjukkan adanya gradien kekerasan pada penampang spesimen. Pada temperatur 900°C, selisih kekerasan antara permukaan dan core mencapai 6,38 HRC, lebih besar dibandingkan temperatur 850°C sebesar 5,57 HRC dan temperatur 800°C sebesar 1,25 HRC. Kondisi ini mengindikasikan bahwa peningkatan temperatur austenisasi tidak hanya memengaruhi nilai kekerasan, tetapi juga distribusi kekerasan di dalam material. Bagian permukaan cenderung memiliki kekerasan lebih tinggi, sedangkan bagian core menunjukkan nilai yang lebih rendah karena perbedaan laju pendinginan dan tingkat transformasi struktur mikro.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan

No	Mat	Temp (°C)	Posisi	X1 (HRC)	X2 (HRC)	X3 (HRC)	DEV	Σ (HRC)
1.	S45C	900	*Surface*	42,3	42,9	42,4	0,32	42,53
2.			Transisi	38,2	38,0	38,6	0,31	38,27
3.			*Core*	36,5	35,1	35,8	0,35	36,15
4.		850	*Surface*	39,8	40,0	39,6	0,20	39,80
5.			Transisi	37,9	37,0	37,1	0,49	37,33
6.			*Core*	34,2	34,0	34,5	0,25	34,23
7.		800	*Surface*	33,8	33,1	33,3	0,36	33,40
8.			Transisi	32,8	33,2	32,6	0,31	32,87
9.			*Core*	32,2	32,1	33,3	0,05	32,15
10.	-	Raw	-	29,2	29,0	29,6	0,31	29,27

Hasil pengujian kekerasan baja S45C setelah proses hardening pada variasi temperatur austenisasi 800°C, 850°C, dan 900°C disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 2. Grafik tersebut menunjukkan perbandingan nilai kekerasan rata-rata pada bagian surface, transisi, dan core, serta nilai kekerasan *raw material* sebagai kondisi awal sebelum perlakuan panas. Penyajian data ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur austenisasi terhadap perubahan nilai kekerasan pada setiap posisi spesimen.



Gambar 2. Grafik Pengujian Kekerasan

Berdasarkan Gambar 2, hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi temperatur austenisasi pada proses hardening memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan baja S45C. Nilai kekerasan rata-rata *raw material* sebesar 29,27 HRC digunakan sebagai acuan untuk mengetahui perubahan kekerasan setelah perlakuan panas. Secara umum, seluruh variasi temperatur menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan kondisi awal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas mampu mengubah karakteristik material sehingga ketahanan terhadap deformasi plastis meningkat.Pada temperatur austenisasi 800°C, nilai kekerasan mencapai 33,40 HRC pada bagian surface, 32,87 HRC pada bagian transisi, dan 32,15 HRC pada bagian core. Dibandingkan *raw material*, peningkatan kekerasan pada ketiga posisi tersebut menunjukkan bahwa perlakuan panas telah memberikan perubahan pada sifat material. Namun, selisih kekerasan antara permukaan dan bagian *core* masih relatif kecil, yaitu 1,25 HRC. Kondisi ini mengindikasikan bahwa distribusi kekerasan pada temperatur 800°C cenderung lebih merata dibandingkan variasi temperatur lainnya.

Peningkatan kekerasan yang masih terbatas diduga berkaitan dengan transformasi austenit yang belum berlangsung secara optimal sebelum proses quenching. Pada temperatur 850°C, kekerasan meningkat menjadi 39,80 HRC pada bagian surface, 37,33 HRC pada bagian transisi, dan 34,23 HRC pada bagian core. Dibandingkan temperatur 800°C, peningkatan kekerasan paling besar terjadi pada bagian permukaan, yaitu sebesar 6,40 HRC, sedangkan bagian transisi meningkat sebesar 4,46 HRC dan bagian *core* sebesar 2,08 HRC. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kenaikan temperatur austenisasi memberikan pengaruh yang lebih nyata terhadap kekerasan permukaan. Secara metalurgi, kondisi ini diduga berkaitan dengan meningkatnya pembentukan austenit sebelum pendinginan sehingga memungkinkan terbentuknya martensit yang lebih banyak setelah quenching.Meskipun demikian, pembentukan fasa tersebut perlu dikonfirmasi melalui pengamatan struktur mikro.

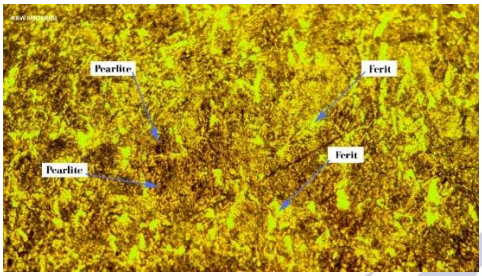
Tabel 2. Perbedaan Gradien Kekerasan

Temperatur	Surface	Core	Δ
900	42,53	35,8	6,73
850	39,8	34,23	5,57
800	33,4	32,15	1,25

Pengamatan struktur mikro baja S45C dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 50× setelah preparasi metalografi dan etsa menggunakan larutan Nital 2%. Pengamatan dilakukan pada spesimen raw material dan spesimen hasil perlakuan hardening dengan variasi temperatur austenisasi 800, 850, dan 900 °C. Berdasarkan Gambar 3, struktur mikro baja S45C pada kondisi raw material menunjukkan morfologi yang didominasi oleh ferit dan perlit. Ferit terlihat sebagai daerah relatif terang, sedangkan perlit tampak lebih gelap akibat perbedaan respons etsa. Kondisi tersebut menunjukkan karakteristik awal baja karbon menengah sebelum diberikan perlakuan panas. Ferit memiliki struktur kristal Body-Centered Cubic (BCC) dengan kandungan karbon rendah, sehingga cenderung memiliki sifat lunak dan ulet. Sementara itu, perlit merupakan struktur lamelar yang tersusun atas ferit dan sementit (Fe_3C), sehingga memberikan kontribusi terhadap kekerasan material. Pada temperatur austenisasi 800 °C, terjadi perubahan struktur mikro dibandingkan kondisi raw material. Pemanasan menyebabkan transformasi

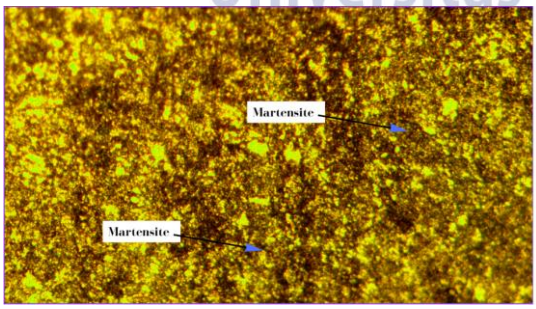
UNESA Universitas Negeri Surabaya

struktur awal ferit-perlit menuju austenit, yang selanjutnya mengalami transformasi selama proses pendinginan cepat (*quenching*). Namun, tingkat transformasi tersebut dipengaruhi oleh homogenitas austenit, waktu tahan, serta kemampuan media pendingin dalam mengekstraksi panas dari material. Peningkatan kekerasan pada temperatur ini hingga sekitar 32–33 HRC mengindikasikan adanya perubahan struktur mikro akibat perlakuan panas



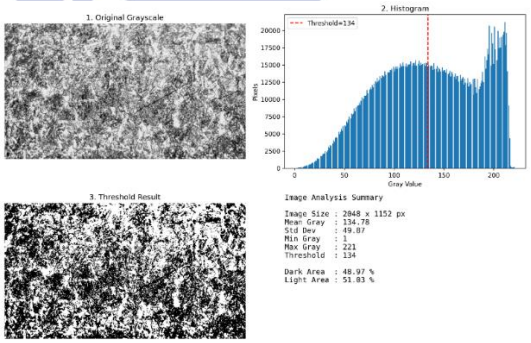
Gambar 3. Struktur Mikro Raw Material

Meskipun demikian, peningkatan kekerasan yang belum terlalu tinggi menunjukkan bahwa transformasi pengerasan kemungkinan belum berlangsung secara optimal pada seluruh bagian spesimen. Pada temperatur austenisasi 900 °C, perubahan struktur mikro diperkirakan semakin dipengaruhi oleh peningkatan temperatur pemanasan dan kondisi transformasi selama pendinginan. Temperatur yang lebih tinggi meningkatkan peluang pelarutan karbida dan homogenisasi karbon dalam austenit. Akan tetapi, peningkatan temperatur juga berpotensi menyebabkan pertumbuhan ukuran butir austenit apabila tidak dikendalikan. Kondisi tersebut dapat memengaruhi karakteristik mekanik material setelah proses quenching. Berdasarkan hasil pengujian, spesimen pada temperatur 900 °C menunjukkan peningkatan kekerasan permukaan hingga 42,53 HRC. Peningkatan tersebut mengindikasikan terbentuknya struktur hasil pengerasan yang lebih efektif pada daerah permukaan. Namun, kekerasan yang lebih tinggi tidak selalu menunjukkan peningkatan ketangguhan, karena perubahan ukuran butir dan dominasi struktur keras dapat memengaruhi kemampuan material dalam menerima deformasi. Secara keseluruhan, perubahan struktur mikro dari kondisi raw material menuju spesimen hasil hardening menunjukkan bahwa temperatur austenisasi berperan dalam mengubah karakteristik metalurgi baja S45C.



Gambar 4. Struktur Mikro Setelah Hardening

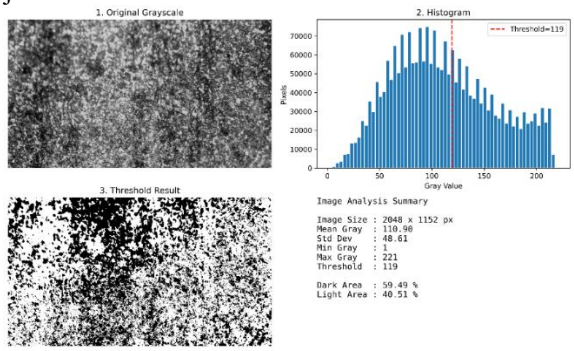
Perubahan tersebut berkaitan dengan transformasi ferit-perlit menjadi austenit selama pemanasan, kemudian diikuti pembentukan struktur hasil pendinginan selama quenching. Peningkatan kekerasan permukaan menunjukkan adanya pengaruh proses pengerasan, sedangkan perbedaan respons antara temperatur 800, 850, dan 900 °C memperlihatkan bahwa temperatur austenisasi menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan karakteristik akhir material. Pengamatan struktur mikro menunjukkan adanya perubahan morfologi baja S45C setelah proses hardening pada temperatur austenisasi 800, 850, dan 900 °C. Pada kondisi raw material, struktur mikro didominasi oleh ferit dan perlit, sedangkan setelah perlakuan panas terjadi perubahan karakteristik struktur akibat transformasi austenit selama pemanasan dan pendinginan cepat menggunakan media minyak sayur. Proses tersebut berpotensi menghasilkan struktur martensit, khususnya pada daerah yang mengalami laju pendinginan cukup tinggi. Peningkatan temperatur austenisasi memungkinkan pembentukan austenit yang lebih menyeluruh sebelum proses quenching, sehingga berpotensi meningkatkan fraksi struktur hasil pengerasan. Untuk mengetahui perubahan distribusi struktur secara kuantitatif, dilakukan analisis citra menggunakan metode threshold pada perangkat lunak ImageJ. Analisis dilakukan dengan memisahkan area terang dan gelap berdasarkan intensitas piksel pada citra hasil pengamatan. Pada kondisi raw material, diperoleh area terang sebesar 51,03% dan area gelap sebesar 48,97%. Setelah proses hardening pada temperatur 900 °C, area terang menurun menjadi 40,51%, sedangkan area gelap meningkat menjadi 59,49%.



Gambar 5. Perbandingan Gelap Terang *Raw Material*

Perubahan tersebut menunjukkan adanya pergeseran distribusi intensitas citra setelah perlakuan panas, yang mengindikasikan perubahan morfologi struktur mikro dari kondisi awal. Peningkatan area gelap setelah proses hardening berkaitan dengan perubahan karakteristik struktur mikro akibat transformasi selama pendinginan. Pada temperatur 900 °C, baja S45C telah berada di atas temperatur kritis atas (Ac_3), sehingga struktur ferit dan perlit bertransformasi menjadi austenit. Selanjutnya, pendinginan cepat menggunakan minyak sayur menghambat transformasi secara difusi dan memungkinkan terbentuknya martensit. Martensit memiliki struktur kristal Body-Centered Tetragonal (BCT) akibat terperangkapnya atom karbon dalam kisi kristal selama transformasi tanpa difusi (*diffusionless transformation*). Peningkatan area gelap tidak dapat secara langsung diartikan sebagai peningkatan fraksi

martensit karena intensitas citra juga dipengaruhi oleh orientasi struktur, kondisi etsa, pencahayaan, dan parameter segmentasi. Perubahan struktur mikro tersebut selanjutnya berkaitan dengan peningkatan sifat mekanik baja S45C.



Gambar 6. Perbandingan Gelap Terang Setelah *Hardening*

Peningkatan temperatur austenisasi memungkinkan pembentukan struktur hasil pengerasan yang lebih besar, sehingga kekerasan material cenderung meningkat. Struktur martensit yang memiliki hambatan lebih tinggi terhadap pergerakan dislokasi berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan. Selain itu, perubahan struktur dan distribusi kekerasan pada penampang material turut memengaruhi respons spesimen ketika menerima pembebanan puntir. Dengan demikian, hubungan antara temperatur austenisasi, perubahan struktur mikro, dan sifat mekanik menjadi dasar dalam menentukan kondisi perlakuan panas yang sesuai untuk aplikasi flange axle shaft.Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, temperatur austenisasi 900 °C menghasilkan performa mekanik tertinggi di antara variasi temperatur yang diteliti.Namun, peningkatan temperatur austenisasi juga berpotensi menyebabkan pertumbuhan butir austenit *(austenite grain growth*), terutama apabila temperatur dan waktu tahan terlalu tinggi. Pertumbuhan butir dapat memengaruhi ketangguhan material dan meningkatkan sensitivitas terhadap patah getas. Oleh karena itu, temperatur 900 °C yang menghasilkan kekuatan tertinggi belum tentu menjadi kondisi perlakuan yang paling sesuai untuk seluruh kebutuhan aplikasi.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, variasi temperatur austenisasi pada proses *hardening* berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan perubahan struktur mikro baja S45C. Nilai kekerasan rata-rata *raw material* sebesar 29,27 HRC meningkat menjadi 33,40 HRC pada temperatur 800°C, 39,80 HRC pada temperatur 850°C, dan 42,53 HRC pada temperatur 900°C pada bagian *surface*. Kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur 900°C, sedangkan temperatur 850°C menghasilkan kekerasan permukaan yang mendekati target 40 HRC. Selain itu, nilai kekerasan pada bagian *surface* cenderung lebih tinggi dibandingkan bagian transisi dan *core*, yang menunjukkan adanya perbedaan distribusi kekerasan pada penampang spesimen. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa kondisi *raw material* didominasi oleh struktur ferit dan perlit, sedangkan setelah proses *hardening* terjadi perubahan morfologi yang mengindikasikan terbentuknya struktur hasil pengerasan berupa martensit, dengan kemungkinan keberadaan bainit pada beberapa daerah pengamatan. Perubahan tersebut diperkuat oleh hasil analisis citra *threshold*, yang menunjukkan peningkatan persentase area gelap dari 34% pada temperatur 800°C menjadi 47% pada temperatur 850°C dan 59% pada temperatur 900°C. Hasil estimasi fraksi martensit menggunakan metode *Rule of Mixtures* (ROM) juga menunjukkan peningkatan dari 15%, 39%, hingga 49% pada masing-masing temperatur. Meskipun kedua metode memiliki dasar pengukuran yang berbeda dan tidak dapat dianggap sebagai pengukuran langsung fraksi martensit, keduanya menunjukkan kecenderungan peningkatan struktur hasil pengerasan seiring bertambahnya temperatur austenisasi. Dengan demikian, temperatur 850°C dapat dipertimbangkan sebagai temperatur austenisasi yang sesuai untuk aplikasi *flange axle shaft* Garnesa EV berdasarkan target kekerasan dan keseimbangan sifat mekanik yang diharapkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing atas arahan, bimbingan, serta masukan yang telah diberikan selama proses pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ilmiah ini. Apresiasi juga disampaikan kepada pihak laboratorium yang telah memberikan fasilitas, dukungan teknis, serta bantuan dalam penyediaan peralatan dan material yang diperlukan selama proses preparasi spesimen, perlakuan panas, dan pengujian mekanik. Penulis turut mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, melalui bantuan, saran, dan dukungan selama penelitian berlangsung. Segala bentuk bantuan dan kerja sama tersebut sangat berarti dalam mendukung kelancaran pelaksanaan penelitian dan penyelesaian artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science And Engineering*. *Department Of Metallurgical Engineering, The University Of Utah*. Https://Doi.Org/10.1142/9789814374064_0002

Cerri, E., & Ghio, E. (2024). On The Work-Hardening Behaviour Of The Additively Manufactured Al-Si-Mg Alloys: Composite-Like Versus Networked Microstructure. *Materialia*, *38*(November), 102282. Https://Doi.Org/10.1016/J.Mtla.2024.102282

Machfuroh, T., Lostari, A., Ulum, M., & Pramartaningthyas, E. K. (2024). Pengaruh Temperatur Pemanasan Dan Media Pendinginan Pada Proses Flame Hardening Terhadap Nilai Kekerasan Pada Baja S45c. *Otopro*, 1–6. Https://Doi.Org/10.26740/Otopro.V20n1.P1-6

Nofri, M., & Taryana, A. (2022). Analisis Sifat Mekanik Baja Skd 61 Dengan Baja St 41 Dilakukan Hardening Dengan Variasi Temperatur. *Bina Teknika*, *13*(2), 189. Https://Doi.Org/10.54378/Bt.V13i2.218

UNESA Universitas Negeri Surabaya

Praditya, J. (2018). Analisis Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Pada Proses Hardening Material 4340 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Untuk Komponen Axle Shaft. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1–79.

Prato, A., Guido, R., Murgia, M., Guerra, A., Rizza, P., Origlia, C., & Germak, A. (2024). Experimental Determination Of Sensitivity Coefficients Of Some Influence Parameters In Rockwell. Https://Doi.Org/10.1016/J.Measen.2024.101449

Wang, Y., Xin, L., Liu, H., Su, B., Jin, T., Zhang, S. Li, Z. (2024). Modeling Of Strain Hardening Behaviors Of 6061 Aluminum Alloy Considering Strain Rate And Temperatur Effects. *Journal Of Materials Research And Technology*, *30*(March), 4973–4985. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jmrt.2024.04.202

Zackaria, M. (2024). Measurement : Sensors Correcting Rockwell Hardness Values Based On Improved Measurements Of Diamond Indenters Using A Confocal Laser Scanning Microscope, (Xxxx). Https://Doi.Org/10.1016/J.Measen.2024.101446

UNESA
Universitas Negeri Surabaya