

Analisa Sifat Mekanik Baja Karbon S45C Dengan Perlakuan *Tempering*

Sri Intan¹, Benyamin Tangaran², Agustina Kasa³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Paulus
Jl. Perintis Kemerdekaan Km 13 Daya Makassar, 90243
Email korespondensi: sriintanr.a08@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu austenitisasi terhadap transformasi mikrostruktur dan kekerasan baja karbon S45C yang telah diberi perlakuan panas *quenching* dan *tempering*. Proses austenitisasi dilakukan pada tiga variasi suhu, yaitu 800 °C, 850 °C, dan 900 °C, dengan waktu tahan selama 30 menit, kemudian dilanjutkan proses *quenching* menggunakan media oli SAE 40. Setelah itu, spesimen diberi perlakuan *tempering* pada suhu 200 °C selama 30 menit dan didinginkan di udara bebas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi suhu austenitisasi memberikan pengaruh terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan material. Pada suhu 800 °C, struktur mikro terdiri atas martensit yang mulai terbentuk, perlit, dan sedikit ferrit. Pada suhu 850 °C, struktur martensit terbentuk paling dominan dengan sedikit perlit dan hampir tanpa ferrit, menghasilkan nilai kekerasan tertinggi. Sedangkan pada suhu 900 °C, terjadi pertumbuhan butir berlebih dan munculnya kembali ferrit serta karbida sisa, yang menyebabkan penurunan kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang dipanaskan pada suhu 850 °C karena struktur martensit yang terbentuk secara optimal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu austenitisasi 900 °C merupakan suhu paling efektif dalam membentuk struktur martensit dan meningkatkan kekerasan baja karbon S45C pada perlakuan *quenching* dan *tempering*.

Kata Kunci: S45C, *heat treatment*, suhu austenitisasi *quenching*, *tempering*, kekerasan, struktur mikro.

1. PENDAHULUAN

Baja karbon merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam dunia industri karena sifat mekaniknya yang cukup baik dan mudah diproses. Perlakuan panas merupakan salah satu teknik yang krusial dalam rekayasa material untuk meningkatkan sifat mekanik logam, terutama baja karbon. Baja karbon S45C, yang termasuk dalam kategori baja karbon sedang dengan kandungan karbon sekitar 0,45 %, banyak digunakan dalam pembuatan komponen mesin seperti poros, *gear*, dan baut karena memiliki kombinasi yang baik antara kekuatan tarik dan ketangguhan. Sifat mekanik dan mikrostruktur baja ini sangat dipengaruhi oleh perlakuan panas seperti austenitisasi dan *tempering*. Temperatur selama kedua proses tersebut berperan penting dalam menentukan jenis fasa mikrostruktur yang terbentuk, seperti martensit, bainit, perlit atau ferrit yang pada gilirannya mempengaruhi kekerasan, mikrostruktur, dan ketangguhan baja. (Tri Wibowo dkk., 2020)

Variasi temperatur dalam proses *heat treatment* sangat berpengaruh terhadap hasil akhir dari struktur mikro dan kekerasan baja karbon. Semakin tinggi temperatur pemanasan, biasanya akan semakin besar juga perubahan fasa yang terjadi, terutama jika diikuti dengan pendinginan cepat seperti *quenching*. Hal ini menyebabkan kekerasan baja mengalami peningkatan minor. Proses austenitisasi bertujuan untuk membentuk struktur martensit yang keras, namun martensit cenderung getas. Oleh karena itu, dilanjutkan dengan *tempering* untuk meningkatkan ketangguhan dan mengurangi tegangan sisa akibat pendinginan cepat. (Audhah, A., & Wahab, n.d.)

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa temperatur dan media pendingin dalam proses *heat treatment* sangat menentukan hasil

akhir sifat mekanik baja. Salah satunya adalah penelitian yang menunjukkan bahwa pemanasan pada temperatur 800 °C hingga 900 °C menghasilkan perbedaan struktur mikro dan nilai kekerasan tergantung pada temperatur dan media pendinginnya. Temperatur saat proses austenitisasi dan *tempering* menjadi faktor utama yang memengaruhi transformasi fasa dalam mikrostruktur baja. Transformasi ini melibatkan konversi 1 fasa austenit ke martensit, bainit, atau perlit tergantung pada laju pendinginan dan temperatur *tempering* yang digunakan. (Partomuan & Antonius, 2024)

Temperatur yang terlalu rendah akan menyebabkan pembentukan austenit tidak optimal, sementara temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan butir yang berlebihan dan penurunan kekuatan material. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang berfokus pada variasi temperatur austenitisasi untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap struktur mikro dan kekerasan baja S45C setelah dilakukan proses *tempering*. (Lestari dkk., 2021)

Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait perlakuan panas pada baja karbon, masing-masing jenis baja memiliki karakteristik transformasi fasa yang berbeda, bergantung pada komposisi kimia, kecepatan pendinginan, serta kondisi proses. Penelitian ini penting untuk memberikan data eksperimental baru khususnya pada baja S45C dengan kondisi proses tertentu, yaitu variasi temperatur austenitisasi 800 °C, 850 °C, dan 900 °C, *quenching* menggunakan media oli SAE 40, serta *tempering* pada temperatur yang sama (200 °C).

Pengujian kekerasan dan analisis struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), diharapkan penelitian ini dapat memberikan

gambaran yang jelas mengenai hubungan antara temperatur proses dan sifat akhir material.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan menganalisis pengaruh variasi temperatur dalam proses *heat treatment* terhadap struktur mikro dan kekerasan baja karbon tipe S45C. Dengan itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai "Analisa Sifat Mekanik Baja Karbon S45C Dengan Perlakuan *Tempering*". Peneliti berharap dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh temperatur terhadap performa mekanik baja, sehingga dapat menjadi referensi dalam memilih perlakuan panas yang sesuai untuk aplikasi tertentu.

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kekerasan serta karakteristik struktur mikro pada baja karbon S45C akibat pengaruh variasi temperatur austenitisasi dan proses *tempering*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Baja Karbon S45C

Baja karbon adalah baja yang kandungan utamanya terdiri dari unsur besi (Fe) dan karbon (C), dengan kandungan karbon yang bervariasi antara 0,05 % - 2,1 % berat. Kandungan karbon dalam baja sangat mempengaruhi sifat mekaniknya. S45C merupakan baja karbon menengah dengan kandungan karbon sekitar 0,42 % - 0,50 %. (Hidayat, 2019)



Gambar 1. Baja Karbon S45C (Round Bar)

B. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Menurut Andreansyah dkk. (2024), perlakuan panas (*heat treatment*) adalah proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah struktur mikro sehingga diperoleh sifat mekanik yang diinginkan. Dalam penelitian ini digunakan dua tahap utama, yaitu:

- Austenitisasi, pemanasan baja pada 800 °C – 900 °C lalu didinginkan cepat (*quenching*) untuk membentuk martensit yang keras; dan
- Tempering*, pemanasan kembali pada temperatur lebih rendah (± 200 °C) untuk mengurangi kerapuhan serta meningkatkan ketangguhan.

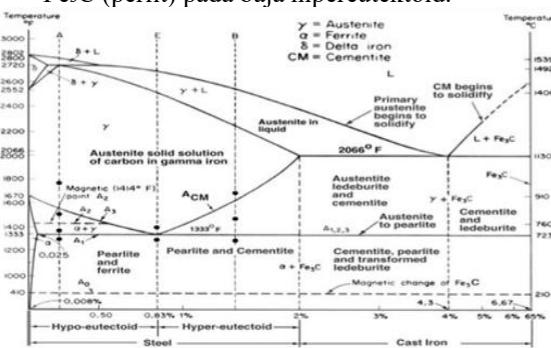


Gambar 2. Proses *Quenching*

C. Transformasi Mikrostruktur dan Pengaruh Temperatur Baja S45C

Menurut Hang (2021), diagram fasa Fe–C penting untuk memahami transformasi mikrostruktur baja karbon, termasuk S45C, yang dipengaruhi oleh temperatur dan kadar karbon. Pada austenitisasi dan *tempering*, *quenching* membentuk martensit, sedangkan *tempering* memicu presipitasi karbida, pelunakan martensit, serta pembentukan bainit atau perlit lunak. Batas temperatur kritis pada diagram Fe–Fe₃C meliputi: A₁, temperatur eutektoid ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}/\text{perlit}$) pada baja hipoeutektoid;

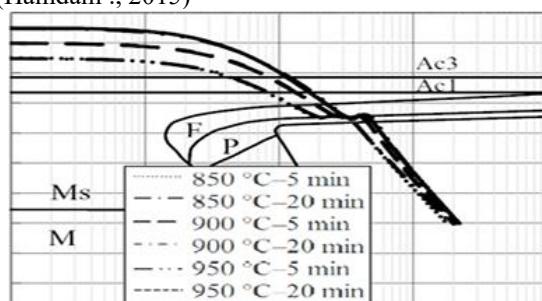
- A₂, titik Curie (769 °C) saat besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik;
- A₃, temperatur transformasi fasa α dengan kenaikan kelarutan karbon saat temperatur turun;
- A_{cm}, temperatur transformasi γ menjadi Fe₃C dengan penurunan kelarutan karbon; dan
- A₁₂₃, temperatur transformasi γ menjadi $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (perlit) pada baja hipereutektoid.



Gambar 3. Diagram Kesetimbangan Fe-C

D. Diagram Transformasi Fasa (TTT dan CCT)

Transformasi fasa pada baja karbon S45C dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) dan CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Diagram ini menunjukkan bahwa pendinginan cepat akan melewati daerah bainit dan perlit, langsung menuju pembentukan martensit. Sementara itu, pendinginan lambat menghasilkan struktur perlilik dan feritik yang lebih lunak. (Hamdam., 2015)

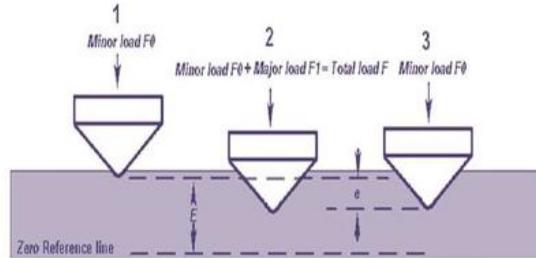


Gambar 4. CCT Diagram of S45C Steel

E. Kekerasan Baja S45C

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik penting logam yang menunjukkan kemampuan material menahan deformasi plastis, goresan, atau penetrasi, serta sangat dipengaruhi oleh struktur mikro dan perlakuan panas (Syamsuir dkk., 2022). Pada baja karbon menengah S45C, kekerasan ditentukan oleh fasa hasil transformasi selama proses *quenching* dan *tempering* (Prayitno & Zulfachri,

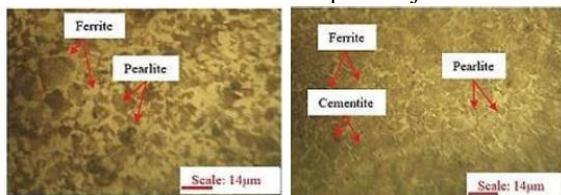
2023). Metode uji kekerasan yang umum digunakan antara lain *Brinell*, *Rockwell*, dan *Vickers*, di mana nilai kekerasan berkorelasi erat dengan struktur mikro hasil perlakuan panas (Aziz & Mutaqin, 2023). Perlakuan panas bahkan mampu meningkatkan kekerasan baja karbon sedang hingga lebih dari 550 HV (Widodo, 2022).



Gambar 6. Proses Uji Kekerasan

F. Struktur Mikro Baja S45C

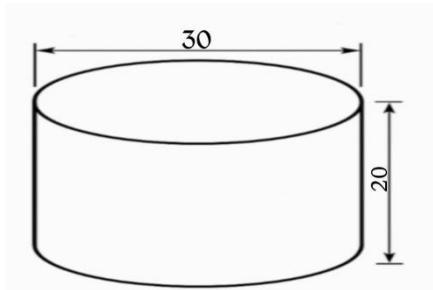
Struktur mikro baja terdiri dari beberapa fasa utama seperti ferrit, perlit, bainit, martensit, dan austenit yang masing-masing memengaruhi sifat mekanik. Ferrit memiliki struktur BCC dengan kadar karbon rendah sehingga lunak dan ulet, sedangkan perlit berupa campuran lamelar ferit dan sementit dengan kekuatan serta keuletan sedang. Bainit terbentuk pada pendinginan isothermal dengan kekerasan lebih tinggi dari perlit namun lebih ulet dari martensit. Martensit sendiri terbentuk akibat pendinginan cepat, memiliki kekerasan sangat tinggi tetapi getas, sedangkan austenit berstruktur FCC yang mampu melarutkan karbon lebih banyak dan bersifat ulet pada temperatur tinggi. Menurut Hari Priyambodo dkk. (2023), kombinasi perlakuan *quenching* dan *shot peening* menghasilkan dominasi martensit halus yang meningkatkan kekerasan. Temperatur *quenching* berperan penting dalam transformasi austenit menjadi martensit, sedangkan temperatur *tempering* menentukan fasa hasil transformasi. Studi yang sama menunjukkan bahwa austenitisasi pada 850 °C dengan pendinginan oli memberikan variasi kekerasan pada baja S45C.



Gambar 7. Micro-structure of S45C

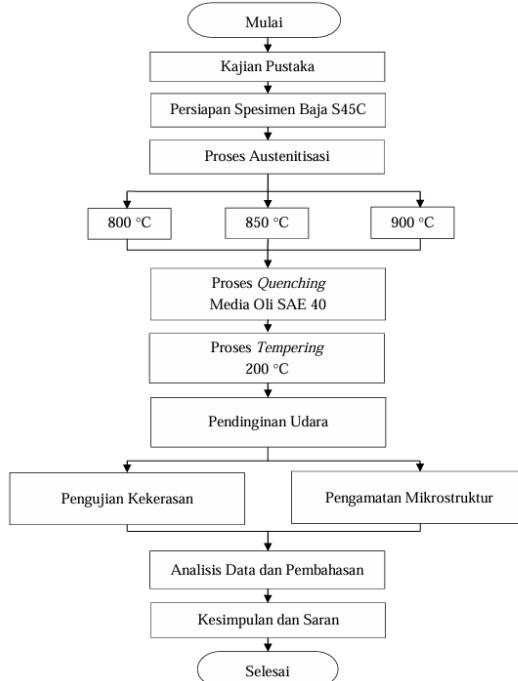
3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada 13 - 16 Juni 2025 di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP). Kegiatan penelitian meliputi persiapan spesimen, proses perlakuan panas, pengujian kekerasan, serta pengamatan struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).



Gambar 8. Dimensi Spesimen

Tahapan penelitian, mulai dari persiapan spesimen hingga analisis hasil, disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar agar alir penelitian lebih jelas dipahami.



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian (Flow Chart)

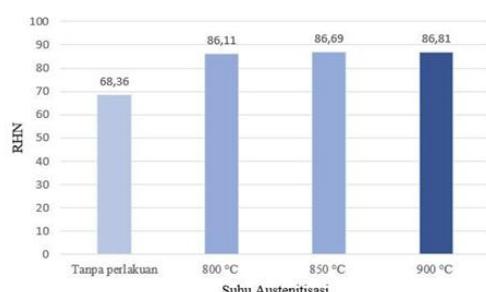
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon tipe S45C. Proses perlakuan panas dilakukan dengan variasi temperatur austenitisasi pada 800 °C, 850 °C, dan 900 °C. Setelah mencapai temperatur austenitisasi, spesimen didinginkan cepat (*quenching*) menggunakan media oli SAE 40 untuk membentuk struktur martensit. Selanjutnya dilakukan proses *tempering* dan pendinginan di udara terbuka guna memperoleh sifat mekanik yang lebih seimbang. Pengujian sifat mekanik difokuskan pada uji kekerasan dengan metode *Rockwell*, sedangkan karakterisasi struktur mikro dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati perubahan fasa yang terjadi akibat perlakuan panas.

4. HASIL

A. Hasil Uji Kekerasan

Tabel 1. Hasil Uji kekerasan Rockwell (Skala D)

Spesimen	Nilai Kekerasan			Rata-rata
	1	2	3	
Q-0	68,0	66,6	70,5	68,36
Q800-A	84,7	85,2	89,4	86,43
Q800-B	84,0	85,4	88,0	85,80
Q850-A	85,0	86,8	87,8	86,53
Q850-B	86,6	87,5	86,5	86,86
Q900-A	85,8	85,7	85,5	85,66
Q900-B	87,1	87,2	89,6	86,81



Gambar 10. Grafik kekerasan vs temperatur austenitisasi (Skala D)

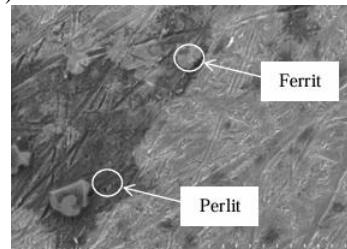
Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada baja karbon S45C, terlihat adanya peningkatan nilai kekerasan setelah dilakukan perlakuan panas (*heat treatment*), terutama setelah proses austenitisasi dan tempering. Peningkatan kekerasan ini disebabkan oleh terbentuknya fasa martensit akibat pendinginan cepat (*quenching*) dari temperatur austenitisasi yang tinggi. Pada temperatur austenitisasi yang lebih tinggi, jumlah fasa austenit yang terbentuk semakin banyak, sehingga saat proses pendinginan, lebih banyak fasa martensit yang dihasilkan. Martensit memiliki kekerasan yang tinggi karena struktur kristalnya yang supersaturasi dan terdistorsi.

Perbedaan nilai kekerasan antara Q800, Q850, dan Q900 relatif kecil, namun terdapat peningkatan seiring dengan meningkatnya temperatur austenitisasi. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur 900 °C, yaitu 86,81 RHN. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur austenitisasi yang lebih tinggi mampu menghasilkan transformasi fasa yang lebih sempurna sebelum dilakukan pendinginan cepat.

Selain itu, proses *tempering* yang dilakukan setelah *quenching* berperan penting dalam menurunkan tegangan sisa dan meningkatkan ketangguhan material. Walaupun *tempering* sedikit mengurangi kekerasan martensit murni, namun proses ini tetap menjaga kekerasan pada tingkat tinggi sambil meningkatkan sifat keuletan material.

B. Hasil Pengamatan Mikrostruktur

- Spesimen dalam kondisi awal (tanpa perlakuan panas)

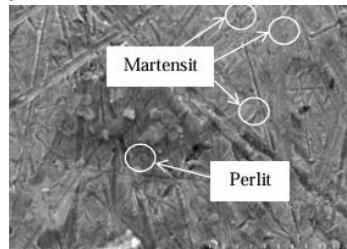


Gambar 11. Mikrostruktur Pada Q0 Pembesaran 1000×

Pada Gambar 11 Mikrostruktur pada spesimen Q0 yang belum diberi perlakuan panas menunjukkan kombinasi antara ferit dan perlit. Ferit tampak sebagai daerah terang dengan bentuk butiran besar, sedangkan perlit muncul sebagai lapisan gelap yang tersebar di antara butir ferit. Kombinasi ini umum pada baja karbon medium seperti S45C dalam kondisi as-received. Karena belum mengalami transformasi fasa akibat pemanasan dan pendinginan cepat, struktur ini bersifat lunak dan ulet, dengan nilai kekerasan yang rendah, yaitu sebesar 68,36 RHN.

Temuan ini sesuai dengan penelitian oleh Priyambodo dkk. (2022), yang menjelaskan bahwa baja karbon tanpa perlakuan panas menunjukkan dominasi fasa ferit dan perlit dengan kekerasan rendah namun sifat daktilitas yang baik.

- Spesimen yang telah dipanaskan pada temperatur 800 °C

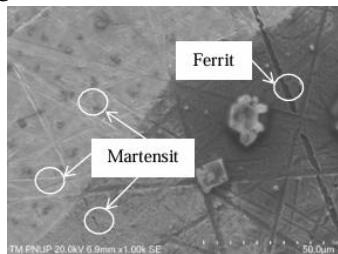


Gambar 12. Mikrostruktur Pada Q800 Pembesaran 1000×

Pada Gambar 12, setelah perlakuan austenitisasi pada temperatur 800 °C selama 30 menit, diikuti proses *quenching* menggunakan oli SAE 40 dan *tempering* pada temperatur 200 °C, mikrostruktur mulai menunjukkan pembentukan martensit. Namun, karena temperatur austenitisasi tergolong paling rendah dalam penelitian ini, sebagian struktur masih menunjukkan keberadaan perlit dan ferit yang tidak sepenuhnya berubah menjadi austenit selama pemanasan. Martensit mulai terbentuk dalam bentuk jarum-jarum tipis, namun belum merata. Struktur ini menyebabkan peningkatan kekerasan menjadi 86,12 RHN, namun masih mengandung fasa lunak yang dapat menurunkan kekuatan secara keseluruhan.

Temuan ini didukung oleh studi dari (Lestari dkk., 2021), yang menyatakan bahwa pembentukan martensit pada baja karbon menengah meningkatkan kekerasan akibat perubahan struktur kristal menjadi lebih rapat dan keras.

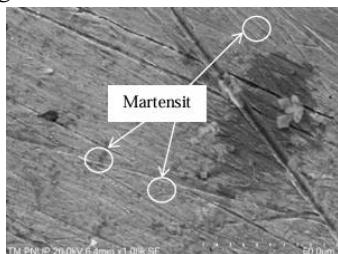
- 3) Spesimen yang dipanaskan pada temperatur 850 °C



Gambar 13. Mikrostruktur Pada Q850 Pembesaran 1000×

Pada Gambar 13, temperatur austenitisasi 850 °C, pembentukan fasa austenit berlangsung lebih maksimal dibanding temperatur 800 °C. Hasil *tempering* menunjukkan struktur mikro yang didominasi oleh martensit yang lebih merata dan padat. Meskipun demikian, masih tampak sebagian kecil perlit yang mungkin terbentuk kembali selama pendinginan atau akibat waktu tahan yang belum sepenuhnya homogen. Martensit yang terbentuk mulai menunjukkan karakteristik yang keras namun relatif lebih getas, dan setelah *tempering* menjadi tempered martensite, yang memberikan kombinasi kekerasan dan ketangguhan yang seimbang. Nilai kekerasannya sebesar 86,80 RHN, sedikit lebih tinggi dari temperatur 800 °C. Struktur ini sangat keras dan kuat, tetapi harus diimbangi dengan perlakuan *tempering* yang tepat untuk menghindari sifat getas.

Penelitian oleh (Margono dkk., 2021) menyebutkan bahwa temperatur austenitisasi yang ideal menghasilkan martensit homogen yang berdampak pada peningkatan kekuatan mekanik baja. 4) Spesimen yang dipanaskan pada temperatur 900 °C



Gambar 14. Mikrostruktur Pada Q900 Pembesaran 100×

Pada Gambar 14 mikrostruktur spesimen pada temperatur austenitisasi 900 °C memperlihatkan dominasi martensit yang sangat merata dan halus. Proses pemanasan pada temperatur ini memungkinkan transformasi penuh dari fasa ferit dan perlit menjadi austenit, yang kemudian berubah sepenuhnya menjadi martensit saat proses *quenching* berlangsung cepat. Setelah tempering pada 200 °C, martensit mengalami sedikit pelunakan menjadi tempered martensite, yang masih mempertahankan kekerasan tinggi namun dengan ketangguhan yang lebih baik. Mikrostruktur ini memberikan kekerasan tertinggi dalam penelitian, yaitu 86,81 RHN. (Prayitno & Zulfachri, 2023)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan dan pengamatan mikrostruktur baja S45C pada berbagai

suhu austenitisasi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi temperatur austenitisasi memberikan pengaruh nyata terhadap kekerasan baja S45C. Semakin tinggi temperatur, kekerasan yang diperoleh semakin besar, dengan nilai tertinggi pada 900 °C. Hal ini disebabkan oleh dominasi struktur martensit serta homogenitas fasa yang lebih baik, sehingga temperatur 900 °C dapat dikatakan paling efektif untuk menghasilkan kekerasan maksimum pada perlakuan austenitisasi dan *tempering*.
2. Struktur mikro baja juga sangat dipengaruhi oleh temperatur austenitisasi. Pada 800 °C masih terlihat campuran perlit dan martensit, sedangkan pada 850 °C dominasi martensit semakin jelas dengan sedikit perlit tersisa. Pada 900 °C terbentuk butir yang lebih kasar dengan potensi retakan mikro akibat *overheat*, namun tetap meningkatkan kekerasan. Proses *tempering* pada 200 °C mampu mengurangi kerapuhan martensit hasil *quenching*, sekaligus mempertahankan nilai kekerasan tinggi melalui pembentukan tempered martensite yang lebih stabil secara mekanik.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreansyah, M., Dewi Anjani, R., & Naubnome, V. (2024). Pengaruh Proses Heat Treatment (Quenching dan Tempering) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah. IX(1).
- Audhah, A., & Wahab, L. Y. (n.d.). Simulasi Distribusi Temperatur Pada Proses Pengerasan Baut Baja S45C Untuk Optimasi Kadar Struktur Mikro Martensit Menggunakan Metode Elemen Hingga.
- Aziz, A., & Mutaqin, M. (2023). Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Baja S45C. Perwira Journal of Science & Engineering, 3(2), 48–53. <https://doi.org/10.54199/pjse.v3i2.258>
- Hamdam, M. A., Nagaki, S., & Oshita, K. (2015). Effect of austenitization temperature and holding time on transformation plasticity in a three-point bending system. Zairyo/Journal of the Society of Materials Science, Japan, 64(4), 274–280. <https://doi.org/10.2472/jsms.64.274>
- Hang, P. T. (2021). Effects of Heat Treatment Process on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel. Vietnam Journal of

- Agricultural Sciences, 4(4), 12831292.
<https://doi.org/10.31817/vjas.2021.4.4.07>
- Hari Priyambodo, B., Laili, R., & Ilmal Yaqin, R. (2023). Effect of cooling media on hardness and microstructural changes in S45C carbon steel during heat treatment process. Disseminating Information on the Research of Mechanical Engineering-Jurnal Polimesin, 21(3). <http://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin>
- Hidayat, W. (2019). Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material. Jurnal Material Teknik, 4, 1–19.
- Lestari, N., Purwanto, H., & Dzulfikar, M. (2021). Analisis Sifat Mekanis Baja Karbon Menengah Akibat Proses Austenisasi Tempering. Jurnal Ilmiah MOMENTUM, 17(2), 127. <https://doi.org/10.36499/jim.v17i2.5613>
- Margono, M., Priyambodo, B. H., & Nugroho, K. C. (2021). Pengaruh Laju Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon S45C. Creative Research in Engineering, 1(2), 60. <https://doi.org/10.30595/cerie.v1i2.10848>
- Partomuan, D., & Antonius, D. (2024). ANALISA TEMPERATUR TEMPER TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK BAJA KARBON SEDANG S45C UNTUK JIG. Jurnal REKAVASI, 12(1), 35–42.
- Prayitno, D., & Zulfachri, M. (2023). Pengaruh Quenching Oli Setelah Proses Karburisasi Terhadap Kekerasan Baja S45C. Metrik Serial Humaniora Dan Sains, 4(1), 64–71.
- Syamsuir, S., Lubi, A., & Susetyo, F. B. (2022). Karakteristik Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Paska Perlakuan Panas Tempering.. Kajian Teknik Mesin, 7(1), 1–7. <http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/jktm>
- Tri Wibowo, A., Kusairi Samlawi, A., Studi Teknik Mesin, P., Akhmad Yani Km, J., & Selatan, K. (2020). PENGARUH PROSES QUENCHING DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR DAN OLI TERHADAP KEKERASAN BAJA DAN STRUKTUR MIKRO BAJA S45C. 2. <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/rot>