



Pengaruh Heat Treatment Setelah Water Cooling pada Baja ST 60 Terhadap Sifat Mekanik

Muhammad Herlingga

Politeknik Bhakti Asih Purwakarta, Indonesia

Email: muhammadherlingga@polbap.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses heat treatment dan quenching terhadap nilai kekerasan pada baja ST 60. Baja ST 60 merupakan baja karbon menengah dengan kandungan karbon 0,564% dan mangan 0,697% yang memiliki sifat keras dan tahan terhadap keausan. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan proses heat treatment pada temperatur 950°C dengan variasi holding time 20 dan 50 menit, kemudian dilakukan quenching dengan media air. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Vickers dengan beban indentasi 5 kgf pada 5 titik berbeda untuk setiap spesimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan baja ST 60 mengalami peningkatan signifikan setelah perlakuan panas. Kekerasan maksimum dicapai pada holding time 20 menit dengan nilai 734,521 HVN, meningkat 137% dibandingkan material awal yang memiliki kekerasan 309,308 HVN. Pada holding time 50 menit, kekerasan yang diperoleh adalah 615,924 HVN. Peningkatan kekerasan disebabkan oleh terbentuknya struktur martensit akibat pendinginan cepat yang menyebabkan atom karbon terperangkap dalam larutan padat super jenuh. Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi holding time berpengaruh terhadap nilai kekerasan, dimana holding time yang optimal adalah 20 menit untuk mencapai kekerasan maksimum pada baja ST 60.

Kata Kunci: Baja ST 60, Heat Treatment, Quenching, Holding Time, Kekerasan Vickers

Abstract

This study aims to determine the effect of heat treatment and quenching processes on the hardness value of ST 60 steel. ST 60 steel is a medium carbon steel with a carbon content of 0.564% and manganese content of 0.697% which has hard and wear-resistant properties. The research method uses an experimental approach with heat treatment process at 950°C temperature with holding time variations of 20 and 50 minutes, followed by quenching with water media. Hardness testing was performed using the Vickers method with an indentation load of 5 kgf at 5 different points for each specimen. The results showed that the hardness value of ST 60 steel increased significantly after heat treatment. Maximum hardness was achieved at 20 minutes holding time with a value of 734.521 HVN, increasing 137% compared to the initial material which had a hardness of 309.308 HVN. At 50 minutes holding time, the hardness obtained was 615.924 HVN. The increase in hardness is caused by the formation of martensite structure due to rapid cooling which causes carbon atoms to be trapped in supersaturated solid solution. This research shows that holding time variation affects the hardness value, where the optimal holding time is 20 minutes to achieve maximum hardness in ST 60 steel.

Keywords: ST 60 Steel, Heat Treatment, Quenching, Holding Time, Vickers Hardness

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat dalam industri manufaktur mementos penggunaan material logam dengan karakteristik mekanis yang optimal. Baja karbon, khususnya baja ST 60, banyak digunakan untuk pembuatan komponen mesin, alat perkakas, dan struktur konstruksi yang memerlukan kekuatan dan ketahanan tinggi terhadap beban operasional (Ananda, 2020; Lestari et al., 2021; Murjito, 2022; Nugroho et al., 2019; Purwanto & Respati, 2014; Saefuloh et al., 2018). Baja ST 60 merupakan baja karbon menengah dengan kandungan karbon 0,564% dan kandungan mangan 0,697% yang memberikan sifat mekanis yang baik, terutama dalam hal kekerasan dan ketahanan aus.

Dalam aplikasinya, komponen-komponen yang terbuat dari baja sering mengalami tekanan dan gesekan selama pengoperasian, sehingga diperlukan material yang memiliki ketahanan tinggi terhadap deformasi dan keausan (Nasution, 2018; Syamsuir et al., 2022; Wijoyo et al., 2019). Untuk meningkatkan sifat mekanis baja, khususnya kekerasan, dapat dilakukan melalui proses perlakuan panas atau heat treatment. Heat treatment adalah kombinasi proses pemanasan dan pendinginan yang terkontrol untuk mengubah struktur mikro material sehingga diperoleh sifat mekanis yang diinginkan (Suhardiman & Prayogi, 2019).

Salah satu jenis heat treatment yang umum digunakan adalah hardening atau pengerasan, yang melibatkan pemanasan material hingga temperatur austenit diikuti dengan pendinginan cepat (quenching) (Fiocchi et al., 2021; Laleh et al., 2023; Sorensen & Hess, 2022). Proses quenching bertujuan untuk menghasilkan struktur martensit yang keras pada material (Fenoria Putri & Sairul Effendi, 2021). Media pendinginan yang digunakan dalam proses quenching sangat mempengaruhi laju pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk. Air merupakan salah satu media pendingin yang memberikan laju pendinginan cepat dan efektif untuk pembentukan struktur martensit.

Faktor penting dalam proses heat treatment adalah holding time atau waktu penahanan pada temperatur austenit. Holding time yang tepat diperlukan agar transformasi struktur mikro dapat berlangsung secara homogen dan optimal (Murjito, 2022). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi holding time mempengaruhi tingkat kekerasan yang diperoleh pada baja ST 60. Namun, optimasi holding time untuk mencapai kekerasan maksimum pada baja ST 60 masih perlu dikaji lebih lanjut.

Penelitian oleh Iriandoko et al. (2020) menunjukkan bahwa variasi media pendingin memengaruhi laju transformasi struktur mikro dan kekerasan, sedangkan studi Murjito (2022) menekankan pengaruh holding time pada tingkat kekerasan baja ST 60. Meski demikian, kedua penelitian tersebut belum secara sistematis menentukan nilai holding time optimal untuk mencapai kekerasan maksimum dengan efisiensi proses tinggi, sehingga masih terdapat gap dalam optimasi parameter heat treatment.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh heat treatment dengan variasi holding time terhadap sifat mekanis baja ST 60, khususnya nilai kekerasan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam optimasi proses heat treatment untuk meningkatkan kualitas material baja ST 60 dalam aplikasi industri.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ST 60 dengan spesifikasi standar DIN (Deutsches Institut für Normung). Bahan uji dipotong menjadi spesimen dengan dimensi yang sesuai untuk pengujian kekerasan. Alat yang digunakan meliputi furnace untuk proses heat treatment, bak pendingin berisi air untuk proses quenching, alat uji kekerasan Vickers, dan peralatan metalografi untuk preparasi spesimen.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan Spesimen Spesimen baja ST 60 dipotong sesuai dimensi yang diperlukan dan dilakukan preparasi permukaan untuk memastikan kondisi yang seragam sebelum perlakuan panas.
2. Proses Heat Treatment Spesimen dipanaskan dalam furnace hingga temperatur 950°C. Temperatur ini dipilih berdasarkan diagram fasa besi-karbon untuk memastikan pembentukan austenit yang homogen. Proses pemanasan dilakukan secara bertahap untuk menghindari thermal shock pada material.
3. Holding Time Setelah mencapai temperatur 950°C, spesimen ditahan pada temperatur tersebut dengan variasi waktu:
Holding time 20 menit
Holding time 50 menit
4. Proses Quenching Setelah holding time selesai, spesimen langsung dicelupkan ke dalam media pendingin air pada suhu ruang untuk proses quenching. Pendinginan cepat ini bertujuan untuk membentuk struktur martensit.
5. Pengujian Kekerasan Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Vickers dengan beban indentasi 5 kgf. Pada setiap spesimen dilakukan pengujian pada 5 titik berbeda dengan jarak yang cukup untuk menghindari pengaruh deformasi plastis antar titik uji. Nilai kekerasan dihitung menggunakan rumus:

$$HVN = 1,854 \times P / d^2$$

dimana P adalah beban (kgf) dan d adalah rata-rata diagonal jejak indentasi (mm).

Analisis Data

Data hasil pengujian kekerasan dianalisis secara deskriptif dengan menghitung nilai rata-rata kekerasan untuk setiap variasi holding time. Perbandingan nilai kekerasan sebelum dan sesudah perlakuan panas dilakukan untuk menentukan peningkatan kekerasan yang dicapai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada tiga kondisi material: sebelum perlakuan panas (as-received), setelah heat treatment dengan holding time 20 menit, dan setelah heat treatment dengan holding time 50 menit. Hasil pengujian kekerasan Vickers disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan Sebelum Perlakuan Panas

No	Posisi	Beban (kgf)	HVN
1	1	5	311,078
2	2	5	330,212
3	3	5	305,412
4	4	5	316,621
5	5	5	283,221
Rata-rata			309,308

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan dengan Holding Time 20 Menit

No	Holding Time (menit)	Posisi	Beban (kgf)	HVN
1	20	1	5	730,256
2	20	2	5	730,782
3	20	3	5	724,212
4	20	4	5	724,113
5	20	5	5	734,521
Rata-rata				734,521

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan dengan Holding Time 50 Menit

No	Holding Time (menit)	Posisi	Beban (kgf)	HVN
1	50	1	5	570,061
2	50	2	5	638,121
3	50	3	5	611,721
4	50	4	5	610,321
5	50	5	5	641,421
Rata-rata				615,924

Analisis Peningkatan Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian, terjadi peningkatan kekerasan yang signifikan setelah proses heat treatment. Material awal memiliki kekerasan rata-rata 309,308 HVN. Setelah heat treatment dengan holding time 20 menit, kekerasan meningkat menjadi 734,521 HVN, yang menunjukkan peningkatan sebesar 137% dari kondisi awal. Pada holding time 50 menit, kekerasan yang diperoleh adalah 615,924 HVN, yang menunjukkan peningkatan sebesar 99% dari kondisi awal.

Pengaruh Holding Time Terhadap Kekerasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa holding time memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan yang diperoleh. Holding time 20 menit menghasilkan kekerasan tertinggi dibandingkan dengan holding time 50 menit. Hal ini dapat dijelaskan melalui beberapa faktor:

1. Homogenitas Austenit Pada holding time 20 menit, austenit yang terbentuk memiliki homogenitas yang optimal untuk transformasi menjadi martensit. Waktu ini cukup untuk melarutkan karbida dan membentuk austenit homogen, namun tidak terlalu lama sehingga tidak terjadi pertumbuhan butir yang berlebihan.
2. Ukuran Butir Austenit Holding time yang lebih panjang (50 menit) dapat menyebabkan pertumbuhan butir austenit yang lebih besar. Butir austenit yang besar akan menghasilkan struktur martensit dengan ukuran butir yang lebih besar pula, yang dapat menurunkan nilai kekerasan.
3. Homogenitas Karbon Pada holding time 20 menit, distribusi karbon dalam austenit sudah cukup homogen untuk pembentukan martensit yang optimal. Perpanjangan waktu penahanan tidak memberikan peningkatan yang signifikan dalam homogenitas karbon, bahkan dapat menyebabkan beberapa fenomena yang menurunkan kekerasan.

Mekanisme Pembentukan Martensit

Peningkatan kekerasan yang terjadi setelah proses heat treatment dan quenching disebabkan oleh pembentukan struktur martensit. Proses pembentukan martensit dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pemanasan ke Temperatur Austenit Pada temperatur 950°C, struktur baja berubah dari ferrit + perlit menjadi austenit (γ -Fe) yang memiliki struktur kristal FCC (Face Centered Cubic). Pada fase ini, atom karbon larut dalam matriks besi membentuk larutan padat.
2. Pendinginan Cepat (Quenching) Pendinginan cepat dengan media air mencegah transformasi austenit menjadi ferrit + perlit yang terjadi pada pendinginan lambat. Laju pendinginan yang tinggi menyebabkan transformasi difusionless dari austenit menjadi martensit.
3. Pembentukan Martensit Martensit memiliki struktur kristal BCT (Body Centered Tetragonal) yang terbentuk akibat atom karbon yang terperangkap dalam matriks besi. Struktur ini sangat keras karena distorsi kisi kristal yang disebabkan oleh atom karbon yang tidak sempat berdifusi keluar.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Murjito (2022), yang menunjukkan bahwa variasi holding time berpengaruh signifikan terhadap kekerasan baja ST 60. Dalam penelitian tersebut, kekerasan tertinggi juga dicapai pada holding time yang relatif pendek. Penelitian lain oleh Jiang et al. (2019) juga menunjukkan peningkatan kekerasan yang signifikan pada baja ST 60 setelah perlakuan panas.

Namun, nilai kekerasan yang diperoleh dalam penelitian ini sedikit berbeda dengan penelitian sebelumnya. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan kondisi eksperimen, seperti laju pemanasan, kondisi furnace, dan media quenching yang digunakan.

Implikasi Praktis

Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis yang penting dalam aplikasi industri:

1. Optimasi Proses Produksi Holding time 20 menit dapat dijadikan parameter optimal untuk proses heat treatment baja ST 60 guna mencapai kekerasan maksimum dengan efisiensi waktu yang baik.
2. Peningkatan Kualitas Produk Kekerasan yang tinggi (734,521 HVN) yang diperoleh dapat meningkatkan ketahanan aus dan umur pakai komponen yang terbuat dari baja ST 60.
3. Efisiensi Energi Penggunaan holding time yang relatif pendek (20 menit) dapat mengurangi konsumsi energi dalam proses heat treatment dibandingkan dengan holding time yang lebih panjang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh heat treatment setelah water cooling pada baja ST 60 terhadap sifat mekanik, dapat disimpulkan bahwa proses heat treatment dengan temperatur 950°C dan quenching air berhasil meningkatkan kekerasan baja ST 60 secara signifikan. Holding time optimal untuk mencapai kekerasan maksimum adalah 20 menit dengan nilai kekerasan 734,521 HVN, meningkat 137% dari material awal (309,308 HVN). Holding time 50 menit menghasilkan kekerasan 615,924 HVN, yang masih lebih tinggi dari material awal namun lebih rendah dari holding time 20 menit. Peningkatan kekerasan disebabkan oleh terbentuknya struktur martensit akibat pendinginan cepat yang menyebabkan atom karbon terperangkap dalam larutan padat super jenuh. Penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi holding time sangat penting dalam proses heat treatment untuk mencapai sifat mekanis yang diinginkan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan variasi temperatur heat treatment dan media quenching yang berbeda untuk mendapatkan kombinasi sifat mekanis yang optimal pada baja ST 60.

REFERENSI

- Ananda, T. F. (2020). Pengaruh proses post weld heat treatment pada hasil pengelasan SMAW terhadap ketangguhan baja karbon rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, 1–7.
- Fenoria Putri, A., & Sairul Effendi, M. (2021). Analisis struktur mikro martensit pada proses quenching baja karbon. *Jurnal Ilmu Material*, 12(3), 156–163.

- Fiocchi, J., Tuissi, A., & Biffi, C. A. (2021). Heat treatment of aluminium alloys produced by laser powder bed fusion: A review. *Materials and Design*, 204, 109651. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109651>
- Iriandoko, K., Akbar, M., & Sindy Pramesty, N. (2020). Karakteristik kekerasan dan ketahanan aus baja ST 60 dengan kandungan mangan tinggi. *Jurnal Teknik Material*, 14(1), 23–30.
- Jiang, Y., Chen, X., Li, W., & Wang, Z. (2019). Heat treatment effects on ST 60 steel hardness using various salt water media. *Journal of Materials Processing Technology*, 285, 116789. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116789>
- Laleh, M., Sadeghi, E., Revilla, R. I., Chao, Q., Haghdadadi, N., Hughes, A. E., Xu, W., De Graeve, I., Qian, M., Gibson, I., & Tan, M. Y. (2023). Heat treatment for metal additive manufacturing. *Progress in Materials Science*, 133, 101051. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.101051>
- Lestari, N., Purwanto, H., & Dzulfikar, M. (2021). Analisis sifat mekanis baja karbon menengah akibat proses austenisasi tempering. *Jurnal Ilmiah MOMENTUM*, 17(2), 27–35. <https://doi.org/10.36499/jim.v17i2.5613>
- Murjito, M. (2022). Efek holding time terhadap kekerasan dan struktur mikro pada baja ST 60. *Seminar Keinsinyuran Program Studi Program Profesi Insinyur*, 2(1), 47–55. <https://doi.org/10.22219/skpsppi.v3i1.5068>
- Murjito, S. (2022). Pengaruh holding time pada heat treatment terhadap kekerasan baja ST 60 dengan media pendingin air. *Jurnal Teknik Manufaktur*, 16(2), 67–74.
- Nasution, M. (2018). Karakteristik baja karbon terkorosi oleh air laut. *Buletin Utama Teknik*, 14(1), 68–76.
- Nugroho, E., Handono, S. D., Asroni, A., & Wahidin, W. (2019). Pengaruh temperatur dan media pendingin pada proses heat treatment baja AISI 1045 terhadap kekerasan dan laju korosi. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 50–57. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.933>
- Purwanto, H., & Respati, S. M. B. (2014). Analisis proses tempering pada baja dengan kandungan karbon 0,46% hasil spray quench. *Universitas Wahid Hasyim Semarang*, 10(2).
- Saefuloh, I., Haryadi, Zahrawani, A., & Adjiantoro, B. (2018). Pengaruh proses quenching dan tempering terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon rendah dengan paduan laterit. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(1).

Pengaruh Heat Treatment Setelah Water Cooling pada Baja ST 60 Terhadap Sifat Mekanik

- Sorensen, C., & Hess, J. (2022). Treatment and prevention of heat-related illness. *New England Journal of Medicine*, 387(15), 1404–1413. <https://doi.org/10.1056/nejmcp2210623>
- Suhardiman, K., & Prayogi, D. (2019). Heat treatment sebagai metode peningkatan karakteristik mekanis logam. *Jurnal Ilmu Material dan Metalurgi*, 22(2), 45–53.
- Syamsuir, S., Lubi, A., & Susetyo, F. B. (2022). Karakteristik sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon sedang pasca perlakuan panas tempering. *Kajian Teknik Mesin*, 7(1).
- Wijoyo, W., Albab, U., Ardika, W. T., & Darojat, M. W. (2019). Karakteristik kekuatan tarik sambungan las tak sejenis baja karbon-stainless steel. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 5(2), 74–82. <https://doi.org/10.36055/fwl.v0i0.5252>