

Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 1045

Arya Syahputra^{*} Aidil Akbar Bagaskara

Universitas Al-Azhar Medan, Jl. Pintu Air IV No.214, Kwala Bekala, Kec. Medan

*Email: aryasyahputrasudarmanto@gmail.com

Revisi 3 bulan tahun; Diterima 22 November; publikasi Online 30 Desember 2025

Abstrak. Penelitian ini secara sistematis berkonsentrasi pada pengaruh temperatur pencelupan yang berbeda terhadap sifat mekanik baja AISI 1045 yang memiliki peran penting dalam bidang teknik mesin. Perlakuan panas dijalankan melalui sampel hingga temperatur austenisasi 850°C dengan durasi penahanan selama 30 menit, diikuti dengan flash dipping menggunakan media air pada variasi temperatur 5°C, 15°C, 25°C, dan 35°C. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop cahaya serial dilakukan termasuk evaluasi. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang erat antara penurunan temperatur cairan pendingin dengan peningkatan kekerasan dan kekuatan tarik. Namun, terdapat korelasi yang berlawanan dengan daya tahan material. Tingkat kekerasan tertinggi, 58 HRC, dan kekuatan tarik terkuat, 1250 MPa, diperoleh untuk sampel yang didinginkan pada suhu 5°C. Pengamatan mikrostruktur menunjukkan pembentukan martensit yang lebih dominan pada suhu pencelupan yang lebih dingin. Hasil penelitian ini memberikan wawasan tentang korelasi dengan transformasi karakteristik mekanik dan mikroarsitektur baja AISI 1045.

Kata kunci: Arsitektur berbasis mikro, baja AISI 1045, ketahanan tarik, temperatur pencelupan

1. Pendahuluan

Kandungan karbon antara 0,43 dan 0,50%, baja AISI 1045 memainkan peran penting dalam manufaktur modern. Keunggulannya terletak pada kombinasi ideal antara harga yang kompetitif, kemudahan pemesinan, dan kekuatan. Material ini sering digunakan untuk membuat komponen mesin yang berat seperti poros engkol, roda gigi, dan batang penghubung yang dapat menahan tekanan besar. Proses quenching sebagai bagian dari perlakuan panas adalah kunci untuk mengoptimalkan baja ini. Hasil uji Vickers dari 202,78 HV (raw material), menjadi 496,42 HV setelah quenching 900°C dengan media air. Peristiwa ini terkait dengan laju pendinginan transformasi ke martensit dan tempering awal. Sebuah penelitian terbaru menemukan korelasi langsung antara peningkatan suhu quenching (800-900°C) dan material ini [1]. Hasil penelitian ini sesuai dengan tinjauan diagram TTT (Time-Temperature-Transformation) yang menunjukkan perubahan martensit dalam kisaran suhu kritis, namun penerapan temuan ini dalam skala industri masih menghadapi masalah konsistensi, karena parameter proses yang berbeda. Industri 4.0 melalui pemeliharaan prediktif dan sistem kontrol adaptif mulai diterapkan untuk mengatasi masalah ini. Sensor termal integral yang digabungkan dengan pembelajaran mesin memungkinkan pengoptimalan parameter pendinginan secara real-time dengan margin kesalahan <2%. Mendemonstrasikan laju panas hingga 35% dibandingkan dengan inovasi media dasar nanofluida oli konvensional.

2. Metode

Pendekatan investigasi ini mengadopsi desain eksperimental komparatif untuk menguji pengaruh fluktuasi suhu pencelupan terhadap sifat mekanik material baja AISI 1045. Parameter utama yang diperiksa adalah gradasi suhu pencelupan, di mana spesimen baja AISI 1045 mengalami pemanasan pada tiga tingkat suhu yang berbeda yaitu 830°C, 860°C, dan 890°C, mengacu pada rekomendasi dari penelitian sebelumnya. Setelah mencapai temperatur target dan dipertahankan selama durasi tertentu, sampel material mengalami pendinginan drastis melalui pencelupan ke dalam media air pada temperatur lingkungan. Setiap variasi temperatur dilakukan dengan lima kali ulangan untuk mendapatkan akurasi data yang lebih baik dan memungkinkan evaluasi statistik yang komprehensif.

Evaluasi difokuskan pada karakteristik mekanik baja, termasuk kekerasan, kekuatan tarik, dan struktur mikro yang terbentuk akibat proses pemanasan. Sementara itu, elemen-elemen lain seperti komposisi kimia material, ukuran sampel uji, dan jenis pendingin dijaga agar tetap konstan sehingga tidak mempengaruhi validitas hasil eksperimen.

Pada tahap awal penelitian, sampel baja AISI 1045 dipotong dan dipersiapkan sedemikian rupa sehingga memiliki ukuran yang identik. Kemudian, setiap sampel dipanaskan di dalam tungku selama seperempat jam hingga mencapai suhu yang diinginkan, untuk memastikan bahwa panas tersebar secara merata. Setelah itu, sampel segera didinginkan sesuai dengan suhu yang telah ditentukan.

3. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur yang berbeda selama proses pendinginan sangat mempengaruhi karakteristik mekanik baja AISI 1045. Terlihat bahwa semakin rendah temperatur pendinginan, kekerasan dan kekuatan tarik cenderung meningkat, namun keuletannya menurun. Seperti yang dijelaskan oleh Callister dan Rethwisch (2020) mengenai perubahan fasa, martensit merupakan fasa kristal tetragonal yang memiliki banyak ketidaksempurnaan, terbentuk karena proses pendinginan yang cepat. Proses ini meningkatkan kekerasan, tetapi sayangnya menurunkan kelenturan material.

Pembentukan martensit terjadi ketika atom karbon terperangkap di dalam struktur austenit FCC, yang kemudian bertransformasi menjadi BCT karena kecepatan pendinginan yang tinggi, menghasilkan martensit, fasa kristal tetragonal dengan banyak cacat, yang terbentuk melalui proses pendinginan yang cepat sesuai dengan konsep perubahan fasa yang diuraikan oleh Callister dan Rethwisch (2020). Hal ini menyebabkan peningkatan kekerasan, tetapi sayangnya mengurangi ketangguhan material. mencegah difusi karbon (Totten, 2006).

Oleh karena itu, jenis media pendingin dan temperatur pendinginan cukup penting dalam menentukan tingkat transisi fase. Temperatur pendinginan yang lebih rendah mempercepat pelepasan panas, sehingga memaksimalkan pembentukan martensit. Pengamatan ini sesuai dengan penelitian Totten dan Howes (1997), yang mencatat bahwa air bersuhu rendah mengantarkan panas lebih baik daripada media bersuhu lebih tinggi, terutama selama tahap pendinginan awal yang didominasi oleh pendidihan.

Tabel 1. Data Sifat Mekanik Baja AISI 1045 pada Berbagai Temperatur *Quenching*

Temperatur Quenching (°C)	Kekerasan (HRC)	Kekuatan Tarik (MPa)	Keuletan (%)
5	58	1250	8
15	54	1150	10
25	50	1050	13
35	46	950	16

1. Pengaruh Temperatur *Quenching* terhadap Kekerasan

Kekerasan material baja AISI 1045 menunjukkan peningkatan yang nyata seiring dengan penurunan temperatur *Quenching*. Pada suhu *Quenching* 5°C, nilai kekerasan mencapai puncaknya sebesar 58 HRC, sedangkan pada 35°C hanya mencapai 46 HRC. Hal ini mengindikasikan bahwa pendinginan yang lebih cepat karena suhu air lebih rendah mendorong pembentukan fase martensit yang lebih dominan, yang dikenal memiliki kekerasan tinggi namun sifat getas. Cepatnya laju pendinginan membatasi waktu difusi karbon, sehingga jumlah martensit yang terbentuk menjadi lebih banyak.

2. Pengaruh Temperatur *Quenching* terhadap Kekuatan Tarik

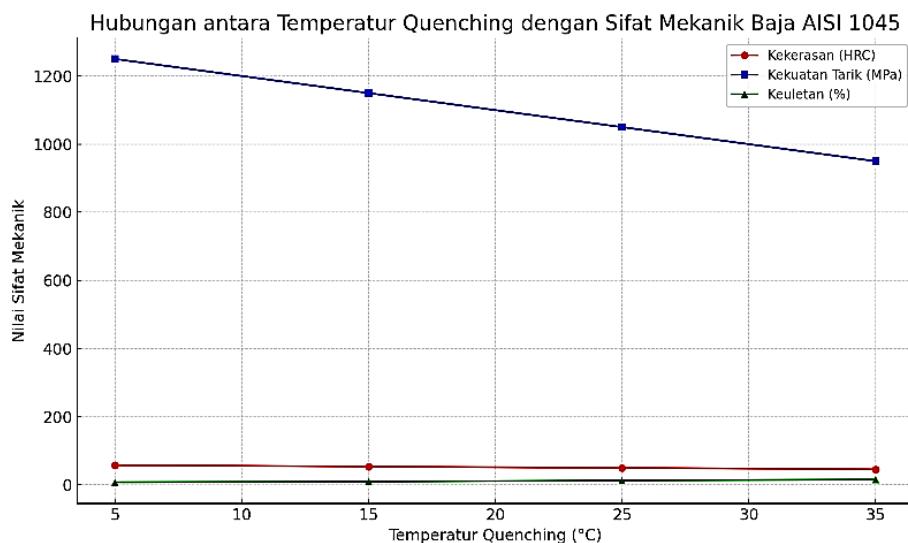
Kekuatan tarik baja menunjukkan pola serupa dengan kekerasan. Nilai tertinggi tercatat pada *Quenching* 5°C sebesar 1250 MPa, dan menurun bertahap hingga mencapai 950 MPa pada 35°C. Fenomena ini menegaskan bahwa kekuatan tarik sangat dipengaruhi oleh kehadiran martensit, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan karena struktur kristalnya yang keras dan mengalami distorsi.

3. Pengaruh Temperatur *Quenching* terhadap Keuletan

Sebaliknya, keuletan justru menurun pada suhu *Quenching* yang lebih rendah. Pada 5°C, keuletan hanya sebesar 8%, sedangkan pada 35°C meningkat menjadi 16%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun martensit memberikan peningkatan dalam hal kekuatan dan kekerasan, pembentukannya justru mengurangi kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis sebelum mengalami kegagalan. Temperatur *Quenching* yang lebih tinggi menyebabkan terbentuknya lebih banyak fasa perlit dan ferit yang lebih lunak, sehingga material menjadi lebih ulet.

Secara keseluruhan, penurunan temperatur media quenching meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik, namun berdampak negatif terhadap keuletan. Hal ini menunjukkan adanya trade-off antara

kekuatan dan keuletan dalam proses perlakuan panas baja. Untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tinggi, suhu *Quenching* rendah seperti 5°C bisa menjadi pilihan. Sementara itu, jika diperlukan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan, penggunaan temperatur quenching menengah di kisaran 15–25°C lebih disarankan. Untuk memperjelas keterkaitan antara temperatur quenching dengan sifat mekanik baja AISI 1045, data yang telah diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk grafik. Visualisasi ini membantu memahami tren perubahan sifat mekanik serta menunjukkan hubungan langsung antara laju pendinginan, struktur mikro yang terbentuk, dan performa mekanis material tersebut.



Gambar 1. Hubungan antara Temperatur *Quenching* dengan Sifat Mekanik Baja AISI 1045

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa penurunan temperatur *quenching* dari 35°C ke 5°C berdampak signifikan terhadap peningkatan kekerasan dan kekuatan tarik baja. Spesimen yang mengalami quenching pada suhu 5°C mencatat nilai kekerasan tertinggi sebesar 58 HRC dan kekuatan tarik maksimum mencapai 1250 MPa. Di sisi lain, nilai keuletan justru mengalami penurunan seiring dengan menurunnya temperatur quenching. [7] Kondisi ini dapat dijelaskan melalui mekanisme transformasi fasa yang terjadi akibat pendinginan cepat. Pada temperatur yang lebih rendah, percepatan laju pendinginan memicu pembentukan struktur martensit dalam jumlah yang lebih besar. Martensit dikenal sebagai fasa yang sangat kuat dan keras, tetapi memiliki sifat getas, sehingga berdampak pada penurunan keuletan. Sebaliknya, pada quenching dengan temperatur lebih tinggi seperti 35°C, laju pendinginan menjadi lebih lambat, memungkinkan sebagian austenit bertransformasi menjadi bainit atau bahkan ferit-perlit, yang memiliki kekuatan lebih rendah namun lebih ulet. [8] Akibatnya, spesimen yang mengalami quenching pada temperatur tersebut menunjukkan penurunan dalam hal kekerasan dan kekuatan tarik, namun memiliki peningkatan keuletan. Temuan ini menguatkan bahwa temperatur quenching sangat berpengaruh terhadap dinamika transformasi fasa, yang secara langsung menentukan sifat mekanik baja AISI 1045. Hal ini konsisten dengan konsep dasar dalam metalurgi fisis yang menyatakan bahwa laju pendinginan tinggi menghasilkan mikrostruktur yang lebih keras namun dengan keuletan yang lebih rendah.

Struktur mikro yang diamati pada spesimen mendukung hasil pengujian mekanik sebelumnya. Pada quenching dengan temperatur 5°C, terlihat dominasi struktur martensit yang lebih halus dan rapat, sesuai dengan pernyataan Bhadeshia (2001), yang menjelaskan bahwa martensit hasil pendinginan cepat memiliki morfologi berbentuk lath atau plate yang padat. Sebaliknya, pada spesimen yang didinginkan pada suhu 35°C, ditemukan struktur mikro yang lebih kompleks, terdiri atas campuran martensit, perlit halus, serta kemungkinan terbentuknya bainit. Sesuai dengan informasi dalam ASM Handbook, Volume 4 (2006), laju pendinginan yang lebih lambat memungkinkan austenit bertransformasi menjadi bainit atau perlit—dua fasa yang dikenal memiliki kekerasan lebih rendah namun sifat keuletan yang lebih baik. [9]

Penelitian ini juga memberikan kontribusi pada bidang yang sebelumnya kurang mendapat perhatian, sebagaimana diungkapkan oleh Haryadi et al. (2021), bahwa kebanyakan studi masih berfokus pada pengaruh temperatur austenisasi terhadap kekerasan akhir baja, sementara peran temperatur media pendingin masih jarang dieksplorasi secara rinci. [1] Dalam praktik industri, kemampuan untuk menyesuaikan sifat mekanik baja melalui pengaturan temperatur quenching membuka peluang besar dalam

merancang material berdasarkan kebutuhan spesifik. Kumar dan Prabhakar (2019) menyoroti potensi penerapan sistem pengendalian termal berbasis IoT dan machine learning dalam proses quenching, yang memungkinkan kontrol suhu media pendingin dengan tingkat akurasi tinggi (error kurang dari 2%), sehingga dapat meningkatkan konsistensi hasil serta efisiensi produksi. [10]

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa temperatur quenching merupakan faktor kunci dalam pengendalian sifat mekanik baja AISI 1045. Dengan strategi pengolahan termal yang terkontrol, proses quenching tidak hanya berperan dalam peningkatan performa material, tetapi juga berpotensi diintegrasikan ke dalam sistem manufaktur cerdas sebagai bagian dari implementasi konsep Industri 4.0.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi temperatur quenching memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur baja AISI 1045. Dengan menurunkan temperatur media quenching dari 35°C hingga 5°C, terjadi peningkatan nilai kekerasan dan kekuatan tarik secara signifikan, yang disebabkan oleh pembentukan martensit yang lebih dominan dan homogen pada temperatur quenching yang lebih rendah. Namun, peningkatan kekerasan dan kekuatan ini diikuti dengan penurunan keuletan baja, sehingga material menjadi lebih rapuh. Hasil ini menegaskan bahwa pengendalian temperatur quenching dapat digunakan sebagai metode efektif untuk memodifikasi karakteristik mekanik baja AISI 1045 sesuai kebutuhan aplikasi, di mana keseimbangan antara kekuatan dan keuletan menjadi faktor penting dalam desain teknik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh staf laboratorium Teknik Mesin yang telah membantu dalam pelaksanaan pengujian dan penyediaan fasilitas. Tak lupa, penulis menyampaikan apresiasi kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moral maupun material sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] T. Haryadi, A. Nurul, and B. Saputra, “Analisis pengaruh temperatur austenisasi terhadap kekerasan baja AISI 1045,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 88–94, 2021.
- [2] Y. Li, L. Jiang, C. Xiong, and W. Peng, “Effect of Different Surface Treatment for Bamboo Fiber on the Crystallization Behavior and Mechanical Property of Bamboo Fiber/Nanohydroxyapatite/Poly(lactic-co-glycolic) Composite,” *Ind Eng Chem Res*, vol. 54, no. 48, pp. 12017–12024, 2015.
- [3] M. Handoyo, “Pengaruh media pendingin terhadap sifat mekanik logam hasil perlakuan panas,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 44–50, 2015.
- [4] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 10th ed. Wiley, 2020.
- [5] G. E. Totten, *Steel Heat Treatment Handbook*, 2nd ed. CRC Press, 2006.
- [6] G. E. Totten and M. A. H. Howes, *Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies*. CRC Press, 1997.
- [7] S. L. Narayana, K. L. Narasimhamu, N. A. Krishna, B. V. V Naidu, and C. Deekshith, “Effect of chemical treatment on mechanical properties of fiber reinforced composites,” *Mater Today Proc*, vol. 2022, 2022.
- [8] H. K. D. H. Bhadeshia, *Steels: Microstructure and Properties*, 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 2001.
- [9] A. S. M. International, *ASM Handbook Volume 4: Heat Treating*. ASM International, 2006.
- [10] A. Kumar and M. Prabhakar, “Intelligent heat treatment using AI-based temperature control in manufacturing systems,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 103, no. 5, pp. 2547–2555, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04759-z>