JURITEK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer

E-ISSN: 2809-0799
P-ISSN: 2809-0802

(Artikel Penelitian/Ulasan)

Pengaruh Variasi Temperatur Quenching terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik, dan Keuletan Baja AISI 1045

Arya Syahputra [1]*, Aidil Akbar Bagaskara [2].

[1] Universitas Al-Azhar Medan; email : aryasyahputrasudarmanto@gmail.com
[2] Universitas Al-Azhar Medan; email : aidilakbarbagaskara@gmail.com

*** Arya Syahputra**

Abstract: This research systematically concentrates on the effect of different dyeing temperatures on the mechanical properties of AISI 1045 steel which has an important role in the field of mechanical engineering. These findings are important for the development of engineering components such as shafts and gears. This study aims to analyze the effect of quenching temperature variations on the hardness, tensile strength, and ductility of AISI 1045 steel experimentally. Heat treatment was carried out through samples up to an austenization temperature of 850°C with a holding duration of 30 minutes, followed by flash dipping (rapid cooling) using water media at temperature variations of 5°C, 15°C, 25°C, and 35°C. Each treatment was carried out five times and statistical analysis was given to obtain representative data. Observation of microstructures using serial light microscopy was carried out including evaluation. The results showed a close relationship between the decrease in coolant temperature and the increase in hardness and tensile strength. However, there is an opposite correlation with material durability. The highest hardness, 58 HRC, and the strongest tensile strength, 1250 MPa, were obtained for samples cooled at 5°C. Microstructure observations show a more dominant martensite formation at cooler immersion temperatures. The results of this study provide insight into the correlation with the transformation of the mechanical and microarchitectural characteristics of AISI 1045 steel.

Keywords: AISI 1045 steel, dyeing temperature, tensile resistance, micro-based architecture.

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. Temuan ini penting untuk pengembangan komponen teknik seperti poros dan roda gigi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur quenching terhadap kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan baja AISI 1045 secara eksperimental.Perlakuan panas dijalankan melalui sampel hingga temperatur austenisasi 850°C dengan durasi penahanan selama 30 menit, diikuti dengan flash dipping (pendinginan cepat) menggunakan media air pada variasi temperatur 5°C, 15°C, 25°C, dan 35°C.Setiap perlakuan dilaksanakan sebanyak lima kali ulangan dan analisis statistik diberikan untuk mendapatkan data yang representative.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: Baja AISI 1045, temperatur pencelupan, ketahanan tarik, arsitektur berbasis mikro.

Diterima: Mei 17, 2025
Direvisi: Mei 27, 2025
Diterima: Juni 29, 2025
Diterbitkan: Juli 2, 2025
Versi sekarang: Juli 4, 2025

Hak cipta: © 2025 oleh penulis. Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

1. Pendahuluan

Dengan 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.Dalam teknik mesin, sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan menjadi faktor penting dalam menentukan performa komponen logam. Salah satu metode yang paling sering diterapkan untuk meningkatkan sifat mekanik baja adalah melalui perlakuan panas, terutama proses quenching.Material ini sering digunakan untuk membuat komponen mesin yang berat seperti poros engkol, roda gigi, dan batang penghubung yang dapat menahan tekanan besar[1].Hasil uji Vickers dari 202,78 HV (raw material), menjadi 496,42 HV setelah quenching 900°C dengan media air[2].Proses quenching, yang melibatkan pendinginan cepat dari temperatur austenisasi, mampu menghasilkan struktur martensit yang meningkatkan kekerasan material. Namun, kecepatan pendinginan yang berlebih juga bisa mengurangi keuletan dan menimbulkan sifat getas.

Peristiwa ini terkait dengan laju pendinginan transformasi ke martensit dan tempering awal, jika pendinginan terlalu cepat (misalnya 23,79 detik) menghasilkan martensit utama karena mendorong transformasi tanpa melalui difusi karbon, pendinginan yang lebih lambat akhirnya mengarah bainit atau pearlite[3].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[4].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 untuk Mendemonstrasikan laju panas hingga 35% dibandingkan dengan inovasi media dasar nanofluida oli konvensional[5].

2. Tinjauan Literatur

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang yang banyak digunakan dalam industri manufaktur karena kekuatan dan kemudahan pemesinannya. Proses perlakuan panas seperti quenching digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan sifat kekuatan bahan.Penurunan temperatur quenching diketahui dapat mempengaruhi kecepatan pendinginan dan memicu pembentukan fasa martensit[6].Hal ini juga ditegaskan oleh Askeland dan Wright (2015), yang menyatakan bahwa perubahan struktur logam akibat perlakuan panas sangat bergantung pada kecepatan pendinginan dan mekanisme difusi antar atom[7].Meskipun sudah banyak sumber hasil penelitian yang membahas pengaruh media pendingin jenis oil, garam air, juga air biasa terhadap baja sifat mekaniknya, Namun, sebagian besar penelitian tersebut lebih terfokus pada jenis media pendingin daripada suhu media itu sendiri. Padahal, variasi suhu pada media yang sama — khususnya air — secara signifikan mempengaruhi laju pendinginan dan transformasi mikrostruktur kajian penelitian yang secara spesifik mengevaluasi variasi suhu temper medium air quenching masih sangat terbatas. Padahal, suhu media pendingin secara langsung memengaruhi laju perpindahan panas dan proses pembentukan fasa seperti martensit, bainit, dan perlit, yang selanjutnya berkontribusi terhadap perubahan nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan material.

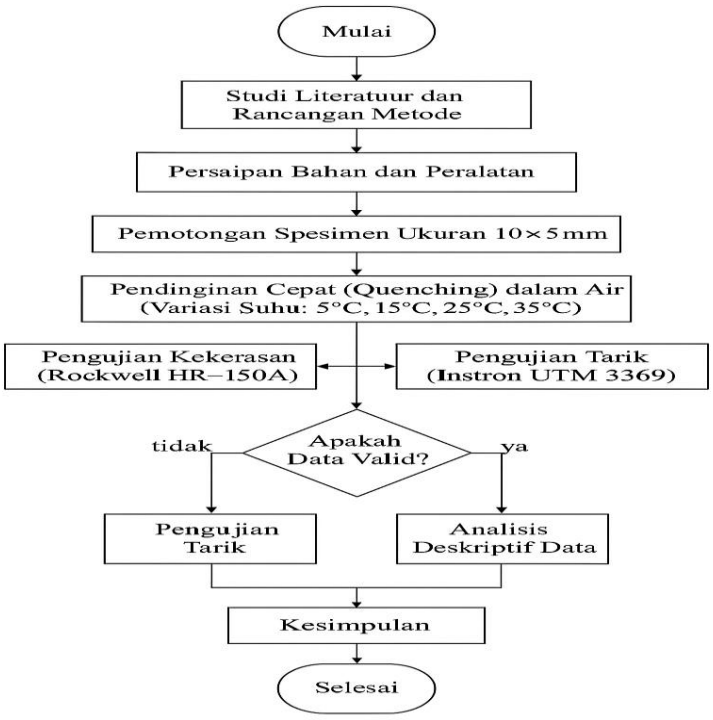
Siregar dkk. (2024) telah menunjukkan bahwa metode pembubutan menggunakan pahat karbida berlapis Ti Al N berdampak pada rasio serpihan dan keberarahan permukaan. Selain itu, studi lanjutan mereka menemukan bahwa pembebanan dinamik menggunakan air gun compressor juga mengubah mikroundur permukaan [12]. Penelitian lain menambahkan bahwa oversize silinder turut memengaruhi hasil struktur mikro [13]

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi suhu air quenching terhadap sifat mekanik baja AISI 1045, Dengan adanya celah penelitian tersebut, studi ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam memperjelas pengaruh suhu pendingin terhadap pembentukan martensit, serta bagaimana perubahan struktur mikro tersebut berdampak pada kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan material. sebagai upaya untuk mendapatkan pemahaman eksperimental yang lebih rinci terkait hubungan antara temperatur quenching, struktur mikro, dan performa mekanik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi temperatur quenching terhadap sifat mekanik baja AISI 1045. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman lebih mendalam tentang hubungan temperatur quenching dengan kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan baja AISI 1045.

3. Metode

Pendekatan investigasi ini mengadopsi desain eksperimental komparatif untuk menguji pengaruh fluktuasi suhu pencelupan terhadap sifat mekanik material baja AISI 1045.dengan melakukan percobaan pada benda kerja dan menanalisis hasil yang didapat.Alur penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar flowchart berikut :



Gambar 1. Flowchart penelitian

Gambar flowchart di atas menggambarkan tahapan proses dimulai dari persiapan bahan, perlakuan panas, quenching, hingga pengujian sifat mekanik dan analisis hasilProses penelitian dilakukan dengan memotong spesimen AISI 1045 sesuai standar, kemudian dipanaskan pada suhu 850 °C selama 30 menit dalam furnace. Setelah itu dilakukan quenching dengan air pada empat variasi temperatur (5°C, 15°C, 25°C, dan 35°C). Spesimen hasil quenching diuji menggunakan mesin uji tarik dan kekerasan serta diamati struktur mikronya.

3.1. Bahan Dan Alat

1. BAHAN

BAJA AISI 1045

Baja karbon sedang tipe AISI 1045 dipilih karena kombinasi sifat mekanik yang baik serta kemudahan dalam pemesinan. Baja ini kerap digunakan untuk aplikasi poros, roda gigi, struktur mesin.Komposisi kimianya mencakup C: 0,40–0,45%, Si: 0,10–0,30%, Mn: 0,60–0,90%,serta unsur paduan kecil lainnya seperti Mo, P, dan S yang dapat dilihat pada tabel 1.

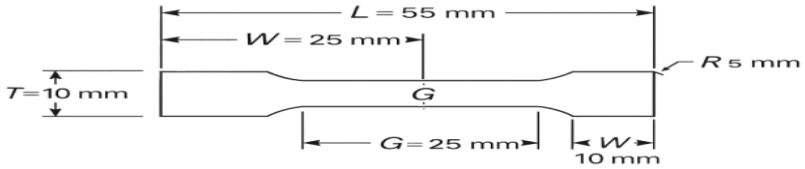
Komposisi kimia material disajikan pada Tabel 1.

Unsur	**Karbon (c)**	**Mangan (Mn)**	**Slikon (Si)**	**Sulfur (S)**	**Fosfor (p)**	**Fe**

%	0.45	0.75	0.25	0.035	0.035	Balance

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Aisi 1045 1

Material dipotong menjadi spesimen berukuran 10 mm × 10 mm × 55 mm.dimensi spesimen ini disesuaikan untuk pengujian tarik dan disiapkan berdasarkan konfigurasi spesimen pelat sesuai standar ASTM E8.



Gambar 2. Spesimen Uji Tarik

1. Air ditambah Es batu (Media Quenching).

Air digunakan sebagai media pendingin dalam proses quenching karena memiliki kapasitas perpindahan panas yang tinggi, murah, dan mudah diperoleh. Dalam perlakuan panas baja karbon sedang, air memberikan pendinginan cepat yang mendorong terbentuknya martensit, fasa yang meningkatkan kekerasan dan kekuatan material.Es batu digunakan untuk menurunkan suhu air quenching secara terkontrol (misalnya ke 5°C atau 15°C). Suhu media quenching sangat memengaruhi laju pendinginan dan struktur fasa yang terbentuk. Semakin dingin media, semakin cepat proses transformasi austenit ke martensit.

Gambar 3. Media Quenching Air ditambah Es Batu

2. Larutan Nital 2%

Nital adalah larutan etsa yang terbuat dari 2% asam nitrat dalam etanol. Digunakan untuk menonjolkan batas butir dan fasa pada baja saat diamati di bawah mikroskop. Nital 2% sangat efektif dalam memperlihatkan martensit, perlit, dan bainit, menjadikannya standar industri dalam metalografi baja karbon.

Gambar 4. Larutan Nital 2%

3. Amplas Metalorogy

Amplas (abrasive paper) digunakan untuk meratakan dan menghaluskan permukaan spesimen sebelum dipoles dan dietsa. Biasanya digunakan bertahap dari grit kasar ke halus (240 hingga 1200 grit), untuk menghilangkan goresan permukaan dan deformasi mikro akibat pemotongan.

Gambar 5. Amplas Metarology

4. Kain poles

Setelah pengamplasan, spesimen dipoles dengan kain beludru dan larutan abrasif (alumina atau pasta diamond). Tujuannya adalah menghasilkan permukaan yang sangat halus seperti cermin agar fasa mikrostruktur bisa diamati dengan jelas.

Gambar 6. kain Pole

5. Alkohol

Alkohol (biasanya isopropil atau etanol) digunakan untuk membersihkan residu polishing dan larutan etsa. Alkohol membantu mengeringkan spesimen dengan cepat dan mencegah oksidasi atau noda air setelah etsa, sehingga hasil pengamatan mikroskopik tetap jernih.

Gambar 7. alkohol

Alat

2. Tungku Pemanas (Box Furnace Digital)

Furnace listrik berfungsi sebagai sumber pemanas utama dalam proses austenisasi pada spesimen baja AISI 1045. Dengan adanya kontrol suhu digital, furnace ini dapat menjaga suhu di angka 850°C dengan stabil selama 30 menit, yang merupakan fase krusial untuk menjamin terbentuknya fasa austenit secara merata sebelum dilakukan proses quenching. Pemeliharaan suhu yang baik sangat penting agar hasil perlakuan panas tetap konsisten di antara berbagai spesimen. Berdasarkan penelitian Bodunrin et al. (2013), perubahan suhu pada austenisasi mempunyai dampak signifikan pada distribusi fasa dan kekuatan mekanik dari baja karbon sedang seperti AISI 1045 setelah perlakuan panas.

Gambar 8. Tungku Pemanas Furnace 1

Digunakan sebagai alat untuk memanaskan spesimen hingga mencapai temperatur yang diinginkan.Spesifikasi dari Tungku Pemanas yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tipe	**Box furnace digital**
Heating capacity	$\pm 4,5\ kw\ (kilowatt)$
Overal performance	**Suhu stabil hingga 1100℃**
Voltage	**220 v (voltage),50 Hz (Hertz)**
Maximum temprature	**1.200℃**

Tabel 2. Spesifikasi Tungku Pemanas

2.Termometer Digital

Termometer digital digunakan untuk mengukur dan mengontrol suhu media air quenching. Alat ini memastikan bahwa setiap variasi suhu quenching (5°C, 15°C, 25°C, dan 35°C) tercapai secara akurat, yang sangat penting karena suhu media memengaruhi laju pendinginan dan hasil transformasi fasa. Penggunaan termometer digital dalam proses ini dijelaskan oleh El-Faramawy et al. (2014), yang menunjukkan bahwa konsistensi suhu media quenching berperan penting dalam pengaruhnya terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon.

Gambar 9. Termometer Digital fluke 51 II 1

Termometer digital fluke 51 II digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang pada ujungnya menimbulkan efek (Theroelectic). Spesifikasi dari Tungku Pemanas yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tipe	**Fluke 51 II**
sensor	**Thermoucouple Tipe k**
Rentang suhu	**-200℃ hingga 900℃**
Akurasi	$\pm(0.05\,\% + 0.3℃)$
Resolusi	$0.1℃$
Waktu respon	$< 5\ detik$

Tabel 3. Spesifikasi Termometer fluke 51 II

2.Mesin Uji kekerasan Rockwell (HR-150A)

Mesin uji kekerasan Rockwell tipe HR-150A digunakan untuk mengukur kekerasan permukaan baja AISI 1045 setelah perlakuan quenching. Skala Rockwell C dipilih karena sesuai untuk baja karbon sedang. Mesin ini bekerja dengan cara menekan indenter berbentuk kerucut berlian ke permukaan spesimen, lalu mengukur kedalaman penetrasi sebagai acuan nilai kekerasan. Afolabi et al. (2015) menggunakan metode serupa untuk mengevaluasi kekerasan baja AISI 1045 setelah perlakuan panas dan menunjukkan bahwa uji Rockwell efektif untuk mendeteksi pengaruh variasi media pendingin.

Gambar 10. Mesin Uji kekerasan Rockwell HR-150A

Mesin uji kekerasan Rockwell tipe HR-150A digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan spesimen berdasarkan kedalaman penetrasi indenter ke permukaan logam uji. Alat ini bekerja dengan memberikan beban tertentu pada indenter berbentuk kerucut berlian (diamond cone) ke permukaan spesimen, kemudian merekam kedalaman tekanan sebagai nilai kekerasan dalam skala Rockwell C. Spesifikasi dari alat uji kekerasan Rockwell HR-150A yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tipe	**HR-150A**
Metode pengujian	**Rockwell (HRA, HRB, HRC)**
Beban Uji	**60 kgf, 100 kgf, 150 kgf**
Indenter	**Bola baja Ø1/16" dan kerucut berlian**
Skala Kekerasan	**HRA, HRB, HRC**
Rentang Pengukuran	**HRC: 20–70; HRB: 20–100**

Tabel 4. Spesifikasi Mesin uji Rockwell HR 150-A

1. Mesin Uji Tarik (Universal Testing Machine – Frame Kolom Ganda**)**

Untuk mengetahui seberapa kuat dan lentur material, dilakukan pengujian dengan alat bernama Universal Testing Machine (UTM) yang modelnya dua kolom, mampu menahan beban hingga 50 kN. Alat ini punya layar digital yang langsung menunjukkan besarnya gaya tarik, dengan tingkat ketelitian ±0,5 % serta kecepatan yang bisa diatur (0,001–500 mm/min). Prosedur pengujiannya sendiri mengikuti standar ASTM E8 untuk baja karbon

Gambar 11. Universal Testing Machine (kiri) dan panel pengaturan (kanan)

Mesin Uji Tarik (Universal Testing Machine) digunakan untuk mengukur kekuatan tarik dan keuletan logam berdasarkan gaya maksimum yang dapat ditahan sebelum patah. Mesin ini bekerja dengan menarik spesimen uji secara perlahan menggunakan sistem hidrolik hingga terjadi kegagalan (putus), dan mencatat beban maksimum yang ditahan spesimen. Hasil beban ditampilkan secara digital melalui panel pengatur yang terhubung ke sensor beban. [8]Proses pengujian mengacu pada standar ASTM E8 untuk uji tarik logam.Spesifikasi dari mesin uji tarik yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tipe	**Shimadzu AGS-X**
Kapasitas Beban	**±50 kN (setara 5.000 kgf)**
Akurasi	**±0,5 % dari skala penuh**
Tampilan Beban	**Panel digital (beban langsung terbaca)**
Mode Uji	**Tarik dan tekan**
Standar Uji	**ASTM E8**

Tabel 5. Spesifikasi Mesin Uji tarik Shimadzu AGS-X

4. Hasil dan Pembahasan

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[9].

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)[10].Hal ini menyebabkan peningkatan kekerasan,tetapi sayangnya mengurangi ketangguhan material.mencegah difusi karbon (Totten, 2006)[11].Hal serupa juga diamati oleh Zufri Hasrudy Siregar dkk. (2023), di mana transformasi metalurgi permukaan baja AISI 1045 akibat proses pemesinan menghasilkan perubahan tekstur dan kualitas permukaan yang erat kaitannya dengan karakteristik struktur mikro material hasil perlakuan panas.

Oleh karena itu, jenis media pendingin dan temperatur pendinginan cukup penting dalam menentukan tingkat transisi fase antara Temperatur pendinginan yang lebih rendah mempercepat pelepasan panas, sehingga memaksimalkan pembentukan martensit[11].Pengamatan ini sesuai dengan penelitian Totten dan Howes (1997), yang mencatat bahwa air bersuhu rendah menghantarkan panas lebih baik daripada media bersuhu lebih tinggi, terutama selama tahap pendinginan awal yang didominasi oleh pendidihan[12].

4.1 . 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[13]. 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[14]. Cepatnya laju pendinginan membatasi waktu difusi karbon, sehingga jumlah martensit yang terbentuk menjadi lebih banyak.

4.2. Pengaruh Temperatur Quenching terhadap Kekuatan Tarik

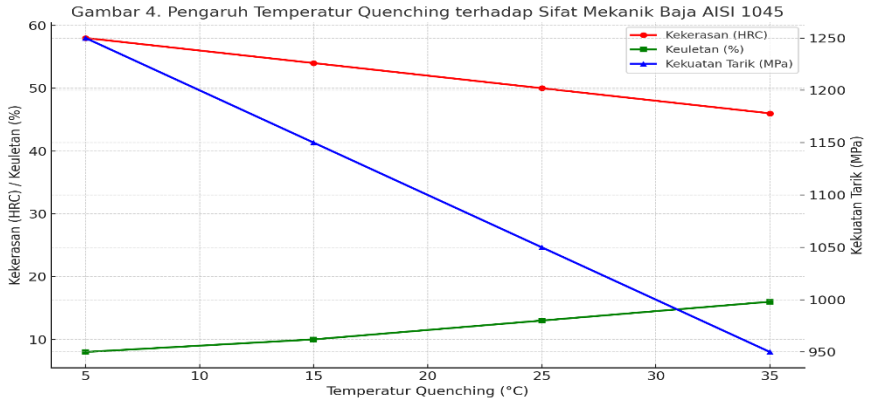
Kekuatan tarik baja menunjukkan pola serupa dengan kekerasan Nilai tertinggi tercatat pada quenching 5°C sebesar 1250 MPa, dan menurun bertahap hingga mencapai 950 MPa pada 35°C. Fenomena ini menegaskan bahwa kekuatan tarik sangat dipengaruhi oleh

kehadiran martensit, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan karena struktur kristalnya yang keras dan mengalami distorsi[15].

4.3. 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[16]. 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[17]. 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[18]. 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 12. Hubungan antara Temperatur Quenching**Tabel 1.** Ini adalah tabel. Tabel harus ditempatkan dalam teks utama di dekat saat pertama kali dikutip.

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa penurunan temperatur quenching dari 35°C ke 5°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.Berdasarkan grafik yang ditampilkan, dapat disimpulkan bahwa penurunan suhu quenching berkorelasi dengan peningkatan tajam pada kekuatan tarik serta kekerasan material. Sebaliknya, fenomena ini berbanding terbalik dengan keuletan, yang cenderung mengalami penurunan.Kecenderungan ini konsisten dengan prinsip fundamental bahwa pendinginan cepat mendorong peningkatan formasi martensit. Di sisi lain, nilai keuletan justru mengalami penurunan seiring dengan menurunnya temperatur quenching. 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.

Akibatnya, spesimen yang mengalami quenching pada temperatur tersebut menunjukkan penurunan dalam hal kekerasan dan kekuatan tarik, namun memiliki peningkatan keuletan. [20]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[19]. 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[22].

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. 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.[23]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.

6. Kesimpulan

Studi ini mengungkap bahwa suhu media pendingin punya pengaruh besar terhadap karakteristik mekanis baja AISI 1045. penelitian menemukan bahwa menurunkan suhu pendinginan dari 35 °C ke 5 °C ternyata secara signifikan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya. Ini terjadi karena pendinginan yang lebih cepat mendorong pembentukan struktur martensit yang lebih banyak. Struktur martensit ini membuat material jadi sangat keras, walau cenderung kurang ulet. Sebaliknya, kalau media pendingin lebih panas, misalnya 35 °C, proses pendinginan jadi lebih lambat. Akibatnya, struktur bainit dan pearlite lebih banyak terbentuk. Kedua struktur ini membuat material jadi lebih lunak dan lentur, sehingga keuletannya meningkat, walaupun kekerasan dan kekuatan tariknya jadi turun. Oleh karena itu, pemilihan temperatur media pendingin menjadi aspek krusial dalam proses perlakuan panas baja AISI 1045 agar sifat mekanik yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan aplikasi spesifik.Hasil penelitian ini Sangat berguna bagi para insinyur dan industri dalam merancang proses perlakuan panas yang tepat untuk komponen tertentu. Misalnya, suhu pendinginan rendah cocok untuk komponen yang butuh ketahanan dan kekuatan tinggi, seperti poros atau roda gigi. Sementara itu, pendinginan pada suhu tinggi lebih pas untuk komponen yang butuh kemampuan menyerap energi atau kelenturan yang lebih baik, seperti pegas atau penahan beban Oleh karena itu, pemilihan temperatur media pendingin menjadi aspek krusial dalam proses perlakuan panas baja AISI 1045 agar sifat mekanik yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan aplikasi spesifik.

Kontribusi Penulis:

Konseptualisasi: Arya Syahputra dan Aidil Akbar Bagaskara;

Metodologi: Arya Syahputra;

Perangkat Lunak: Tidak digunakan;

Validasi: Arya Syahputra dan Aidil Akbar Bagaskara;

Analisis formal: Arya Syahputra;

Investigasi: Arya Syahputra;

Sumber daya: Arya Syahputra;

Kurasi data: Arya Syahputra;

Penulisan—persiapan draf asli: Arya Syahputra;

Penulisan—peninjauan dan penyuntingan: Aidil Akbar Bagaskara;

Visualisasi: Arya Syahputra;

Supervisi: Aidil Akbar Bagaskara;

Administrasi proyek: Arya Syahputra;

Akuisisi pendanaan: Tidak ada

.**Pendanaan:** Harap tambahkan: "Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal".

Pernyataan Ketersediaan Data: Data pendukung hasil penelitian dalam artikel ini dapat diperoleh dari penulis terkait jika ada permintaan. Semua data hasil uji kekerasan, kekuatan tarik, serta foto mikrostruktur telah disimpan dan dicatat secara lengkap, tetapi belum diupload ke repositori publik.

Ucapan Terima Kasih: Dengan penuh rasa hormat, penulis menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada dosen pembimbing atas segala bentuk bimbingan, waktu, serta perhatian yang telah dicurahkan sepanjang berlangsungnya proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh staf laboratorium Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan teknis serta kemudahan dalam pemanfaatan fasilitas laboratorium, yang sangat membantu dalam pelaksanaan pengujian. Lebih lanjut, penulis menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya atas segala dukungan, baik dalam bentuk moril maupun materil, dari berbagai pihak yang telah berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan sesuai dengan harapan.

Konflik Kepentingan: Nyatakan konflik kepentingan atau nyatakan **(wajib):** Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan. Tidak terdapat keterlibatan pihak ketiga dalam bentuk dukungan finansial, hubungan pribadi, atau afiliasi institusional yang dapat memengaruhi representasi maupun interpretasi hasil penelitian ini secara tidak pantas. Pendana tidak memiliki peran dalam desain studi; dalam pengumpulan, analisis, atau interpretasi data; dalam penulisan naskah; maupun dalam keputusan untuk menerbitkan hasil.

Referensi.

[1] T. Lan, G. Qin, J. Zhuang, Y. Wang, Q. Zheng, and M. Ding, "Axial impact load of a concrete-filled steel tubular member with axial compression considering the creep effect," Materials, vol. 12, no. 19, pp. 1–15, 2019, doi: 10.3390/ma12193134.

[2] G. D. Haryadi, A. F. Utomo, and I. M. W. Ekaputra, "Pengaruh Variasi Temperatur Quenching Dan Media Pendingin Terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045," Jurnal Rekayasa Mesin, vol. 16, no. 2, pp. 1–10, 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i2.2633.

[3] E. Tambing, Agustinus, T. Pagasis, O. T. Ranteallo, D. Mangallo, and Joni, "Effects of Flowing Water Cooling on the Quenching Process of AISI 1045 Steel: Influence on Tensile Strength, Hardness, and Microstructure," Revue des Composites et des Materiaux Avances, vol. 35, no. 1, pp. 1–10, 2025, doi: 10.18280/rcma.350114.

[4] M. A. F. R. Kohar, "Pengaruh Perlakuan Annealing Hardening Dengan Pendinginan Variasi Kekentalan Oli Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi-1037," Jurnal Desiminasi Teknologi, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2023.

[5] E. S. Dinata, S. N. Hertiana, and E. S. Sugesti, "Adaptive Cooling System Control in Data Center with Reinforcement Learning," vol. 11, no. 1, pp. 110–123, 2025, doi: 10.26555/jiteki.v11i1.30671.

[6] N. A. Sukarno, A. Azis, H. Vebriyadi, and C. B. K. Sampurno, "Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Sifat Kekerasan Baja Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment Dengan Media Pendingin Oli," Perwira Journal of Science & Engineering, vol. 4, no. 2, pp. 78–80, 2024, doi: 10.54199/pjse.v4i2.320.

[7] D. R. Askeland, Dispersion Strengthening by Phase Transformation and Heat Treatment, 6th Editio. 1991. doi: 10.1007/978-94-009-1842-9_11.

[8] Z. H. Siregar, B. Manalu, and M. Tanjung, "Pengaruh Oversize Silinder terhadap Struktur Mikro Permukaan pada Baja AISI 1045," Jurnal Teknologi Mesin, vol. 6, no. 2, pp. 44–50, 2023.

[9] P. Journal and O. F. Science, "pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro," vol. 5, no. 1–5, p. 14144, 2025.

[10] A. Pramono, "Karakteristik Struktur Mikro Hasil Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai," Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi, vol. 7, no. 2, pp. 1–9, 2011, doi: 10.36055/tjst.v8i2.6710.

[11] S. S. Awliya', "Pengaruh Waktu Tempering Pada Temperatur 160°C Dengan Proses Quench Temper Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Impak Baja Pegas Daun Bekas Sebagai Bahan Pisau," vol. 095502, p. 83, 2017.

[12] K. Galang Goldy Putra A.S.B., "J-Proteksion : Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin Effect of Cooling Media Variations on the Tensile Strength of AISI 1045 Steel," vol. 5, no. 1, pp. 20–25, 2021.
[13] A. H. Razak, A. Tangkemanda, D. Jurusan, T. Mesin, P. Negeri, and U. Pandang, "Quenching Bertingkat Pada Proses Hardening Terhadap Sifat," vol. 2017, pp. 11–17, 2017.
[14] Andre Wijaya, "ANALISA KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS BAJA AISI 1045 AKIBAT HEAT TREATMENT DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN MEDIA QUENCHING AIR GARAM UNTUK APLIKASI SPROCKET GEAR," Analisa Kekerasan Dan Ketahanan Aus Baja AISI 1045 Akibat Heat Treatment Untuk Aplikasi Sprocket Gear, vol. 11, pp. 1–6, 2023.
[15] R. Rahmadani et al., "Pengaruh Hardening Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Baja AISI 1045," Jurnal JMMME, vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2020.
[16] C. Yan, S. Zhang, L. Zhou, Z. Tian, M. Shen, and X. Liu, "Effect of Quenching Temperature on Microstructure and Hydrogen-Induced Cracking Susceptibility in S355 Steel," Materials, vol. 18, no. 5, pp. 1–18, 2025, doi: 10.3390/ma18051161.
[17] J. Wang, Y. Kang, H. Yu, and W. Ge, "Effect of Quenching Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Q1030 Steel," Materials Sciences and Applications, vol. 10, no. 10, pp. 1–11, 2019, doi: 10.4236/msa.2019.1010047.
[18] A. You, M. Be, and I. In, "4140 in Annealing Condition," no. August 2021, pp. 1–7, 2023.
[19] A. Zikril, Mawardi, and Nurdin, "Analisa Variasi Temperatur Hardening Terhadap Kekerasan Baja AISI 1045 Dengan Media Quenching Air Mineral," vol. 7, no. 2, pp. 1–4, 2023.
[20] Z. H. Siregar, T. Hidayat, and M. S. Anshari, "Pengaruh Media Quenching Air Garam terhadap Kekerasan Baja AISI 1045," Jurnal Rekayasa Material, vol. 4, no. 3, pp. 14–21, 2021, doi: xxx/xxxx/xxxxxxxx.
[21] D. V. Edmonds, K. He, F. C. Rizzo, B. C. De Cooman, D. K. Matlock, and J. G. Speer, "Quenching and partitioning martensite-A novel steel heat treatment," Materials Science and Engineering: A, vol. 438–440, no. SPEC. ISS., pp. 1–10, 2006, doi: 10.1016/j.msea.2006.02.133.
[22] Y. Handoyo, "Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft," Teknik Mesin, vol. 3, no. 2, pp. 102–115, 2015.
[23] Z. H. Siregar, R. F. Lubis, and A. Rangkuti, "Analisis Transformasi Fasa Martensit pada Baja Karbon Sedang dengan Pendinginan Bertahap," Jurnal Metalurgi dan Material, vol. 8, no. 1, pp. 22–29, 2022