

PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN BERSIRKULASI DAN PEMBUKAAN KATUP PADA PROSES QUENCHING TERHADAP NILAI IMPAK BAJA AISI 1045

Bastiyan Dwi Julian^{1,*}, Harnowo Supriadi¹⁾ dan Sugiyanto¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brodjonegoro No. 1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, 35145, Indonesia

^{*)} Email Korespondensi: julian@student.unila.ac.id

Abstrak

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang dengan kadar karbon 0,45%. Karakteristik baja ini dapat dimodifikasi melalui perlakuan panas, salah satunya proses quenching. Proses ini melibatkan pemanasan hingga 800°C dengan waktu tahan 15 menit, kemudian didinginkan cepat menggunakan variasi media pendingin tersirkulasi dan bukaan katup yang berbeda. Media pendingin yang digunakan meliputi air, larutan garam, dan solar, masing-masing dengan bukaan katup 180°, 90°, dan 45°. Pengujian sifat mekanik dilakukan menggunakan metode Charpy impact test. Hasil pengujian menunjukkan nilai impak raw material sebesar 0,154 J/mm². Setelah proses quenching, nilai impak pada media air berturut-turut sebesar 0,558; 0,570; dan 0,591 J/mm², pada larutan garam sebesar 0,504; 0,516; dan 0,525 J/mm², serta pada solar sebesar 0,637; 0,660; dan 0,670 J/mm². Struktur makro hasil fraktografi menunjukkan patahan crystalline dan fibrous. Hasil ini menegaskan bahwa media pendingin solar dengan bukaan katup 45° menghasilkan nilai impak tertinggi, sehingga direkomendasikan untuk meningkatkan ketangguhan baja AISI 1045.

Kata kunci: AISI 1045; quenching; crystalline; fibrous; uji impak.

PENDAHULUAN

Perlakuan panas adalah rangkaian operasi yang melibatkan pemanasan terkontrol, penahanan pada suhu tertentu, dan pendinginan yang dikendalikan untuk mengubah struktur mikro material dan memperoleh sifat mekanik atau fisik yang diinginkan (misalnya kekerasan, ketangguhan, ductility, atau ketahanan aus) [1]. Secara khusus, tujuan perlakuan panas dapat mencakup pengerasan permukaan, penghilangan tegangan sisa, penghalusan butir, atau pembentukan fasa tertentu (mis. martensit pada baja) melalui parameter seperti suhu austenitisasi, lama penahanan, laju pendinginan, dan jenis media pendingin [2]. Salah satu proses perlakuan panas yang sering dibahas adalah *quenching* yaitu pendinginan cepat dari suhu austenitisasi untuk membentuk martensit dan meningkatkan kekerasan; namun *quenching* juga meningkatkan tegangan sisa dan dapat menurunkan

ketangguhan jika tidak diikuti tempering yang sesuai [3], [4], [5].

Studi eksperimental menganalisis variasi variabel media pendingin perlakuan panas yaitu parameter kecepatan, komposisi, dsb. Proses *quenching* dengan parameter kecepatan dan komposisi yang optimum pada material baja SAE 4340 [6]. Analisis perkembangan mikrostruktur pada proses *quenching and partitioning* (Q&P), berguna untuk memahami variasi perlakuan *quenching* lanjutan dan efeknya terhadap fase martensit/retained austenite [7]. Studi lab yang mengeksplor pengaruh parameter *quenching* dan *tempering* pada ketangguhan temperatur rendah serta hubungan kekerasan-ketangguhan relevan untuk memahami *trade-off hardness vs toughness* setelah *quenching* [8]. Penelitian ini secara khusus mengkaji pengaruh berbagai perlakuan panas pendinginan (850 hingga 930 °C) dan temper (580 hingga 660

°C) berbasis laboratorium terhadap ketangguhan suhu rendah akhir baja lambung berkekuatan tinggi. Ketangguhan suhu rendah pada akhirnya ditingkatkan tanpa mengorbankan kekuatan secara signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi sifat yang menguntungkan dapat diperoleh pada spesimen dengan proses pendinginan 900 °C dan temper 660 °C. Sebagai tambahan, spesimen yang ditempa pada suhu 620 °C menunjukkan kekerasan tertinggi, berkat persentase martensit [8].

Pada studi lain mengeksplorasi pendekatan baru untuk perlakuan panas quenching dan partitioning (Q&P) yang diterapkan pada baja pegas AISI 9260, yang terdiri dari Fe-0,65C-1,58Mn-1,05Si-0,41Cr (wt.%). Suhu partisi yang optimal meningkatkan distribusi karbon ke dalam austenit, tempering distorsi kisi, dan kepadatan dislokasi. Bersamaan dengan itu, presipitasi dan segregasi karbida berkontribusi pada penyempurnaan fase bainit. Sampel yang dikuens pada suhu 125 °C dan dipartisi pada suhu 350 °C (Q&P-125/350) menunjukkan sifat-sifat mekanik yang luar biasa: kuat luluh 950 ± 15 MPa, kuat tarik ultimit 1710 ± 15 MPa, dan elongasi sekitar 9,7%. Hasil ini sebagian disebabkan oleh efek silikon mencegah pengasaran sementit dan distribusi karbida yang efektif [9].

Pada proses Q&P menunjukkan penerapan untuk menyeimbangkan kekuatan dan plastisitas yang berguna untuk referensi metode *quenching* modern dan analisis mikrostruktur lanjutan [9].

Penelitian pada Baja AISI 1045 dengan pendinginan aliran/tersirkulasi yang membahas pengaruh sirkulasi terhadap sifat mekanik (kerasan, tarik) dan mikrostruktur [10]. Sebuah rancangan percobaan dirancang menggunakan drum 100 L sebagai bejana pendingin, dilengkapi dengan sistem pompa dan katup untuk mempertahankan laju aliran air konstan sebesar 15 L/menit. Spesimen uji terdiri dari 15 batang baja karbon rendah, masing-masing berukuran 20 mm × 185 mm.

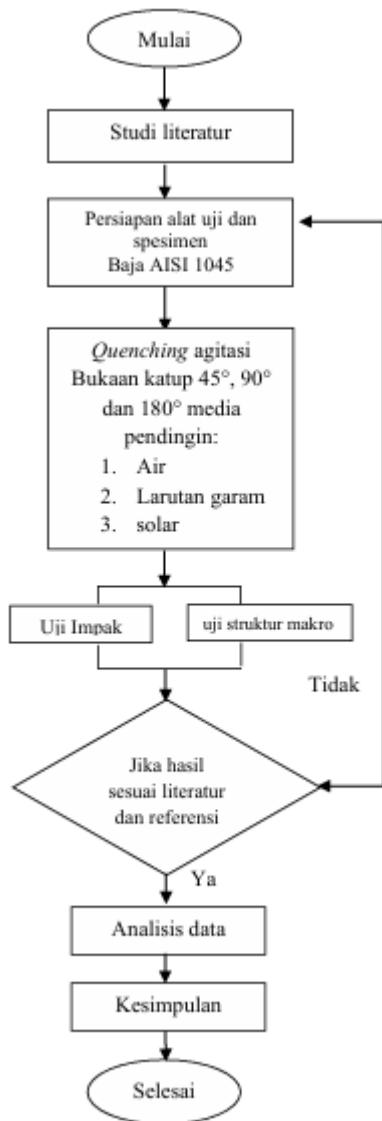
Spesimen dipanaskan dalam tungku dengan kapasitas maksimum 1200°C, dengan enam batang dipanaskan hingga 820°C dan enam lainnya hingga 900°C. Hasilnya menunjukkan bahwa pendinginan aliran air secara signifikan meningkatkan pembentukan martensit, meningkatkan sifat mekanis dibandingkan dengan metode pendinginan konvensional.

Secara spesifik, pendinginan pada suhu 820°C menghasilkan peningkatan kekuatan tarik sekitar 20,16% dan peningkatan kekerasan sebesar 61,73%. Analisis mikrostruktur mengungkapkan bahwa spesimen yang didinginkan dengan aliran air menunjukkan struktur martensit yang lebih seragam [10]. Selanjutnya pada penelitian ini akan mempelajari pengaruh media pendingin yang tersirkulasi dan bukaan katup terhadap nilai impak Baja AISI 1045.

METODE PENELITIAN

Metode

Pada penelitian ini menggunakan metode perlakuan panas quenching agitasi bukaan katup 45°, 90° dan 180° menggunakan media pendingin Air, Larutan garam dan solar, selanjutnya pengujian fisik dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas tersebut. Pengujian fisik menggunakan pengujian impak metode *charpy* dan analisis makro fraktografi pada spesimen yang telah diuji.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan alat perlakuan panas *quenching* yang tersirkulasi yang ditunjukkan pada gambar sebagai berikut,



Gambar 2. Alat instalasi sistem quenching tersirkulasi

Pada penelitian ini, spesimen baja AISI 1045 baja karbon sedang dengan kadar karbon 0,45% (ditunjukkan pada gambar 3) dipanaskan menggunakan furnace hingga suhu 800°C dengan waktu penahanan 15 menit, kemudian segera didinginkan dalam alat instalasi *quenching* tersirkulasi yang dirancang pada penelitian sebelumnya.

Alat *quenching* dilengkapi dengan pompa untuk mensirkulasikan media pendingin, katup sebagai pengatur kecepatan aliran, dan *flowmeter* untuk memantau debit media pendingin. Proses *quenching* dilakukan menggunakan variasi media pendingin (air, larutan garam, dan solar) serta variasi bukaan katup, masing-masing dengan tiga spesimen uji impak berstandar ASTM E-23 berukuran 55 × 10 × 10 mm dan takikan sudut 45° sedalam 2 mm.



Gambar 3. Spesimen Baja AISI 1045
(spesimen uji impak)

Uji Impak dan Mikroskopi

Pemotongan spesimen dilakukan dengan gerinda potong, pembuatan takikan menggunakan mesin sekrap, dan pengukuran dimensi presisi menggunakan jangka sorong. Untuk meminimalkan kontak dengan udara, alat *quenching* ditempatkan berdekatan dengan *furnace* selama proses pendinginan. Alat uji impak ditunjukkan pada gambar 4 sebagai berikut,



Gambar 4. Alat uji impak

Pengujian impak dilakukan dengan metode *charpy* dimana dengan membuat takikan ditengah spesimen. Setelah dilakukan pengujian besarnya energi yang diserap oleh spesimen akan tertera pada skala mesin uji impak tersebut, lalu dilakukan perhitungan harga impak dengan membagi energi serap yang dinyatakan dengan satuan joule dengan luas penampang dibawah takikan yaitu sebesar 80 mm^2 . Setelah dilakukan pengujian impak selanjutnya hasil patahan dianalisis menggunakan mikroskopi yang ditunjukkan pada gambar sebagai berikut,



Gambar 5. Mikroskop optik

Mikroskop digital dengan pembesaran hingga 200 kali pada permukaan patahan atau fraktografi dari spesimen baja AISI 1045 yang telah di mengalami pengujian impak. Hasil dari pengamatan mikroskop berupa gambar perbesaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian dan pembahasan difokuskan pada hasil *quenching* Baja AISI 1045 yang telah diberi perlakuan panas dan pendinginan secara tersikulasi. Komposisi baja AISI 1045 dan nilai impak ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2 yaitu sebagai berikut,

Tabel 1. Komposisi baja AISI 1045

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S
%	98,44	0,53	0,32	0,65	0,015	0,112

Tabel 2. Nilai impak *raw material*

Media	Energi serap uji impak			Rata-rata	Nilai Impak
	I	II	III		
Raw material	13	12	12	12,33	0,154
Satuan	J	J	J	J	J/mm ²

Hasil pengujian variasi media dan bukaan katup

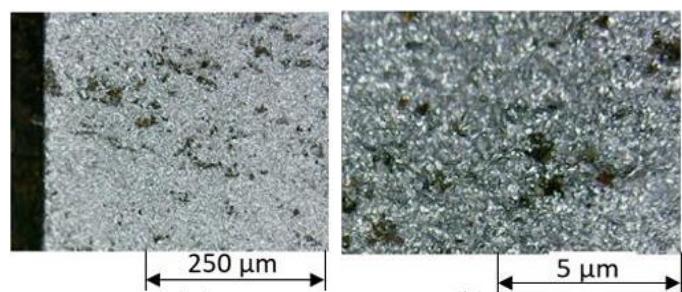
Hasil pengujian pada variasi media pendingin dan bukaan katup dari hasil perlakuan panas *quenching* ditunjukkan pada tabel 3 sebagai berikut,

Tabel 3. Data hasil uji impak

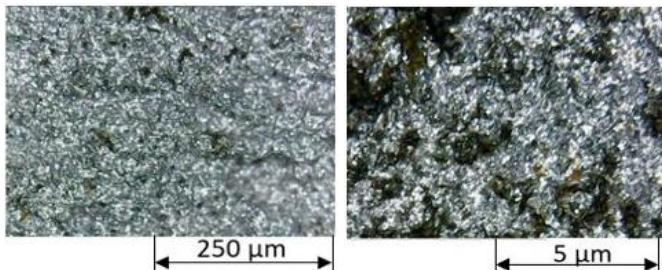
No.	Media	Bukaan katup	Debit ₁ (Lpm)	Debit ₂ (Lpm)	Energi serap Uji impak charpy (J)			Rata-rata	Harga impak (J/mm ²)
					I	II	III		
2	Air	180°	13	13	46	44	44	44,666	0,558
		90°	12	12	47	45	45	45,666	0,5708
		45°	9	9	49	47	46	47,333	0,591
3	Air garam	180°	11	11	41	40	40	40,333	0,504
		90°	9	9	42	41	41	41,33	0,516
		45°	7	7	43	42	41	43	0,525
4	Solar	180°	12	12	52	51	50	51	0,637
		90°	10	10	54	54	52	53,33	0,66
		45°	8	8	55	54	52	53,66	0,67

Hasil Analisis patahan dengan mikroskop digital

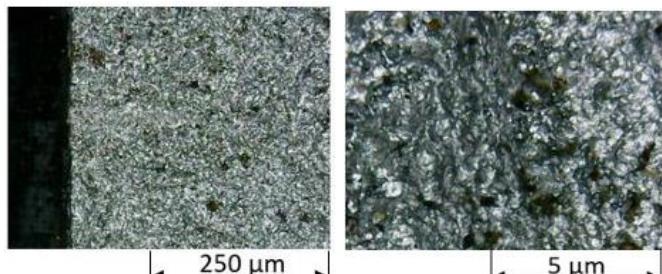
Adapun hasil yang didapat dari pengamatan struktur makro pada fraktografi spesimen yang telah dilakukan pengujian impak dengan menggunakan mikroskop digital ditunjukkan pada gambar sebagai berikut,



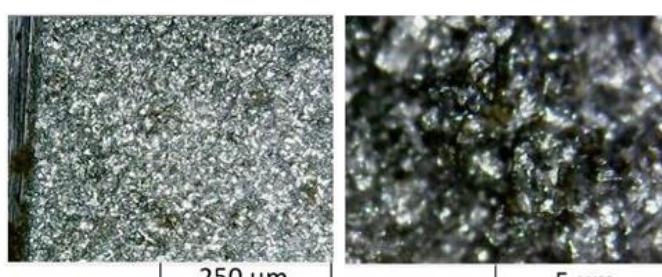
Gambar 6. Stuktur makro *raw material* (a) pembesaran (a) 20x, (b) 100x



Gambar 7. Stuktur makro media air bukaan katup 45° pembesaran (a) 20x, (b) 100x



Gambar 8. Stuktur makro media air garam bukaan katup 45° pembesaran (a) 20x, (b) 100x



Gambar 9. Stuktur makro media solar bukaan katup 45° pembesaran (a) 20x, (b) 100x

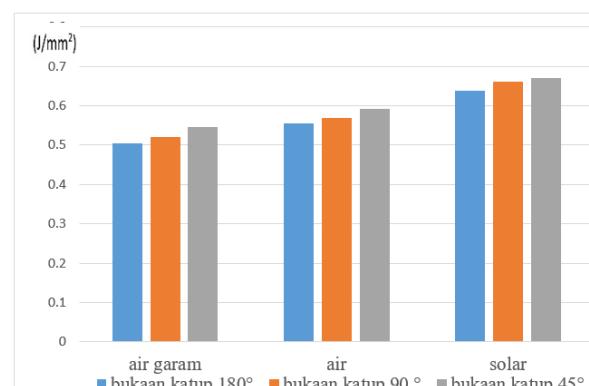
Pembahasan

Penelitian ini menggunakan baja AISI 1045 berukuran $55 \times 10 \times 10$ mm sebagai spesimen uji, yang diperlakukan panas dengan metode *quenching* pada suhu austenit 800°C selama 15 menit. Spesimen kemudian ditinggalkan menggunakan sistem *quenching* tersirkulasi dengan tiga variasi media pendingin (air, larutan garam, dan solar) serta tiga variasi bukaan katup (180° , 90° , dan 45°). Masing-masing kondisi diuji menggunakan tiga spesimen, dengan kecepatan aliran yang dipengaruhi oleh densitas fluida: air (1000 kg/m^3), larutan garam (1060 kg/m^3), dan solar (815 kg/m^3). Semakin rendah densitas fluida, semakin tinggi kecepatan alirannya.

Setelah proses *quenching*, spesimen diuji menggunakan metode *charpy* untuk menentukan nilai impak serta diamati

struktur makro fraktografinya menggunakan mikroskop digital. Hasil pengujian awal pada baja tanpa perlakuan (*raw material*) menunjukkan nilai impak sebesar $0,154 \text{ J/mm}^2$. Pada media air tersirkulasi, nilai impak meningkat dengan bukaan katup 180° , 90° , dan 45° masing-masing sebesar $0,558 \text{ J/mm}^2$, $0,571 \text{ J/mm}^2$, dan $0,591 \text{ J/mm}^2$.

Pengujian dengan media larutan garam menghasilkan nilai impak berturut-turut $0,504 \text{ J/mm}^2$, $0,516 \text{ J/mm}^2$, dan $0,525 \text{ J/mm}^2$ untuk bukaan katup 180° , 90° , dan 45° . Sementara itu, media solar menunjukkan hasil tertinggi, yaitu $0,637 \text{ J/mm}^2$, $0,66 \text{ J/mm}^2$, dan $0,67 \text{ J/mm}^2$ pada bukaan katup yang sama. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa media solar dengan bukaan katup 45° memberikan nilai impak tertinggi, menandakan peningkatan ketangguhan baja AISI 1045. Grafik hasil data penelitian ditunjukkan pada gambar 10 yaitu sebagai berikut,



Gambar 10. Grafik pengaruh media dan bukaan katup pada proses quenching.

Berdasarkan Gambar 10, terlihat bahwa setiap variasi media pendingin tersirkulasi menunjukkan peningkatan nilai impak, dengan hasil terbaik diperoleh pada media solar. Energi serap tertinggi pada media ini adalah 55 Joule, 54 Joule, dan 52 Joule, dengan nilai impak masing-masing sebesar $0,63 \text{ J/mm}^2$, $0,66 \text{ J/mm}^2$, dan $0,67 \text{ J/mm}^2$. Pencapaian ini disebabkan oleh sifat fluida solar yang memiliki severity of quench atau koefisien penyerapan panas lebih rendah dibandingkan air dan larutan garam, serta laju pendinginan yang lebih lambat. Kondisi ini menghasilkan nilai impak yang tinggi, karena harga impak berbanding

terbalik dengan tingkat kekerasan logam. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa media solar dengan bukaan katup 45° dan kecepatan aliran 0,469 m/s menghasilkan nilai impak rata-rata tertinggi sebesar $0,67 \text{ J/mm}^2$.

Analisis fraktografi dilakukan untuk mengamati jenis patahan yang terjadi setelah pengujian impak, apakah bersifat getas (*brittle*) atau ulet (*ductile*), melalui pengamatan struktur permukaan patahan (*fibrous* atau *crystalline*) menggunakan mikroskop digital Coolingtech dengan pembesaran $20\times$ dan $100\times$. Struktur permukaan patahan ini dipengaruhi oleh komposisi logam, perlakuan panas, serta jenis media pendingin yang digunakan.

Pada Gambar 6, struktur makro baja AISI 1045 tanpa perlakuan (*raw material*) tampak relatif halus dengan pola patahan *crystalline*, menunjukkan sifat getas dan nilai impak paling rendah, yaitu $0,154 \text{ J/mm}^2$. Pada Gambar 7, spesimen yang di-quenching menggunakan media air dengan bukaan katup 45° (kecepatan 0,528 m/s) menunjukkan dominasi patahan *fibrous* dengan permukaan lebih kasar, menandakan peningkatan keuletan dibandingkan *raw material* dan media air garam. Kondisi ini meningkatkan nilai impak hingga 28,4%, mencapai $0,591 \text{ J/mm}^2$.

Sementara itu, pada Gambar 8, spesimen yang di-quenching dengan media air garam dan bukaan katup 45° (kecepatan 0,41 m/s) menunjukkan campuran patahan *fibrous* dan *crystalline* dengan permukaan yang lebih kasar dibandingkan raw material, menandakan peningkatan keuletan sebesar 24,08% atau nilai impak $0,525 \text{ J/mm}^2$.

Pada Gambar 9, spesimen yang di-quenching menggunakan media solar dengan bukaan katup 45° (kecepatan 0,469 m/s) menunjukkan struktur patahan yang dominan *fibrous*, menandakan sifat keuletan tertinggi di antara seluruh variasi. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang lebih lambat akibat rendahnya koefisien penyerapan panas pada solar. Perubahan struktur makro ini menghasilkan

peningkatan nilai impak sebesar 33,55%, dengan rata-rata $0,67 \text{ J/mm}^2$ tertinggi di antara semua media pendingin yang diuji.

KESIMPULAN

Perlakuan panas *quenching* Baja AISI 1045 telah dilakukan dengan variasi media pendingin menggunakan air dan solar yang tersikulasi udara. Selanjutnya didapatkan nilai impak pada baja tanpa perlakuan panas atau raw yaitu $0,154 \text{ Joule/mm}^2$, dan pada media pendingin air dengan kenaikan tertinggi didapat saat bukan katup 45° mendapatkan harga impak sebesar $0,591 \text{ Joule/mm}^2$ meningkatkan 28,4%. Pada media pendingin air garam dengan kenaikan tertinggi didapat saat bukan katup 45° mendapatkan harga impak sebesar $0,525 \text{ Joule/mm}^2$ meningkatkan 24,08%, pada media pendingin solar dengan kenaikan tertinggi didapat saat bukan katup 45° mendapatkan harga impak sebesar $0,67 \text{ Joule/mm}^2$ meningkatkan 33,55%.

Media pendingin solar adalah media yang paling baik untuk meningkatkan harga impak baja serta menghasilkan serat *fibrous* pada fraktografi spesimen yang cukup dominan. Semakin lambat laju pendinginan dan semakin tinggi viskositas maka harga impak akan semakin tinggi. Serta dari hasil pengamatan fraktografi atau permukaan patahan bahwa semakin dominan patahan *fibrous* yang terjadi setelah pengujian maka harga impak meningkat hal ini menandakan bahwa baja semakin *ductile* atau ulet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih peneliti kepada Laboratorium terpadu Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

REFERENSI

- [1]. Jurčí, P., & Novák, P. Heat treatment of metallic materials in modern industry. Materials. vol. 15, no. 23, pp. 8337, 2022. <https://doi.org/10.3390/ma15238337>
- [2]. Arabaci, U. The effects of oil-quenching and over-tempering heat treatments on the dry sliding wear behaviours of 25CrMo4 steel. Heliyon, vol 10, no. 3. 2024. e25589. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25589>

- [3]. Tama, B. W., & Rosidah, A. A. Influence of quenching media and holding time on hardness and microstructure of AISI 1045. *Jurnal Teknik Mesin*, vol 14, no. 1, pp. 8-12. 2024. <https://doi.org/10.21063/jtm.2024.v14.i1.8-12>
- [4]. Yuwita, P. E., Habib, A., & Faila, R. N. Studi pengaruh variasi media pendingin quenching dan waktu penahanan pada proses heat treatment terhadap kekerasan baja AISI 1045. *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 1, pp. 77-84. 2024 <https://doi.org/10.32497/jrm.v19i1.4960>
- [5]. Agustian, E., Somawardi, & Sugianto. Analysis of the effect of cooling media and the combination of cooling holding time on the hardness value of AISI-1045 steel in the quenching process. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol 13, no. 1, pp. 25-32. 2021. <https://doi.org/10.33504/manutech.v13i01.169>
- [6]. Puga-Patlán, C., López-García, R. D., Medina-Juárez, I., Maldonado-Reyes, A., & Reyes-Gallegos, M. M. Study of Cooling Medium Variables during Quenching in SAE 4340 Steel Using Statistical and Modeling Tools. *Metals*, vol. 13, no. 9, pp. 1627. 2023. <https://doi.org/10.3390/met13091627>
- [7]. Li, G., Kwakernaak, C., Smith, A., Muratori, M., Gonzalez-Garcia, Y., & Santofimia, M. J. Microstructure development of quenching and partitioning-processed martensitic stainless steels with different manganese content. *Materials Science and Technology* (United Kingdom), vol. 40, no. 6, pp. 449-465. 2024. <https://doi.org/10.1177/02670836231215989>
- [8]. Zhang, H., Huo, M., Ma, Z., Wu, H., Su, G., Li, L., Zhang, T., Lin, F., Chen, F., & Jiang, Z. Effects of Quenching and Tempering Heat Treatment Processing on the Microstructure and Properties of High-Strength Hull Steel. *Metals*, vol. 12, no. 6, pp. 914. 2022 <https://doi.org/10.3390/met12060914>
- [9]. Mohammad Masoumi, Dany Michell Andrade Centeno & Edwan Anderson Ariza Echeverri. Tailoring the Microstructure using Quenching and Partitioning Processing in a Commercial Mn-Si-Cr Spring Steel to Improve Tensile Properties. *Research Article-Mechanical Engineering*, vol. 49, pp. 15121-15141. 2024. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-024-08888-9>
- [10]. Tambing, Enos & Agustinus, & Pagasis, Thomas & Ranteallo, Obet & Mangallo, David & Joni, 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 matériaux avancés*. vol. 35, pp. 117-126. 2025. 10.18280/rcma.350114



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).