

Peranan Parameter *Quench* dan *Temper* Pada Ketangguhan *Carbon-Manganese Steel*

Akhlis Rahman Sari Nurhidayat^{1*}, Nur Akhlis Sarihidaya Laksana², Yurianto³

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas Jenderal Soedirman

²Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Diponegoro

¹Jln. Raya Mayjen Sungkono, Kalimanah, Kabupaten Purbalingga, 53371, Indonesia

²Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

³Jl. Prof. Soedarto No.13, Tembalang, Kota Semarang, 50275, Indonesia

E-mail: akhlis.rahman@unsoed.ac.id¹, akhliissl@pnc.ac.id², yurianto@undip.ac.id³

Info Naskah:

Naskah masuk: 10 Oktober 2022

Direvisi: 5 Januari 2023

Diterima: 6 Januari 2023

Abstrak

Penggunaan material yang dikhususkan sebagai baja armor memiliki nilai ketahanan yang tinggi. Perlakuan proses *quenching* dan *tempering* dilakukan untuk meningkatkan ketangguhan pada material. Menggunakan temperatur 900°C pada proses *quenching* dengan media air dan temperatur *tempering* 125°C dan 175°C waktu penahanan selama 30 menit. Pengujian yang dilakukan meliputi uji *impact* untuk mengetahui peningkatan pada material serta *fractography* untuk mengetahui keuletan pada material. Penurunan nilai *impact* terjadi setelah proses *quenching*. Nilai *impact* kembali meningkat setelah dilakukan proses *tempering* dari nilai *impact* 32 J pada proses *quenching* menjadi 50 J. Pada patahan hasil *fractography* menunjukkan patahan getas dengan arsiran berbentuk bukit kecil (*ridge*) sebagai ciri patahan getas. Proses *cooling rate* yang cepat pada proses *quenching* menimbulkan crack pada spesimen *quenching*.

Keywords:

fractography;
impact;
quenching;
tempering.

Abstract

The use of material that is specified as armor steel has a high resistant value. The quenching and tempering process is done to improve the toughness of the material. The process uses a temperature of 900oC on the quenching process with water medium and tempering temperatures of 125oC and 175oC holding time for 30 minutes. The tests include the impact test to determine the increase in the material and fractography to determine the ductility of the material. There is a decrease in the value of the impact that occurs after the quenching process. The impact value is increasing due to the tampering impact of 32 J during the quenching process to 50 J. The fractography shows brittle fractures with ridges as a feature of brittle fractures. Rapid cooling rate processes in the quenching process cause cracks in the quenching specimens.

*Penulis korespondensi:

Akhlis Rahman Sari Nurhidayat

E-mail: akhlis.rahman@unsoed.ac.id

1. Pendahuluan

Penggunaan material sebagai baja armor haruslah memiliki kekuatan dan ketahanan yang tinggi. Bahan tersebut dapat menahan beban *impact* yang tinggi. Material baja paduan dengan beberapa element (Mn, Mo, Al, V, dll) memiliki kombinasi dari ketangguhan dan keuletan. Peningkatan sifat mekanis dapat dilakukan pada material paduan baja. Proses peningkatan sifat mekanis baja diperlukan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Perlakuan *quenching* bertujuan untuk merubah karakter baja menjadi lebih keras. Proses *quenching* meningkatkan karakter dari baja terutama kekerasan. Akan tetapi menimbulkan efek material akan menjadi lebih getas.

Material medium *carbon steel* yang digunakan sebagai *armour steel* memiliki kriteria dapat menahan *impact*. Perubahan fasa austenite menjadi martensite berpengaruh dalam penurunan keuletan pada material. Material akan lebih getas selama proses proses *quenching* terjadi. Material dengan kandungan manganese [1], [2] mempengaruhi fasa martensite yang didalamnya. Pengaruh tersebut akan berdampak pada sifat mekanis.

Proses temper akan meningkatkan keuletan yang dari hasil proses *quenching*. *Impact energy* lebih besar diserap ketika proses temper dilakukan. Martensite akan bertransformasi menjadi *tempered martensite* yang secara struktur lebih baik untuk kombinasi kekerasan dan keuletan pada material. Pengujian *impact* akan menunjukkan struktur patahan pada material yang dapat dijadikan acuan pada baja armor. Bagaimanapun paduan berperan dalam sifat mekanis pada material.

Pada penelitian Yurianto, dkk. [3], pengaruh dari penahanan waktu akan mempengaruhi besar dari sifat mekanis pada material. Peningkatan suhu dalam *tempering* akan berdampak pada hasil pengujian *impact* [4]. Media yang digunakan untuk proses *quench* akan berpengaruh pada laju pendinginan [5], [6]. Setiap Waktu proses temper dapat berdampak pada *impact* [7]. Penelitian ini berfokus pada pengaruh temperatur proses *quench* dan temper dalam sifat mekanik terutama *impact* dan patahan yang terlihat.

Pada paper ini akan menginvestigasi pengaruh dari proses *quench* dan *temper* pada terhadap sifat mekanik dari carbon-manganese. Perbandingan akan dilakukan untuk mendapatkan nilai optimal dari sifat *impact* guna sebagai baja armor.

2. Metode

2.1 Material

Material yang digunakan adalah HRP steel buatan PT. Krakatau Steel yang setara dengan dengan komposisi diberikan pada Tabel 1.

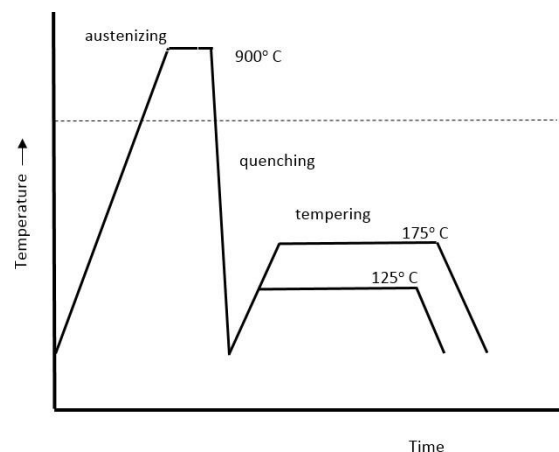
2.2 Perlakuan

Suhu *austenitizing* yang digunakan adalah 900°C yang diperlihatkan pada gambar 1. Dengan media *quenching* berupa air, dipilihnya air sebagai media *quenching* karena mudah untuk didapatkan dan viskositas air yang rendah mempercepat laju pendinginan. Air juga mudah digunakan dan memiliki penanganan atau pertimbangan pembuangan yang minimal.

Proses *temper* dapat mengurangi residual stress yang terbentuk akibat proses *quench* terjadi. Dengan mengurangi internal stress yang maka pengutan juga terjadi selama proses *temper*. Perlakuan *temper* dilakukan dengan mengetahui nilai Ms terdahulu untuk menjaga sifat mekanisnya tidak berubah jauh. Dengan suhu *temper* 125 °C dan 175 °C dengan *holding time* selama 30 menit. Diharapkan dengan suhu berada didaerah martensite, terjadi peningkatan sifat mekanisnya.

Tabel 1. komposisi carbon manganese steel

Nama Unsur	HRP Steel 10 mm (% berat)
Aluminum	0.03785
Carbon	0.29342
Chromium	0.55029
Cuprum	0.08337
Ferro	96.7625
Mangan	1.41218
Molybdenum	0.19303
Nickel	0.27877
Niobium	-
Phosphorus	0.01425
Plumbum	0.00825
Sb	-
Silicon	0.32985
Sn	-
Sulphur	0.00810
Tin	0.00339
Titanium	0.00439
Vanadium	0.01473
Wolfram	0.00951
Zinc	0.00378
Zirconium	0.00116



Gambar 1. Skema perlakuan panas

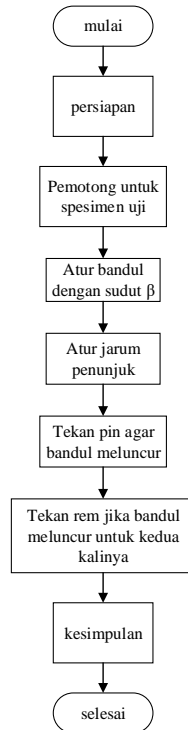
2.3 Pengujian

Untuk mengetahui perubahan yang terjadi serangkaian pengujian dilakukan. Pengujian yang dilakukan antara lain:

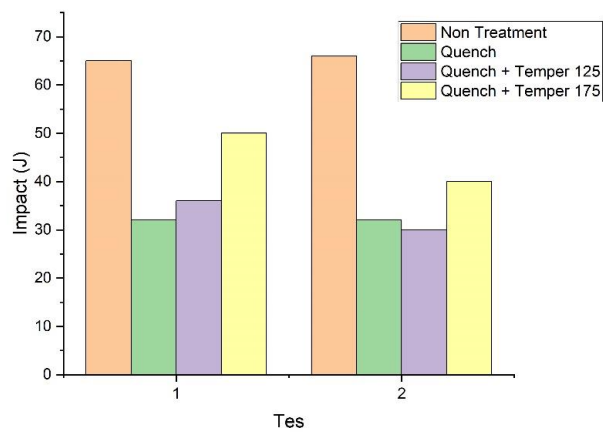
- 1) Pengujian *impact*

Tabel 2. Data pengujian *impact* carbon-manganese steel

Spesimen	Temperatur (°C)	Test no	Notch area (mm ²)	Impact energy (J)
Tanpa perlakuan panas		1	8 x 9.7 = 77.6	65
		2	8 x 9.7 = 77.6	66
Single Quenched	Temperatur ruangan	1	8 x 9.7 = 77.6	32
		2	8 x 9.7 = 77.6	32
Quenched + Tempering 125°C		1	8 x 9.7 = 77.6	36
		2	8 x 9.7 = 77.6	30
Quenched + Tempering 175°C		1	8 x 9.7 = 77.6	50
		2	8 x 9.7 = 77.6	40



Gambar 2. Diagram alir pengujian impact



Gambar 3. Grafik pengujian impact

Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui nilai ketangguhan yang terjadi setelah proses *heat treatment*. Pada Gambar 2 diperlihatkan diagram alir pengujian *impact*. Pengujian dilakukan dengan metode Charpy yang mengikuti standar ASTM E24.

2) Pengujian *Fractography*

Setelah dilakukan pengujian *impact*, dilakukan pengujian *fractography* untuk mengetahui patahan yang terjadi dan keuletan pada material. Dengan *visual examination* penampang yang terlihat dapat memberikan hasil pengujian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian *Impact*

Perlakuan yang dilakukan untuk mendapatkan ketangguhan menggunakan *quenching* dan *tempering*. Dengan *quenching* jumlah martensit yang akan dihasilkan akan lebih bisa dikontrol dan nilai keuletan, ketangguhan, kekerasan meningkat [8]. Tetapi munculnya *residual stress*, dan memungkinkan terjadinya patahan.

Hasil yang didapatkan pada sebelum dan sesudah dilakukan proses *heat treatment* yang disajikan pada tabel 2. sebesar 65 J. Nilai *impact* menurun setelah dilakukan proses *heat treatment*. Nilai *impact* terus mengalami peningkatan dari single quenched dengan nilai 32 J dan energi *impact* tertinggi pada *single quenched tempered* 175 °C sebesar 50 J yang disajikan pada Gambar 2.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Yuriyanto [9] dengan temperatur *quench* 900 °C dan suhu *temper* 150 °C dengan nilai *impact* 36,7 J. Penggunaan temperatur *temper* yang lebih tinggi akan menghasilkan nilai *impact*

yang lebih besar. Pengaruh tersebut dapat dipengaruhi oleh perubahan fasa *tempered martensite*.

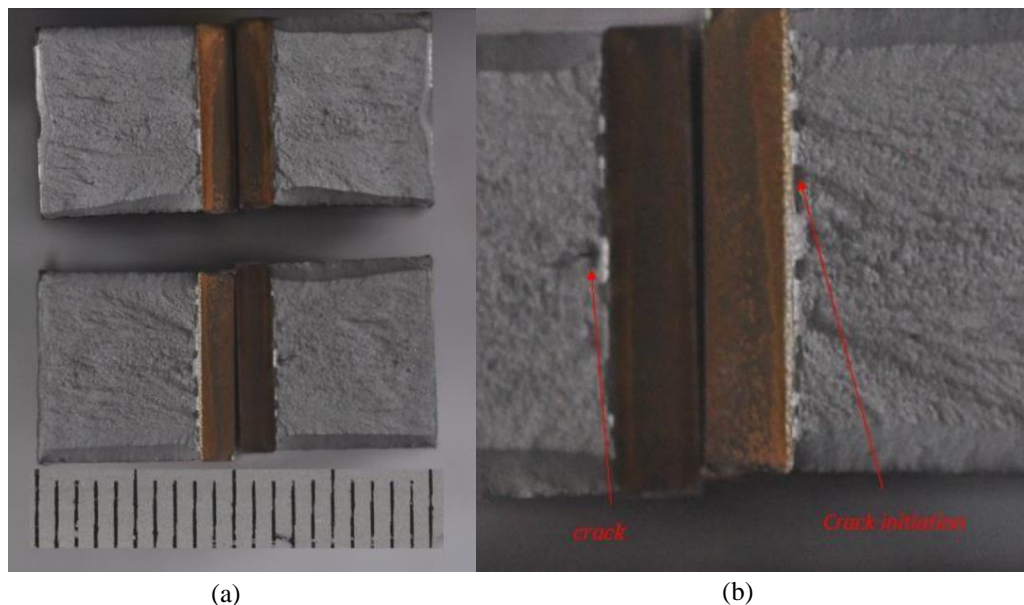
Hal ini dipengaruhi proses *tempering* dengan 175°C yang mendekati batas kritis akan mengurangi *residual stress* yang terdapat pada material sehingga ketangguhannya akan meningkat. Kandungan karbon pada bahan mempengaruhi nilai *impact* dengan semakin rendah suhu pada proses *tempering* maka nilai *impact* rendah [10], [11].

Peningkatan temperatur pada proses *tempering* akan mempengaruhi *strain hardening* pada material [12]. Peningkatan nilai *impact* pada Gambar 3 dipengaruhi oleh fasa martensite yang ada [3]. Perubahan fasa martensite setelah mengalami proses *tempering*. Fasa austenite yang ada akan meningkatkan ketangguhan pada hasil uji *impact* [1].

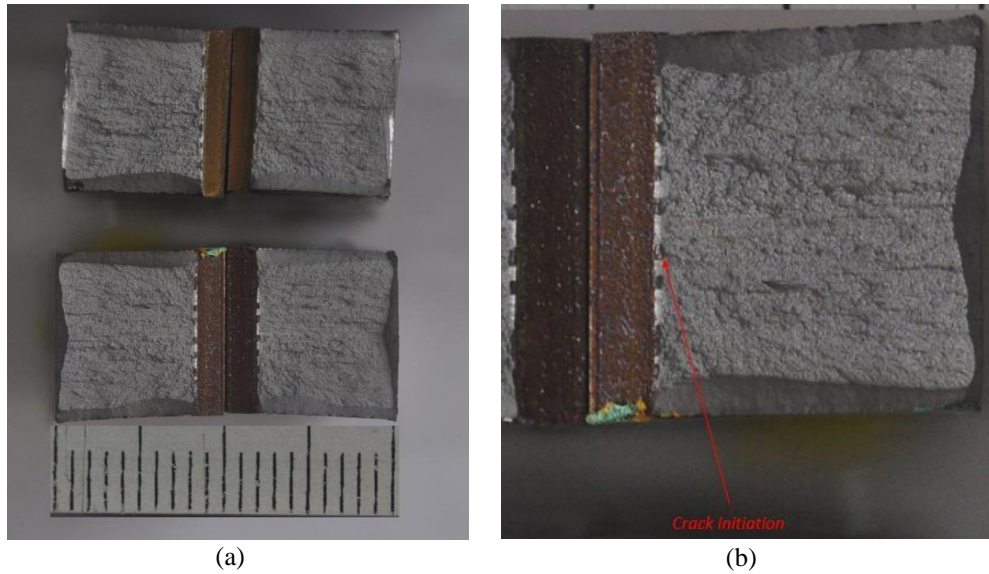
3.2 Pengujian *fractography*

Fractography diamati setelah dilakukan pengujian *impact* untuk mengetahui patahan yang terjadi. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui arah retakan yang terjadi. Awal retakan (*crack initiation*) merupakan titik acuan darimana retakan tersebut dimulai. Ditemukan *crack* pada hasil *fractography* quenched yang ditunjukkan pada Gambar 4 b. *Crack initiation* dapat ditemukan pada persebaran dari fasa lath martensite yang telah terbentuk setelah proses *quench* [13].

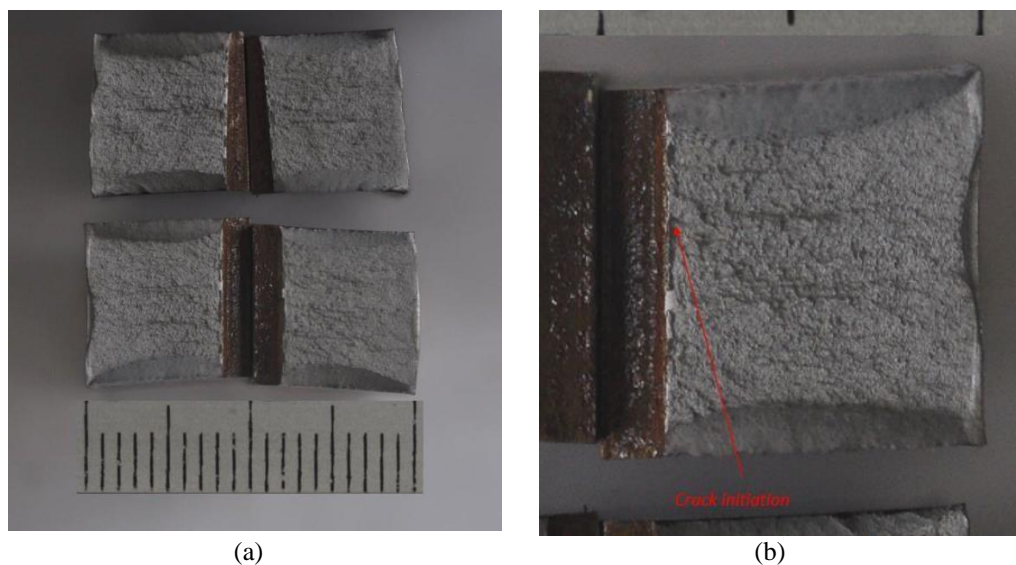
Pada Gambar 5 memperlihatkan hasil proses *quench + temper* 125° C dan Gambar 5 memperlihatkan hasil proses *quench + temper* 125° C. Hasil dari proses *temper* memperlihatkan adanya perbedaan dari hasil non *temper* pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) *Fractography* quenched, (b) perbesaran *fractography*



Gambar 5. (a) Fractography quenched tempered temperature 125° C, (b) perbesaran fractography



Gambar 6. (a) Fractography single quenched tempered temperatur 175o C, (b) perbesaran fractography

Dengan pendinginan yang cepat dapat menyebabkan *crack* setelah proses *quench*. Banyaknya fasa martensite pada *single quenched* sebagai indikator bisa terjadinya cracking. Martensite pada quenched memiliki kekuatan yang tinggi, tetapi sangat rentan terhadap patah. *Crack propagation* yang dihasilkan setelah dilakukan proses temper terjadi begitu lambat oleh proses *absorb energy* [14], [15].

Pada Gambar 4.a, Gambar 5.a, dan Gambar 6.a menunjukkan bahwa hasil proses *tempering* menunjukkan hasil patahan getas (*brittle*). Hal ini diperlihatkan pada penampang tidak adanya bekas daerah terjadi deformasi plastis. Daerah arsiran yang terjadi juga berbentuk bukit (*ridge*) yang merupakan ciri arsiran patah getas atau brittle [16].

Gambar 4.b, Gambar 5.b, dan Gambar 6.b memperlihatkan adanya *crack initiation* yang berada didekat *notch*. *Crack propagation* terlihat lebih jelas pada hasil quench tanpa dilakukannya *temper*. Serapan *impact/energi* yang kecil membuat material tersebut lebih getas dibandingkan dengan yang dilakukan proses *temper*. Semakin besar suhu *temper* yang digunakan akan mampu menyerap energi. Dimana temperatur *temper* yang tinggi akan mampu memblokade arah *crack propagation* yang terjadi [17].

Proses temper dengan pemilihan *low temperatur tempering* akan memberikan sifat yang ductile pada material [18]. Temperatur temper 125 °C dan 175 °C memberikan pengaruh terhadap fracture profil. Semakin tinggi temperatur temper akan menghasilkan bentuk permukaan yang lebih ulet.

4. Kesimpulan

Proses *quenching* dengan temperatur 900°C diikuti *tempering* dengan temperatur 125 °C dan 175 °C memberikan pengaruh terhadap ketangguhan kepada material. Peningkatan nilai ketangguhan selama proses *heat treatment* menjadi 50 J. patahan yang ditunjukkan merupakan patahan getas yang ditandai dengan adanya arsiran berbentuk bukit (*ridge*). Terjadi cracking pada saat quench yang disebabkan oleh laju pendinginan yang tinggi.

Ucapan Terimakasih

Pada bagian ini diisi ucapan terimakasih yang ditujukan kepada pihak yang telah memberikan bantuan dalam proses penelitian baik itu dari biaya penelitian, maupun dukungan lainnya.

Daftar Pustaka :

- [1] L. S. Malinov, I. E. Malysheva, E. S. Klimov, V. V. Kukhar, and E. Y. Balalayeva, "Effect of particular combinations of quenching, tempering and carburization on abrasive wear of low-carbon manganese steels with Metastable austenite," *Mater. Sci. Forum*, vol. 945 MSF, pp. 574–578, 2019, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.574.
- [2] I. WIDYANATA, *Pengaruh Perlakuan Panas Quenching-Tempering Pada Baja Mangan 11-15% Mn Sebagai Material Bucket Tooth*. etd.repository.ugm.ac.id, 2019.
- [3] Y. Yurianto, A. Suprihanto, S. H. Suryo, Y. Umardani, and P. Yanuar, "Effect of austenite temperature and holding time to impact energy and wear on HRP steel," *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 12, no. 103, pp. 45–51, 2020, doi: 10.15587/1729-4061.2020.156798.
- [4] C. Sun, S. L. Liu, R. D. K. Misra, Q. Li, and D. H. Li, "Influence of intercritical tempering temperature on impact toughness of a quenched and tempered medium-Mn steel: Intercritical tempering versus traditional tempering," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 711, no. September 2017, pp. 484–491, 2018, doi: 10.1016/j.msea.2017.11.072.
- [5] S. Guo, C. Li, J. Shi, F. Luan, and X. Song, "Effect of quenching media and tempering temperature on fatigue property and fatigue life estimation based on RBF neural network of 0.44% carbon steel," *Mechanical Sciences*. ms.copernicus.org, 2019, [Online]. Available: <https://ms.copernicus.org/articles/10/273/2019/>.
- [6] M. Rizal Ainur Rachman and A. Mahendra Sakti, "ANALISA PERBEDAAN KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK BAJA S45C DENGAN PERLAKUAN QUENCHING DAN TEMPERING PADA MEDIA UDARA, AIR, DAN OLI UNTUK APLIKASI POROS MOTOR RODA TIGA," 2020.
- [7] W. Li, X. Ding, and X. Jin, "Introduction of nanoprecipitation and transformation-induced plasticity in ultra-low carbon medium manganese quenching-partitioning-tempering steels," *Heat Treat. Surf. Eng.*, vol. 1, no. 1–2, pp. 48–56, 2019, doi: 10.1080/25787616.2018.1560155.
- [8] F. Z. Lemmadi, a Chala, S. Ferhati, F. Chabane, and S. Benramache, "Structural and Mechanical Behavior during Quenching of 40CrMoV5 Steel," *Sci. Eng. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2013, [Online]. Available: <http://www.oricpub.com/SE-3-1-43.pdf>.
- [9] Y. Yurianto, S. Sulardjaka, S. A. Widyanto, and P. Yanuar, "Comparison Of The Structure And Properties Between Single Quench+Temper And Double Quench+Temper Of Medium-Carbon And Carbon-Manganese Steel," *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 5, no. 12–107, pp. 15–22, 2020, doi: 10.15587/1729-4061.2020.214223.
- [10] H. Sharifi, R. Ghasemi, M. Branch, Y. Researchers, E. Club, and N. Branch, "The Effect of Tempering Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of DIN 1.4021 Martensitic Stainless Steel," vol. 12, no. 2013, pp. 9–15, 2015.
- [11] A. Alhamidi, "Proses Quenching and Partitioning Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Medium," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 2, p. 118, 2020, doi: 10.32497/jrm.v15i2.1869.
- [12] L. Y. Wang *et al.*, "Strain hardening behaviour of as-quenched and tempered martensite," *Acta Mater.*, vol. 199, pp. 613–632, 2020, doi: 10.1016/j.actamat.2020.08.067.
- [13] S. lei Long, Y. long Liang, Y. Jiang, Y. Liang, M. Yang, and Y. liang Yi, "Effect of quenching temperature on martensite multi-level microstructures and properties of strength and toughness in 20CrNi2Mo steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 676, pp. 38–47, 2016, doi: 10.1016/j.msea.2016.08.065.
- [14] B. Jiang, Z. Mei, L. Zhou, C. Zhang, and Y. Liu, "Microstructure evolution, fracture and hardening mechanisms of quenched and tempered steel for large sized bearing rings at elevated quenching temperatures," *Met. Mater. Int.*, vol. 22, no. 4, pp. 572–578, 2016, doi: 10.1007/s12540-016-5493-z.
- [15] M. H. Khani Sanij, S. S. Ghasemi Banadkouki, A. R. Mashreghi, and M. Moshrefifar, "The effect of single and double quenching and tempering heat treatments on the microstructure and mechanical properties of AISI 4140 steel," *Mater. Des.*, vol. 42, pp. 339–346, 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2012.06.017.
- [16] G. Mandal, S. K. Ghosh, and S. Chatterjee, "Effect of thermomechanical controlled processing and quenching & Tempering on the structure and properties of bainite-martensite steels," *Arch. Metall. Mater.*, vol. 65, no. 2, pp. 861–868, 2020, doi: 10.24425/amm.2020.132832.
- [17] J. Liu, H. Yu, T. Zhou, C. Song, and K. Zhang, "Effect of double quenching and tempering heat treatment on the microstructure and mechanical properties of a novel 5Cr steel processed by electro-slag casting," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 619, pp. 212–220, 2014, doi: 10.1016/j.msea.2014.09.063.
- [18] G. Krauss, "Martensite in steel: Strength and structure," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 273–275, pp. 40–57, 1999, doi: 10.1016/s0921-5093(99)00288-9.