

Pengaruh Metode *Quenching* dan *Tempering* Terhadap Kekerasan Material *Hot rolled Plate (HRP) 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, akhlissl@pnc.ac.id², yurianto@undip.ac.id³

Info Naskah:

Naskah masuk: 29 Mei 2023

Direvisi: 22 Juni 2023

Diterima: 24 Juni 2023

Abstrak

Hot rolled plate steel sebagai material yang akan digunakan untuk baja armor perlu memiliki karakteristik nilai kekerasan yang tinggi. Bahan *medium carbon steel* sebagai material dasar dilakukan proses *quench* pada temperature 900 °C dan *temper* dilakukan pada temperature 125 °C dan 175 °C dengan *holding time* 30 menit. Nilai M_s yang menjadi tolak ukur perubahan *martensite* yang dipengaruhi oleh unsur unsur penyusun pada material. Penggunaan air sebagai media *quench* memberikan perubahan struktur *austenite* menjadi *martensite*. Struktur *martensite* yang terjadi meningkatkan nilai kekerasan yang optimum pada material HRP Steel. Proses *temper* yang dilakukan diatas nilai M_s menyebabkan penurunan pada nilai kekekerasannya. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada proses *quench* dengan 542 HV yang dipengaruhi oleh persebaran dari *martensite*. Penurunan nilai kekerasan terjadi akibat proses *temper*, nilai kekerasan rata-rata pada *temper* 125 °C sebesar 524,4 HV dan 175 °C sebesar 524 HV.

Keywords:

armor;

holding time;

HRP Steel;

quenching;

tempering

Abstract

Hot rolled plate steel as a material to be used for steel armor needs to have the characteristics of a high hardness value. Medium carbon steel as the basic material is quenched at a temperature of 900 °C and tempering is carried out at a temperature of 125 °C and 175 °C with a holding time of 30 minutes. The M_s value is a benchmark for changes in martensite which is influenced by the constituent elements of the material. The use of water as a quench medium changes the structure of austenite to martensite. The martensite structure that occurs increases the optimum hardness value in HRP Steel material. The tempering process carried out above the M_s value causes a decrease in the hardness value. The highest hardness value was obtained in the quenching process with 542 HV which was influenced by the distribution of martensite. The decrease in hardness value occurs due to the tempering process, the average hardness value at temper 125 °C is 524.4 HV and 175 °C is 524 HV.

*Penulis korespondensi:

Akhlis Rahman Sari Nurhidayat

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

1. Pendahuluan

Material *Hot rolled Plate (HRP) Steel* umum digunakan dalam rekayasa konstruksi, manufaktur, dan kendaraan pertahanan [1]. Karakter material yang kuat dan ulet menjadi patokan dasar dalam penggunaan material untuk alutsista [2]. Sifat fisik pada material *carbon steel* dapat ditingkatkan melalui proses perlakuan panas. Fasa *martensite* pada material akan memberikan material karakteristik yang keras [3]. Karakter baja yang ulet tetap dipertahankan agar tahan pada penyerapan dampak (*impact absorbtion*) [4]. Mikrostruktur dapat dikombinasikan antara austenite dan *martensite* agar bisa mempertahankan kekerasan dan keuletan.

Efek dari proses *quench* akan merubah fasa austenit menjadi *martensite*[5]–[7]. Perubahan fasa yang terjadi juga dipengaruhi oleh laju pendinginan pada media yang digunakan [8], [9]. Paduan pada material akan mempengaruhi *martensite start* (M_s) [10], [11]. Fasa *martensite* dapat dikontrol dengan mengetahui M_s . Kontrol fasa *austenite* dapat dilakukan dengan melakukan pemanasan suhu diatas garis A_3 . Fasa akan mengalami perubahan menjadi fasa austenite ketika dilakukan proses penahanan waktu sehingga terjadi proses pemerataan fasa *austenit*.

Proses *temper* dilakukan untuk mendapatkan keuletan dan kekuatan pada material agar tetap setimbang. Hasil proses *quench* berupa *martensite* akan menjadi *tempered martensite* setelah proses *temper*. Pada penelitian Mandal dkk [12] menggunakan temperature *quench* 950 °C dan temperatur *temper* 500 °C menghasilkan fasa *martensite* dengan sifat ulet 6-13 %. Pada penelitian Clarke dkk, [13] dengan temperaure *temper* yang divariasikan akan meningkatkan keuletan dengan peningkatan temperature. Pada penelitian yang dilakukan oleh Foster dkk, [14] terjadi pengurangan fasa *martensite* akibat pengaruh *temper*. Fasa *martensite* diharapkan dapat diketahui dikontrol dengan mengetahui batas *Martensite start* (M_s) melalui perhitungan dengan unsur yang diketahui. Proses *temper* yang dilakukan akan meningkatkan sifat ulet dan menurunkan nilai kekerasan.

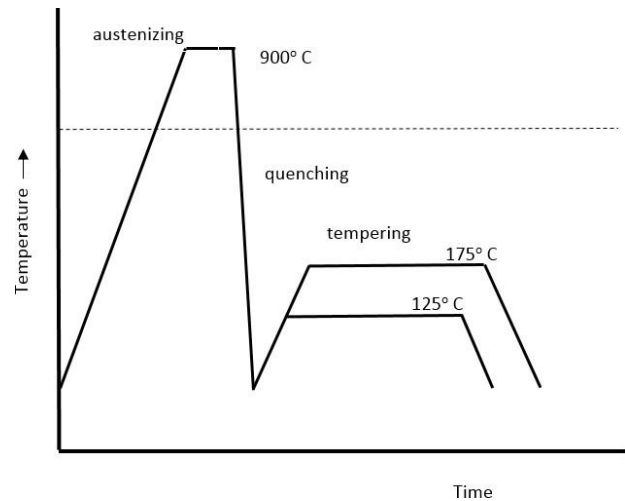
High Strengh Low Alloy (HSLA) memiliki ketangguhan yang bagus dan kemampuan las yang baik [15]. Bahan yang digunakan sendiri buatan dalam negeri berupa plat steel dengan kandungan 0.29 %C dan 1.4 %Mn. Dengan kandungan *carbon* dan *manganese* dapat digolongkan menjadi *high-manganese carbon steel*. Kandungan *manganese* sendiri dapat meningkatkan nilai ketangguhan dalam baja.

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fasa *martensite* yang terbentuk dari perhitungan M_s yang berpengaruh pada sifat mekanik terutama nilai kekerasan. Hasil yang dicapai dari penelitian ini berupa improvisasi dari desain metode *quench* dan *temper* pada material *high-manganese carbon steel*.

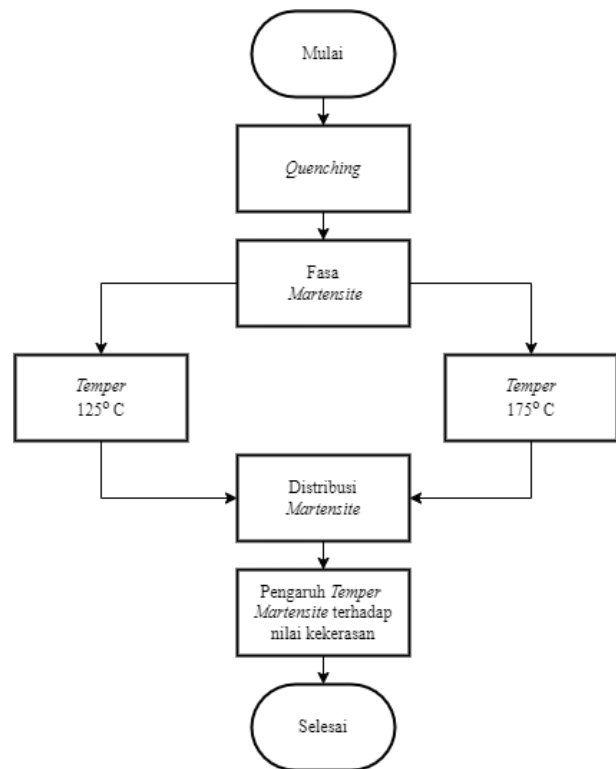
2. Material dan Metodologi

2.1 Material

HRP *steel* yang digunakan sebagai raw material dengan komposisi kimia yang dijelaskan pada Tabel 1. Material akan dilakukan 3 proses *heat treatment* diantaranya *Quenched* dengan suhu 900°C dengan media *quenching* adalah air. Selanjutnya dilakukan proses *Tempering* 125°C dan *tempering* 175°C dengan penahanan waktu selama 30 menit. Skema penelitian diperlihatkan pada Gambar 1 [16].



Gambar 1. Skema *heat-treatment*



Gambar 2. Diagram alir Penelitian

Tabel 1. Komposisi kimia HRP Steel (%)

Fe	Mn	Al	C	Cr	Cu	Mo	Ni	P	Pb	Si	S
96.76	1.14	0.03	0.29	0.55	0.08	0.19	0.27	0.014	0.008	0.32	0.008

2.2 Metode Karakterisasi

Pengujian kekerasan menggunakan metode vickers dengan pembebanan 10 kgf. Pengujian dilakukan pada 5 titik dengan jarak dari tepi 1 mm. Pengujian struktur mikro menggunakan HCl yang dicampur H₂O pada proses *etching*. Pada Gambar 2. diperlihatkan diagram alir proses penelitian dari *heat treatment* hingga proses karakterisasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh perlakuan panas terhadap struktur mikro

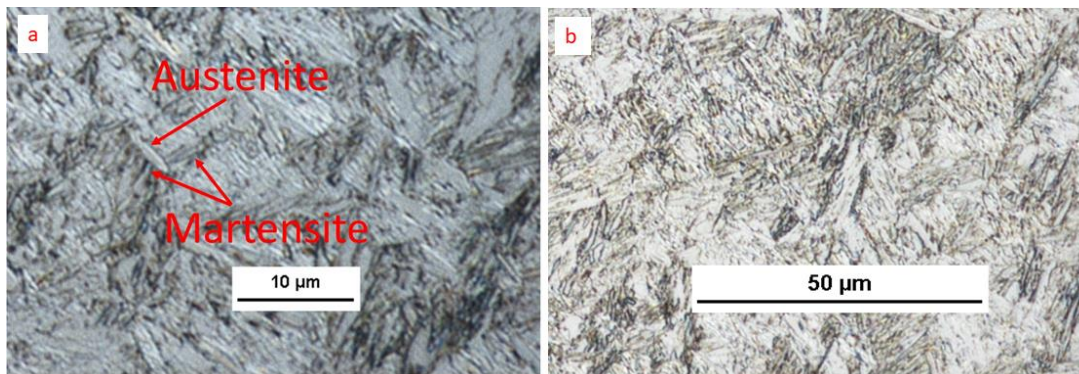
Ketika proses *heat treatment* dilakukan pada suhu 900°C mikrostruktur yang didapat berupa fasa *austenite*. Dilakukan proses *quench* agar mendapatkan fasa *martensite*. Pengaruh unsur *carbon* (C), *Nickel* (Ni), *Silicon* (Si), *Molybdenum* (Mo), dan *Manganese* (Mn) memiliki

peran besar dalam perhitungan M_s . Perubahan *austenite* menjadi *martensite* terjadi pada suhu 319 °K.

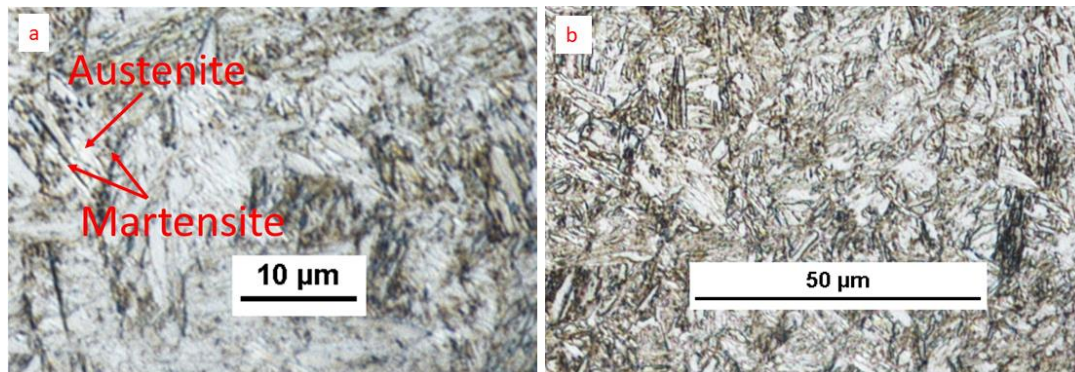
Perubahan fasa *austenite* menjadi *martensite* dapat diketahui nilai dari M_s (*Martensite start*) dengan menggunakan rumus (1) yang berkaidan dengan unsur penyusun pada material [10].

$$M_s(K) = A_3 - 199.8(\%C + 1.4\%N) - 17.9(\%Ni) - 21.7(\%Mn) - 6.8(\%Cr) - 45.0(\%Si) - 55.9(\%Mo) - 1.9(\%C + 1.4\%N)(\%Mo + \%Cr + \%Mn) - 14.4[(\%Ni + \%Mn)(\%Cr + \%Mo + \%Al + \%Si)]^{1/2} - 410 \quad (1)$$

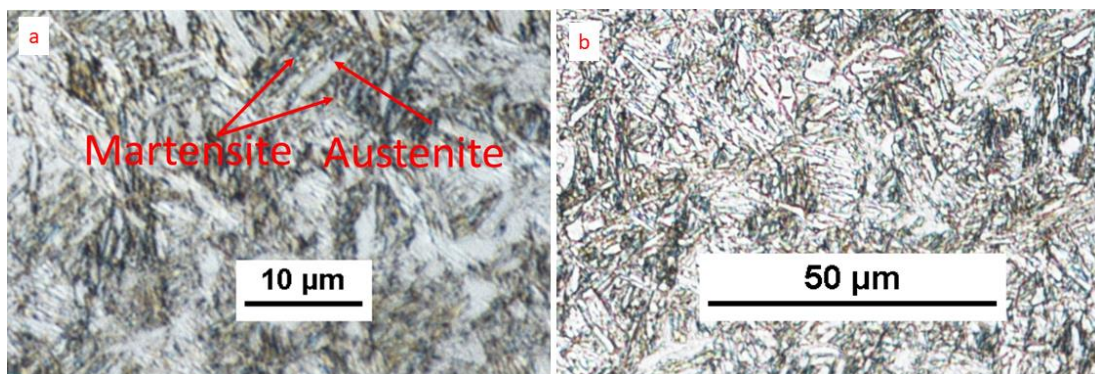
Pada Gambar 3.a dan 3.b diperlihatkan struktur mikro proses *quench*. Mikrostruktur yang dihasilkan pada berupa fasa *martensite* yang ditandai daerah berwarna hitam yang



Gambar 3. Mikrostruktur proses *quench*



Gambar 4. Mikrostruktur proses *quench + temper 125°C*



Gambar 5. Mikrostruktur proses *quench + temper 175°C*

berbentuk seperti jarum. Pada gambar 3.b memperlihatkan jejak fasa *austenite* tidak sepenuhnya berubah menjadi fasa *martensite*. Hal tersebut dapat dipengaruhi laju pendinginan oleh media proses *quench* [12]. Pengaruh *holding time* dalam austenisasi berkaitan dengan *martensite* yang terbentuk [14]. *Lath martensite* terbentuk karena kandungan unsur komposisi pada material [8], [17].

Pada gambar 4 dan 5 diperlihatkan struktur mikro proses *quench + temper*. *Lath martensite* menjadi *temper lath martensite* setelah proses *tempered* yang ditunjukkan pada Gambar 4.a dan 5.a. *Lath temper martensite* pada *quench + temper 125 °C* lebih banyak dan penyebaran yang berada berdekatan sementara pada Gambar 4.b dan 5.b penyebaran *martensite* pada *quench + temper 175 °C* tidak berdekatan dan cenderung lebih banyak *austenite*.

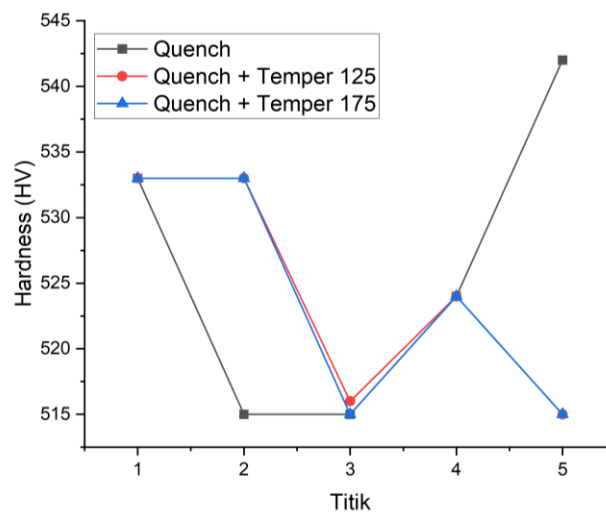
Proses *quench* dapat divariasikan dengan waktu [18] dan berpedoman pada diagram TTT dan CCT. Pada diagram TTT, waktu sangat berperan dalam proses fasa yang akan terbentuk. Semakin cepat waktu pendinginan maka fasa *martensite* akan terbentuk lebih banyak.

Dikarenakan fasa *austenite* dapat mempengaruhi perubahan pada fasa *martensite* [19]

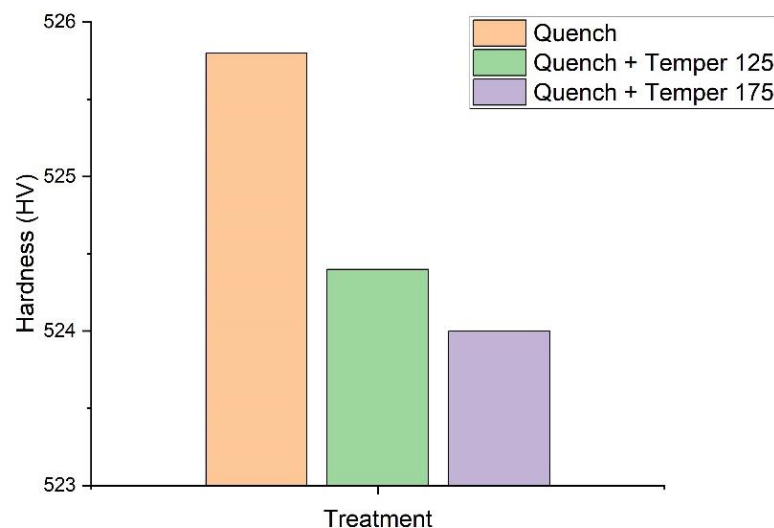
Pada penelitian yang dilakukan oleh Sun dkk [8] dengan menggunakan laju pendinginan 0.5 °C/s sampai 30 °C/s menunjukan bentuk dari *lath martensite* yang tidak berbeda jauh. Pada Gambar 3.a, 4.a, dan 5.a diperlihatkan diantara *lath martensite* dan *lath temper martensite* terdapat *austenite* yang berada ditengah.

3.2 Pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan

Hasil nilai kekerasan rata-rata pada *quench*, *quench + temper 125 °C*, dan *quench + temper 175 °C* diperlihatkan pada Gambar 6. Perbandingan hasil antara nilai kekerasan pada *quench*, *quench + temper 125 °C*, dan *quench + temper 175 °C* dapat dilihat pada Gambar 7. Pada grafik distribusi kekerasan nilai antara *quench + temper 125 °C* dan *quench + temper 175 °C* menyerupai, sementara pada *quench* nilai kekerasan menjadi sebesar 542 HV. Nilai rata-rata kekerasan antara *quench + temper 125 °C* dan *quench + temper 175 °C* tidak jauh berbeda.



Gambar 6. Grafik distribusi kekerasan *quench*, *quench + temper 125 °C*, dan *quench + temper 175 °C*



Gambar 7. Perbandingan rata-rata kekerasan *quench*, *quench + temper 125 °C*, dan *quench + temper 175 °C*

Pada penelitian sebelumnya [4], [20] yang menggunakan suhu quench 850° C dan temper 150° C menghasilkan kekekerasan 530 HV. Fasa *martensite* yang merupakan salah satu fasa yang meningkatkan nilai kekerasan. Persebaran *martensite* yang terjadi akan berpengaruh pada hasil uji kekerasan. Proses tempering yang merubah *lath martensite* menjadi temper *lath martensite* akan menurunkan nilai kekerasan [21]. Pada penelitian sebelumnya [22] dengan menggunakan temperatur 200 °C dan 250 °C menunjukan nilai kekerasan yang didapat pada temperatur 200 °C lebih tinggi dibandingkan dengan 250 °C. Hal ini menunjukan bahwa semakin tinggi temperatur yang digunakan pada proses *temper* akan menurunkan nilai kekerasannya.

Pada Gambar 7. diperlihatkan perbandingan nilai kekerasan dari proses perlakuan panas yang dilakukan. Proses *temper* yang memberikan pengaruh terhadap fasa *martensite* akan terlihat pada proses pengujian kekerasan. Pengaruh temperatur *temper* juga akan meningkatkan fasa *austenite* yang terbentuk [23]. Fasa *austenite* akan membuat material menurunkan nilai kekerasan.

Proses *quench* didapatkan nilai tertinggi untuk nilai kekerasan sebesar 542 HV dengan rata-rata 525,8 HV. Hal tersebut karena pengaruh fasa *martensite* yang ada material. Proses *temper* yang dilakukan akan menurunkan nilai kekerasan rata-rata yang ditampilkan pada Gambar 7. Nilai kekerasan rata-rata pada proses *quench* + *temper* 125° C sebesar 524,4 HV dan *quench* + *temper* 175° C sebesar 524 HV.

4. Kesimpulan

Kekerasan maksimal dicapai pada proses *quench* dengan nilai kekerasan sebesar 542 HV. Proses *temper* akan menurunkan nilai kekerasan yang ditunjukan pada proses *quench* + *temper* 125° C sebesar 524,4 HV dan *quench* + *temper* 175° C sebesar 524 HV. Distribusi fasa *martensite* dan *temper martensite* dapat mempengaruhi nilai kekerasan yang dihasilkan

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih ditunjukan kepada pihak yang semua yang berperan dalam penyediaan material untuk spesimen dan proses pengujian serta semua kontributor dalam penulisan artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Q. Xie, M. Suvarna, J. Li, X. Zhu, J. Cai, and X. Wang, "Online prediction of mechanical properties of hot rolled steel plate using machine learning," *Mater. Des.*, vol. 197, p. 109201, 2021, doi: 10.1016/j.matdes.2020.109201.
- [2] A. Janda *et al.*, "Ballistic tests on hot-rolled Ti-6Al-4V plates: Experiments and numerical approaches," *Def. Technol.*, no. xxxx, 2023, doi: 10.1016/j.dt.2022.11.012.
- [3] N. Afiana, M. Chamim, and A. R. S. Nurhidayat, "Investigasi Pengaruh Heat Treatment Terhadap Kekerasan Baja Karbon S40C Pada Progressive Dies," *J. Foundry*, vol. 5, no. 1, pp. 19–24, 2022.
- [4] Yurianto *et al.*, "Hardness and impact energy absorbed produced by Q&T steel and DQ&T steel," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 602, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/602/1/012087.
- [5] X. Zhu, K. Ogi, and N. Okabe, "Improved Workability of Diameter-Enlarged Process for S35C through Quenching and Tempering Heat Treatment," *Mater. Sci. Forum*, 2019, [Online]. Available: <https://www.scientific.net/MSF.943.26>.
- [6] C. Kang *et al.*, "Microstructure evolution and mechanical properties of PESR 55Cr17Mo1VN plastic die steel during quenching and tempering treatment," *J. Iron Steel ...*, 2021, doi: 10.1007/s42243-021-00689-w.
- [7] X. Li, L. Shi, Y. Liu, K. Gan, and C. Liu, "Achieving a desirable combination of mechanical properties in HSLA steel through step quenching," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 772, no. October, p. 138683, 2020, doi: 10.1016/j.msea.2019.138683.
- [8] 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.
- [9] H. Jo *et al.*, "Effects of cooling rate during quenching and tempering conditions on microstructures and mechanical properties of carbon steel flange," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 18, 2020, doi: 10.3390/MA13184186.
- [10] Q. X. Dai, X. N. Cheng, Y. T. Zhao, X. M. Luo, and Z. Z. Yuan, "Design of martensite transformation temperature by calculation for austenitic steels," *Mater. Charact.*, vol. 52, no. 4–5, pp. 349–354, 2004, doi: 10.1016/j.matchar.2004.06.008.
- [11] H. S. Yang, J. H. Jang, H. K. D. H. Bhadeshia, and D. W. Suh, "Critical assessment: Martensite-start temperature for the $\gamma \rightarrow \epsilon$ transformation," *Calphad Comput. Coupling Phase Diagrams Thermochem.*, vol. 36, pp. 16–22, 2012, doi: 10.1016/j.calphad.2011.10.008.
- [12] 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.
- [13] A. J. Clarke *et al.*, "Perspectives on Quenching and Tempering 4340 Steel," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 51, no. 10, pp. 4984–5005, 2020, doi: 10.1007/s11661-020-05972-1.
- [14] D. Foster *et al.*, "In-situ synchrotron X-ray diffraction during quenching and tempering of SAE 52100 steel," *Mater. Today Commun.*, vol. 29, 2021, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492821009168>.
- [15] P. C. M. Rodrigues, E. V. Pereloma, and D. B. Santos, "Mechanical properties of an HSLA bainitic steel subjected to controlled rolling with accelerated cooling," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 283, no. 1–2, pp. 136–143, 2000, doi: 10.1016/S0921-5093(99)00795-9.
- [16] A. R. S. Nurhidayat, N. A. S. Laksana, and Y. Yurianto, "Peranan Parameter Quench dan Temper Pada Ketangguhan Carbon-Manganese Steel," *Infotekmesin*, vol. 14, no. 01, pp. 56–61, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i1.1566.
- [17] G. Krauss, *Quench and Tempered Martensitic Steels: Microstructures and Performance*, vol. 12. Elsevier, 2014.
- [18] S. NUGROHO and G. HARYADI, "Pengaruh Media Quenching Air Tersirkulasi (Circulated Water) Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Baja Aisi 1045," *Rotasi*, vol. 7, no. 1, pp. 19–23, 2005.
- [19] C. Celada-Casero, C. Kwakernaak, J. Sietsma, and M. J. Santofimia, "The influence of the austenite grain size on the microstructural development during quenching and partitioning processing of a low-carbon steel," *Mater. Des.*, vol. 178, 2019, doi: 10.1016/j.matdes.2019.107847.

- [20] 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.
- [21] K. Chen *et al.*, "Enhanced mechanical properties by retained austenite in medium-carbon Si-rich microalloyed steel treated by quenching-tempering, austempering and austempering-tempering processes," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 790, no. April, p. 139742, 2020, doi: 10.1016/j.msea.2020.139742.
- [22] S. Pashangeh, M. C. Somani, S. S. Ghasemi Banadkouki, H. R. Karimi Zarchi, P. Kaikkonen, and D. A. Porter, "On the decomposition of austenite in a high-silicon medium-carbon steel during quenching and isothermal holding above and below the Ms temperature," *Mater. Charact.*, vol. 162, no. December 2019, p. 110224, 2020, doi: 10.1016/j.matchar.2020.110224.
- [23] L. S. Malinov, I. E. Malysheva, E. S. Klimov, and ..., "Effect of particular combinations of quenching, tempering and carburization on abrasive wear of low-carbon manganese steels with metastable austenite," *Mater. Sci. ...*, 2019, [Online]. Available: <https://www.scientific.net/MSF.945.574>.