

KARAKTERISASI SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA PADUAN RENDAH HASIL PROSES *HARDENING*

Moch. Chamim ¹⁾, Margono ¹⁾ ✉, Fatimah Nur Hidayah ¹⁾, Nugroho Triatmoko ¹⁾

¹⁾ Sekolah Tinggi Teknologi Warga
Surakarta
chamim@sttw.ac.id
margono@sttw.ac.id
Fatimahnur.h@sttw.ac.id
nugroho.ta@sttw.ac.id

Abstract

The purpose of this study was to determine how the mechanical properties and microstructure formed on low alloy steel (tooth bucket) heated at temperatures of 850 ° C and 850 ° C then held for 15 minutes after that it was cooled with oil. The material hardening process was carried out by testing the Vickers hardness, impact, and observing the microstructure using an optical microscope with 200x magnification. Hardness values obtained from low alloy steel after heat treatment at temperatures of 800 ° C and 850 ° C are 389.2 HV and 414.6 HV. The optimum hardness is obtained at a temperature of 850 ° C with an increase of about 1.14% compared to that of raw material, which is 364.5 HV. From the results of the impact test on heat treatment with a temperature of 850 ° C, the highest impact value is 0.574 Joule/mm². Furthermore, the results of the microstructure on heat treatment at a temperature of 850 ° C resulted in homogeneous microstructures, namely chrome, martensite, and bainite.

Keywords: Low Alloy Steel, Hardening, Oil, Hardness, Impact, Microstructure.

1. PENDAHULUAN

Baja paduan memainkan peran penting dalam industri dimana sebagai bahan potensial, salah satunya digunakan dalam produksi gigi pada *excavator*. *Excavator* merupakan alat berat yang sering digunakan dalam kegiatan konstruksi dan pertambangan. Salah satu komponen utama *excavator* yang digunakan untuk menggali yaitu *bucket excavator*. *Bucket* berisi gigi yang menonjol di tepinya. Dalam pengoperasian *excavator*, gigi memiliki kontak langsung dengan tanah atau batu. Untuk alasan ini, bahan yang digunakan untuk gigi harus memiliki kekuatan dan ketangguhan yang tinggi ^{[1][2]}. Namun, sifat mekanik dan fisik baja ini perlu ditingkatkan dengan penambahan elemen paduan, dikarenakan aspek penting dari penerapan rekayasa ^[3]. Perlakuan panas merupakan salah satu proses peningkatan sifat yang berhubungan dengan pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat ^[4]. Tujuan dari perlakuan panas adalah untuk memberikan sifat-sifat tertentu yang diinginkan pada logam seperti kekerasan, kekuatan luluh, kekuatan tarik, keuletan, dan ketahanan benturan ^{[5]-[8]}. Perlakuan panas dapat dilakukan pada logam, keramik, dan material komposit. Bahan yang diberi perlakuan panas mengalami perubahan *fase*, mikrostruktur, dan kristalografi ^{[9]-[11]}.

Perlakuan panas baja melibatkan kombinasi proses pemanasan dan pendinginan terkendali ^[12]. Proses pendinginan dapat dicapai dengan membiarkan bahan yang dipanaskan

Corresponding Author:

✉ Margono

Received on: 2022-01-06

Revised on: 2022-08-09

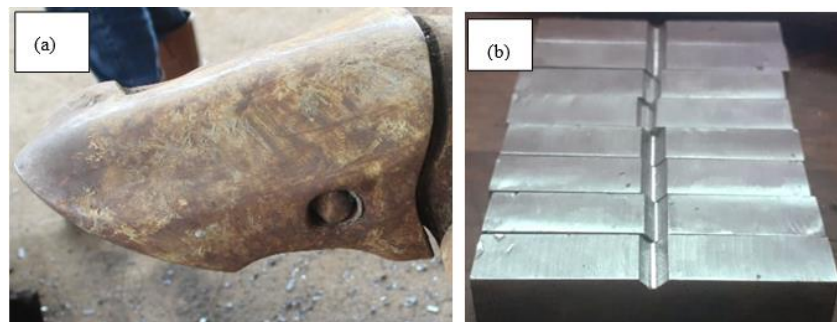
Accepted on: 2022-11-09

mendingin secara perlahan di bawah udara alami atau dengan mencelupkannya ke dalam pendinginan. Seperti *quenching* adalah proses utama perlakuan panas dalam meningkatkan sifat-sifat pada baja ^{[13][14]}. *Quenching* dilakukan untuk mencegah terbentuknya *ferit* atau *perlit* tetapi untuk mendukung pembentukan bainit atau martensit. Perubahan fasa martensit merupakan masa pergeseran dari fasa austenit ^[15]. Perlakuan panas yang digunakan untuk memodifikasi struktur mikro dan sifat mekanik bahan rekayasa, khususnya baja adalah *annealing*, *normalizing*, *hardening* dan *tempering* ^[16]. *Hardening* merupakan salah satu proses perlakuan panas yang dapat meningkatkan kekerasan baja dengan perlakuan panas mencapai suhu austenitisasi yaitu 760°C, 770°C, 780°C, 790°C dan 800°C dan ditahan dengan waktu yang cukup, kemudian mendinginkannya dengan cepat untuk mendapatkan *austenit* yang homogen ^{[17][18]}. Selama austenitisasi, butir *austenit* baru bernukleasi di sejumlah tempat dan tumbuh dari titik-titik pada spesimen. Setelah transformasi menjadi *austenit*, ukuran butir rata-rata austenit terus meningkat seiring dengan proses pertumbuhan butir. Selama pertumbuhan butir, butir *austenit* yang lebih besar tumbuh dengan mengorbankan yang lebih kecil, beberapa di antaranya hilang, sehingga mengurangi jumlah butir dan meningkatkan ukuran butir rata-rata. Oleh karena itu, ukuran butir *austenit* yang diperoleh setelah austenitisasi tergantung pada suhu dan waktu austenitisasi serta ukuran butir dan distribusi fase dalam struktur awal. Pergerakan dalam pertumbuhan butir mengakibatkan penurunan luas batas butir di daerah *austenit* ^{[19][20]}.

Dari uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian bagaimana sifat mekanik dan struktur mikro baja paduan rendah (*tooth bucket*) yang dilakukan *heat treatment* dengan variasi suhu pemanasan dengan media pendingin. Namun, beberapa temuan penelitian bahwa dengan pendinginan air dapat meningkatkan sifat mekanik seperti kekuatan dan kekerasan, tetapi mudah retak dan patah ^{[19], [21]–[24]}. Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan suhu optimal pada proses *hardening* dengan media oli pada material baja paduan rendah yang digunakan sebagai alternatif untuk media pendinginan karena laju pendinginan lebih lambat dibandingkan dengan media air.

2. METODE DAN BAHAN

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *material tooth bucket* dari baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*) yang dipotong dengan ukuran spesimen 55 mm x 10 mm x 10 mm, setelah itu membuat alur “V” dengan ukuran 2 mm x 2 mm dibagian tengah-tengah spesimen. Spesimen uji yang sudah di preparasi ditunjukkan pada Gambar 1. Permukaan dihaluskan dengan kertas amplas dibantu alat *orbital sander* dengan amplas ukuran 400, 600, 800, 1000, dan 2000. Setelah dihaluskan dengan amplas, selanjutnya spesimen difinishing menggunakan *autosol metal polish* untuk menghilangkan goresan dan membuat permukaan spesimen lebih halus. Spesimen dipanaskan dalam tungku sampai temperatur 800° C dan 850° C dan ditahan selama 15 menit. Selanjutnya, proses pendinginan dilakukan dengan mencelupkan spesimen uji ke dalam oli ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. a) Toot Bucket dan b) Spesimen Toot bucket dari baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*)

Pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E92 dengan pemberian beban 9,8 N selama 10 detik. Selanjutnya dilakukan pengujian *impact* dengan metode *charpy*. Preparasi spesimen uji struktur mikro dilakukan proses *polishing* dengan autosol untuk menghaluskan permukaan. Spesimen yang sudah halus dilakukan proses etsa menggunakan larutan 3 ml HNO_3 dan 10 ml alkohol. Permukaan spesimen diamati dengan menggunakan foto mikroskop optik yang dihubungkan dengan komputer. Pengujian stuktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan kondisi struktur mikro pada permukaan baja paduan rendah yang terbentuk setelah dilakukan pendinginan secara cepat pada proses perlakuan panas.



Gambar 2. Proses hardening dan pendinginan dengan media oli pada spesimen baja paduan rendah (*tooth bucket*)

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Hasil Komposisi Baja Paduan Rendah

Pengujian komposisi dilakukan menggunakan mesin *spectrometer*, guna untuk mengetahui kandungan unsur kimia pada spesimen Baja Paduan Rendah. Dari pengujian tersebut di dapatkan data sebagai berikut. Dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi

Unsur	Kandungan (%)
C	0.238
Si	0.166
Mn	1.318
P	0.020
S	0.0046
Cr	2.085
Mo	0.540
Ni	2.418
Cu	0.319
Al	0.0060

Pengujian komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kandungan unsur yang terdapat dalam spesimen, selain itu untuk mengetahui sifat bahan tersebut. Dari spesimen tersebut didapatkan unsur yang terbentuk diantaranya Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Ni, Cu, Al, Fe. Unsur yang paling mendominasi adalah Mn (*mangan*) yaitu sebesar 1.318%, Ni (*nickel*) 2.418% dan Cr (*Chrome*) 2.085%.

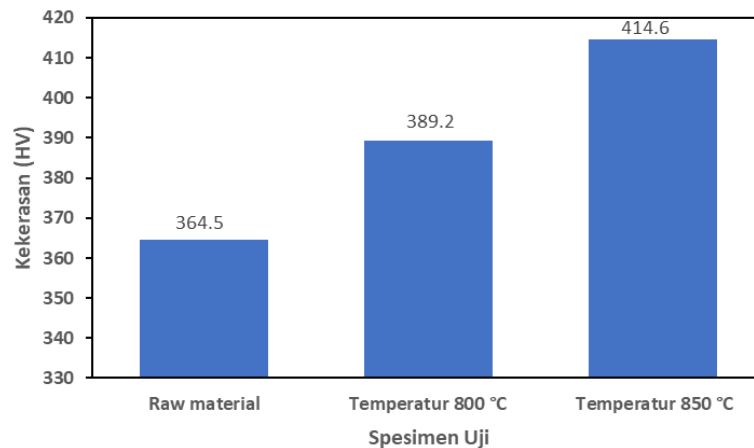
3.2. Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan sebelum dan sesudah pada spesimen yang diberi perlakuan panas dengan suhu 800 °C dan 850 °C serta didinginkan menggunakan media oli. Pengukuran kekerasan material sebelum dan sesudah diberi perlakuan dengan alat uji jenis *microhardness* dengan metode *Vickers*. Nilai kekerasan rata-rata untuk setiap kondisi disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Hasil kekerasan rata – rata pada spesimen sebelum dan sesudah diberi perlakuan panas

No.	Spesimen	Kekerasan Rata-rata (HV)
1.	<i>Raw material</i>	364.5
2	<i>hardening</i> dengan suhu 800 °C dengan <i>holding</i> 15 menit	389.2
3	<i>hardening</i> dengan suhu 850°C dengan <i>holding</i> 15 menit	414.6

Gambar 3. ditemukan bahwa kekerasan baja paduan rendah dengan perlakuan panas pada suhu 800° C dan 850° C menggunakan *holding time* 15 menit dengan *quenching* oli mengalami peningkatan kekerasan sebesar 389,2 HV, 424,6 HV daripada *raw material*, sebesar 213 HV, 364,5 HV. Peningkatan kekerasan spesimen karena disini karbon tidak bisa mendapatkan waktu lebih lama untuk bereaksi dengan oksigen (untuk laju pendinginan yang cepat), sehingga karbon terperangkap dengan spesimen dan terbentuk martensit. Struktur *martensit* memiliki kekerasan yang lebih tinggi karena efektivitas karbon interstisial dalam menghambat gerakan dislokasi ^{[25][26][27]}.



Gambar 3. Nilai kekerasan sebelum dan sesudah proses perlakuan panas pada suhu 800° C dan 850° C menggunakan *holding time* 15 menit dengan media oli.

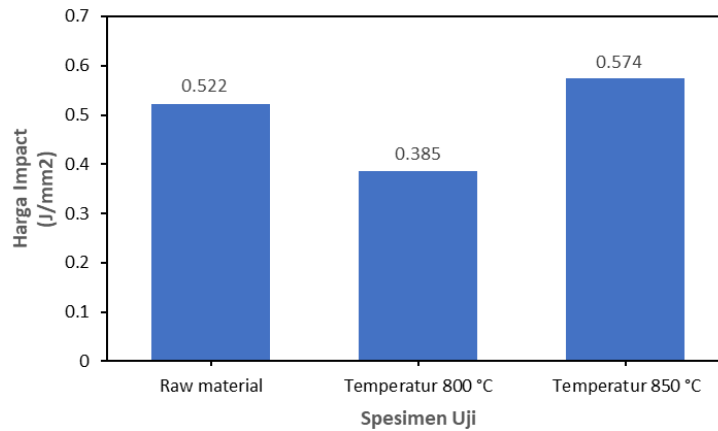
3.3. Hasil Pengujian Impact

Pengujian *impact* dilakukan sebelum dan sesudah pada spesimen yang diberi perlakuan panas dengan suhu 800° C dan 850° C serta didinginkan menggunakan media oli. Harga impact rata-rata untuk setiap kondisi disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Tabel 3. Hasil rata – rata harga *impact* pada spesimen sebelum dan sesudah diberi perlakuan panas

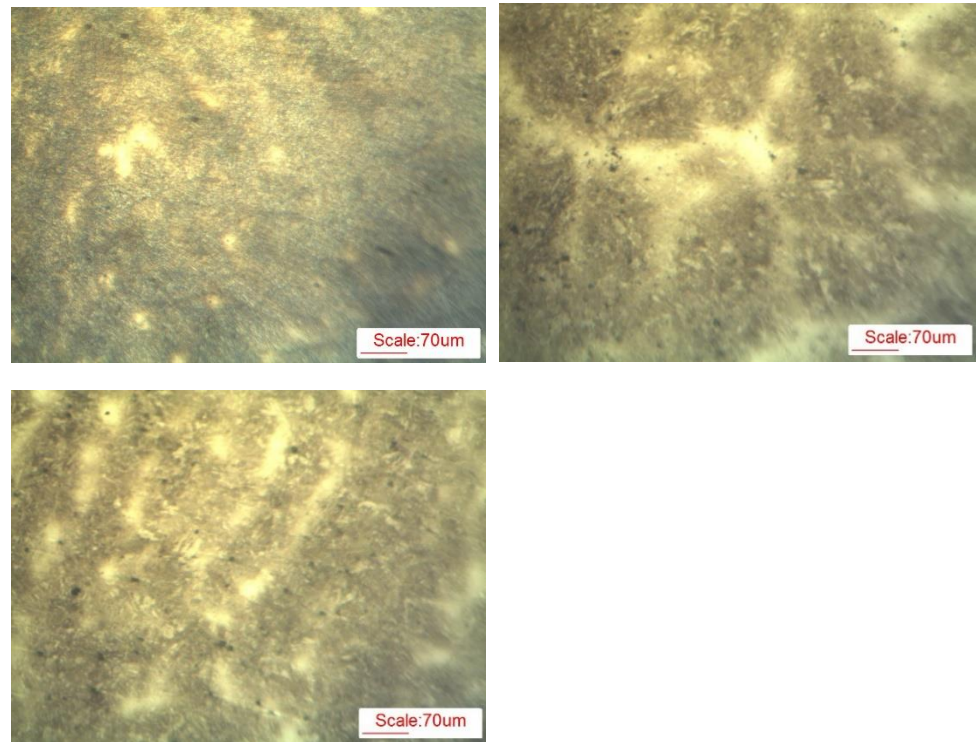
NO.	SPESIMEN	RATA – RATA HARGA <i>IMPACT</i> (J/MM ²)
1	<i>Raw material</i>	0.522
2	<i>hardening</i> dengan suhu 800 °C dengan <i>holding</i> 15 menit	0.385
3	<i>hardening</i> dengan suhu 850°C dengan <i>holding</i> 15 menit	0.574

Gambar 4. Pada spesimen baja paduan rendah sebelum di *hardening* memiliki harga *impact* 0.522 j/mm² dengan energi *impact* sebesar 43.343 *joule*, Sesudah di *hardening* dengan temperatur 800°C dengan *holding* 15 menit memiliki harga *impact* 0.385 j/mm² dengan energi *impact* sebesar 23.708 *joule*, selanjutnya, di *hardening* dengan temperatur 850°C dengan *holding* 15 menit memiliki harga *impact* 0.574 j/mm² dengan energi *impact* sebesar 46.008 *joule*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada spesimen yang di *hardening* dengan temperatur 850°C dengan *holding* 15 menit memiliki sifat paling lunak dibandingkan dengan yang lainnya karena memerlukan energi kejut lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena struktur atom yang terkandung dalam baja paduan rendah mulai bergerak sehingga beban kejut yang diterima lebih besar akibat peningkatan jumlah siklus karena struktur martensitnya disempurnakan [8].

**Gambar 4.** Harga *impact* sebelum dan sesudah proses perlakuan panas pada suhu 800° C dan 850° C menggunakan *holding time* 15 menit dengan media oli.

4. MIKROSTRUKTUR

Struktur mikro dicirikan oleh adanya fase dan ukuran butir yang berbeda. Hal ini terlihat dari Gambar 5. Menunjukkan struktur mikro pada spesimen sebelum dan sesudah di *hardening* dengan suhu 800° C dan 850° C serta didinginkan menggunakan media pendingin oli.



Gambar 5. Struktur mikro baja paduan rendah sebelum dan sesudah di *hardening* dengan suhu 800 ° C dan 850 ° C menggunakan media pendingin oli.

Gambar 5. Menunjukkan struktur mikro pada baja paduan rendah sesudah dan sebelum di *hardening* menggunakan pendinginan dengan media oli. Dapat dilihat bahwa struktur mikro pada Gambar (a) yaitu *raw material* didapatkan unsur *chrome*. Selanjutnya, struktur mikro sesudah dilakukan proses *hardening*. Pada Gambar (b) dengan suhu 800° C terbentuk struktur *martensite* yang lebih banyak dan Gambar (c) dengan suhu 850° C terbentuknya struktur *martensite* yang bersifat keras serta adanya struktur *bainit* yang memiliki sifat lunak dan unsur *chrome* yang berdifusi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, pengamatan dan analisa data maka dapat menyimpulkan bahwa besarnya temperatur pada saat *hardening* sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah. Hasil uji kekerasan pada baja paduan rendah, sampel *raw material* sebesar 364,5 HV, Pada perlakuan panas dengan suhu 800° C sebesar 389,2 HV dan 850° C sebesar 414,6 HV. Kekerasan baja paduan rendah yang diberi perlakuan panas dengan suhu 850° C lebih tinggi dibandingkan dengan lainnya. spesimen yang di *hardening* dengan temperatur 850° C memiliki sifat paling lunak dibandingkan dengan yang lainnya karena memerlukan energi *impact* lebih tinggi. Perlakuan panas dari sampel baja paduan rendah dengan temperatur 800° C dan 850° C selama 15 menit dengan media pendinginan oli memberikan efek perubahan struktur mikro dari baja. Hasil pengamatan struktur mikro sebelum diberi perlakuan panas menghasilkan butir-butir *chrome* dan bainit, setelah diberi perlakuan panas dengan perbedaan suhu dan media pendinginan oli menghasilkan butir-butir *chrome*, martensit dan *bainit* yang homogen.

PERNYATAAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta yang telah memberikan fasilitas dalam menyelesaikan penelitian ini. Terimakasih juga kepada Universitas Brawijaya yang telah memberikan kes-empatan untuk mempublikasikan karya ilmiah ini sehingga dapat dibaca oleh masyarakat secara luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. KELES and M. YILDIRIM, “*Improvement of mechanical properties by means of titanium alloying to steel teeth used in the excavator*,” Eng. Sci. Technol. An Int. J., vol. 23, no. 5, pp. 1208–1213, 2020.
- [2] S. H. SURYO, A. P. BAYUSENO, J. JAMARI, and M. A. R. RAMADHAN, “*Analysis of AISI material power of AISI 4140 bucket teeth excavator using influence of abrasive wear*,” in AIP Conference Proceedings, 2018, vol. 1977, pp. 30022–9.
- [3] Z.-M. LI et al., “*Effect of coiling and annealing temperatures on yield point behavior of low - carbon steel*,” J. Iron Steel Res. Int., vol. 27, no. 3, pp. 325–333, 2019.
- [4] O. O. AGBOOLA et al., “*Optimization of heat treatment parameters of medium carbon steel quenched in different media using Taguchi method and grey relational analysis*,” Heliyon, vol. 6, no. July, p. e04444, 2020.
- [5] MARGONO, B. H. PRIYAMBODO, and K. C. NUGROHO, “*Pengaruh Laju Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon S45C*,” Creat. Res. Eng., vol. 1, no. 1, pp. 19–23, 2021.
- [6] A. O. O. A. A. Adeleke, P. P. Ikubanni, T. A. Orhadahwe, J. O. Aweda, J. K. Odusote, “*Microstructural assessment of AISI 1021 steel under rapid cyclic heat treatment process*,” Results Eng., vol. 4, no. 9, pp. 100044–4, 2019.
- [7] A. A. ADELEKE et al., “*Tensile strength and micro-structural behavior f medium carbon steel quenched in some selected media*,” Int. J. Civ. Eng. Technol., vol. 9, no. 10, pp. 2148–2156, 2018.
- [8] AWEDA, T. A. J.O., ORHADAHWE, and I. . OHIJEAGBON, “*Rapid Cyclic Heating of Mild Steel and its Effects on Microstructure and Mechanical properties*,” in IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018, vol. 413, p. 12016.
- [9] S. V, P. DINESH, and S. B. PATIL, “*Study of Mechanical Properties of Steel Quenched in a Blend of Biodegradable Oils with Quench Accelerators*,” IJLTEMAS, vol. 5, no. 5, pp. 20–24, 2016.
- [10] F. X. DING, L. . LAN, Y. . YU, and M. K. MAN, “*Experimental study of the effect of a slow-cooling heat treatment on the mechanical properties of high strength steels*,” Constr. Build. Mater., vol. 241, no. 1, pp. 118020–12, 2020.
- [11] M. KADOWAKI, I. MUTO, H. KATAYAMA, H. MASUDA, Y. SUGAWARA, and N. HARA, “*Effectiveness of an intercritical heat-treatment on localized corrosion resistance at the microstructural boundaries of medium-carbon steels*,” Corros. Sci., vol. 154, no. April, pp. 159–177, 2019.
- [12] P. P. IKUBANNI, A. A. ADEDIRAN, A. A. ADELEKE, K. R. AJAO, and O. O. AGBOOLA, “*Mechanical Properties Improvement Evaluation of Medium Carbon Steels Quenched in Different Media*,” Int. J. Eng. Res. Africa, vol. 32, no. 9, pp. 1–10, 2017.
- [13] 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. 9, pp. 4186–16, 2020.

- [14] N. T. ATMOKO, MARGONO, and B. H. PRIYAMBODO, "Analisa Pengaruh Penambahan Mn 1,3% dan Prose Quenching pada Besi Cor Kelabu Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro," *Rotasi*, vol. 23, no. 3, p. 88, 2021.
- [15] M. NOUROOZI, H. MIRZADEH, and M. ZAMANI, "Effect of microstructural refinement and intercritical annealing time on mechanical properties of high-formability dual phase steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 736, no. 8, pp. 22–26, 2018.
- [16] B. C. KANDPAL et al., "Effect of heat treatment on properties and microstructure of steels," *Mater. Today Proc.*, vol. xxx, no. xxxx, pp. 1–7, 2020.
- [17] A. PANGALINAN and R. J. DIMU, "Pengaruh Hardening Dengan Media Quenching Fluida Getah Pohon Pisang Terhadap Struktur Mikro Dan Komposisi Kimia Baja Karbon Sedang," *Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 8, pp. 131–138, 2019.
- [18] YURIANTO, PRATIKTO, R. SOENOKO, and W. SUPRPTO, "Optimasi Parameter Quenching dan Tempering pada HRP Steel Lokal sebagai Baja Armor Nasional," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 143–148, 2018.
- [19] J. YANG, F. HUANG, Z. GUON, Y. RONG, and N. CHEN, "Effect of retained austenite on the hydrogen embrittlement of a medium carbon quenching and partitioning steel with refined microstructure," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 665, no. 4, pp. 76–85, 2016.
- [20] A. KARMAKAR et al., "Effect of Cooling Rate and Chemical Composition on Microstructure and Properties of Naturally Cooled Vanadium-Microalloyed Steels," *Metall. Mater. Trans. A*, vol. xxx, no. 1, pp. 1–15, 2017.
- [21] G. SINGH, "A review on effect of heat treatment on the properties of mild steel," *Mater. Today Proc.*, vol. xxx, no. xxxx, p. xxx, 2020.
- [22] S.-J. JIA, B. LI, Q.-Y. LIU, Y. REN, S. ZHANG, and H. GAO, "Effects of continuous cooling rate on morphology of granular bainite in pipeline steels," *J. Iron Steel Res. Int*, vol. xxx, no. 2, p. xxxx, 2020.
- [23] S. PASHANGEH, S. S. G. BANADKOUKIA, and M. C. SOMANI, "Abnormal mechanical response in a silicon bearing medium carbon low alloy steel following quenching and bainitic holding versus quenching and partitioning treatment," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 5007–5023, 2020.
- [24] A. SAASTAMOINEN, A. KAIJALAINEN, J. HEIKKALA, D. PORTER, and P. SUIKKANEN, "The effect of tempering temperature on microstructure , mechanical properties and bendability of direct-quenched low-alloy strip steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 730, no. 4, pp. 284–294, 2018.
- [25] ASSISTANT PROF. DR. ZEYAD D. KADHIM, "Effect of Quenching Media on Mechanical Properties for Medium Carbon Steel," *J. Eng. Res. Appl.*, vol. 6, no. 8, pp. 26–34, 2016.
- [26] W. LIU, M. ZANG, Z. ZHENG, and Q. WANG, "Influence of Cooling Process on Microstructure and Property of Low- Carbon V – N Micro-alloyed Medium and Heavy High-Strength Steel," *Metallogr. Microstruct. Anal.*, vol. 7, no. 4, pp. 434–442, 2018.
- [27] B. H. PRIYAMBODO, MARGONO, K. C. NUGROHO, N. T. ATMOKO, and R. I. YAQIN, "Effect of Oil Quenching and Shot Peening to Improve Hardness Behavior of S45C Carbon Steel," *Mater. Sci. Forum*, vol. 1067, pp. 27–33, 2022.