



Research article

## Pengaruh Heat Treatment terhadap Mikrostruktur dan Kekerasan pada Material *Low Carbon Steel ST-37*

*Atik Setyani*<sup>1\*</sup>, *Hendy Roesma Wardhana*<sup>1</sup>, *Mansyur Abdul Shaleh*<sup>1</sup>, *Stephanus Yoshi Kristanta*<sup>1</sup>, *Firmansyah Ismudian Syahidin*<sup>1</sup>, *Nixon Carlotta*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Indonesia

\*Corresponding author: [atik.setyani@upnyk.ac.id](mailto:atik.setyani@upnyk.ac.id)

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received : 17 October 2023

Revised : 08 January 2024

Accepted : 04 June 2024

Available online: 12 July 2024

**Keywords:** Heat Treatment, Low Carbon Steel, Ferrite, Hardness dan Ship Hull

### ABSTRACT

*Airfoil The low-carbon steel material ST-37 is one of the prospective materials to be developed in shipping applications, including ship hulls. However, treatment is needed to increase its toughness and strength, which is currently one of the challenges in ship material fabrication. Therefore, in this research, the study of the heat treatment of the ST-37 material has been carried out. The ST-37 low-carbon steel material was homogenized at a temperature of 800 °C for 1 hour, followed by air cooling. Next, the material is austenitized at 850 °C and 870 °C for 15 minutes and then quenched using water. Samples were characterized using XRD for phase identification, metallography, and micro Vickers testing for hardness analysis. Microstructural test results show that after heat treatment, an acicular ferrite phase forms, retained austenite, and a reduction in grain size. Microstructural analysis was carried out using a metallography process using NaOH. Furthermore, from the XRD test results, it is known that peaks are indicating the formation of a ferrite phase with hkl  $\alpha$  (111),  $\alpha$  (200) dan  $\alpha$  (220). After that retained austenite phase confirmed with hkl  $\gamma$  (220). Microvickers test results show an increase in hardness in samples that have been heat-treated from 129.53 HVN to 308.2 HVN as 850 °C and 312.5 HVN as 870 °C. The sample's hardness increases through the mechanism of strengthening grain boundaries and precipitation.*

## ABSTRAK

**Kata Kunci:** Perlakuan Panas, Baja Karbon Rendah, Ferit, Kekerasan dan Lambung Kapal p

Airfoil Material *low carbon steel* ST-37 menjadi salah satu material yang prospektif untuk dikembangkan dalam berbagai aplikasi perkapalan diantaranya lambung kapal. Namun disisi lain diperlukan *treatment* guna meningkatkan ketangguhan serta kekuatannya yang sampai saat ini menjadi salah satu tantangan dalam fabrikasi material kapal. Oleh karena itu, pada penelitian ini telah dilakukan pengkajian tentang perlakuan panas pada material ST-37. Material *low carbon steel* ST-37 dihomogenisasi pada temperatur 800 °C selama 1 jam diikuti dengan pendinginan udara. Selanjutnya material diaustenisasi pada temperatur 850 °C dan 870 °C selama 15 menit kemudian dilakukan pendinginan cepat menggunakan media air. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengidentifikasi fasa, pengujian metalografi dan uji kekerasan menggunakan microvickers. Hasil pengujian mikrosotruktur menunjukkan bahwa setelah perlakuan panas terjadi pembentukan fasa ferit acicular, retained asutenit dan pengecilan ukuran butir. Analisa struktur mikro dilakukan dengan proses metalografi menggunakan esta NaOH. Selain itu identifikasi fasa juga terkonfirmasi melalui pengujian XRD yang diketahui terdapat puncak dengan hkl fasa ferit  $\alpha$  (111),  $\alpha$  (200) dan  $\alpha$  (220). Sedangkan fasa reatined austenit terkonfirmasi pada hkl  $\gamma$  (220). Hasil pengujian microvicekrs menunjukkan peningkatan kekerasan pada sampel yang telah diberikan perlakuan panas dari 129.53 HVN menjadi 308.2 HVN pada sampel 850 °C dan 312.5 HVN pada sampel 870 °C . Peningkatan kekerasan pada sampel terjadi melalui mekanisme penguatan batas butir dan presipitasi.

## 1. PENDAHULUAN

Material yang kuat dan tangguh sangat diperlukan pada berbagai aplikasi yang umumnya mengalami pembebanan dan mensyaratkan keamanan tinggi seperti material untuk lambung kapal. Pada aplikasi lambung kapal, material akan mengalami banyak pembebanan secara statis maupun dinamis serta akan mengalami impact yang cukup tinggi. Material yang kuat dan tangguh akan mengoptimalkan rancangan konstruksi kapal sehingga performa, keamanan dan lifetime kapal akan meningkat. Beberapa material yang digunakan untuk aplikasi lambung kapal diantaranya baja, komposit maupun paduan aluminium. Hal tersebut tergantung oleh jenis dan ukuran kapal yang akan dikembangkan [1].

Low carbon steel ST-37 memiliki komposisi karbon kurang dari 0,3 %, sebagai salah satu material yang menurut ABS memiliki prospek untuk dikembangkan menjadi lambung kapal. Baja karbon rendah memiliki sifat mekanis, formability yang baik dan juga dapat direkayasa sifatnya melalui perlakuan panas atau heat treatment [2]. Namun disisi lain baja karbon rendah memiliki kecenderungan kekerasan yang rendah sehingga rentan terhadap keausan yang berlebih, fatigue failure, dan dapat memperpendek lifetime kapal. Dari segi ekonomi, hal itu mendorong meningkatnya biaya perawatan yang berdampak pada operasional cost dan penurunan performa kapal. Material baja ST-37 dapat ditingkatkan kekutan dan ketangguhannya melalui penambahan unsur menjadi baja paduan rendah dan juga dapat dilakukan modifikasi strukturmikro melalui heat treatment guna membentuk fasa-fasa yang

dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan material [3]. Nauval et al [4], menyebutkan bahwa pemberian perlakuan panas dengan memvariasikan media pendingin telah berhasil menghasilkan fasa ferit baru yang dikenal dengan ferit acicular. Mikrostruktur ferit acicular terbentuk antara ferit dan bainit, dengan morfologi random oriented ferrite needle yang memiliki struktur saling mengunci. Kimura et al [5] melakukan peningkatan material paduan low alloyed high strength steels yang memiliki kecenderungan transformasi sifat dari ulet menjadi getas pada temperatur tinggi melalui perlakuan tempforming. Tempforming yang dilakukan oleh kimura et al., [5] meliputi perpaduan perlakuan warm rolling, quenching dan tempering yang menghasilkan butir sangat halus bermorfologi lamelar dengan orientasi 001 yang berdampak pada peningkatan ketangguhan material. Sedangkan penelitian lain yang dilakukan oleh Hou et al., [6] melakukan multi step heat treatment untuk meningkatkan ketangguhan baja.

Oleh karena itu pada penelitian ini mempelajari pengaruh perlakuan panas austenisasi terhadap mikrostruktur dan kekerasannya. Temperatur austenisasi dipilih pada 850 dan 870 °C saat paduan berada didaerah satu fasa austenit. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan pemahaman mengenai pembentukan fasa dan korelasinya terhadap peningkatan kekerasan material melalui perlakuan panas. Penelitian ini juga dapat menjadi dasar pengkajian untuk mempelajari laju pendinginan yang tepat guna memperoleh fasa yang dapat meningkatkan sifat mekanis material.

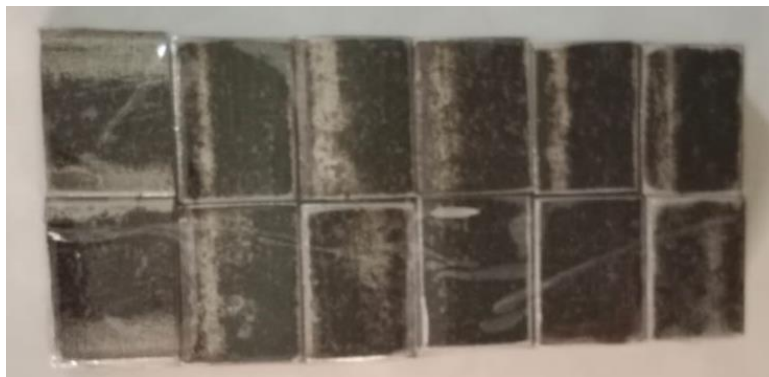
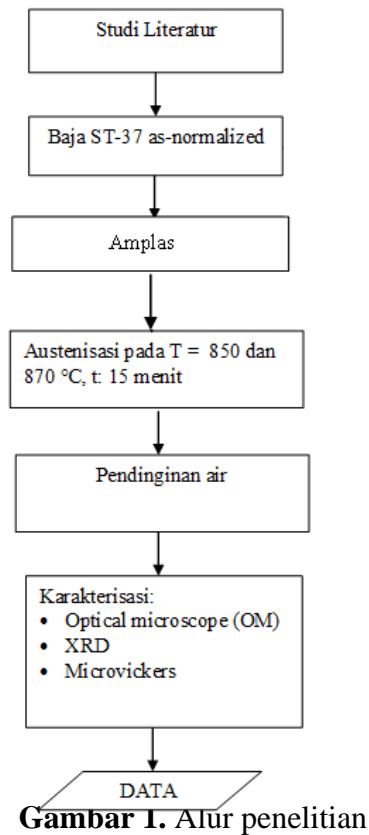
## 2. METODE PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah ST-37 dengan komposisi kimia seperti pada Tabel 1. Secara skematis tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan material baja ST-37 pada Gambar 2.

**Tabel 1.** Komposisi Baja ST-37 [7]

Unsur	C	Fe	Mn	P	S
wt . %	0.14-0.2 %	98.81-99.26 %	0.6-0.9%	≤ 0.04%	≤ 0.05%

Tahapan penelitian dimulai dengan pemotongan sampel menggunakan gerinda tangan yang dialiri air secara kontinu untuk mencegah terjadinya perubahan temperatur yang berpotensi menyebabkan perubahan struktur mikro akibat panas yang muncul saat pemotongan. Sampel yang telah dipotong diampelas kemudian di cuci menggunakan alkohol untuk menghilangkan impurities. Heat treatment dilakukan menggunakan muffle furnace pada temperatur 850 dan 870 °C selama 15 menit kemudian di dinginkan menggunakan media air. Untuk selanjutnya sampel perlakuan panas pada temperatur 850 °C disebut dengan A0 dan sampel 870 °C disebut dengan A1. Proses *heat treatment* dilakukan dengan *double* termokopel untuk memastikan keabsahan temperatur sampel. Sampel kemudian dilakukan karakterisasi mikrostruktur melalui tahapan metalografi yaitu pengamplasan, pemolesan dan etsa menggunakan NaOH selama 15 detik. Pengamatan mikrostruktur dilakukan di laboratorium UGM Lab Bahan Teknik Lab Vokasi Teknik Mesin. Selain itu sampel juga dilakukan pengujian kekerasan menggunakan instrumen microvickers dengan beban 200 gf dan waktu indentasi selama 5 detik.



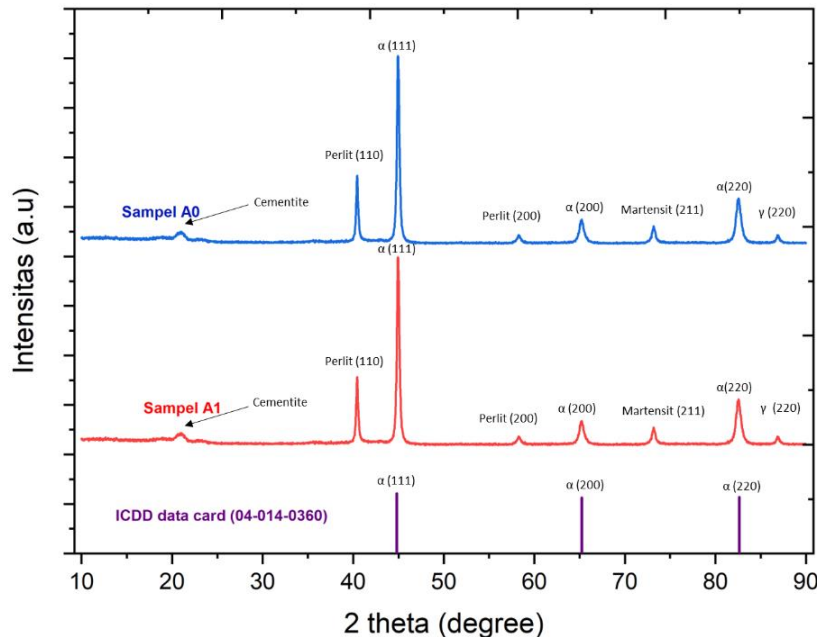
**Gambar 2.** Material baja ST-37 yang akan diuji dan diberikan perlakuan.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Identifikasi Fasa ST-37 Setelah Perlakuan Panas

Identifikasi fasa pada sampel dilakukan menggunakan XRD. Difraktogram hasil pengujian sampel ST-37 variasi perlakuan temperatur austenisasi ditampilkan pada Gambar 3. Dari hasil pengujian XRD terlihat dengan jelas bahwa sampel dengan perlakuan austenisasi A0 dan A1 memiliki puncak yang berbeda dengan sampel ST-37 tanpa perlakuan. Difraktogram sampel tanpa perlakuan mengacu pada database ICDD data card 04-014-0366, dimana ST-37 memiliki puncak pada 44.82; 65.23 dan 82.63 yang kesemuanya merupakan fasa  $\alpha$  ferit dengan hkl  $\alpha$  (111),  $\alpha$  (200) dan  $\alpha$  (220) [8]. Dari difraktogram hasil pengujian yang dilakukan mengkonfirmasi bahwa sampel

setelah perlakuan assutenisasi baik pada temperatur 850 °C (A0) dan 870 °C (A1) memiliki puncak yang hampir sama. Masing-masing puncak sampel A0 dan A1 yaitu 21.048; 40.042; 44.94; 58.22; 65.19; 73.27; 82.44; 86.96 dan 21.37; 40.442; 44.87; 58.28; 65.25; 73.42; 82.54 dan 87.17. Kemiripan puncak pada kedua sampel dimungkinkan karena perbedaan temperatur perlakuan yang tidak begitu signifikan sehingga tidak menyebabkan adanya perubahan yang relatif banyak. Hal ini seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Hou et al., [6] pada baja karbon rendah yang memvariasikan temperatur perlakuan panas pada . Hasil menunjukkan bahwa, perlakuan panas berpengaruh terhadap fasa yang terbentuk, kestabilan dan fraksi volumenya. Hal ini berhubungan dengan transformasi fasa dimana fasa yang terbentuk akan sangat dipengaruhi oleh perlakuan panas yang diberikan.

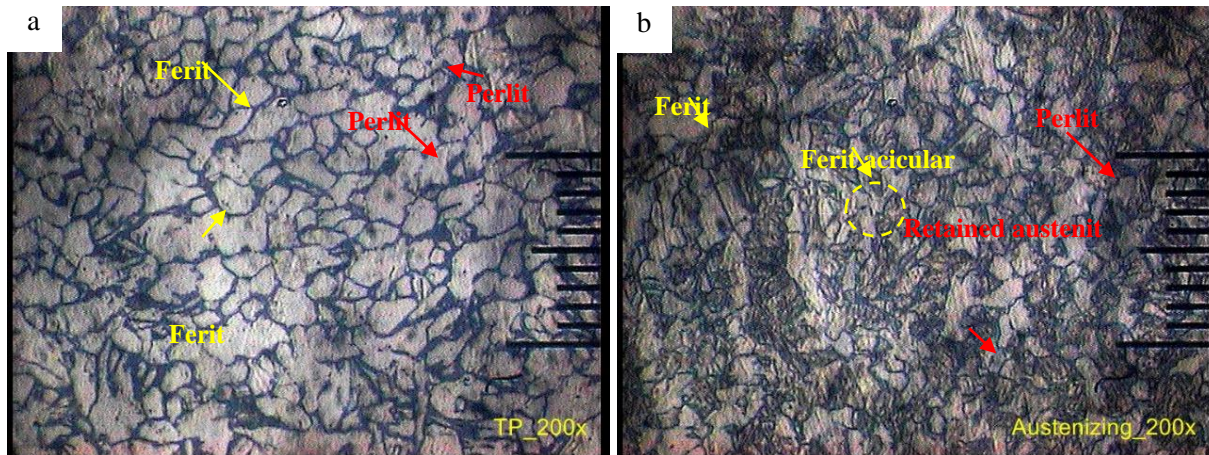


**Gambar 3.** Difraktogram XRD sampel ST-37 Variasi Temperatur Austenisasi pada 850 °C (A0) dan 870 °C (A1).

Dari hasil analisa menunjukkan bahwa pada sampel A0 dan A1 terkonfirmasi adanya fasa cementit yang ditandai dengan adanya puncak 21.048 dan 21.37. Sementit merupakan fasa  $Fe_3C$  atau sering dikenal dengan besi karbida yang terbentuk ketika batas kelarutan karbon dalam  $\alpha$ -ferit terlewati. Fasa lain yang ditemukan pada sampel A0 dan A1 adalah fasa ferit dengan hkl  $\alpha$  (111),  $\alpha$  (200) dan  $\alpha$  (220) pada teta 44.94; 65.19; dan 82.44 untuk sampel A0 dan 44.87; 65.25; 82.54 untuk sampel A1. Sedangkan fasa perlit terkonfirmasi muncul pada kisaran sudut 40.042; 58.22 dengan hkl (110) dan (200). Selain itu juga ditemukan puncak yang mengindikasikan adanya retained fasa austenit pada hkl  $\gamma$  (220). Pengujian sesuai dengan jcpds card No 96-901-3415. Difraktogram sampel A0 dan A1 memiliki kesesuaian dengan sampel low carbon steel pada penelitian Jia et al [9], dimana terdapat fasa ferit muncul lah pemberian treatment. Penelitian serupa juga disampaikan oleh Abbasi et al [10] dimana terdapat fasa ferit yang muncul setelah perlakuan aniling dengan memvariasikan temperatur dan laju pendinginan.

### 3.2 Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Mikrostruktur dan Kekerasan Low Carbon Steel ST-37

Pengujian foto mikro dilakukan pada sampel tanpa perlakuan dan dengan perlakuan pada temperatur *heat treatment* 870 °C. Foto mikro kedua sampel ditampilkan pada Gambar 4, terlihat dengan jelas bahwa terjadi perubahan ukuran butir pada sampel setelah perlakuan panas. Sampel as normalized memiliki ukuran butir rata-rata 10.51  $\mu\text{m}$ , dan setelah perlakuan asutenisasi pada temperatur 870 °C menjadi 5.39  $\mu\text{m}$ . Perubahan ini mengkonfirmasi bahwa pendinginan dan media yang digunakan mampu menyebabkan fasa mengalami pengecilan butir. Hal ini sejalan dengan penelitian Kandpal et al [11] pada penelitiannya tentang pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mikrostruktur baja. Pengecilan butir disebabkan oleh mekanisme *grain boundaries strengthening mechanism* dan menyebabkan peningkatan kekerasan material. *Grain boundaries strengthening mechanism* disebabkan oleh karena ukuran butir yang kecil akan cenderung membatasi dislokasi sehingga kekuatan semakin meningkat. Selain itu terlihat fasa ferit *interlocking* pada Gambar 4b yang memiliki kemiripan dengan fasa ferit acicular pada penelitian Naufal et al [4], Jacob et al [12], Zhou et al [13] dan Wang et al [14].



**Gambar 4.** Foto mikro sampel baja ST-37 dengan perbesaran 200x pada keadaan (a) as-normalized dan (b) austenisasi pada temperatur 870 °C.

Fasa ferit acicular memiliki morfologi *interlocking* yang menyebabkan kekerasan semakin meningkat. Fasa ini memiliki sifat kuat dan umumnya ditemukan pada paduan low carbon steel dan HSLA dengan perlakuan tertentu. Dari hasil pengujian dan identifikasi fasa, diketahui bahwa sampel setelah perlakuan terdiri dari fasa sementit, ferit, perlit dan retained austenit. Nukleasi ferit acicular berawal dari butir asutenit yang mengalami pendinginan dengan laju tertentu. Transformasi fasa ferit acicular memiliki mekanisme transformasi yang relatif sama dengan transformasi fasa austenit menjadi bainit. Pada diagram CCT fasa ferit acicular berada diantara perlit dan bainit. Pada penelitian Naufal et al. [4] menyebutkan bahwa fasa ferit acicular dapat terbentuk apabila paduan didinginkan diatas laju pendinginan kritis sehingga tidak terbentuk fasa martensit yang cenderung keras. Media pendingin memiliki peran penting dalam mengontrol laju pendinginan sehingga pemilihan media yang tepat akan mengoptimalkan pembentukan fasa ferit acicular. Sedangkan untuk retained austenit terbentuk karena sisa dari transformasi fasa austenit setelah di quenching.

Fasa ferit acicular menurut Naufal et al. [4] memiliki sifat mekanis yang baik. Fasa ini diharapkan muncul pada material yang diberikan perlakuan *heat treatment* dan *quenching* serta

memiliki komposisi tertentu. Dari hasil pengujian microvickers diketahui bahwa sampel kekerasan sampel ST-37 meningkat setelah perlakuan panas. Hal ini sejalan dengan analisis struktur mikro dan XRD dimana sampel setelah perlakuan panas mengalami pengecilan butir dan munculnya fasa ferit acicular. Nilai kekerasannya masing-masing adalah 129.53 HVN untuk sampel tanpa perlakuan. Sedangkan kekerasan sampel A0 dan A1 setelah perlakuan panas masing-masing 308.2 dan 312.5 HVN. Peningkatan kekerasan terjadi melalui mekanisme *grain boundaries strengthening* dan *precipitation hardening* dimana semakin kecil ukuran butir kekerasan akan meningkat oleh karena pergerakan dislokasi yang semakin terbatas. Munculnya fasa ferit acicular dan retained austenit juga turut serta berkontribusi dalam peningkatan kekerasan material. Fenomena serupa dijumpai oleh Hou et al [6] dan Naufal et al [4], dimana kekerasan mengalami peningkatan setelah paduan diberikan perlakuan panas dan berkorelasi dengan ukuran butir dan fasa yang terbentuk.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas pada kedua sampel menyebabkan terbentuknya fasa *ferit acicular*, *cementit* dan *retained austenite* yang teridentifikasi melalui pengujian XRD dan pengamatan mikrostruktur paduan. Fasa ferit melalui analisis mikrostruktur terlihat memiliki morfologi *interlocking* dan turut serta berkontribusi dalam peningkatan kekerasan material. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan adanya peningkatan kekerasan setelah diberikan perlakuan panas yaitu dari 129.53 HVN menjadi 312.5 HV.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UPN Veteran Yogyakarta yang telah memberikan pendanaan melalui skema riset penelitian dosen pemula tahun 2023.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. A Bajakke, V. R Malik, S. C Jambagi dan A. S. Deshpande, "Corrosion behavior of novel AA1050/ZnO surface composite: A potential material for ship hull," Mater. Lett 281 (2020)
- [2] L Cao, M Li, J Zhang, G Lin, B Gong, X Mao, L Zhang dan Y Li, "Study on Deterioration Characteristics of Low-Carbon Steel's Mechanical Properties and Fracture Mechanism under Marine Engineering Environment," Adv. Civ. Eng. vol. 2021
- [3] S. Dewangan, V. V. Nemade, K. H. Nemade, P. M. Bohra, S. R. Kartha dan M. K Chowrasia, A discussion on mechanical behaviour of Heat-Treated low carbon steel, Material Today Proceedings, Vol. 63, (2022)
- [4] F Naufal, D Firdaus, N Prasiwi, B.T Sofyan dan M Ariati, "Effect of Acicular Ferrite Produced by Heat Treatment on Toughness of API 5L X65 Steel Pipe", IJAST, 2014.
- [5] Y. Kimura, T. Inoue, Mechanical property of ultrafine elongated grain structure steel processed by warm tempforming and its application to ultra-high-strength bolt, ISIJ Int. 60 (6) (2020) 1108–1126
- [6] W. Hou, Q. Liu, J. Gu, Nano-sized austenite and Cu precipitates formed by using intercritical tempering plus tempering and their effect on the mechanical property in a low carbon Cu bearing 7 Ni steel, Mater. Sci. Eng., A 780 (2020), 139186.
- [7] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6115> diakses pada 9 Oktober 2023 pukul 10.41 WIB

- [8] D. Aryanto, T Sudiro, dan A. S Wismogroho, Correlations between Structural and Hardness of Fe-50%Al Coating Prepared by Mechanical Alloying, *Journal of Technical Engineering: Piston* Vol. 1, No. 2, (2018)
- [9] N. Jia, Y. F. Shen, J. W. Liang, X. W. Feng, H. B. Wang dan R. D. K. Misra, Nanoscale spheroidized cementite induced ultrahigh strength-ductility combination in innovatively processed ultrafine-grained low alloy medium-carbon steel, *Scientific Reports* 7: 2679, 2017
- [10] E Abbasi dan W. M. Rainforth, Effect of NbMo Addition on the Precipitation Behaviour of V Microalloyed Steel during Intercritical Annealing, *International Journal of ISSI*, Vol. 15(2018)
- [11] C. Kandpal, B., Gupta, D. K., Kumar, A., Kumar Jaisal, A., Kumar Ranjan, A., Srivastava, A., & Chaudhary, P. (2020). *Effect of heat treatment on properties and microstructure of steels. Materials Today: Proceedings.*
- [12] L. R. Jacobo<sup>1</sup> · R. García-Hernández<sup>1</sup> · V. H. López-Morelos<sup>1</sup> · A. Contreras, Effect of Acicular Ferrite and Bainite in API X70 Steel Obtained After Applying a Heat Treatment on Corrosion and Cracking Behaviour
- [13] W. H. Zhou, X.L. Wang, P.K.C. Venkatsurya, H. Guo, C.J. Shang dan R.D.K. Misra, Structure–mechanical property relationship in a high strength low carbon alloy steel processed by two-step intercritical annealing and intercritical tempering, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 607, (2014)
- [14] X. Wang, C. Wang, J. Kang, G. Yuan, R.D.K. Misra dan G. Wang, An in-situ microscopy study on nucleation and growth of acicular ferrite in Ti-Ca-Zr deoxidized low-carbon steel, *Journal Material Characterization*, Vol. 165, (2020)