

PENGARUH KECEPATAN PENDINGINAN BAJA FASA GANDA Fe-Ni HASIL TEMPA PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN NILAI KEKERASAN

THE EFFECT OF COOLING RATE OF HOT FORGED Fe-Ni DUAL PHASE STEEL ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES

Muhammad Yunan Hasbi*, Toni Bambang Romijarso, Permana Andi Paristiawan

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Gd. 470, Puspiptek, Setu, Tangerang Selatan, Banten

Diterima: 7 Oktober 2020

Direvisi: 2 Nopember 2020

Disetujui: 21 Desember 2020

ABSTRAK

Kebutuhan material baja dengan berbagai kombinasi sifat mekanik menjadi isu yang sangat penting dalam perkembangan teknologi pada berbagai bidang. Kombinasi sifat mekanik tersebut dapat diwujudkan antara lain melalui mekanisme modifikasi fasa atau struktur mikro dalam suatu material. Berbagai teknik untuk memodifikasi fasa telah banyak dikembangkan, salah satu diantaranya melalui proses perlakuan panas. Penelitian ini membahas pengaruh variasi penggunaan media pendingin terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan baja Fe-Ni. Sampel baja yang digunakan merupakan baja hasil proses tempa panas dengan pembebanan 100 ton pada suhu 1000°C. Sampel baja hasil tempa dipanaskan kembali pada suhu diantara Ac1 dan Ac3 yaitu 780 °C selama 1 jam. Kemudian masing-masing sampel dilanjutkan dengan proses pendinginan menggunakan beberapa media pendingin diantaranya udara, oli dan air. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, sampel baja *as-cast* dan baja pendinginan udara memiliki struktur mikro berupa ferit-perlit. Fasa ganda ferit-martensit terbentuk pada sampel dengan pendingin oli dan air dengan morfologi dan fraksi area yang berbeda. Bentuk fasa martensit yang dihasilkan media pendingin air cenderung berbentuk *lath* halus, sedangkan media pendingin oli menghasilkan fasa martensit berbentuk blok. Selanjutnya, fraksi area fasa ferit-martensit yang terbentuk juga dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan. Fraksi area martensit memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan pendinginan. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap nilai kekerasan; sampel baja hasil pendinginan dengan media air memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu 520 HV.

Kata kunci: baja Fe-Ni, tempa panas, fasa ganda, media pendingin

ABSTRACT

The need for steel materials with various combinations of mechanical properties is a very important issue in technological developments in various fields. The combination of mechanical properties can be realized, among others, by means of phase modification mechanisms or microstructure in a material. Various techniques for modifying the phase have been developed, one of which is through the heat treatment process. This study discussed the influence of variations in the use of cooling media on the microstructure and hardness properties of Fe-Ni steel. The sample used was steel from the hot forging process with a loading of 100 tons at a temperature of 1000°C. The forged steel sample was reheated at a temperature between Ac1 and Ac3, i.e 780°C for 1 hour. Each sample was then followed by a cooling process using several cooling media, including air, oil and water. Based on the analysis that was carried out, the as-cast and air-cooled steel samples had a ferrite-pearlite microstructure. The ferrite-martensite dual-phase microstructure was formed in samples with oil and water cooling media with different morphology and area fractions. The martensite phase formed by the water quench appeared to be a fine lath, while the oil quench produced a block-shaped martensite phase. Furthermore, the fraction of the ferrite-martensite phase area formed was also affected by the cooling rate. The fraction of the martensite area tended to increase with the increase in the cooling rate. This condition affected the hardness value, where the steel sample from cooling with water media had the highest hardness value, i.e 520 HV.

Keywords: Fe-Ni steel, hot forging, dual phase, cooling media

*Corresponding author

Email: muha135@lipi.go.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v10i2.178>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi terutama material untuk aplikasi otomotif selalu menjadi perhatian yang menarik di berbagai kalangan. Setiap industri melalui divisi riset dan pengembangan berlomba menghasilkan material dengan karakteristik yang kuat dan ringan untuk mengatasi isu efisiensi bahan bakar guna mengurangi emisi gas buang. Salah satu teknologi yang digunakan dalam pembuatan material otomotif baik itu badan mobil, *crank shaft*, *arm* dan lain sebagainya yaitu proses tempa. Proses tempa dipilih karena mampu menghasilkan kombinasi sifat mekanik tertentu melalui modifikasi struktur mikro [1].

Seiring berjalannya waktu, teknologi modifikasi struktur mikro makin berkembang melalui berbagai rute proses untuk memenuhi kebutuhan sifat mekanik yang beraneka ragam. Salah satu proses yang saat ini banyak digunakan yaitu pemanasan fasa-ganda [2-12].

Baja fasa ganda merupakan salah satu keluarga baja kekuatan tinggi atau dikenal juga *Advanced High Strength Steel (AHSS)*. Umumnya, baja fasa ganda terdiri dari fasa ferit-martensit dengan komposisi tertentu. Beberapa penelitian menyatakan, dengan membatasi rasio ferit-martensit pada rentang 60:40 atau 70:30 dapat mempertahankan sifat keuletan [13, 14]. Namun, terdapat pula penelitian yang menyatakan bahwa kandungan martensit hingga mencapai 50% mampu menghasilkan performa yang baik [12]. Hal tersebut mengerucut pada kesimpulan bahwa dengan adanya dua fasa yang memiliki sifat berbeda justru memberikan kombinasi sifat mekanik yang saling melengkapi satu sama lain.

Rasio ferit-martensit dipengaruhi oleh kandungan karbon dan juga kecepatan pendinginan. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa, peningkatan kandungan karbon dalam proses pembuatan baja fasa ganda akan meningkatkan fraksi volum dari martensit [12].

Dengan berbagai perkembangan tersebut, penelitian ini dilaksanakan untuk mengamati pengaruh kecepatan pendinginan pada baja fasa ganda hasil tempa panas menggunakan berbagai

media pendingin terhadap morfologi struktur mikro yang terbentuk dan nilai kekerasan yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

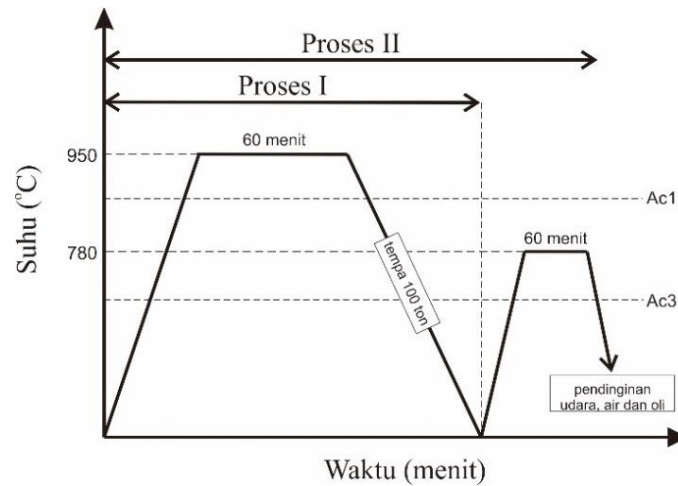
Penelitian ini menggunakan bahan baku berupa baja Fe-Ni yang dibuat menjadi bentuk silinder pejal dengan diameter 20 cm dan tinggi 20 cm. Sebelum dilakukan proses tempa panas, dilakukan pengujian komposisi kimia terhadap sampel baja dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES)* Bruker Q4 Tasman. Komposisi kimia baja Fe-Ni dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Sampel Baja Fe-Ni (% berat)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
0,27	0,32	0,48	0,68	0,03	1,13
Cu	Al	P	S	Fe	
0,02	0,05	0,04	0,03	Bal.	

Tahapan penelitian terdiri dari dua variasi proses yaitu pertama proses tempa panas tanpa melibatkan proses lain, dan kedua yaitu proses tempa panas yang dilanjutkan proses pemanasan fasa ganda menggunakan beberapa jenis media pendingin. Perbedaan media pendingin ditujukan untuk memberikan informasi terkait struktur mikro yang terbentuk pada sampel baja pada kecepatan pendinginan yang bervariasi. Pada proses tempa panas, suhu yang digunakan pada masing-masing sampel yaitu 950 °C dengan waktu tahan selama 1 jam. Pembebanan tempa yang dipilih yaitu sebesar 100 ton. Teknik tempa yang digunakan yaitu *open die forging* sebanyak satu kali siklus penempaan (*single phase forging*).

Selanjutnya pada proses kedua, sampel hasil tempa dipanaskan kembali pada suhu 780 °C selama 1 jam, dan dilanjutkan dengan proses pendinginan menggunakan media udara, oli dan air. Gambar 1 menunjukkan mekanisme proses perlakuan panas yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Mekanisme Proses Perlakuan Panas

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin AFFRI 206 RTD skala Vickers pada masing-masing sampel. Sedangkan analisis struktur mikro dilakukan menggunakan

mikroskop optik Olympus BX-53M dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk Jeol – JSM 6390A. Detail pengkodean sampel baja dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kode Sampel Penelitian

Kode sampel	Proses
As-cast	Tempa panas
100-U	Tempa panas – tempering 780 °C – pendinginan udara
100-O	Tempa panas – tempering 780 °C – pendinginan oli
100-A	Tempa panas – tempering 780 °C – pendinginan air

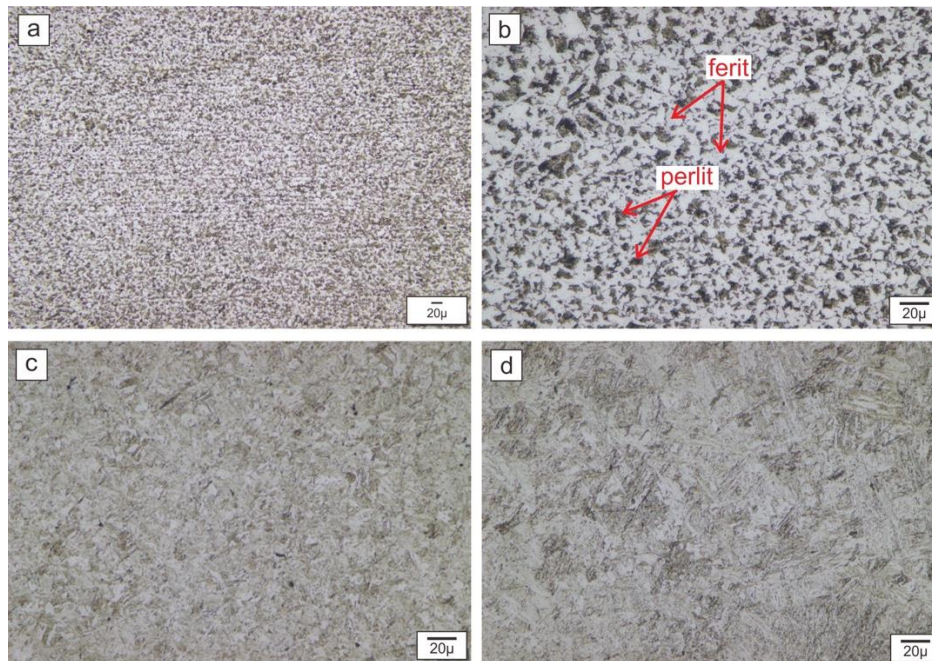
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Struktur Mikro

Gambar 2 menunjukkan struktur mikro pada masing-masing sampel baja Fe-Ni. Struktur mikro yang terbentuk pada sampel *as-cast* dan sampel 100-U adalah ferit-perlit. Dalam hal ini telah terjadi peningkatan ukuran butir ferit-perlit sampel 100-U dibandingkan sampel *as-cast*. Fenomena tersebut terjadi karena efek pemanasan kembali pada suhu 780 °C yang menyebabkan besar butir sampel baja 100-U bertambah besar. Mekanisme pemanasan fasa ganda dan dilanjutkan dengan pendinginan udara yang diterapkan pada sampel baja 100-U belum menunjukkan terbentuknya fasa ganda ferit-martensit. Hal tersebut dapat disebabkan karena tidak memenuhi syarat kecepatan pendinginan yang dibutuhkan dalam proses transformasi fasa

martensit, yaitu terbentuknya fasa martensit dalam waktu yang sangat cepat.

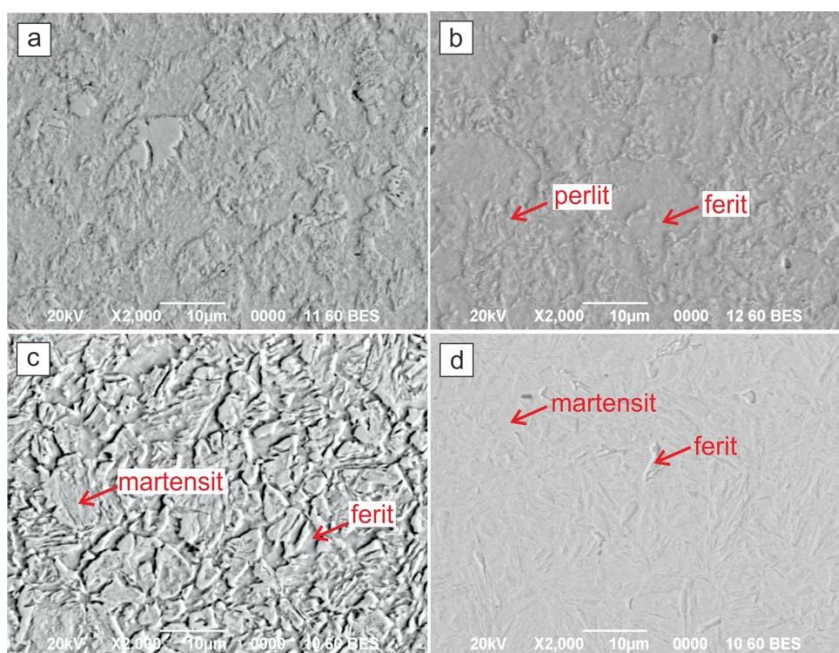
Lain halnya dengan sampel baja 100-O dan 100-A, keduanya menunjukkan adanya fasa ganda ferit-martensit. Hal tersebut disebabkan karena kecepatan pendinginan yang dihasilkan oleh media pendingin air dan oli tidak memberikan kesempatan karbon berdifusi menjadi ferit-perlit-sementit namun secara cepat bertransformasi menjadi fasa tak setimbang yaitu martensit. Secara umum, pendinginan cepat menghasilkan martensit berbentuk *lath* dengan distribusi yang cukup merata. Pendinginan yang lebih lambat akan berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan fasa austenit dalam melakukan transformasi fasa membentuk martensit. Hal tersebut yang menyebabkan ukuran martensit yang dihasilkan menjadi lebih besar dan berbentuk blok.



Gambar 2. Struktur Mikro Sampel Baja Menggunakan Etsa Nital 2%. (a) As-cast; (b) Sampel 100-U; (c) Sampel 100-O; (d) Sampel 100-A.

Lebih lanjut, untuk mengkonfirmasi perbedaan morfologi yang diperoleh masing-masing sampel maka dilakukan pengamatan menggunakan SEM dengan perbesaran yang lebih memadai. Pada Gambar 3, morfologi fasa yang dihasilkan antara sampel 100-O dan 100-A menunjukkan perbedaan yang cukup jelas. Sampel dengan media pendingin oli cenderung

menghasilkan fasa martensit berbentuk blok, sedangkan fasa hasil pendinginan air menghasilkan martensit berbentuk *lath* halus. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa morfologi pembentukan martensit dipengaruhi oleh beberapa hal dan salah satunya yaitu kecepatan pendinginan [15].

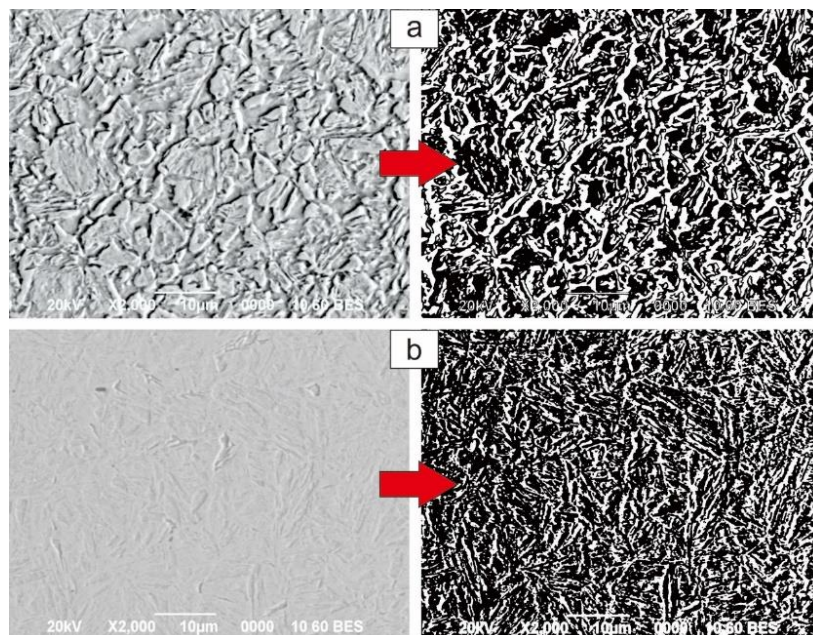


Gambar 3. Struktur Mikro Baja Fe-Ni Menggunakan SEM, Etsa Nital 2%. (a) As-cast; (b) Sampel 100-U; (c) Sampel 100-O; (d) Sampel 100-A.

Variasi kecepatan pendinginan yang dilakukan pada penelitian ini juga berpengaruh terhadap fraksi area pembentukan fasa ganda ferit-martensit. Dengan bantuan aplikasi *ImageJ*, perkiraan nilai fraksi area fasa masing-masing sampel hasil variasi media pendingin dapat diketahui. Pada sampel dengan media pendingin air, nilai fraksi area fasa ferit-martensit yang diperoleh yaitu 35,5% fasa ferit dan 64,5% fasa martensit. Sedangkan nilai fraksi area fasa ferit-martensit pada sampel dengan media pendingin oli yaitu terdiri dari 43,13% fasa ferit dan 56,87% fasa martensit. Peningkatan fraksi fasa martensit telah terjadi seiring dengan peningkatan kecepatan pendinginan. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa, tingkat kecepatan pendinginan dapat mempengaruhi suhu transformasi fasa martensit [16]. Dengan kata

lain, pada suhu yang sama media pendingin dengan kecepatan pendinginan yang tinggi akan lebih cepat menghasilkan fasa martensit dibandingkan dengan media lain yang memiliki kecepatan pendinginan lebih lambat. Dengan adanya perbedaan fraksi area fasa pada masing-masing sampel, maka akan dilakukan analisis nilai kekerasan untuk mengetahui pengaruh fraksi area terhadap nilai kekerasan sampel baja Fe-Ni.

Gambar 4 juga menunjukkan bahwa besar butir yang dihasilkan menyatakan perbedaan antara sampel dengan pendingin air dan oli. Sampel dengan media pendingin air memiliki besar butir yang lebih halus dibandingkan sampel dengan media pendingin oli. Penelitian sebelumnya menyatakan hal yang sama, bahwa kecepatan pendinginan akan memperhalus butir pada fasa yang terbentuk [17].



Gambar 4. Fraksi Area Fasa Ferit-Martensit pada Sampel Baja Fe-Ni. (a) Media Pendingin Oli; (b) Media Pendingin Air. Area Gelap Mewakili Martensit, Area Terang Mewakili Ferit.

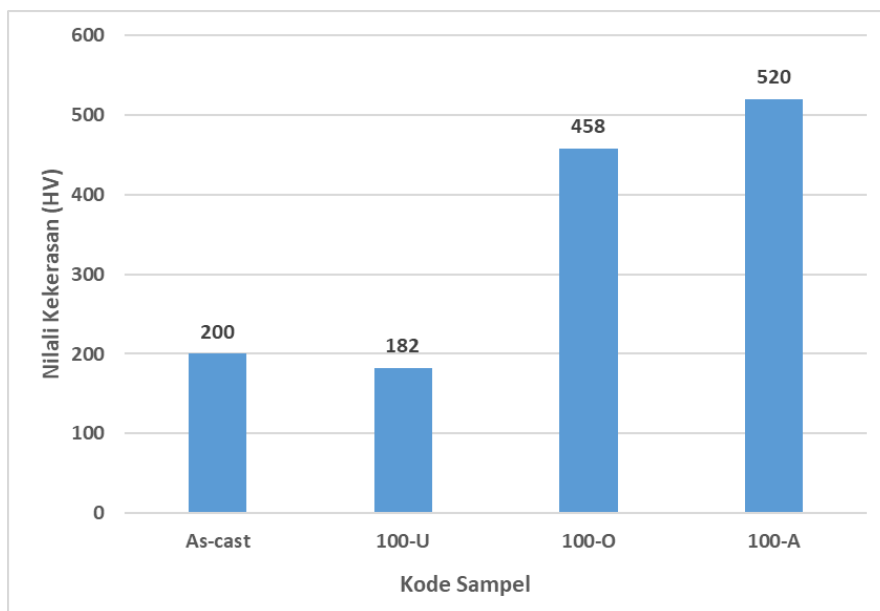
Analisis Sifat Mekanik

Dalam penelitian ini, pengaruh media pendingin dan pembentukan fasa ganda pada baja Fe-Ni akan ditinjau juga dari sisi nilai kekerasan. Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5, nilai kekerasan baja Fe-Ni meningkat seiring peningkatan kecepatan pendinginan yang diterima. Kecepatan pendinginan menghasilkan perbedaan jumlah fraksi area martensit. Hal

tersebut terjadi karena transformasi fasa martensit berlangsung secara cepat tanpa ada kesempatan karbon yang berdifusi, sehingga fasa martensit yang terbentuk cenderung lebih banyak dibandingkan dengan kecepatan pendinginan yang lebih lambat [6, 17]. Hal ini dapat dibuktikan melalui hasil analisis penghitungan fraksi area fasa yang telah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya, adanya fenomena penurunan nilai kekerasan pada sampel 100-U

dibandingkan dengan sampel *as-cast* adalah akibat adanya perbesaran ukuran butir sebagai dampak pemanasan kembali. Berdasarkan standar DIN 50150, perkiraan nilai kekuatan tarik pada masing-masing sampel dapat dilakukan melalui pendekatan konversi nilai kekerasan. Dari konversi tersebut, diperoleh nilai kekuatan tarik sampel berada pada kisaran nilai terendah yaitu

575 MPa, sedangkan nilai tertinggi yaitu 1700 MPa. Pendekatan tersebut berfungsi sebagai perkiraan awal, bukan sebagai acuan baku dalam menentukan nilai kekuatan tarik yang sebenarnya. Perlu pengujian tersendiri untuk mengkonfirmasi nilai kekuatan tarik yang dihasilkan.



Gambar 5. Nilai Kekerasan Sampel Baja Fe-Ni

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pembentukan fasa ganda ferit-martensit pada sampel baja Fe-Ni dapat terjadi dengan penggunaan media pendingin air dan oli. Kecepatan pendinginan pada masing-masing media memberikan pengaruh terhadap morfologi struktur mikro yang terbentuk dan nilai kekerasan. Media pendingin air memiliki kecenderungan menghasilkan fasa martensit berbentuk *lath* dan ukuran butir yang lebih halus dibandingkan sampel baja dengan pendingin oli. Hal tersebut berkaitan dengan suhu transformasi martensit selama proses pendinginan. Fraksi area fasa martensit yang dihasilkan juga meningkat seiring peningkatan kecepatan pendinginan. Dari berbagai pengaruh yang dihasilkan oleh variasi media pendingin terhadap struktur mikro, memberikan dampak terhadap nilai kekerasan sampel baja Fe-Ni. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh sampel baja Fe-Ni dengan pendingin air, yaitu 520 HV kemudian diikuti dengan sampel baja Fe-Ni dengan pendingin oli, yaitu 458 HV.

Saran

Penelitian ini dapat dielaborasi lebih lanjut dengan melakukan pengujian tarik agar diperoleh pembahasan komprehensif terkait sifat mekanik yang dihasilkan. Selanjutnya, suhu pemanasan menjadi parameter yang sangat penting terhadap mekanisme transformasi fasa, sehingga perlu pengawasan dan kalibrasi secara berkala terhadap tungku yang digunakan agar suhu yang dicapai sesuai target.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Saefudin sebagai pembimbing dalam penyusunan naskah ini serta Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia atas pendanaan yang diberikan serta izin dalam penggunaan fasilitas laboratorium selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. D. Callister, *Materials science and engineering: An introduction (2nd edition)*. 1991.
- [2] D. Irawan, Saefudin, T. B. Romijarso, and M. Y. Hasbi, "Microstructure and Mechanical Properties Analysis of Dual-Phase Lateritic Steel as an Alternative for SAE 3120 Steel Substitution," *Proc. 3RD Int. Semin. Metall. Mater. Explor. New Innov. Metall. Mater.*, vol. 2232, no. April, p. 060002, 2020, doi: 10.1063/5.0004775.
- [3] L. O. Wolf, F. Nürnberger, D. Rodman, and H. J. Maier, "The Effect of Intercritical Annealing on the Microstructure and Mechanical Properties of Ferritic–Martensitic Two-Phase Steels," *Steel Res. Int.*, vol. 88, no. 2, pp. 271–280, 2017, doi: 10.1002/srin.201600107.
- [4] S. Ghaemifar and H. Mirzadeh, "Enhanced Mechanical Properties of Dual-Phase Steel by Repetitive Intercritical Annealing," *Can. Metall. Q.*, vol. 56, no. 4, pp. 459–463, 2017, doi: 10.1080/00084433.2017.1361223.
- [5] X. Xu, S. van der Zwaag, and W. Xu, "The Effect of Martensite Volume Fraction on the Scratch and Abrasion Resistance of A Ferrite-Martensite Dual Phase Steel," *Wear*, vol. 348–349, pp. 80–88, 2016, doi: 10.1016/j.wear.2015.11.017.
- [6] A. G. Kostryzhev, C. D. Slater, O. O. Marenych, and C. L. Davis, "Effect of Solidification Rate on Microstructure Evolution in Dual Phase Microalloyed Steel," *Sci. Rep.*, vol. 6, no. October, pp. 1–7, 2016, doi: 10.1038/srep35715.
- [7] Z. P. Xiong, A. G. Kostryzhev, N. E. Stanford, and E. V. Pereloma, "Effect of Deformation on Microstructure and Mechanical Properties of Dual Phase Steel Produced Via Strip Casting Simulation," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 651, pp. 291–305, 2016, doi: 10.1016/j.msea.2015.10.120.
- [8] M. Jafari, N. Saeidi, and M. Jamshidian, "Micromechanical Analysis of Martensite Distribution on Strain Localization in Dual Phase Steels by Scanning Electron Microscopy and Crystal Plasticity Simulation," *Mater. Sci. Eng. A*, 2016, doi: 10.1016/j.msea.2016.05.094.
- [9] A. Ramazani, S. Kazemiabnavi, and R. Larson, "Quantification of Ferrite-Martensite Interface in Dual Phase Steels: A first-Principles Study," vol. 116, pp. 231–237, 2016, doi: 10.1016/j.actamat.2016.06.047.
- [10] J. Zhang, H. Di, Y. Deng, and R. D. K. Misra, "Effect of Martensite Morphology and Volume Fraction on Strain Hardening and Fracture Behavior of Martensite-Ferrite Dual Phase Steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 627, pp. 230–240, 2015, doi: 10.1016/j.msea.2015.01.006.
- [11] H. Li, S. Gao, Y. Tian, D. Terada, A. Shibata, and N. Tsuji, "Influence of Tempering on Mechanical Properties of Ferrite and Martensite Dual Phase Steel," *Mater. Today*, no. 0, pp. 667–671, 2015, doi: 10.1016/j.matpr.2015.07.372.
- [12] V. L. De, H. N. Lorusso, and H. G. Svoboda, "Effect of Carbon Content on Microstructure And Mechanical Properties of Dual Phase Steels," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 8, pp. 1047–1056, 2015, doi: 10.1016/j.mspro.2015.04.167.
- [13] C. Li, X. Li, G. Yuan, R. D. K. Misra, J. Kang, and G. Wang, "Precipitation Behavior and Mechanical Properties of a Hot Rolled Ti-Bearing Dual Phase Steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 673, pp. 213–221, 2016, doi: 10.1016/j.msea.2016.07.076.
- [14] M. Sarwar, R. Priestner, M. Materials, and S. Centre, "Influence of Ferrite-Martensite Microstructural Morphology on Tensile Properties of Dual-Phase Steel," *J. Mater. Sci.*, vol. 31, pp. 2091–2095, 1996.
- [15] M. Türkmen and S. Gündüz, "Bake-Hardening Response of High Martensite Dual-Phase Steel with Different Morphologies and Volume Fractions," *Acta Metall. Sin. (English Lett.)*, vol. 27, no. 2, pp. 279–289, 2014, doi: 10.1007/s40195-014-0043-5.
- [16] A. S. Kalbfleisch, G. Matthews, and P. J. Jacques, "On the Influence of the Cooling Rate on the Martensitic Transformation of Ni-Mn-Sn Heusler alloys," *Scr. Mater.*, vol. 114, pp. 121–124, 2016, doi: 10.1016/j.scriptamat.2015.12.005.

- [17] W. Hui, Y. Zhang, C. Shao, S. Chen, X. Zhao, and H. Dong, "Effect of Cooling Rate and Vanadium Content on the Microstructure and Hardness of Medium Carbon Forging Steel," *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 6, pp. 545–551, 2016, doi: 10.1016/j.jmst.2016.01.006.