



STRUKTURMIKRO, KEKERASAN, DAN KETAHANAN KOROSI BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK 13Cr3Mo3Ni HASIL *QUENCH-TEMPER* DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU AUSTENISASI

Siska Prifiharni^{a,*}, Denni Ahmad^b, Andini Juniarsih^b, Efendi Maburri^a

^aPusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI
Gedung 470 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia 15310

^bUniversitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jendral Sudirman KM.03, Cilegon, Indonesia

*E-mail: sisk002@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 20-06-2016, revisi tanggal : 11-09-2017, diterima untuk diterbitkan tanggal 30-09-2017

Intisari

Baja tahan karat martensitik tipe 410 biasa digunakan untuk aplikasi sudu turbin pada *steam turbine*. Perilaku baja tahan karat jenis ini dapat diperbaiki dengan berbagai cara, salah satunya yaitu dengan cara memodifikasi unsur baja tahan karat tipe 410 tersebut dan perlakuan panas. Baja tahan karat martensitik yang telah dimodifikasi dalam hal ini baja tahan karat martensitik 13Cr-3Mo-3Ni dilakukan proses hot forging kemudian dianil. Baja tahan karat martensitik 13Cr-3Mo-3Ni kemudian dipreparasi dan dilakukan proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas yang dilakukan yaitu *quenching* pada variasi temperatur austenisasi 950, 1000, 1050, dan 1100 °C selama 1 dan 3 jam dan didinginkan dengan menggunakan media oli, dilanjutkan dengan proses *temper* pada temperatur 650 °C selama 1 jam. Baja tahan karat martensitik 13Cr-3Mo-3Ni hasil *temper* kemudian dilakukan uji kekerasan dengan metoda Rockwell C, metalografi dengan mikroskop optik, dan uji ketahanan korosi dengan menggunakan CMS (*corrosion measurement system*). Hasil menunjukkan bahwa baja tahan karat martensitik 13Cr-3Mo-3Ni pada temperatur austenisasi 950 °C selama 1 jam setelah *temper* 650 °C selama 1 jam memiliki nilai kekerasan yang paling rendah dengan nilai kekerasan 33,5 HRC dan laju korosi yang paling rendah yaitu 0,02 mpy, sedangkan pada temperatur austenisasi 1100 °C selama 3 jam setelah *temper* 650 °C selama 1 jam memiliki nilai kekerassan paling tinggi dengan nilai kekerasan 46,2 HRC dan laju korosi paling tinggi yaitu 1,62 mpy. Strukturmikro yang terbentuk adalah fasa martensit, karbida, dan delta ferit. Peningkatan kekerasan pada temperatur austenisasi 1100 °C disebabkan oleh peningkatan kandungan karbida pada fasa martensit. Namun, presipitasi karbida yang terbentuk selama proses *quenching* dapat menurunkan ketahanan korosi karena kadar Cr dan Mo menurun di dalam karbida.

Kata Kunci: Baja tahan karat martensitik 13Cr-3Mo-3Ni, austenisasi, martensit, kromium karbida, korosi

Abstract

Martensitic stainless steel type 410 have been extensively used for turbine blade in steam turbine system. Their properties can be improved in various ways, such as modification element and heat treatment. The modified stainless steel in this case is martensitic stainless steel 13Cr-3Mo-3Ni were hot forged then annealed. Afterwards, martensitic stainless steel 13Cr-3Mo-3Ni were prepared and heat treated. Martensitic stainless steel 13Cr-3Mo-3Ni were austenized at temperature 950, 1000, 1050, dan 1100 °C for 1 and 3 hour followed by quench in oil. After quenching, material were tempered at 650 °C for 1 hour. Several examinations were carried out on the material such as of hardness test with rockwell C, metallographic using optical microscope, and corrosion test using CMS (corrosion measurement system). The results show that martensitic stainless steel 13Cr3Mo3Ni at austenitizing temperature of 950 °C for 1 hour and tempering at 650 °C for 1 hour has the lowest hardness value with hardness value was 33.5 HRC and the lowest corrosion rate 0.02 mpy, whereas at austenitizing temperature of 1100 °C for 3 hours and tempering at 650 °C for 1 hour has the highest hardness value with hardness value was 46.2 HRC and the highest corrosion rate 1.62 mpy. The microstructures formed are martensite, carbide, and ferrite delta phases. Increased hardness at austenitizing temperature 1100 °C is due to an increase in carbide content in the martensite phase. However, carbide precipitation formed during quenching process can decrease corrosion resistance as Cr and Mo levels decrease in carbides.

1. PENDAHULUAN

Turbin uap adalah mesin yang paling mudah dan efisien untuk mengubah energi panas menjadi energi mekanik dalam jumlah besar. Namun, kegagalan mekanik dan korosi masih sering terjadi pada turbin uap terutama pada bagian *turbin blade*. Masalah korosi yang paling utama yaitu korosi fatik (*corrosion fatigue*), korosi retak tegang (*stress corrosion cracking/SCC*), korosi erosi (*erosion corrosion*), dan korosi sumuran (*pitting corrosion*). Hal ini terjadi karena turbin blade bekerja pada lingkungan yang korosif dan putaran yang tinggi^[1]. Baja tahan karat martensitik adalah material yang paling banyak digunakan untuk *turbin blade* karena memiliki sifat mekanik yang tinggi dan ketahanan korosi yang cukup baik, yang dapat diaplikasikan baik di temperatur rendah maupun temperatur tinggi. Sifat baja tahan karat jenis ini dapat diperbaiki dengan berbagai cara salah satunya yaitu penambahan unsur dan perlakuan panas^[2-3].

Sifat mekanik dan ketahanan korosi baja tergantung dari komposisi kimia dan struktrumikro yang terkandung di dalamnya. Baja tahan karat martensitik memiliki unsur paduan 11,5 – 18% khrom dan unsur karbon sampai 0,6%. Struktur mikro baja tahan karat jenis ini sangat tergantung dari perlakuan panas baja yang diterima, dan biasanya terdiri dari martensit temper, presipitat kromium karbida, δ -ferrit, dan austenit sisa. Fraksi volume dan ukuran karbida yang muncul dalam baja dan jumlah austenit sisa merupakan peran utama dalam penentuan nilai kekerasan, kekuatan, ketangguhan, ketahanan korosi, dan ketahanan aus dalam baja. Penelitian sebelumnya telah menyatakan bahwa dengan peningkatan temperatur autenisasi dapat meningkatkan fraksi volume austenit sisa dari 6% menjadi 24% pada temperatur 1050 °C hingga 1200 °C, menurunkan fraksi volume karbida dari 184 karbida/mm² menjadi 14 karbida/mm² pada temperatur 1050 °C hingga 1150 °C, dan meningkatkan ukuran butir dari 15 μ m menjadi 280 μ m pada temperatur 950 °C hingga 1100 °C. Dengan meningkatnya volume karbida dalam martensit akan menyebabkan menurunnya jumlah karbon di dalam austenit dan menurunkan kekerasan pada martensit serta ketahanan korosi^[4-6].

Penambahan sedikit unsur Mo dan Ni ke dalam baja tahan karat dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Mo akan sangat efektif meningkatkan ketahanan korosi, hanya jika ada kehadiran Cr di dalam baja tersebut^[7-8]. Pada penelitian sebelumnya telah dijelaskan tentang penambahan unsur Mo dan Ni ke dalam baja tahan karat martensitik dapat memperbaiki sifat mekanik dan meningkatkan ketahanan korosi^[9-12]. Namun, sifat mekanik dan ketahanan korosi baja tahan karat tersebut masih dapat diperbaiki dengan perlakuan panas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter *quenching* terhadap kekerasan dan ketahanan korosi baja 13Cr3Mo3Ni.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Material yang digunakan dalam penelitian merupakan ingot baja tahan karat 13Cr3Mo3Ni yang sudah di-*hot forging* pada temperatur 1200 °C dengan waktu tahan 1 jam dan dianil pada temperatur 800 °C dengan waktu tahan 4 jam dengan ukuran 12 x 6 x 3 cm dipreparasi menjadi ukuran dengan panjang 10 mm, lebar 10 mm dan tebal 5 mm. Sampel dilakukan uji komposisi kimia untuk mengetahui unsur yang terkandung di dalamnya. Komposisi kimia dari baja tahan karat ini ditunjukkan pada Tabel 1. Sampel yang telah dipreparasi dilakukan austenisasi pada variasi temperatur 950, 1000, 1050, dan 1100 °C selama 1 dan 3 jam. Lalu, masing-masing sampel didinginkan dengan media oli. Sampel kemudian dilakukan *temper* pada temperatur 650 °C dengan waktu tahan selama 1 jam. Setelah dilakukan perlakuan panas, kemudian sampel dilakukan uji kekerasan dengan menggunakan Rockwell C dengan pembebanan 150 kgf. Untuk uji metalografi, sampel dipoles dan dietsa dengan menggunakan *kalling's reagent*. Uji metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Kemudian sampel diuji korosi dengan menggunakan CMS (*corrosion measurement system*) di dalam larutan NaCl 3,5% pada temperatur ruang.

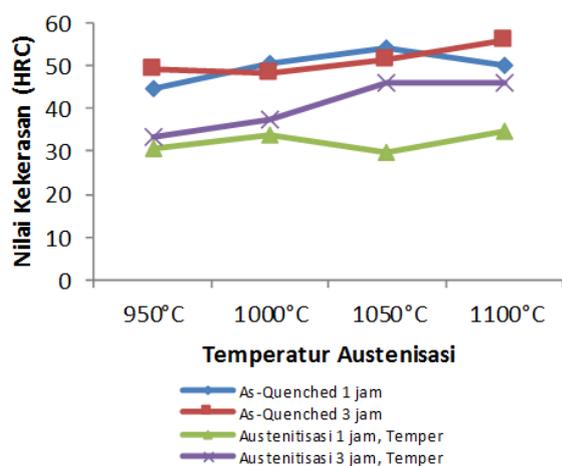
Tabel 1. Komposisi kimia baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni

Unsur	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
%berat	0,1	0,005	0,02	0,61	0,24	12,73	2,52	2,93

3. HASIL DAN DISKUSI

A. Kekerasan

Nilai kekerasan baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni untuk semua kondisi perlakuan panas ditunjukkan pada Gambar 1. Nilai dengan waktu tahan selama 1 jam mengalami peningkatan hingga temperatur 1000 °C. Ketika temperatur austenisasi mencapai 1050 °C, nilai kekerasan akan menurun dan meningkat kembali saat temperatur 1100 °C. Pada saat temperatur austenisasi 950 dan 1000 °C nilai kekerasan yang didapat adalah 30,5 HRC dan 33,9 HRC. Namun, pada temperatur austenisasi 1050 °C turun menjadi 29,6 HRC kemudian meningkat kembali pada temperatur 1100 °C menjadi 34,6 HRC. Kebalikan dari waktu tahan 1 jam, pada waktu tahan 3 jam nilai kekerasan terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya temperatur austenisasi. Pada temperatur 950 °C hingga 1050 °C nilai kekerasan yang didapat adalah 33,5 HRC; 48,3 HRC; dan 46,2 HRC. Namun, pada temperatur 1100 °C nilai kekerasan yang didapat sama pada saat temperatur 1050 °C.



Gambar 1. Pengaruh temperatur dan waktu austenisasi terhadap nilai kekerasan baja martensitik 13Cr3Mo3Ni

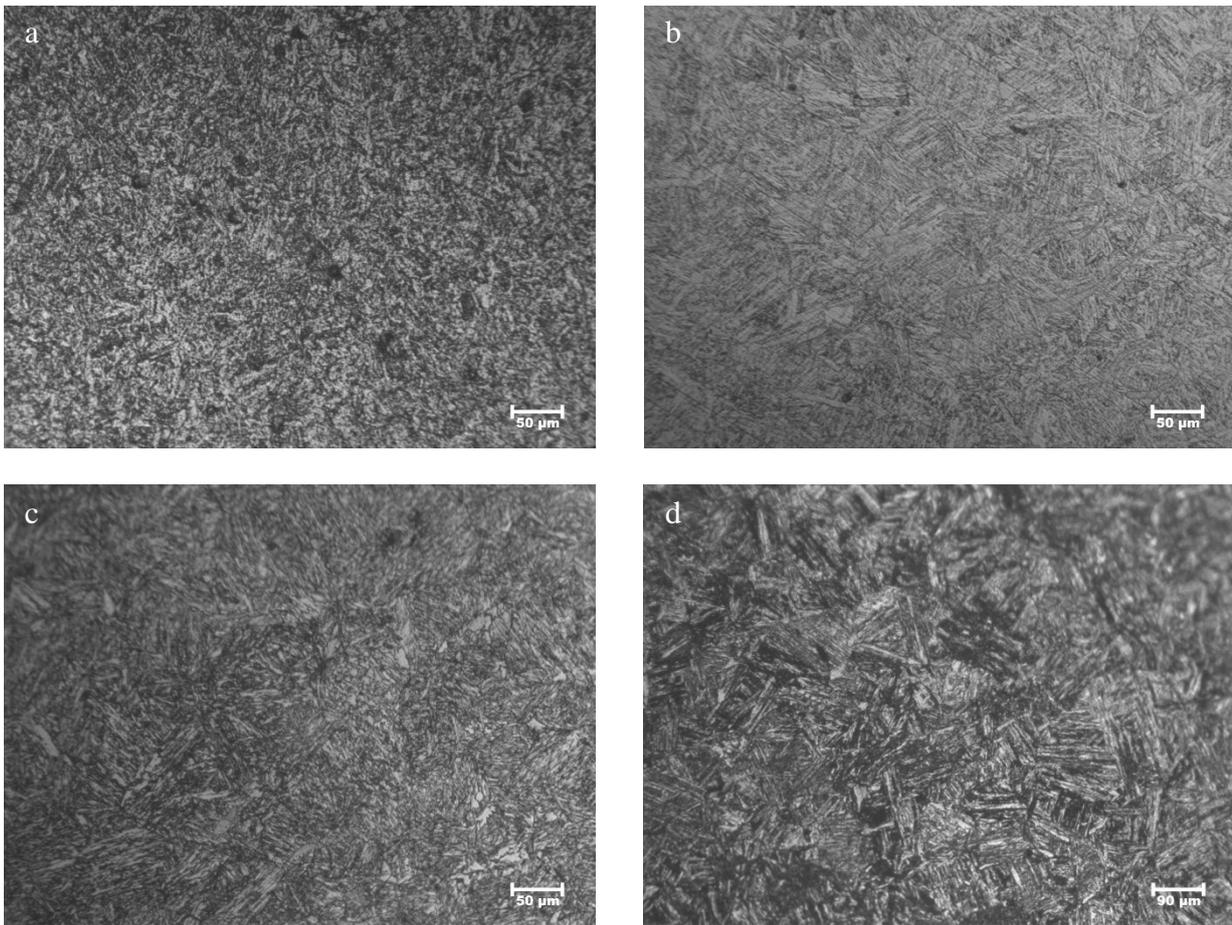
Peningkatan kekerasan ini dapat terjadi karena adanya peningkatan kadar kelarutan karbida $M_{23}C_6$ yang akan meningkatkan kadar karbon dalam martensit. Oleh karena itu martensit menjadi lebih keras karena kadar karbon yang dikandung lebih tinggi. Pada saat setelah *quenching*, martensit akan terbentuk seperti jarum-jarum halus yang menyebabkan peningkatan nilai kekerasan. Pada temperatur austenisasi yang lebih tinggi akan meningkatkan kadar karbon dan unsur paduan

di dalam austenit dan menekan pembentukan martensit^[4]. Variasi nilai kekerasan ini dapat disebabkan oleh dua faktor. Pertama, peningkatan perpaduan unsur seperti khrom dan karbon di dalam austenit seiring dengan peningkatan temperatur dan kedua, adanya austenit sisa pada bilah martensit yang biasanya ikut meningkat dengan peningkatan temperatur dan waktu austenisasi^[2].

B. Strukturmikro

Gambar 2(a) sampai dengan 2(d) menunjukkan foto strukturmikro baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni dengan mikroskop optik hasil austenisasi dengan waktu tahan 1 jam pada temperatur *temper* 650 °C. Dari Gambar 2(a) sampai dengan 2(d) secara umum strukturmikro yang terbentuk terdiri dari bilah martensit, delta ferit, austenit sisa, dan karbida logam. Delta ferit dapat terbentuk pada saat solidifikasi yang tidak seimbang pada saat pengecoran^[13]. Dari Gambar 2(a) fasa martensit terlihat lebih halus pada temperatur *quenching* 950 °C dibandingkan dengan temperatur 1000, 1050, dan 1100 °C (Gambar 2(b)-(d)). Pada baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni dengan meningkatnya temperatur austenit, butir austenit tumbuh secara signifikan dan diperoleh butir martensit kasar daripada butir martensit yang halus. Ukuran butir yang lebih kasar kurang menyediakan lokasi nukleasi untuk transformasi perlit sehingga menyebabkan matriks martensit akan lebih keras. Namun, peningkatan kekerasan dapat membuat keuletan dan ketangguhan berkurang^[14-15].

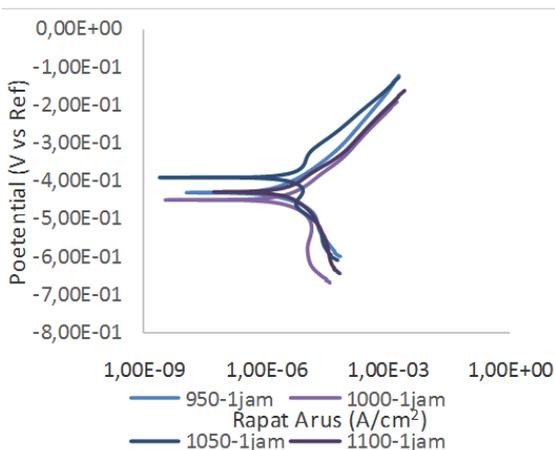
Morfologi fasa delta ferit mengalami perubahan pada temperatur austenisasi 1050 °C dan 1100 °C (Gambar 2(c) dan 2(d)). Dari gambar tersebut dapat terlihat delta ferit yang berbentuk seperti pulau-pulau. Peningkatan temperatur austenisasi pada 1050 dan 1100 °C juga dapat menurunkan pembentukan karbida di dalam matriks martensit, namun dalam waktu yang sama austenit sisa juga meningkat^[16]. Temperatur austenisasi mengontrol pembagian unsur antara austenit dan karbida pada temperatur tinggi, serta menyebabkan perubahan ukuran butir dan jumlah austenit sisa yang terdapat pada baja setelah kondisi *quenching*. Karbida $M_{23}C_6$ terlarut pada rentang temperatur sekitar 950 – 1050 °C, sedangkan karbida M_7C terlarut pada rentang temperatur sekitar 1050-1150 °C^[4].



Gambar 2. Struktur mikro dengan SEM dari baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni hasil austenisasi selama 1 jam dan *temper* 650 °C dengan temperatur austenisasi (°C) (a) 950, (b) 1000, (c) 1050, dan (d) 1100. Struktur yang terbentuk yaitu martensit, karbida, dan δ ferrit. Etsa Kalling's Reagent

C. Ketahanan Korosi

Kurva polarisasi baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni dalam larutan 3,5% NaCl pada variasi temperatur dan waktu austenisasi ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan perubahan E_{corr} dan I_{corr} yang terjadi selama perubahan temperatur dan waktu austenisasi.

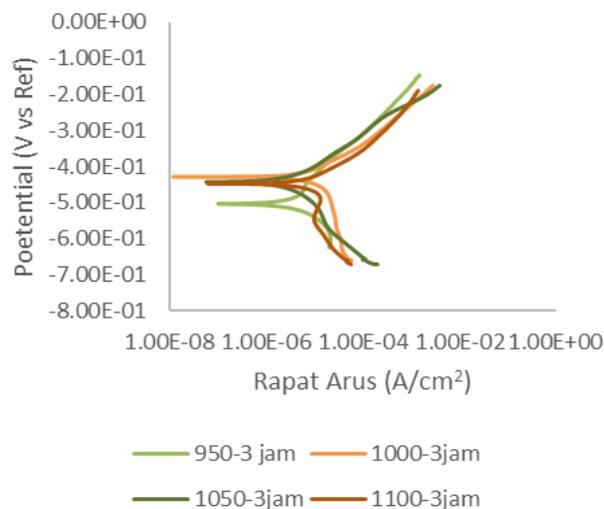


Gambar 3. Kurva polarisasi pada baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni dengan variasi temperatur austenisasi dan waktu tahan selama 1 jam

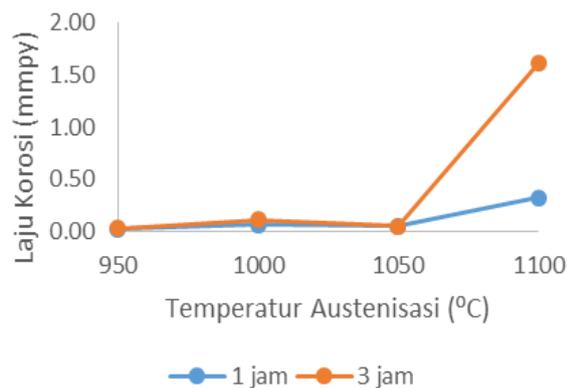
Gambar 3 menunjukkan perubahan polarisasi yang terjadi selama peningkatan temperatur austenisasi dengan waktu tahan selama 1 jam. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa peningkatan temperatur austenisasi dapat mempengaruhi perubahan kurva polarisasi. Kurva polarisasi menjadi semakin bergeser ke kiri yang menandakan bahwa I_{corr} semakin kecil dengan meningkatnya temperatur austenisasi hingga 1050 °C. Namun, pada temperatur austenisasi di atas 1050 °C nilai I_{corr} menurun seperti penelitian sebelumnya^[17].

Gambar 4 menunjukkan perubahan kurva polarisasi dari baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni pada beberapa variasi temperatur austenisasi dengan waktu tahan selama 3 jam. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa potensial korosi semakin meningkat dengan peningkatan temperatur austenisasi hingga temperatur 1050 °C. Perbedaan karakteristik elektrokimia ini dapat dikaitkan oleh kelarutan beberapa unsur di dalam matriks. Dikarenakan kelarutan karbida yang meningkat seiring

dengan meningkatnya temperatur austenisasi^[2]. Ketika baja tahan karat kontak langsung dengan lingkungan berair, film pasif khromium oksida memberikan ketahanan korosi yang lebih baik. Akan tetapi, film pasif dapat terserang secara lokal di tempat-tempat tertentu yang disebabkan oleh lemahnya lapisan film pasif pada material yang heterogen seperti presipitat, batas butir, inklusi, dan segregasi. Alasan lainnya dapat dikarenakan akumulasi ion klorida yang terdapat pada permukaan material yang heterogen^[18].



Gambar 4. Kurva polarisasi pada baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni dengan variasi temperatur austenisasi dan waktu tahan selama 3 jam



Gambar 5. Laju korosi baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni pada beberapa variasi temperatur austenisasi dengan waktu tahan selama 1 dan 3 jam

Nilai laju korosi untuk masing-masing material yang diuji pada larutan NaCl 3,5% ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai laju korosi pada temperatur 950 – 1050 °C tidak terjadi perubahan yang signifikan. Namun, pada saat temperatur austenisasi 1100 °C baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni mengalami peningkatan laku korosi yang signifikan. Laju

korosi juga semakin meningkat dengan bertambahnya waktu tahan. Laju korosi terendah didapat pada temperatur austenisasi 950 °C dan laju korosi tertinggi didapat pada temperatur austenisasi 1100 °C. Hal ini dapat diasumsikan bahwa presipitasi karbida terbentuk selama proses *quenching* dapat menurunkan ketahanan korosi pada baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni di dalam larutan 3,5% NaCl karena kadar Cr dan Mo menurun di dalam matriks seperti yang dilakukan pada penelitian sebelumnya^[19-20].

Penambahan unsur Mo dalam baja tahan karat juga dapat berkontribusi dalam peningkatan ketahanan korosi. Unsur Mo efektif untuk meningkatkan ketahanan korosi hanya dalam kondisi adanya unsur Cr. Beberapa penelitian telah menjelaskan bahwa penambahan Mo memberikan dampak yang besar terhadap ketahanan korosi baja tahan karat dan mekanisme pembentukan film pasivasi unsur Mo^{[7-8], [21-22]}.

4. KESIMPULAN

Pengaruh temperatur dan waktu tahan austenisasi dapat merubah karakteristik dari baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni. Temperatur austenisasi dan waktu tahan untuk menghasilkan sifat mekanik dan struktur yang optimal pada baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni pada 1100 °C dengan waktu tahan selama 3 jam dilanjutkan dengan *temper* 650 °C selama 1 jam dimana nilai kekerasan yang diperoleh sebesar 46,2 HRC, akan tetapi nilai laju korosi sangat tinggi yaitu sebesar 1,62 mpy. Struktur yang terbentuk adalah fasa martensit, karbida, dan delta ferit di dalam baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni. Peningkatan kekerasan pada temperatur austenisasi 1100 °C disebabkan oleh peningkatan kandungan karbida pada fasa martensit. Namun, presipitasi karbida yang terbentuk selama proses *quenching* dapat menurunkan ketahanan korosi karena kadar Cr dan Mo menurun di dalam karbida.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI yang telah mendanai penelitian ini melalui Kegiatan Kompetensi Inti Tahun Anggaran 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. D. Cramer and B. S. Covino, ASM Handbook Volume 13C Corrosion:

- Environments and Industries, vol. 13. 2006.
- [2] A. N. Isfahany, H. Saghafian, and G. Borhani, "The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel," *J. Alloys Compd.*, vol. 509, no. 9, pp. 3931–3936, 2011.
- [3] I. Taji, M. H. Moayed, and M. Mirjalili, "Correlation between sensitisation and pitting corrosion of AISI 403 martensitic stainless steel," *Corros. Sci.*, vol. 92, pp. 301–308, 2015.
- [4] L. D. Barlow and M. Du Toit, "Effect of the austenitising heat treatment on the microstructure and hardness of martensitic stainless steel AISI 420," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 21, pp. 1327–1336, 2012.
- [5] I. Calliari, M. Zanesco, M. Dabala, K. Brunelli, and E. Ramous, "Investigation of microstructure and properties of a Ni – Mo martensitic stainless steel," *Mater. Des.*, vol. 29, pp. 246–250, 2008.
- [6] A. Rajasekhar, G. Madhusudhan Reddy, T. Mohandas, and V. S. R. Murti, "Influence of austenitizing temperature on microstructure and mechanical properties of AISI 431 martensitic stainless steel electron beam welds," *Mater. Des.*, vol. 30, no. 5, pp. 1612–1624, 2009.
- [7] G. S. Frankel, "Pitting Corrosion of Metals: A Review of the Critical Factors Pitting Corrosion of Metals," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 145, no. 6, pp. 2186–2198, 1998.
- [8] K. Hashimoto, K. Asami, and A. Kawashima, "The role of corrosion-resistant alloying elements in passivity," *Corros. Sci.*, vol. 49, pp. 42–52, 2007.
- [9] E. Mabururi, M. Syaiful Anwar, S. Prifiharni, T. B. Romijarso, B. Adjiantoro., "Tensile properties of the modified 13Cr martensitic stainless steels Tensile Properties of the Modified 13Cr Martensitic Stainless Steels," in *AIP Conference Proceedings*, vol. 1725, 2016.
- [10] E. Mabururi, M. S. Anwar, S. Prifiharni, T. B. Romijarso, and B. Adjiantoro, "Pengaruh Mo dan Ni Terhadap Strukturmikro dan Kekerasan Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr," *Maj. Metal.*, vol. 30, no. 3, pp. 133–140, 2015.
- [11] S. Prifiharni, H. Perdana, T. B. Romijarso, B. Adjiantoro, A. Juniarsih, and E. Mabururi, "The Hardness and Microstructure of The Modified 13Cr Steam Turbine Blade Steel in Tempered Conditions.pdf," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 2672–2675, 2017.
- [12] E. Mabururi, Z. A. Syahlan, . S., M. S. Anwar, T. B. Romijarso, and B. Adjiantoro, "Effect of Tempering Temperature on Hardness and Impact Resistance of the 410- 1Mo Martensitic Stainless Steels for Steam Turbine Blades," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 2547–2551, 2016.
- [13] V. Thursdiyanto, E. Bae, and E. Baek, "Effect of Ni Contents on the Microstructure and Mechanical Properties of Martensitic Stainless Steel Guide Roll by Centrifugal Casting," *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 24, no. 3, pp. 343–346, 2008.
- [14] S. Zhen, "Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Steel," *Key Eng. Mater.*, vol. 336–338, pp. 1291–1293, 2007.
- [15] M. S. Anwar, S. Prifiharni, and E. Mabururi, "Optimizing Heat Treatment Process of Fe-13Cr-3Mo-3Ni Martensitic Stainless of Steel," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 202, p. 12037, 2017.
- [16] M. D. Shen, C. H. Xiao, Z. Jian, and Y. Q. Long, "Microstructure and Mechanical Properties of Martensitic Stainless Steel 6Cr15MoV," *J. Iron Steel Res.*, vol. 19, no. 3, pp. 56–61, 2012.
- [17] S. Prifiharni, M. S. Anwar, and E. Mabururi, "Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Strukturmikro dan Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr-1Mo," *Widyariset*, vol. 2, no. 1, pp. 9–16, 2016.
- [18] A. Kumar, G. M. Reddy, and K. S. Rao, "Pitting corrosion resistance and bond strength of stainless steel overlay by friction surfacing on high strength low alloy steel," *Def. Technol.*, vol. 11, no. 3, pp. 299–307, 2015.
- [19] J. Y. Park and Y. S. Park, "The effects of heat-treatment parameters on corrosion resistance and phase transformations of 14Cr-3Mo martensitic stainless steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 448–451, pp. 1131–1134, 2007.
- [20] E. Mabururi, Z. A. Syahlan, Sahlan, S. Prifiharni, M. S. Anwar, S. A. Chandra, T. B. Romijarso, B. Adjiantoro, "Influence of Austenitizing Heat Treatment on the Properties of the Tempered Type 410-1Mo Stainless Steel," in *IOP Conference Series: Materials Science and*

- Engineering*, vol. 202, no. I, p. 12085, 2017.
- [21] R. F. A. Jargelius-Petterson and B. G. Pound, "Examination of the Role of Molybdenum in Passivation of Stainless Steels Using AC Impedance Spectroscopy," *J. Electrochem. Sci.*, vol. 145, no. 5, pp. 1462–1469, 1998.
- [22] I. Olejford and L. Wegrelius, "Surface Analysis of Passive State," *Corros. Sci.*, vol. 31, pp. 89–98, 1990.

