



PENGARUH PERLAKUAN PANAS BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK AISI 410 TERHADAP STRUKTURMIKRO DAN KETAHANAN KOROSI

Rizky Dwisaputro¹, Mochammad Syaiful Anwar², Rusnaldy¹, Efendi Mabruri^{2*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

²Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI

Gedung 470 Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia 15310

*Email: effe004@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 02-08-2017, revisi tanggal : 12-03-2018, diterima untuk diterbitkan tanggal 21-06-2018

Intisari

Baja tahan karat martensitik telah digunakan pada material *turbine blade* pada turbin uap. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas (austenisasi dan *tempering*) terhadap strukturmikro dan laju korosi baja tahan karat martensitik AISI 410. Pengujian yang dilakukan adalah pengamatan strukturmikro menggunakan mikroskop optik dan uji korosi di dalam larutan 3,5% NaCl dengan alat Gamry G750. Strukturmikro baja AISI 410 setelah proses aniling adalah ferit dan karbida logam. Strukturmikro martensit dan austenit sisa dapat terbentuk bilamana baja AISI 410 telah mengalami proses *tempering* pada suhu 600 °C dengan suhu austenisasi yang berbeda. Sedangkan strukturmikro berupa temper martensit dengan austenit sisa dan karbida logam ditemukan pada baja AISI 410 setelah mengalami proses austenisasi pada suhu 1050 °C dengan suhu *tempering* yang berbeda. Laju korosi baja AISI 410 semakin rendah seiring peningkatan suhu austenisasi. Sedangkan laju korosi sangat tinggi ditemukan pada baja AISI 410 pada suhu *temper* 550 °C dan austenisasi 1050 °C.

Kata Kunci: Baja martensitik AISI 410, fasa martensit, austenit sisa

Abstract

Martensitic stainless steels are used in turbine blade materials in steam turbines of power plants. This study aims to determine the effect of heat treatment (austenitized and tempering) on microstructure and corrosion rate of AISI 410 martensitic stainless steel. The observation of microstructure was conducted using optical microscope and the corrosion test was performed in 3.5% NaCl solution which was carried out with Gamry G750 tool. The microstructure of AISI 410 steels after annealing process was composed of ferrite and metal carbide. The microstructure of martensite and retained austenite was obtained after the steel AISI 410 underwent a process of tempering at 600 °C with different austenitizing temperature. Meanwhile, the microstructure of temper martensite with retained austenite and metal carbide was found in AISI 410 steels after austenitized at 1050 °C with different tempering temperature. The corrosion rate of AISI 410 steels decreased with increasing austenitizing temperature. Meanwhile, very high corrosion current was found in AISI 410 steel at tempering of 550 °C and austenitized of 1050 °C.

Keywords: AISI 410 martensitic steels, martensite phase, retained austenite

1. PENDAHULUAN

Baja tahan karat martensitik (AISI 403/410/420) sudah digunakan secara luas pada material *turbine blade* pada turbin uap. Akan tetapi, kegagalan pada sudu sering ditemukan karena interaksi mekanik dan lingkungan pada saat sistem turbin bekerja, terutama pada bagian sudu bertekanan rendah dimana kondensat awal terbentuk [1].

Beberapa usaha untuk meningkatkan sifat

mekanik dan ketahanan korosi pada baja tahan karat martensitik AISI 410 adalah modifikasi komposisi kimia dan melakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) [2]-[4]. Z. Jiang, dkk. [5] menemukan adanya hubungan antara strukturmikro dan ketahanan korosi baja tahan karat martensitik. Peningkatan suhu austenisasi strukturmikro yang dihasilkan berupa karbida logam yang kaya akan krom dan lebih halus akan menghasilkan lapisan

pasif Cr_2O_3 yang tebal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh proses perlakuan panas terhadap strukturmikro dan laju korosi baja tahan karat AISI 410.

Tabel 1. Komposisi kimia baja tahan karat AISI 410 (%berat)

UNSUR	% Berat
C	0,03
S	0,0012
P	0,0162
Mn	0,34
Si	0,68
Cr	12,8
Mo	0,002
Ni	0,155
Fe	Bal.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

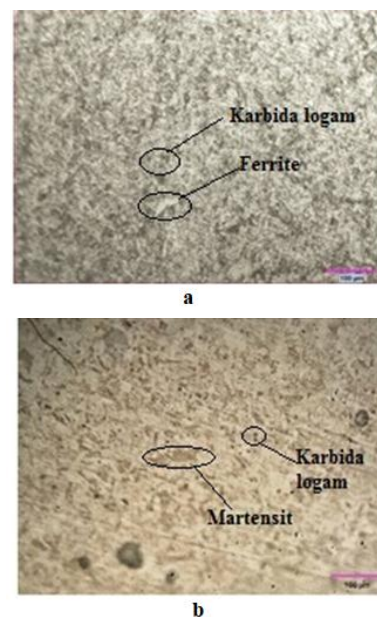
Baja AISI 410 dibuat dengan tungku induksi dan dicetak menjadi ingot. Ingot baja kemudian digerinda sebelum ditempa panas (*hot forging*) pada suhu $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sampel baja AISI 410 dipanaskan kembali untuk aniling pada suhu $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam dan didinginkan di dalam tungku. Setelah itu, dilakukan proses pemotongan sampel dengan panjang 10 mm, lebar 10 mm dan tebal 5 mm. Kemudian, sampel baja AISI 410 tersebut diaustenisasi pada suhu 950, 1000, 1050 dan $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam dan didinginkan dengan cepat (*quenching*) di dalam oli. Masing-masing sampel yang telah diaustenisasi selanjutnya ditemper pada suhu 300, 400, 500, 550, 600, 650 dan $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan waktu tahan 1, 3 dan 6 jam dan didinginkan di udara. Tabel 1 menunjukkan komposisi kimia baja tahan karat 410.

Pengamatan strukturmikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan larutan etsa yang digunakan adalah Kalling's reagent. Sedangkan pengujian laju korosi dilakukan dengan metode elektrokimia dimana sampel baja AISI 410 sebagai elektroda kerja, SCE (*saturated calomel electrode*) sebagai elektroda acuan dan Platina (Pt) sebagai elektroda bantu. Ketiga elektroda tersebut kemudian direndam di dalam larutan 3,5% NaCl selama 1 jam terlebih dahulu sebelum pengujian korosi dimulai. Analisa potensial korosi dan laju korosi menggunakan metoda ekstrapolasi pada kurva tafel menggunakan alat Gamry G750 series.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Metalografi

Gambar 1 adalah hasil pengamatan strukturmikro baja AISI 410 dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200X. Pada Gambar 1(a) dapat dilihat baja AISI 410 hasil proses aniling $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ memiliki fasa ferit yang mempunyai sifat lunak dan ulet serta karbida logam yang mempunyai sifat keras dan getas. Pada Gambar 1(b), strukturmikro baja AISI 410 setelah proses *as-quench* pada suhu $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ terdiri dari martensit yang berbentuk bilah (*lath*), austenit sisa (*retained austenite*) dan karbida logam. Berdasarkan penelitian Lu, dkk. [6], karbida logam $M_{23}C_6$ terbentuk saat proses aniling. Ketika proses austenisasi, terdapat karbida logam yang tidak larut sepenuhnya dan kemudian karbida $M_{23}C_6$ yang tidak terlarut akan tersisa di dalam *temper* martensit. Sedangkan austenit sisa merupakan fasa austenit yang tidak bertransformasi menjadi martensit pada saat pendinginan cepat (*quenching*). Austenit sisa biasanya ditemukan diantara *lath martensite* [1].

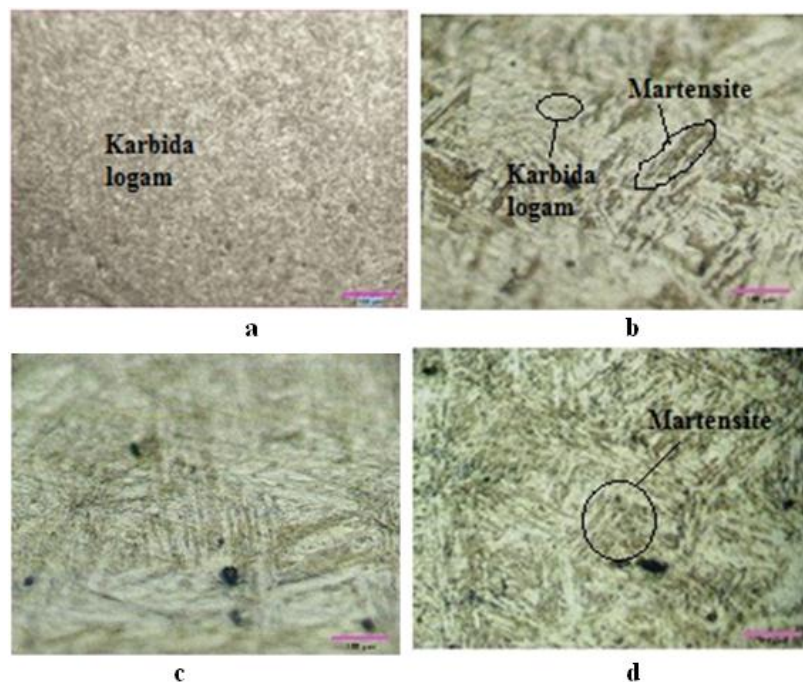


Gambar 1. Strukturmikro baja AISI 410 setelah proses: (a) *as-anneal*, dan (b) *as-quench*. Etsa Kalling's

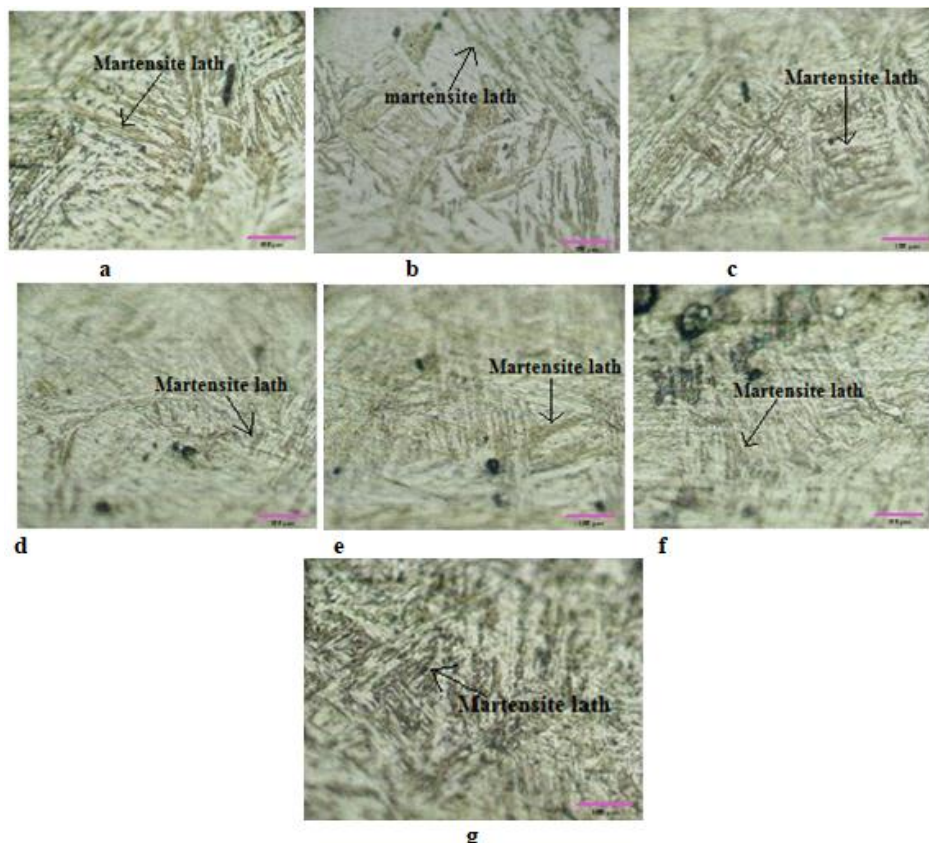
Pada Gambar 2 dapat dilihat perubahan strukturmikro yang terjadi pada baja AISI 410 yang mendapat perlakuan panas *quenching* dengan suhu berbeda-beda lalu dilanjutkan dengan perlakuan panas *tempering* dengan temperatur $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gambar 2(a) dengan austenisasi $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *tempering* $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, struktur martensit pada baja AISI 410 belum

banyak terlihat tetapi karbida logam sudah banyak terbentuk, sementara itu pada Gambar 2(b) dengan perlakuan panas *quenching* 1000 °C strukturmikro baja AISI 410 terdiri dari martensit yang berbentuk bilah (*lath*), austenite sisa (*retained austenite*) yang berada diantara *lath martensite* dan karbida logam. Pada Gambar 2(c) menunjukkan fasa martensit yang terbentuk semakin banyak dan rapat secara kualitatif jika dibandingkan dengan martensit pada Gambar 2(b). Pada Gambar 2(d) menunjukkan fasa martensit lebih rapat jika dibandingkan dengan fasa martensit pada Gambar 2(a)-(c) dengan bertambahnya suhu

austenisasi. Fasa austenit sisa juga tampak semakin banyak secara kualitatif dan sementara itu masih terlihat juga beberapa karbida logam. Menurut penelitian yang dilakukan Andres, dkk. [7], semakin meningkatnya suhu austenisasi maka akan meningkatkan kelarutan karbida di dalam fasa austenit dan dapat menurunkan berat jenis karbida. Sementara itu, peningkatan suhu austenisasi juga akan meningkatkan austenisasi sisa yang terbentuk diantara *lath martensite* [7].



Gambar 2. Strukturmikro baja AISI 410 setelah austenisasi pada suhu (°C): (a) 950, (b) 1000, (c) 1050, dan (d) 1100. Suhu *tempering* 600 °C. Etsa Kalling's



Gambar 3. Strukturmikro baja AISI 410 setelah austenisasi pada $T = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, *quench* dan *temper* pada suhu ($^{\circ}\text{C}$): (a) 300, (b) 400, (c) 500, (d) 550, (e) 600, (f) 650, dan (g) 700. Etsa Kalling's

Gambar 3 menunjukkan strukturmikro baja AISI 410 yang mendapatkan perlakuan panas *quenching* $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, dilanjutkan dengan *tempering* dengan suhu berbeda-beda. Strukturmikro yang terbentuk pada Gambar 3 berupa temper martensit yang berbentuk bilah (*lath*), austenit sisa (*retained austenite*) dan karbida logam.

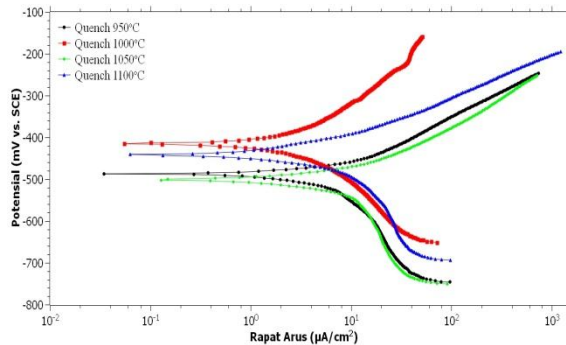
Perlakuan panas *tempering* bertujuan untuk mengurangi sifat getas dan meningkatkan sifat ketangguhan baja AISI 410. Semakin tinggi suhu *temper* maka semakin banyak peluang karbon keluar dari fasa martensit dan berikatan dengan logam menjadi karbida logam dan fasa martensit setelah proses *tempering* dinamakan fasa martensit temper. Banyaknya fasa martensit temper yang terbentuk di dalam strukturmikro menyebabkan kekerasan baja tersebut semakin berkurang. Pada Gambar 3(f) menunjukkan fasa martensit temper yang terbentuk pada baja AISI 410 lebih banyak dan lebih rapat daripada yang baja AISI 410 dengan suhu *temper* lainnya. Hal tersebut mengindikasikan kekerasan baja AISI 410 pada suhu *temper* $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ memiliki kekerasan yang lebih rendah daripada baja dengan suhu *temper* lainnya.

Karbida logam tidak tampak jelas jika diamati dengan mikroskop optik (Gambar 3).

Berdasarkan *ASM Specialty Handbook: Stainless Steel* [8], karbida logam dapat terbentuk pada saat logam tersebut dilakukan proses *tempering* pada suhu $480\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau lebih. Urut-urutan karbida logam yang terbentuk dengan semakin tingginya suhu *temper* adalah $(\text{Cr,Fe})_3\text{C}$, $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$, dan $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$. Karbida $(\text{Cr,Fe})_3\text{C}$ akan hilang pada saat penemperan pada suhu $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8]. Sementara itu karbida $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ akan semakin berkurang dengan semakin tingginya suhu *tempering* dan akan hilang pada suhu $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$. Karbida $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$ merupakan karbida logam yang stabil dan akan terbentuk seiring dengan meningkatnya suhu *tempering*. Sementara itu, berdasarkan pengamatan SEM dan TEM pada penelitian Lu, dkk. [6], semakin tinggi suhu *tempering*, urutan jenis karbida terbentuk adalah $\theta\text{-M}_3\text{C} \rightarrow \text{nano M}_{23}\text{C}_6 \rightarrow \text{mikro M}_{23}\text{C}_6$ ($300, 500, 650\text{ }^{\circ}\text{C}$). Seperti ditunjukkan pada penelitian Ezechidelu, dkk. [9], daerah yang berwarna putih merupakan austenit sisa (*retained austenite*) dan titik hitam yang terdapat pada strukturmikro merupakan karbida logam yang terbentuk.

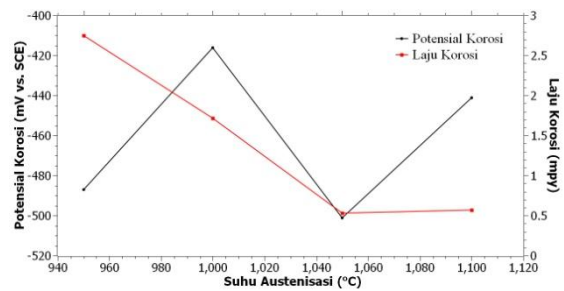
3.2 Pengujian Laju Korosi secara Elektrokimia

Pengujian laju korosi secara elektrokimia dilakukan pada spesimen uji AISI 410 tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas. Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian laju korosi untuk baja AISI 410 yang diaustenisasi pada suhu 950–1100 °C dan ditemper pada suhu 600 °C.



Gambar 4. Kurva polarisasi tafel daripada baja AISI yang diaustenisasi pada suhu 950 - 1100 °C *quench* dan *temper* 600 °C. Pengujian korosi dilakukan di dalam larutan 3,5% NaCl

Setelah dilakukan proses *fitting* kurva polarisasi pada Gambar 4, maka nilai potensial korosi (E_{corr}) dan arus korosi (I_{corr}) dari masing-masing baja bisa ditentukan. Hasilnya dirangkum pada Tabel 2. Potensial korosi (E_{corr}) menunjukkan kecenderungan suatu logam bereaksi dengan lingkungannya. Sedangkan arus korosi (I_{corr}) digunakan untuk menghitung laju korosi yang terjadi pada baja. Gambar 5 menunjukkan pengaruh suhu austenisasi (950-1100 °C) terhadap potensial korosi (E_{corr}) dan laju korosi baja. Pada gambar tersebut nilai potensial korosi (E_{corr}) pada baja AISI 410 mengalami perubahan dengan bertambahnya suhu austenisasi. Nilai potensial korosi (E_{corr}), I_{corr} dan laju korosi yang paling rendah ditemukan pada baja AISI 410 yang sudah diaustenisasi pada 1050 °C, *quench* dan *temper* pada suhu 600 °C. Hal ini mengindikasikan fasa martensit yang terbentuk semakin banyak pada baja AISI 410 setelah austenisasi pada suhu 1050 °C dan *temper* 600 °C sehingga nilai E_{corr} dan laju korosinya semakin kecil. Sedangkan pada baja AISI 410 yang sudah diaustenisasi 1100 °C, *quench* air dan *temper* pada suhu 600 °C terjadi sedikit kenaikan laju korosi kembali. Hasil yang sama juga ada pada penelitian sebelumnya [10].

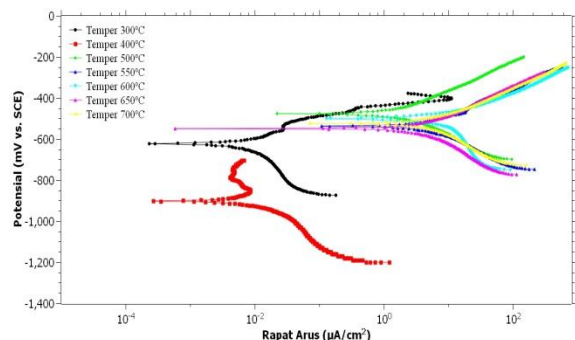


Gambar 5. Laju korosi (CR) dan potensial korosi (E_{corr}) pada baja AISI 410 setelah diaustenisasi pada suhu bervariasi, *quench* dan *temper* pada suhu 600 °C. Pengujian korosi dilakukan dalam larutan 3,5% NaCl

Tabel 2. Nilai laju korosi dan E_{corr} baja AISI 410 yang diperoleh dari hasil pengujian korosi

Suhu austenisasi (°C)	E_{corr} (mV vs. SCE)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
950	-487	6,35
1000	-416	3,97
1050	-501	1,22
1100	-441	1,32

Rapat arus korosi (I_{corr}) tertinggi sebesar $6,35\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dengan potensial korosi -487 mV vs. SCE terjadi pada baja AISI 410 yang diaustenisasi pada suhu 950 °C, *quench* dan *temper* pada suhu 600 °C. Seperti disebutkan pada penelitian Barlow, dkk. [11], meningkatnya suhu austenisasi juga dapat meningkatkan kelarutan karbida. Karbida M_7C_3 larut pada rentang suhu sekitar 950-1050 °C, sedangkan karbida $M_{23}C_6$ larut pada rentang suhu sekitar 1050-1150 °C.



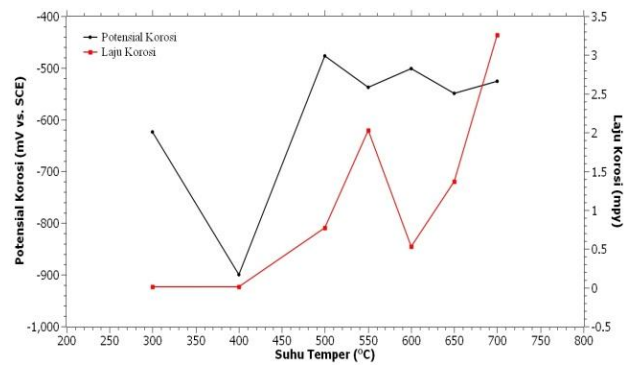
Gambar 6. Kurva polarisasi tafel dari baja AISI 410 yang sudah diaustenisasi pada suhu 1050 °C, *quench* dan *temper* pada suhu bervariasi. Pengujian korosi dilakukan di dalam larutan 3,5% NaCl

Kurva polarisasi tafel dari baja AISI 410 yang diberi perlakuan *temper* bervariasi ditunjukkan pada Gambar 6. Pengujian korosi dilakukan di dalam larutan 3,5% NaCl. Gambar

tersebut menunjukkan adanya perubahan E_{corr} dan I_{corr} pada baja AISI 410 akibat perlakuan *temper* yang berbeda. Kurva polarisasi tafel cenderung bergeser ke kanan dengan kenaikan suhu *temper* di atas 400 °C yang menandakan bahwa I_{corr} semakin besar sedangkan nilai E_{corr} bergeser ke atas atau semakin positif. Setelah suhu *temper* 500 °C tidak terjadi banyak perubahan berarti pada kurva polarisasi tafel. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan *temper* di atas suhu 400 °C menghasilkan karbida krom yang cenderung kasar sehingga menurunkan ketahanan korosi baja tersebut [5]. Tabel 3 menunjukkan nilai potensial korosi (E_{corr}) dan arus korosi (I_{corr}) untuk setiap baja AISI 410 yang diperoleh dari hasil *fitting* kurva tafel pada Gambar 6. Gambar 7 menunjukkan pengaruh dari variasi suhu *temper* terhadap laju korosi dan potensial korosi baja AISI 410. Pada gambar tersebut nilai potensial korosi (E_{corr}), I_{corr} pada baja AISI 410 berubah dengan kenaikan suhu *tempering*. Nilai potensial korosi (E_{corr}), dan I_{corr} yang paling rendah ditemukan pada baja AISI 410 yang diaustenisasi pada suhu 1050 °C, *quench* dan *temper* pada suhu 400 °C. Sedangkan rapat arus korosi tertinggi terdapat pada baja yang dilakukan *temper* pada suhu 700 °C, yaitu sebesar 7,51 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Hal ini disebabkan karena adanya fasa martensit *temper* yang terbentuk di dalam strukturmikro baja AISI 410. Semakin tinggi suhu *temper* maka semakin banyak karbon yang keluar dari fasa martensit membentuk karbida logam yang bersifat kasar sedangkan fasa martensit berubah menjadi fasa martensit *temper*. Banyaknya fasa martensit *temper* yang terbentuk di dalam baja AISI 410 suhu *temper* 700 °C mengakibatkan laju korosi baja tersebut semakin meningkat.

Selain membentuk karbida logam, karbon yang keluar dari fasa martensit kemungkinan juga bisa larut menjadi austenit kembali (*reversed austenite*) pada suhu tertentu. Hal tersebut yang mengakibatkan baja AISI 410 setelah mengalami proses austenisasi suhu 1050 °C, *quench* dan *tempering* suhu 400 dan 600 °C mengalami penurunan nilai laju korosi. *Reversed austenite* juga ditemukan pada penelitian sebelumnya pada suhu *temper* 300 °C [6].

Seperti disebutkan juga pada penelitian Calliari, dkk. [12], laju korosi mengalami peningkatan pada suhu *tempering* 580 °C disebabkan oleh terbentuknya karbida (Cr, Fe)₇C₃ menggantikan karbida (Cr, Fe)₃C.



Gambar 7. Pengaruh suhu *tempering* terhadap laju korosi dan E_{corr} pada baja AISI 410

Jumlah karbida (Cr, Fe)₇C₃ lebih banyak daripada (Cr, Fe)₃C di dalam matriks logam. Sementara itu berdasarkan penelitian Lu, dkk. [6], peningkatan laju korosi pada baja tahan karat martensitik pada suhu *tempering* 500 °C disebabkan banyaknya karbida Cr₂₃C₆ yang terbentuk di dalam matriks logam. Menurut penelitian Rajasekhar [13], pada baja tahan karat martensitik 12Cr dan 16Cr2Ni hasil *temper* pada suhu sekitar 550 °C mengalami penurunan ketahanan korosi. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena karbida logam bersifat *electropositive* jika dibandingkan dengan matriks logam sehingga terjadi korosi mikro dan merusak ketahanan korosi baja tersebut.

Tabel 3. Nilai potensial korosi (E_{corr}) dan arus korosi (I_{corr}) baja AISI 410 hasil *temper* pada suhu yang bervariasi diperoleh dari hasil *fitting* kurva tafel pada Gambar 6

Suhu <i>tempering</i> (°C)	E_{corr} (mV vs. SCE)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
300	-624	0,03
400	-900	0,024
500	-477	1,78
550	-537	4,68
600	-501	1,22
650	-549	3,15
700	-526	7,51

4. KESIMPULAN

Proses perlakuan panas (*quenching* dan *tempering*) pada baja AISI 410 memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan strukturmikro dan ketahanan korosinya. Strukturmikro pada baja AISI 410 setelah proses aniling adalah berupa ferit dan karbida logam. Strukturmikro pada baja AISI 410 dengan variasi suhu austenisasi dan *temper* adalah berupa martensit *temper*, austenit sisa

dan karbida logam. Strukturmikro pada baja AISI 410 yang diaustenisasi pada suhu 1050 °C, dan *temper* pada suhu bervariasi adalah berupa martensit temper yang semakin renggang dan pendek dan austenit sisa yang semakin berkurang seiring peningkatan suhu *tempering*. Sementara itu karbida logam semakin bertambah seiring peningkatan suhu *tempering*. Untuk pengaruh suhu austenisasi, laju korosi paling rendah diperoleh pada baja AISI 410 yang diberi perlakuan austenisasi pada suhu 1050 °C, *quench* dan *temper* pada suhu 600 °C. Untuk pengaruh suhu *temper*, rapat arus korosi paling rendah diperoleh pada baja AISI 410 yang diaustenisasi pada suhu 1050 °C dan *temper* pada suhu 300 dan 400 °C.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI yang telah mendanai kegiatan ini melalui Kompetensi Inti 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Mabruuri, M. S. Anwar, S. Prifiharni, T. B. Romijarso, dan B. Adjiantoro, "Pengaruh Mo dan Ni terhadap strukturmikro dan kekerasan baja tahan karat martensitik 13Cr," *Majalah Metalurgi*, vol. 30, no. 3, pp. 133–140, 2015.
- [2] S. Kulkarni, P. Srinivas, P. K. Biswal, G. Balachandran, dan V. Balasubramanian, "Improvement in mechanical properties of 13Cr martensitic stainless steels using modified heat treatments," in *Proceedings of the 28th ASM Heat Treating Society Conference*, 2015, pp. 335–341.
- [3] E. Mabruuri, Z. A. Syahlan, Sahlan, S. Prifiharni, M. S. Anwar, S. A. Chandra, T. B. Romijarso, dan B. Adjiantoro, "Influence of austenitizing heat treatment on the properties of the tempered type 410-1Mo stainless steel," in *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 202*, 2017, pp. 012085.
- [4] R. de Mendonça dan N. A. Mariano, "Tempering effect on the localized corrosion of 13Cr4Ni0.02C and 13Cr1Ni0.15C steels in a synthetic marine environment," *Rem Rev. Esc. Minas*, vol. 68, no. 2, pp. 201–206, 2015.
- [5] Z. Jiang, H. Feng, H. Li, H. Zhu, S. Zhang, B. Zhang, Y. Han, T. Zhang, dan D. Xu, "Relationship between microstructure and corrosion behavior of martensitic high nitrogen stainless steel 30Cr15Mo1N at different austenitizing temperatures," *Mater. (Basel)*, vol. 10, no. 8, pp. 1–19, 2017.
- [6] S. Y. Lu, K. F. Yao, Y. B. Chen, M. H. Wang, X. Liu, dan X. Ge, "The effect of tempering temperature on the microstructure and electrochemical properties of a 13 wt.% Cr-type martensitic stainless steel," *Electrochim. Acta*, vol. 165, pp. 45–55, 2015.
- [7] C. G. De Andrés, L. F. Álvarez, V. López, dan J. A. Jiménez, "Effects of carbide-forming elements on the response to thermal treatment of the X45Cr13 martensitic stainless steel," *J. Mater. Sci.*, vol. 33, no. 16, pp. 4095–4100, 1998.
- [8] J. R. Davis, Ed., *ASM Specialty Handbook: Stainless Steels*. ASM International, pp. 304, 1994.
- [9] J. C. Ezechidelu dan S. O. Enibe, "Effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of a welded AISI 410 martensitic stainless steel," *Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 4, pp. 6–12, 2016.
- [10] S. Prifiharni, M. S. Anwar, dan E. Mabruuri, "Perlakuan panas terhadap strukturmikro dan ketahanan korosi baja tahan karat 13Cr-1Mo," *Widyariset*, vol. 2, no. 1, pp. 9–16, 2016.
- [11] L. D. Barlow dan 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, no. 7, pp. 1327–1336, 2012.
- [12] I. Calliari, K. Brunelli, dan E. Ramous, "Investigation of microstructure and properties of a Ni-Mo martensitic stainless steel," *Mater. Des.*, vol. 29, no. 1, pp. 246–250, 2008.
- [13] A. Rajasekhar, "Corrosion behavior of martensitic stainless steels-role of composition and heat treatment procedures," *Int. J. Sci. Res. (IJSR)*, vol. 4, no. 4, pp. 2795–2798, 2015.

