



## PENGARUH SUHU DAN WAKTU TEMPERING TERHADAP KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO, DAN LAJU KOROSI BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK 13Cr3Mo3Ni

Hadi Perdana<sup>a</sup>, Moch. Syaiful Anwar<sup>b</sup>, Andinnie Juniarsih<sup>a</sup> dan Efendi Mabru<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>Teknik Metalurgi, FT. UNTIRTA, Jl. Jenderal Sudirman Km 03 Cilegon, Banten 42435 Indonesia

<sup>b</sup>Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI, Kawasan PUSPIPTEK, Tangerang Selatan, Banten 15314 Indonesia

\*Email: [effe004@lipi.go.id](mailto:effe004@lipi.go.id)

Masuk Tanggal : 16-02-2017, revisi tanggal : 16-04-2017, diterima untuk diterbitkan tanggal 28-04-2017

### Intisari

Baja tahan karat 13Cr3Mo3Ni merupakan modifikasi dari baja tahan karat martensitik 410 untuk digunakan sebagai material sudu pada turbin uap. Tulisan ini memaparkan pengaruh suhu dan waktu tempering terhadap kekerasan, struktur mikro dan laju korosi baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni. Pengujian yang dilakukan adalah pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan SEM-EDS, uji kekerasan dengan Rockwell C dan uji korosi di dalam larutan 3,5% NaCl dengan alat Gamry G750. Secara umum kekerasan baja menurun dengan naiknya suhu tempering, kecuali pada suhu 500-650 °C terjadi peningkatan kekerasan akibat adanya *secondary hardening* dan karbida logam berukuran sub-mikron teramati sebagai penyebabnya. Peningkatan waktu tempering menjadi 6 jam mengakibatkan penurunan kekerasan dan penghilangan efek *secondary hardening*. Perbedaan suhu tempering juga menghasilkan perbedaan potensial, arus serta laju korosi baja 13Cr3Mo3Ni.

**Kata Kunci:** Baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni, tempering, secondary hardening, kekerasan, struktur mikro, laju korosi

### Abstract

The 13Cr3Mo3Ni martensitic stainless steel is the modified 410 type steel for steam turbine blade application. This paper reports the effect of tempering temperature and time on hardness, microstructure and corrosion rate of the modified steel. Microstructure observation was performed using optical microscopy and SEM-EDS, hardness testing using Rockwell C hardness tester and the corrosion test in 3.5% NaCl solution using Gamry G750 instrument. In general, the hardness of the steel decreased with increasing of tempering temperature. However, the hardness increased at the tempering temperature 500-650 °C showing secondary hardening, and the metal carbides with sub-micron in sizes were observed in the microstructure. Longer tempering time of 6 h resulted in decreased hardness without secondary hardening. It can be reported also that the tempering temperature changed the potential, current and rate of corrosion of the 13Cr3Mo3Ni steel.

**Keywords:** 13Cr3Mo3Ni Martensitic stainless steel, tempering, secondary hardening, hardness, microstructure, corrosion rate

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu cara untuk memperoleh energi listrik adalah dengan mengubah energi mekanik uap menjadi energi listrik seperti terjadi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU. Turbin adalah kunci pada pembangkit listrik tenaga uap, terutama pada bagian sudu turbin. Komponen sudu turbin berfungsi memutar poros turbin yang kemudian menghasilkan

energi listrik<sup>[1]</sup>. Pada umumnya material yang digunakan sudu turbin uap tekanan rendah adalah baja tahan karat martensitik 410 tipe 13 Cr, yang memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang memadai<sup>[2]</sup>. Sudu turbin bekerja dengan putaran yang tinggi serta lingkungan yang korosif yang menyebabkan mudah terjadi kegagalan pada sudu turbin. Kegagalan utama pada sudu turbin biasanya terjadi akibat

kombinasi mekanik dengan korosi sumuran yang mengakibatkan terjadinya korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*). Salah satu solusi yang bisa dilakukan untuk menganggulangi hal tersebut adalah dengan meningkatkan ketahanan korosi sumuran dan sifat mekaniknya.

Salah satu cara meningkatkan ketahanan korosi dan sifat mekanik baja tahan karat 13Cr adalah dengan perlakuan panas dan penambahan unsur paduan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Maburri dkk<sup>[1,3]</sup>, telah dilakukan proses penambahan unsur Mo dan Ni untuk meningkatkan ketahanan korosi sumuran dari baja tahan karat tipe 13Cr yang dikembangkan menjadi 13Cr3Mo3Ni.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat kekerasan, struktur mikro dan laju korosi baja karat martensitik 13Cr3Mo3Ni setelah dilakukan perlakuan panas dengan suhu dan waktu tempering yang bervariasi.

## 2. PROSEDUR PERCOBAAN

Sampel baja dibuat dengan tungku induksi dan dicetak menjadi ingot. Ingot baja kemudian ditempa panas (*hot forging*) pada suhu 1200 °C. Sampel dipanaskan kembali untuk aniling pada suhu 800 °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-sampel tersebut dilakukan proses austenisasi pada suhu 1050 °C selama 1 jam dan didinginkan cepat di dalam oli. Tabel 1 menunjukkan komposisi kimia baja tahan karat 410 dan baja tahan karat 13Cr3Mo3Ni.

Tabel 1. Komposisi kimia baja tahan karat yang dipersiapkan pada percobaan ini

Unsur	Jenis Baja	
	410	13Cr3Mo3Ni
C	0,03	0,10
S	0,0012	0,005
P	0,0162	0,002
Mn	0,34	0,61
Si	0,68	0,24
Cr	12,8	12,73
Mo	0,002	2,52
Ni	0,155	2,93
Fe	Bal	Bal.

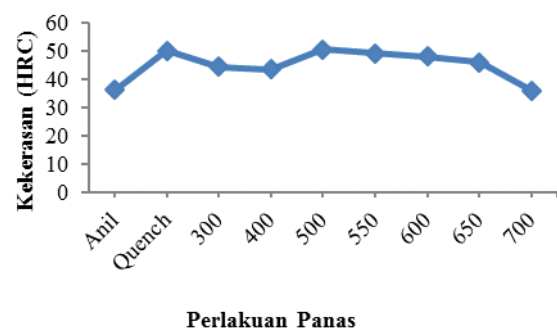
Masing-masing sampel yang telah diaustenisasi selanjutnya dilakukan proses tempering pada suhu 300, 400, 500, 550, 600, 650 dan 700 °C dengan waktu tahan 1, 3 dan 6 jam dan didinginkan di udara. Keseluruhan sampel dilakukan uji kekerasan menggunakan

Rockwell C, analisis metalografi menggunakan mikroskop optik (OM) dan SEM. Sampel dengan waktu tempering 1 jam direndam di dalam larutan 3,5% NaCl untuk dilakukan analisis laju korosi dengan menggunakan alat Gamry G750 series.

## 3. HASIL DAN DISKUSI

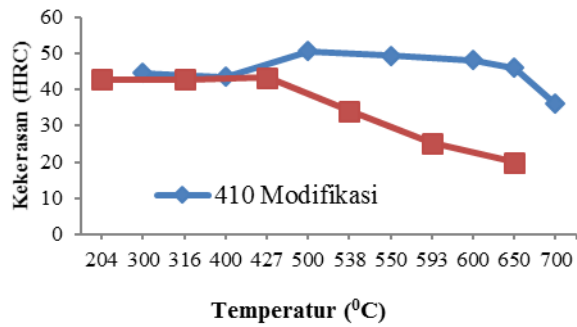
### A. Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Tempering terhadap Kekerasan Baja Tahan Karat 13Cr3Mo3Ni

Pada Gambar 1 menunjukkan kekerasan baja 13Cr3Mo3Ni setelah tempering selama 1 jam lebih rendah daripada kekerasan baja setelah *quenching*. Pada suhu tempering 300 dan 400 °C diperoleh nilai kekerasan sebesar 44,53 dan 43,56 HRC. Akan tetapi pada tempering 500 °C terjadi kenaikan nilai kekerasan yang cukup tinggi yaitu menjadi sebesar 50,6 HRC. Fenomena ini disebut sebagai *secondary hardening* yang umumnya terjadi pada suhu tempering antara 400-600 °C. Adanya penambahan unsur kromium dan molibdenum menyebabkan terbentuknya karbida-logam ( $M_7C_3$ ) di dalam martensit *lath* sehingga kekerasannya menjadi tinggi<sup>[5-8]</sup>. Pada suhu tempering 700 °C terjadi penurunan kekerasan mendekati nilai kekerasan baja tahan karat pada saat setelah dilakukan proses aniling. Hal ini kemungkinan disebabkan peningkatan relaksasi struktur martensit menjadi martensit temper dan pembesaran ukuran karbida (*coarsening*).



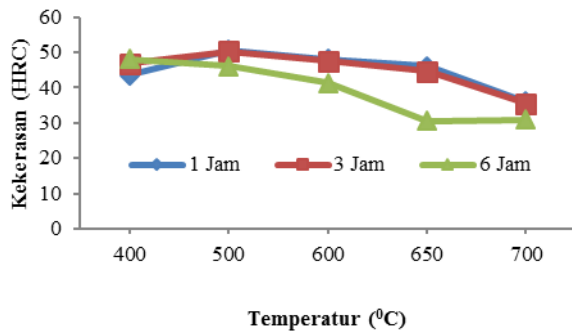
Gambar 1. Pengaruh suhu tempering terhadap kekerasan baja 13Cr3Mo3Ni

Gambar 2 menunjukkan perbandingan nilai kekerasan antara baja 13Cr3Mo3Ni dengan baja standar 410 kondisi ASTM A276 (austenisasi 955 °C waktu 1 jam)<sup>[9-10]</sup>. Pada gambar tersebut terlihat bahwa perbedaan nilai kekerasan yang cukup besar antara baja standar 410 dan baja 410 modifikasi (13Cr3Mo3Ni).



Gambar 2. Perbandingan kekerasan baja 13Cr3Mo3Ni dengan baja standar 410<sup>[10-11]</sup>

Pada baja standar 410 memiliki nilai kekerasan terbesar 43 HRC sedangkan pada baja 13Cr3Mo3Ni memiliki nilai kekerasan terbesar 50,15 HRC. Selain itu baja 13Cr3Mo3Ni dapat mempertahankan kekerasan yang tinggi sampai suhu tempering 650 °C. Sedangkan baja standar 410 dapat mempertahankan kekerasan yang tinggi sampai suhu tempering 450 °C. Hal ini disebabkan kemungkinan adanya senyawa karbida (Cr, Fe, Mo)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> yang terbentuk di dalam baja 13Cr3Mo3Ni sehingga nilai kekerasannya tetap tinggi meskipun beroperasi pada suhu tinggi.



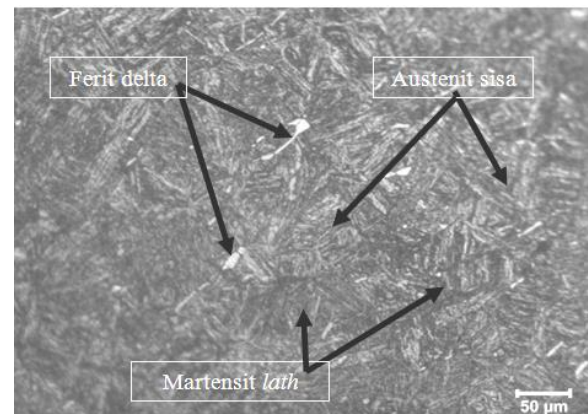
Gambar 3. Kekerasan baja 13Cr3Mo3Ni pada berbagai waktu tempering

Gambar 3 menunjukkan pengaruh variasi waktu tempering terhadap nilai kekerasan baja 13Cr3Mo3Ni. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kurva tempering pada waktu 1 jam dengan kurva waktu 3 jam tidak terjadi perbedaan nilai kekerasan yang signifikan. Pada suhu tempering 500 °C antara waktu 1 jam dan waktu 3 jam juga terjadi *secondary hardening* yang memiliki nilai kekerasan sebesar 50,15 dan 50,26 HRC. Akan tetapi terjadi perbedaan yang signifikan antara kurva tempering dengan waktu 1 jam terhadap kurva tempering dengan waktu 6 jam. Pada baja dengan waktu tempering 6 jam, kekerasan menurun cukup signifikan dan selain itu terlihat bahwa fenomena *secondary hardening* tidak

terjadi. Secara umum pengaruh dari waktu tahan pada proses tempering adalah semakin besar waktu yang digunakan pada proses tempering maka akan semakin rendah nilai kekerasan logam yang didapat<sup>[5]</sup>. Lamanya waktu untuk proses tempering pada baja tahan karat 410 modifikasi dapat menyebabkan dekomposisi fasa martensit menjadi ferit dan karbida.

#### a. Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Tahan Tempering terhadap Struktur Mikro Baja Tahan Karat 13Cr3Mo3Ni

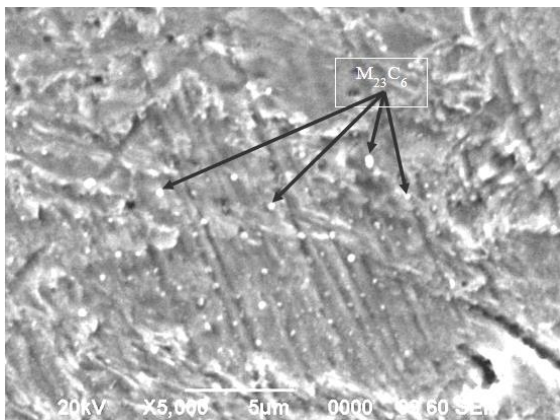
Pada umumnya struktur mikro yang terbentuk setelah proses tempering adalah fasa martensit berbentuk bilah (*lath*), ferit, karbida logam, austenit sisa, dan ferit delta<sup>[1,11]</sup>. Proses tempering bertujuan untuk meningkatkan keuletan sebagai akibatnya kekerasan turun namun diimbangi dengan pembentukan karbida logam, sehingga merubah fasa martensit menjadi martensit temper berbentuk *lath* (karbida+ferit)<sup>[5]</sup>.



Gambar 4. Struktur mikro baja 13Cr3Mo3Ni yang ditemper pada 400 °C selama 1 jam. Etsa Kalling's

Baja 13Cr3Mo3Ni setelah proses tempering menunjukkan struktur mikro yang terbentuk terdiri dari fasa martensit *lath*, austenit sisa, ferit delta dan karbida logam, yang dapat dilihat pada Gambar 4 untuk struktur mikro baja 13Cr3Mo3Ni setelah tempering pada suhu 400 °C selama 1 jam. Gambar tersebut menunjukkan pada struktur mikro tersebut terlihat cukup banyak fasa martensit *lath* yang terbentuk dan masih terdapat sedikit austenit sisa, juga terbentuk sedikit delta ferit. Adanya fasa austenit sisa yang tidak bertransformasi akan berada berbatasan dengan martensit *lath*<sup>[1]</sup>. Hasil struktur mikro yang sama juga ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Renanto de Mendoco dkk<sup>[14]</sup>.

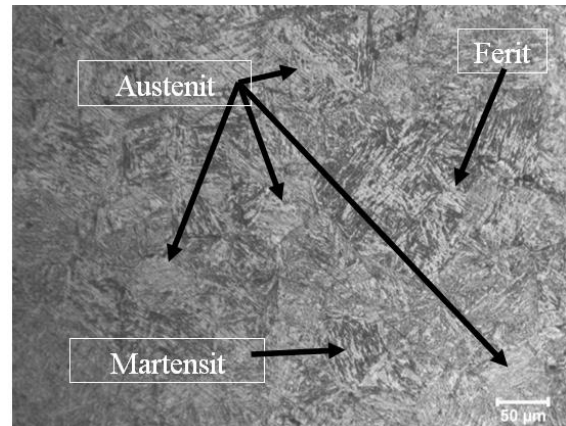
Proses tempering dengan suhu 500 °C juga menunjukkan adanya fasa martensit *lath*, ferit delta, austenit sisa dan karbida logam  $M_7C_3$ . Selain itu pada proses tempering 500 °C terbentuk karbida logam  $M_{23}C_6$  yang dapat dilihat pada Gambar 5. Dari gambar tersebut terlihat bahwa karbida logam berbentuk butiran-butiran kecil berwarna terang yang terdistribusi merata pada fasa martensit *lath* dan austenit sisa. Sebagian fasa karbida logam juga terbentuk di dalam pulau fasa ferit delta. Karbida yang terbentuk pada saat tempering pada suhu tinggi merupakan  $M_{23}C_6$  yang telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya<sup>[1,11]</sup>. Karbida logam  $M_{23}C_6$  pada baja tahan karat martensitik biasanya mulai terbentuk pada suhu diatas 500 °C telah dilaporkan sebelumnya<sup>[1]</sup>. Pada suhu tempering yang rendah sekitar 300 °C, karbida yang terbentuk berupa  $M_3C$  yang tidak stabil<sup>[7]</sup>. Karbida logam  $M_3C$  akan bertransformasi menjadi karbida logam  $M_7C_3$  dan  $M_{23}C_6$  yang lebih stabil pada suhu proses tempering yang lebih tinggi<sup>[7]</sup>.



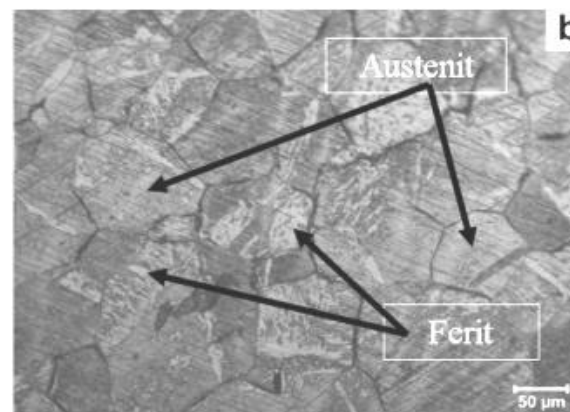
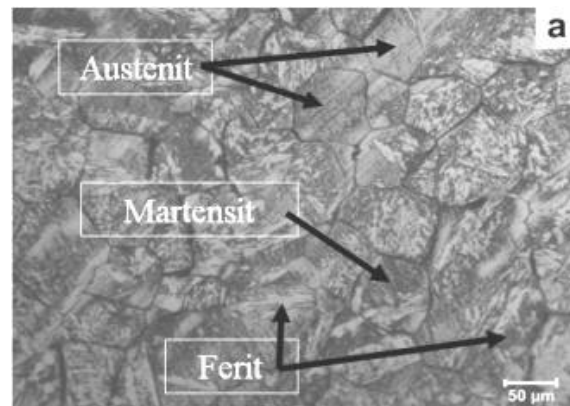
Gambar 5. Foto SEM baja 13Cr3Mo3Ni yang ditemper pada 500 °C yang menunjukkan karbida logam. Etsa Kalling's

Proses tempering dengan suhu 600 °C juga menunjukkan adanya fasa martensit *lath*, sedikit ferit, austenit sisa dan sedikit karbida logam. Akan tetapi fasa austenit yang ada pada suhu tempering 600 °C ini terlihat cukup banyak bila dibandingkan dengan proses tempering pada suhu 400 °C (Gambar 4). Peningkatan jumlah fasa austenit pada tempering dengan suhu 600 °C dapat dilihat pada Gambar 6. Calliari, dkk<sup>[11]</sup> dalam penelitiannya menyatakan bahwa fasa austenit akan bertambah pada suhu tempering 500-600 °C. Hal ini dapat terjadi karena karbida logam yang sudah terbentuk pada suhu tempering 400-500 °C bertransformasi kembali menjadi fasa austenit sehingga menyebabkan fasa austenit pada suhu 600 °C bertambah.

Selain itu fasa ferit yang terbentuk dari transformasi martensit menjadi martensit temper akibat proses tempering sudah mulai terlihat.



Gambar 6. Foto struktur mikro baja 13Cr3Mo3Ni dengan OM yang ditemper pada 600 °C selama 1 jam. Etsa Kalling's

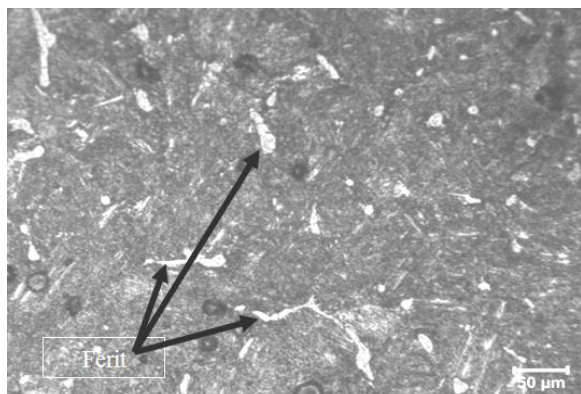


Gambar 7. Foto struktur mikro baja 13Cr3Mo3Ni dengan OM yang ditemper pada (a) 650 °C dan (b) 700 °C selama 1 jam. Etsa Kalling's

Struktur mikro pada suhu tempering 650 dan 700 °C menunjukkan fasa martensit yang berkurang sebagian. Martensit bertransformasi menjadi ferit dan karbida yang terbentuk pada batas butir sehingga terlihat dengan jelas batas antar butir. Dari Gambar 7 tersebut terlihat dengan jelas bahwa telah terjadi pembesaran

ukuran butir pada struktur mikro baja yang dilakukan tempering pada suhu 650-700 °C. Tingkat dekomposisi martensit dan ukuran butir yang lebih besar pada baja dengan tempering 700 °C menyebabkan penurunan kekerasan yang cukup signifikan.

Struktur mikro pada tempering dengan waktu tahan 6 jam juga menunjukkan perbedaan yang tidak berbeda jauh terhadap tempering dengan waktu tahan 1 jam dan 3 jam. Perbedaan yang terlihat antara struktur mikro pada tempering dengan waktu tahan 6 jam dengan suhu tempering 1 dan 3 jam hanya pada tidak terlihatnya batas butir. Pada keseluruhan proses tempering dengan waktu tahan 6 jam tidak terlihat batas butir yang jelas. Selain itu pada struktur mikro dengan suhu tempering 700 °C dan waktu tahan 6 jam, fasa martensit *lath* tidak terlihat dan terlihatnya fasa ferit delta berukuran cukup besar yang menyebabkan turunnya nilai kekerasan baja. Gambar dari struktur mikro pada suhu tempering 700 °C dan waktu tahan 6 jam dapat dilihat pada Gambar 8. Gambar tersebut menunjukkan tidak terlihat martensit *lath* yang terbentuk, akan tetapi ferit delta dan karbida logam yang terbentuk terlihat cukup banyak. Jadi pengaruh waktu tahan terhadap struktur mikro yang terbentuk pada sampel baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni sangat signifikan terutama pada waktu tahan 6 jam.

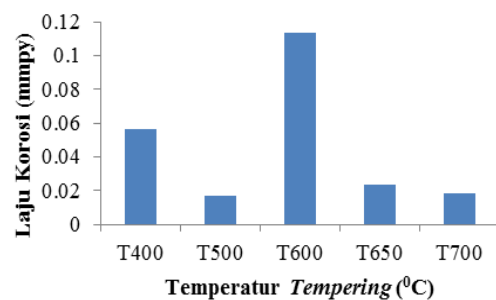


Gambar 8. Foto struktur mikro baja 13Cr3Mo3Ni dengan OM setelah tempering pada suhu 700 °C selama 6 jam. Etsa Kalling's

#### b. Pengaruh Suhu *Tempering* terhadap Laju Korosi Baja Tahan Karat 13Cr3Mo3Ni

Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai laju korosi terendah ada pada suhu tempering 500 °C dengan nilai sebesar 0,01717 mmpy. Dari data tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu tempering yang digunakan maka laju korosi yang dihasilkan akan semakin rendah dan ketahanan korosi akan meningkat.

Akan tetapi pada suhu tempering 600 °C nilai laju korosi bertambah, hal ini dikarenakan presipitasi karbida pada batas butir menyebabkan meningkatnya laju korosi dari 13Cr3Mo3Ni. Selain itu, Prifiharni Siska, dkk.<sup>[12]</sup> di dalam penelitiannya menyatakan bahwa laju korosi pada material yang sama akan menurun pada proses tempering pada suhu 500-600 °C. Presipitasi dari karbida pada batas butir dan menipisnya lapisan pasif kromium dapat mempengaruhi penurunan ketahanan korosi baja. Ketika baja tahan karat kontak langsung dengan lingkungan yang mengandung air, maka terbentuk lapisan pasif kromium oksida (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang akan memberikan ketahanan korosi yang lebih baik. Akan tetapi, lapisan pasif kromium oksida dapat terserang langsung di lokasi-lokasi tertentu yang disebabkan oleh lemahnya lapisan pasif di material yang heterogen seperti presipitat, inklusi, dan segregasi. Alasan lainnya disebabkan oleh akumulasi ion klorida yang terdapat di permukaan yang heterogen<sup>[13,15]</sup>. Peningkatan suhu tempering dapat menurunkan tegangan sisa dan meningkatkan ketahanan korosi baja. Hal ini dikarenakan meningkatnya kandungan unsur kromium yang terlarut dalam matriks. Penelitian yang dilakukan oleh *nickel development institute* menyatakan bahwa kelarutan karbida di dalam matriks baja tahan karat diharapkan dapat meningkatkan karbida logam Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> dan Mo<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, sehingga ketahanan korosi akan meningkat<sup>[16]</sup>. Standar laju korosi untuk baja tahan karat 13Cr harus di bawah 0,025 mmpy. Laju korosi pada baja 13Cr3Mo3Ni didapatkan nilai terendah ada pada suhu tempering 500 °C dengan nilai sebesar 0,01717 mmpy. Oleh karena itu terbukti bahwa pengaruh tempering dapat menurunkan nilai laju korosi yang akan dihasilkan.



Gambar 9. Pengaruh suhu tempering terhadap laju korosi baja 13Cr3Mo3Ni

## D. KESIMPULAN

Telah dilakukan penelitian pengaruh suhu dan waktu tempering terhadap kekerasan, struktur mikro dan laju korosi baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni. Fasa yang terbentuk dari berbagai variasi suhu dan waktu pada proses tempering adalah fasa martensit *lath*, austenit, ferit delta, ferit dan senyawa karbida logam. Secara umum kekerasan baja menurun dengan naiknya suhu tempering. Akan tetapi dapat diamati adanya efek *secondary hardening* akibat presipitasi karbida logam saat proses tempering pada suhu 500-650 °C yang mengakibatkan meningkatnya kekerasan pada rentang suhu tersebut. Peningkatan suhu tempering dari 1 menjadi 3 jam relatif tidak merubah kekerasan. Penurunan kekerasan secara signifikan terjadi pada waktu tempering selama 6 jam. Pada selang parameter yang dilakukan pada penelitian ini, baja dengan suhu tempering 500 °C selama 1 jam dan 3 jam memiliki kekerasan yang paling tinggi masing-masing sebesar 50,15 dan 50,26 HRC. Sedangkan baja dengan suhu tempering 650 dan 700 °C dengan waktu masing-masing 6 jam memiliki kekerasan terendah masing-masing sebesar 30,56 dan 30,9 HRC. Laju korosi baja 13Cr3Mo3Ni cenderung rendah di bawah 0,025 mmpy pada suhu tempering tinggi kecuali pada suhu tempering 600 °C sebesar 0,14 mmpy.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI yang telah mendanai penelitian ini melalui kegiatan Kompetensi Inti pada Tahun Anggaran 2016.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Efendi Maburri, M. Syaful Anwar, Siska Prifiharni, Toni Bambang R., Bintang Adjiantoro, "Pengaruh Mo dan Ni terhadap struktur mikro dan kekerasan baja tahan karat martensitik 13Cr," *Majalah Metalurgi.*, 3, 133-140, 2015.
- [2] Kelly, J. *Chapter 2 Stainless Steels*. Mechanical Engineers Handbook: Materials and Mechanical Design, Volume 1, Third Edition. Michigan.
- [3] Efendi Maburri, M. Syaful Anwar, Siska Prifiharni, Toni Bambang R., Bintang Adjiantoro, "Tensile properties of the modified 13Cr martensitic stainless steel," *AIP Conference Proceeding.*, 1725, pp. 020039, 2016.

- [4] ASM International Handbook Committee. Properties and Selection Irons, Steels, and High-Performance Alloys. ASM Metals Handbook, Vol 01. United States of America 1993.
- [5] ASM International Handbook Committee. Heat Treating. ASM Metals Handbook, vol 04. United States of America 1991.
- [6] B. Qin, Z.Y. Wang, Q.S. Sun, "Effect of tempering temperatur on properties of 00Cr16Ni5Mo stainless steel," *Material Characterization.*, 59, 1096-1100, 2008.
- [7] A. Nasery Isfahany, H. Saghafian, G. Borhani, "The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI 420 martensitic stainless steel," *Journal of Alloys and Coumpounds.*, 509(9), 3931-3936, 2010.
- [8] ASM International Handbook Committee. Metallography and Microstructure. ASM Metals Handbook, vol 09, United States of America 2004.
- [9] ASTM International. Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes. Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States 2005.
- [10] <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=970> Nilai Kekerasan 410 tanpa paduan. Diakses 09 Agustus 2016.
- [11] I. Calliari, M. Zanesco, M. Dabala, K. Brunelli, E. Ramous, "Investigation of microstructure and properties of a Ni-Mo martensitic stainless steel," *Material and Design.*, 29, pp. 246-290, 2008.
- [12] Siska Prifirhani, M. Syaful Anwar, Efendi Maburri, "Perlakuan panas terhadap struktur mikro dan ketahanan korosi baja tahan karat 13Cr-1Mo," *Widyariset.*, vol.2 No.1, pp. 9-16, 2016.
- [13] Barlow, Lilian D., "The effect of austenitising and tempering parameters on the microstructure and hardness of martensitic stainless steel AISI 420," *Built Enviroment.*, vol. 21, pp. 1327-1336, 2012.
- [14] Mendonça, Renato de & Mariano, Neide Aparecida, "Tempering effect on the localized corrosion of 13Cr4Ni0,02C and 13Cr1Ni0,15C steels in a synthetic marine environment," *Rem: Revista Escola de Mina.s.*, vol. 68(2), pp. 201-206, 2015.
- [15] Amit Kumar Singh, G. Madhusudhan Reddy, K. Srinivas Rao, "Pitting corrosion resistance and bond strength of stainless steel overlay by friction surfacing on high

strength low alloy steel,” *Defence Technology.*, 11(3), 299-307, 2015.

- [16] Nickel Development Institute. High Temperatur Characteristics of Stainless Steel. A Designers Handbook Series N 9004. American Iron And Steel Institute.

