

PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO DAN LAJU KOROSI PADA BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK 13Cr3Mo3Ni

¹⁾ Hadi Perdana, ²⁾ Andinnie Juniarsih, ST., MT. dan ³⁾ Dr. Efendi

^{1), 2),} Teknik Metalurgi, FT. UNTIRTA, Jl. Jenderal Sudirman Km 03 Cilegon, Banten 42435

³⁾ Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI Gedung 470 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia

¹⁾ E-Mail : diperdana17@gmail.com

ABSTRAK

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan. Pembangkit listrik tenaga uap merupakan salah satu tempat yang dapat menghasilkan energi listrik. Turbin adalah komponen terpenting dalam pembangkit listrik tenaga uap, terutama pada bagian sudu turbin. Komponen sudu turbin berfungsi mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik yang selanjutnya diubah menjadi energi mekanik untuk memutar poros turbin dan menghasilkan energi listrik.^[1] pada umumnya bahan baku untuk membuat sudu turbin adalah baja tahan karat martensitik tipe 410, akan tetapi baja tahan karat tipe 410 mudah terjadi kegagalan dikarenakan lingkungan kerja yang korosif dan putaran yang tinggi. Salah satu cara menanggulangi hal ini adalah dengan cara memodifikasi baja tahan karat tipe 410 tersebut. Baja yang telah di modifikasi diberikan proses *hot forging* yang kemudian di anil. Setelah itu sampel di preparasi dan dipotong menjadi ukuran 1x1x0,5 cm. Setelah itu sampel tersebut di austenisasi pada temperatur 1050⁰C dan *quenching* dengan media oli. Setelah itu sampel di *tempering* dengan variasi temperatur 300-700⁰C dan waktu tahan 1,3 dan 6 jam untuk mengetahui karakterisasi yang terbentuk. Sampel tersebut di uji kekerasan, analisa struktur mikro dan analisa laju korosi dengan acuan ASTM A276. Struktur mikro yang terbentuk adalah fasa martensit *lath*, austenit sisa, ferit delta, ferit dan senyawa karbida. Kekerasan tertinggi yang dihasilkan sampel ada pada temperatur 500⁰C dengan waktu tahan 1 jam sebesar 50,6 HRC. Laju korosi terendah sebesar 0,1717 mmpy Sampel baja tahan karat yang dimodifikasi terbukti memiliki sifat kekerasan dan laju korosi yang lebih baik jika dibandingkan sampel 410 tanpa modifikasi.

Kata kunci: baja tahan kara tipe 410, *tempering*, sruktur mikro, kekerasan, laju korosi

PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap energi merupakan hal mendasar yang dibutuhkan dalam usaha meningkatkan taraf hidup masyarakat. Seiring dengan meningkatnya taraf hidup serta kuantitas dari masyarakat, maka kebutuhan akan energi juga semakin meningkat. Dalam hal ini, energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan, karena dapat diubah ke bentuk energi lainnya. Salah satu cara untuk memperoleh energi listrik adalah dengan cara mengubah energi dari panas uap menjadi energi listrik yang ada pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU. Turbin adalah kunci pada pembangkit listrik tenaga uap, terutama pada bagian sudu turbin. Komponen sudu turbin berfungsi mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik yang selanjutnya diubah menjadi energi mekanik untuk memutar poros turbin dan menghasilkan energi listrik^[1]. Pada umumnya bahan baku material yang digunakan sudu turbin uap tekanan rendah adalah baja tahan karat tipe martensitik 13 Cr tipe 410, dikarenakan memiliki sifat mekanik yang cukup bagus^[2]. Sudu turbin bekerja dengan putaran yang tinggi dan lingkungan yang korosif yang menyebabkan sudu turbin mudah terjadi kegagalan. Kegagalan utama pada sudu turbin biasanya terjadi akibat kombinasi mekanik dengan korosi sumuran yang mengakibatkan terjadinya korosi retak tegang. 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 dari baja tahan karat 13Cr adalah dengan diberikan perlakuan panas dan penambahan unsur paduan. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan proses penambahan unsur Mo dan Ni untuk meningkatkan ketahanan korosi sumuran dari material baja tahan karat tipe 13Cr yang dikembangkan menjadi 13Cr3Mo3Ni oleh bapak Efendi Mabruri dan M. Syaiful pada tahun 2015 di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI di Puspiptek, Tangerang Selatan^[1,3,4]. Material 13Cr3Mo3Ni tersebut memiliki komposisi terbaik dari variabel komposisi lainnya terhadap nilai kekerasan dan laju korosi. Dikarenakan penambahan unsur Mo dan Ni, maka akan mengubah nilai kekerasan dan struktur mikro dari material yang di modifikasi.

Atas hal tersebut, maka penulis tertarik untuk mengetahui nilai kekerasan dari sampel

baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni yang dikembangkan melalui proses *tempering* dengan mengacu kepada standar baja tahan karat AISI 410.

TINJAUAN PUSTAKA

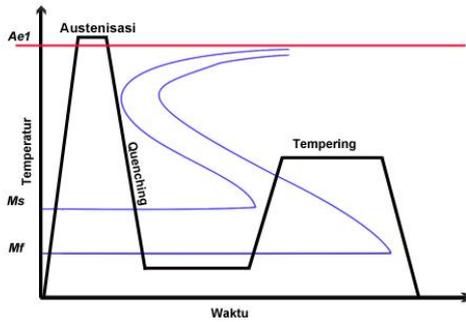
Baja tahan karat atau *stainless steel* adalah baja paduan dengan kandungan kromium sebesar 10,5% - 30% . Beberapa baja tahan karat mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Nama baja tahan karat didapatkan karena kemampuan tahan karat yang diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi lapisan oksida besi (Ferum)

Baja tahan karat martensitik adalah paduan dari kromium dan karbon yang memiliki penyimpangan struktur kristal *body-centered cubic (bcc)* atau martensit *temper* ketika kondisi baja tahan karat tersebut telah diberikan proses *tempering*. Baja tahan karat ini bersifat *ferromagnetic* dan dapat dikeraskan melalui perlakuan panas *quenching* dan *tempering* serta umumnya tahan korosi hanya pada kondisi lingkungan yang sejuk. Baja tahan karat martensitik memiliki sifat ulet ketahanan temperatur yang rendah, selain itu baja tersebut juga memiliki sifat mampu las yang rendah juga. Baja tahan karat jenis ini mengandung kromium antara 10,5% sampai 18% dan karbon lebih dari 1,2%. Komposisi baja tahan karat martensitik dapat dilihat pada Tabel A.

Tabel A Komposisi Baja Tahan Karat Martensitik 410^[5]

Tipe	Komposisi						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
410	0,15	1,00	1,00	11,5-13,5	-	0,04	0,08

Proses perlakuan panas pada baja tahan karat martensitik memiliki esensi yang sama dengan perlakuan panas terhadap baja yang lainnya. Kekerasan dari baja tahan karat juga bergantung kepada kadar karbonnya, apabila kadar karbonnya tinggi maka kekerasan juga akan semakin tinggi. Sebaliknya apabila kadar karbonnya rendah maka kekerasan baja tahan karat akan semakin rendah. Perbedaan kadar paduan tersebut menyebabkan transformasi menjadi lambat dan kemampuan keras menjadi tinggi.



Gambar A Proses Pemanasan Martensit *Temper*

Gambar A menunjukkan proses pembentukan martensit *temper* dilakukan dengan cara memanaskan dan menahan sampel pada temperatur diatas austenisasi (Ae_1). Temperatur optimal untuk melakukan proses austenisasi ada pada $925^{\circ}C - 1200^{\circ}C$. Setelah dilakukan proses austenisasi, sampel didinginkan menggunakan media *quenching* oli untuk mendapatkan fasa martensit, lalu memanaskan sampel kembali pada temperatur dibawah austenisasi untuk merubah fasa martensit yang sudah terbentuk menjadi fasa martensit *temper*, proses ini dinamakan proses martensit *temper*. Pada proses *tempering*, sampel didinginkan menggunakan media udara. Hal ini dilakukan dikarenakan fasa martensit *temper* memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan fasa martensit.

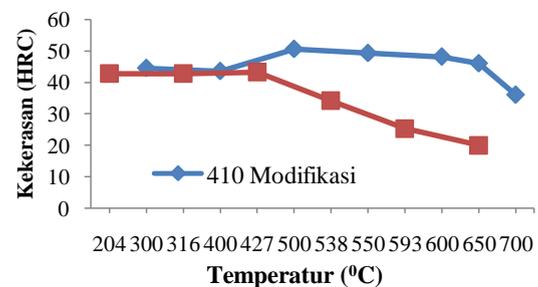
METODE PENELITIAN

Sampel penelitian merupakan *ingot* hasil baja tahan karat 13Cr3Mo3Ni yang sudah di *hot forging* pada temperatur $1200^{\circ}C$ dengan waktu tahan 1 jam dan dianil pada temperatur $800^{\circ}C$ dengan waktu tahan 4 jam dengan ukuran $12 \times 6 \times 3$ cm dipreparasi menjadi ukuran dengan panjang 10 mm, lebar 10 mm dan tebal 5 mm. Kemudian seluruh sampel tersebut diaustenisasi pada temperatur $1050^{\circ}C$ selama 1 jam. setelah diaustenisasi masing-masing sampel tersebut *tempering* dengan variabel temperatur 300, 400, 500, 550, 600, 650 dan $700^{\circ}C$ dengan waktu tahan 1 jam. selain itu *tempering* dengan variabel waktu tahan 3 jam dan 6 jam juga dilakukan pada temperatur $400^{\circ}C$, $500^{\circ}C$, $600^{\circ}C$, $650^{\circ}C$ dan $700^{\circ}C$. Kemudian keseluruhan sampel tersebut diuji kekerasan menggunakan Rockwell C dan analisa metalografi menggunakan mikroskop optik dan SEM. Selain itu untuk sampel dengan waktu tahan 1 jam dilakukan analisa laju korosi menggunakan CMS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

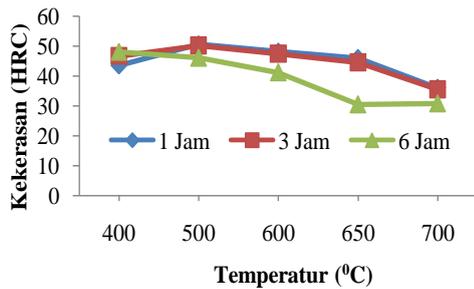
Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan *Tempering* Terhadap Nilai Kekerasan Baja Tahan Karat 13Cr3Mo3Ni

Gambar B menunjukkan perbandingan nilai kekerasan antara sampel baja tahan karat 410 13Cr3Mo3Ni (2,861 % Mo dan 2,98 % Ni) dengan baja tahan karat 410 tanpa modifikasi pada kondisi ASTM A276 (austenisasi $955^{\circ}C$ waktu tahan 1 jam)^[10,11]. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa perbedaan nilai kekerasan yang cukup besar antara sampel baja tahan karat 410 tanpa penambahan unsur paduan dan sampel baja tahan karat 410 yang dimodifikasi dengan penambahan paduan. Pada sampel baja tahan karat 410 tanpa paduan memiliki nilai kekerasan terbesar 43 HRC sedangkan pada sampel baja tahan karat yang dikembangkan memiliki nilai kekerasan terbesar 50,15 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan unsur Mo dan Ni membuat nilai kekerasan yang dimodifikasi lebih tahan terhadap temperatur tinggi.



Gambar B. Perbandingan Nilai Kekerasan dari Sampel 410 Modifikasi Dengan Baja Tahan Karat 410 Tanpa Modifikasi^[10,11]

Tempering $500^{\circ}C$ pada Gambar B terjadi kenaikan nilai kekerasan yang cukup tinggi yaitu 50,6 HRC. Fenomena ini disebut sebagai *secondary hardening* yang umumnya terjadi pada temperatur *tempering* antara $400-500^{\circ}C$ karena adanya penambahan unsur kromium dengan molibdenum dan menyebabkan terbentuknya karbida M_7C_3 didalam martensit *lath* sehingga menghasilkan kurva *tempering* yang datar^[6,7,8].



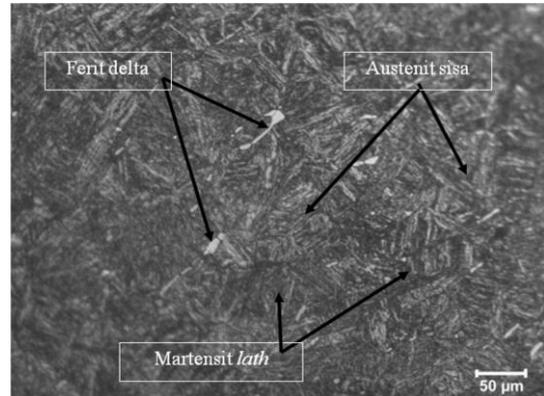
Gambar C. Nilai Kekerasan Penelitian Keseluruhan

Gambar C terlihat bahwa kurva *tempering* pada waktu tahan 1 jam dengan kurva waktu tahan 3 jam tidak terjadi perbedaan nilai kekerasan yang signifikan. Akan tetapi terjadi perbedaan yang signifikan antara kurva *tempering* dengan waktu tahan 1 jam terhadap kurva *tempering* dengan waktu tahan 6 jam. Penurunan kekerasan yang signifikan ini dapat terjadi dikarenakan pada umumnya waktu tahan yang digunakan pada proses *tempering* adalah 1 jam sampai 2 jam^[6]. Secara umum pengaruh dari waktu tahan pada proses *tempering* adalah semakin besar waktu tahan yang digunakan pada proses *tempering* maka akan semakin rendah nilai kekerasan yang didapat^[6].

Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan *Tempering* Terhadap Struktur Mikro Baja Tahan Karat 13Cr3Mo3Ni

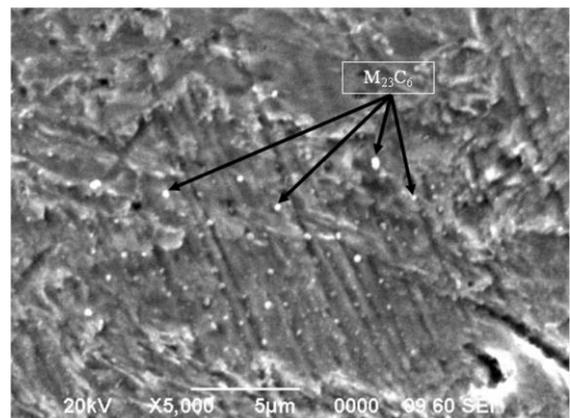
Pada umumnya struktur mikro yang terbentuk setelah proses *tempering* adalah fasa martensit berbentuk bilah (*lath*), ferit, karbida logam, austenit sisa, dan ferit delta^[1,12]. Proses *tempering* bertujuan untuk mengurangi kekerasan dan meningkatkan keuletan dengan merubah fasa martensit menjadi martensit temper berbentuk bilah (karbida+ferit)^[6]. Temperatur austenisasi bertujuan mengontrol pembagian unsur antara fasa austenit dan karbida pada temperatur tinggi, serta menyebabkan perubahan ukuran butir dan jumlah austenit sisa yang terdapat pada baja setelah kondisi *quenching*. Peningkatan pada temperatur austenisasi juga dapat meningkatkan kelarutan karbida dalam matriks. Karbida $M_{23}C_6$ terlarut pada rentang temperatur 950-1050⁰C, sedangkan karbida M_7C_3 terlarut pada rentang temperatur 1050-1150⁰C^[13,14]. Untuk unsur karbida yang terlarut didalam matriks tidak dapat diamati dengan mikroskop optik, akan tetapi dapat terlihat menggunakan SEM. Dari

keseluruhan sampel hasil proses *tempering* menunjukkan hampir keseluruhan fasa yang terbentuk adalah martensit *lath*, austenit sisa, karbida logam, dan sedikit ferit delta yang dapat dilihat pada Gambar D.



Gambar D Struktur Mikro *Tempering* 400⁰C dengan Waktu Tahan 1 Jam pada Perbesaran 200x

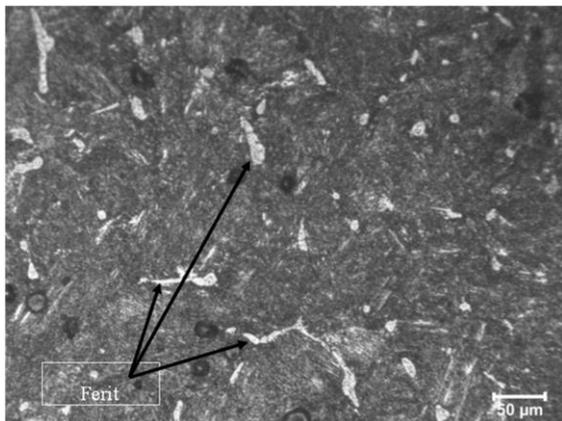
Kondisi proses dari Gambar D adalah sampel *ditempering* pada temperatur 400⁰C dan ditahan selama 1 jam. Gambar tersebut menunjukkan bahwa terjadi transformasi struktur mikro dari martensit menjadi martensit *lath* akibat proses *tempering*. Pada gambar tersebut terlihat cukup banyak fasa martensit *lath* yang terbentuk dan masih terdapat sedikit austenit sisa, juga terbentuk sedikit delta ferit akibat proses *tempering* yang diberikan. Adanya fasa austenit sisa yang tidak bertransformasi akan berada berbatasan dengan martensit *lath*^[1].



Gambar E. Foto SEM Karbida Logam pada Proses *Tempering* 500⁰C Perbesaran 5000X

Proses *tempering* dengan temperatur 500⁰C juga menunjukkan adanya fasa martensit *lath*, ferit delta, austenit sisa dan karbida logam M_7C_3 . Selain itu pada proses *tempering* 500⁰C terbentuk karbida logam $M_{23}C_6$ yang dapat

dilihat pada Gambar E. Dari gambar tersebut terlihat bahwa karbida logam berbentuk butiran-butiran kecil berwarna putih 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 temperatur tinggi merupakan $M_{23}C_6$ yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya^[1,12]. Karbida logam $M_{23}C_6$ pada baja tahan karat martensitik biasanya mulai terbentuk pada temperatur diatas $500^{\circ}C$ dilaporkan oleh peneliti lain^[1]. Pada temperatur *tempering* yang rendah sekitar $300^{\circ}C$, karbida yang terbentuk berupa M_3C yang tidak stabil^[8]. Karbida logam M_3C akan bertransformasi menjadi karbida logam M_7C_3 dan $M_{23}C_6$ yang lebih stabil pada temperatur proses *tempering* yang lebih tinggi^[8].



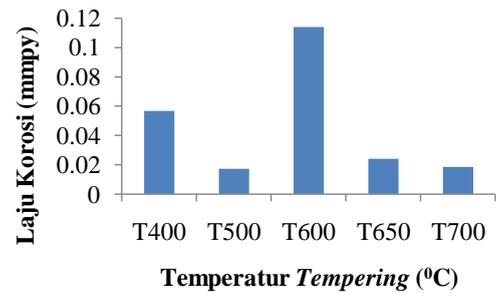
Gambar F Struktur Mikro *Tempering* $700^{\circ}C$ 6 Jam 200x

Gambar I menunjukkan tidak terlihatnya 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. Hal ini dikarenakan pada umumnya waktu tahan yang digunakan pada proses *tempering* adalah 1 jam sampai 2 jam^[12].

Pengaruh Temperatur *Tempering* Terhadap Laju Korosi Baja Tahan Karat 13Cr3Mo3Ni

Gambar G menunjukkan bahwa sebagian besar laju korosi semakin menurun seiring meningkatnya temperatur *tempering*. Nilai laju korosi terendah ada pada temperatur *tempering* $500^{\circ}C$ dan $700^{\circ}C$ dengan nilai sebesar 0,01717

mppy dan 0.0183 mppy. Dari data tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *tempering* yang digunakan maka laju korosi yang dihasilkan akan semakin rendah dan ketahanan korosi akan meningkat. Akan tetapi pada temperatur *tempering* $600^{\circ}C$ nilai laju korosi bertambah, hal ini dikarenakan presipitasi karbida pada baas butir menyebabkan meningkatnya laju korosi dari sampel.



Gambar G Hasil Laju Korosi pada Perlakuan Panas *Tempering* 1 Jam

Standar laju korosi untuk baja tahan karat 13Cr harus diatas 0,025 mppy, dari keseluruhan analisa laju korosi pada sampel didapatkan nilai laju korosi terendah ada pada temperatur *tempering* $500^{\circ}C$ dan $700^{\circ}C$ dengan nilai sebesar 0,01717 mppy dan 0.0183 mppy. Oleh karena itu terbukti bahwa pengaruh *tempering* dapat menurunkan nilai laju korosi yang akan dihasilkan^[13].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses *tempering* dapat mempengaruhi nilai kekerasan, perubahan fasa yang terbentuk dan laju korosi dari sampel baja tahan karat 13Cr yang dimodifikasi.
2. Pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan *tempering* menunjukkan bahwa semakin besar temperatur dan waktu tahan *tempering* yang digunakan maka akan semakin rendah nilai kekerasan yang dihasilkan.
3. Sampel yang memiliki nilai kekerasan terbesar adalah sampel *tempering* $500^{\circ}C$ dengan waktu tahan 1 jam sebesar 50,15 HRC dan sampel dengan temperatur

tempering 500°C dengan waktu tahan 3 jam sebesar 50,26 HRC. Sedangkan sampel yang memiliki nilai kekerasan terendah adalah sampel *tempering* 650°C dan 700°C dengan waktu tahan 6 jam sebesar 30,56 dan 30,9 HRC.

4. Dikarenakan modifikasi dari sampel baja tahan karat 13Cr ditambahkan unsur Mo, maka pada saat proses *tempering* pada temperatur 500°C terjadi *secondary hardening* yang mengakibatkan meningkatnya kekerasan yang dihasilkan.
5. Fasa yang terbentuk dari pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan *tempering* adalah fasa martensit *lath*, austenit, ferit delta, ferit dan senyawa karbida. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan yang digunakan maka martensit yang sudah terbentuk setelah *quench* akan berkurang dan fasa ferit dan senyawa karbida yang terbentuk akan semakin bertambah.
6. Nilai kekerasan dari sampel baja tahan karat 410 yang dimodifikasi terbukti lebih tahan terhadap temperatur tinggi jika dibandingkan dengan sampel baja tahan karat 410 tanpa modifikasi.
7. Semakin besar temperatur *tempering* yang digunakan maka akan semakin rendah laju korosi yang dihasilkan.
8. Nilai laju korosi yang *ditempering* terbukti lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai laju korosi standar baja tahan karat 410

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mabruhi Efendi, dkk. 2015. *Pengaruh Mo dan Ni Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr*. Majalah Metalurgi 3 : 133-140. Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI Gedung 470 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan. Indonesia
- [2] James Kelly. 2006. *Chapter 2 Stainless Steels*. Mechanical Engineers Handbook : Materials and Mechanical Design, Volume 1, Third Edition. Michigan.
- [3] Syaiful M, dkk. 2016. *The Pitting Resistance Of The Modified 13Cr Martensitic Stainless Steel in Chloride Solution*. Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI Gedung 470 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan. Indonesia
- [4] Mabruhi Efendi, dkk. 2016. *Tensile Properties of the Modified 13Cr Martensitic Stainless Steel*. AIP Publishing. Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI Gedung 470 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan. Indonesia
- [5] ASM International Handbook Committee. 1993. *Properties and Selection Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. ASM Metals Handbook, Vol 01. United States of America
- [6] ASM International Handbook Committee. 1991. *Heat Treating*. ASM Metals Handbook, Vol 04. United States of America
- [7] B. Qin, dkk. 2008. *Effect of Tempering Temperatur on Properties of 00Cr16Ni5Mo Stainless Steel*. Material Characterization 59 (2008) 1096-1100. China.
- [8] Isfahany A. Nasery, dkk. 2010. *The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel*. Journal of Alloys and Compounds 509(9) 3931-3936. Iran.
- [9] ASM International Handbook Committee. 2004. *Metallography and Microstructure*. ASM Metals Handbook, Vol 09. United States of America
- [10] ASTM International. 2005. *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.
- [11] <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=970> Nilai Kekerasan 410 tanpa paduan. (diakses 09 Agustus 2016)
- [12] I. Calliari, dkk. 2008. *Investigation of microstructure and properties of a Ni-Mo martensitic stainless steel*. Material and Design 29 246-290. Italy.
- [13] Nickel Development Institute. *High Temperatur Characteristics Of Stainless Steel*. A Designers Handbook Series N 9004. American Iron And Steel Institute. America