

KETAHANAN OKSIDASI BAJA SUPER AUSTENITIK 15%Cr-25%Ni PADA SUHU 850 °C

Parikin, B. Sugeng, M. Dani dan S. G. Sukaryo

*Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju - BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong 15314, Tangerang Selatan
E-mail: farihin@batan.go.id*

Diterima: 4 Mei 2017

Diperbaiki: 3 Juli 2017

Disetujui: 7 Juli 2017

ABSTRAK

KETAHANAN OKSIDASI BAJA SUPER AUSTENITIK 15%Cr-25%Ni PADA SUHU 850 °C.

Ketahanan korosi suhu tinggi atau ketahanan oksidasi merupakan prasyarat penting bahan logam yang akan diterapkan dilingkungan operasi bersuhu tinggi. Pengujian ketahanan oksidasi baja super austenitik 15%Cr-25%Ni pada suhu 850 °C selama 5 jam lebih telah dilaksanakan. Satu sampel *as-cast* sebagai acuan awal yang tidak diperlakukan panas dan dua (2) kelompok sampel (masing-masing 3 buah) disiapkan dalam eksperimen. Satu kelompok sampel *as-cast* setelah dipanaskan (pada 850 °C/5 jam lebih) dan didinginkan perlahan kemudian ditimbang. Satu kelompok sampel *quench* yang dilakukan penurunan cepat suhu (dari 850 °C/5 jam lebih) ke dalam air, kemudian ditimbang. Percobaan dilakukan selama 15 jam lebih pada masing-masing kelompok. Hasil memperlihatkan bahwa walaupun terjadi kenaikan berat sangat kecil pada sampel *as-cast* dan *quench*, tetapi foto morfologi mikroskop elektron (*SEM*) pada kedua sampel tersebut tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan. Demikian pula hasil analisis fasa menggunakan difraksi sinar-X, tidak memperlihatkan pertumbuhan fasa produk oksidasi. Hasil pengamatan strukturmikro permukaan bahan menggunakan mikroskop optik (*MO*), juga tidak memperlihatkan kerusakan dan perubahan ukuran butir oleh proses oksidasi. Kebolehjadian pada fenomena ini adalah selain pembentukan spinel unsur Ni diperkuat juga oleh kemampuan unsur Cr untuk membentuk lapisan pasif (Cr_2O_3) dipermukaan bahan yang sangat besar dengan mengikat unsur O, sehingga bahan mampu menanggulangi produk oksidasi yang sangat kecil. Disimpulkan bahwa baja super austenitik memiliki ketahanan oksidasi yang baik pada suhu 850 °C.

Kata kunci: Baja austenitik 15%Cr-25%Ni, Oksidasi, Strukturmikro, Perlakuan suhu

ABSTRACT

OXIDATION RESISTANCE OF SUPER AUSTENITE 15%Cr-25%Ni STEEL AT TEMPERATURE 850 °C.

High temperature corrosion resistance so called oxidation resistance is an important prerequisite of a metal material that may be applied in a high-temperature operating environment. An oxidation test of super austenite steel 15% Cr-25% Ni at 850 °C for more than 5 hours has been performed. One as-cast specimen as an initial reference is not treated any heat and two (2) specimen groups (each of 4 pieces) were prepared in the experiments. One group of as-cast specimens after being heated at 850 °C for more than 5 hours and cooled slowly then weighed. Another group of quench specimens performed a rapid decrease of temperature (850 °C for more than 5 hours) into water, then weighed. The experiment was conducted for more than 15 hours in each group. The results show that there is a very small slight increase in weight on as-cast and quench specimens. However, electron microscope morphology (*SEM*) images on both specimens showed no significant changes. Similarly, the results of phase analysis using X-ray diffraction techniques also do not show the phase growth of oxidation products. In accordance with the observation of surface microstructures of materials by using optical microscope (*OM*), also did not show damage and changes in grain size by oxidation process. The likelihood of this phenomenon is that in addition to the formation of Ni element of spinels, it is also strengthened by the ability of Cr-elements to form a passive layer (Cr_2O_3) on a very large material surface by binding O-elements, so that the material can cope with very small oxidation products. It is concluded that the super austenitic steels has good oxidation resistance at 850°C.

Keywords: Austenite steel 15%Cr-25%Ni, Oxidation, Microstructure, Temperature treatments

PENDAHULUAN

Reaktor merupakan sumber energi yang efisien. Kebanyakan reaktor nuklir yang beroperasi didasarkan pada reaksi fisi dengan neutron termal. Komponen-komponen utama yang terdapat dalam suatu bangunan reaktor nuklir adalah bejana reaktor, teras reaktor, bahan bakar nuklir, media pendingin, batang kendali, dan moderator. Seluruh komponen tersebut tersusun dari bahan logam dan non-logam, dan merupakan bahan struktur pilihan yang harus memenuhi beberapa persyaratan keselamatan yang sangat tinggi.

Salah satu bahan struktur reaktor nuklir yang digunakan pada penelitian ini adalah baja tahan karat austenitik tipe A2 yang dibuat oleh peneliti material di PSTBM-BATAN. Austenitik merupakan fasa yang terbentuk pada suhu 1147 °C dengan kelarutan karbon 2,1% [1]. Baja austenitik A2 merupakan baja tahan karat yang memiliki ketahanan korosi tinggi dan memiliki sifat mampu las yang lebih baik dibandingkan dengan baja tahan karat lainnya. Komposisi unsur-unsur yang terdapat dalam baja austenitik tipe A2 ini adalah Fe 57,74%, Cr 15,42%, Ni 25,01%, Mn 0,32%, Si 0,96%, C 0,34%, dan beberapa pengotor yang sangat minor (<0.1%). Bahan struktur ini disebut baja 15%Cr-25%Ni [2]. Penambahan unsur khrom pada baja tersebut untuk mendapatkan ketahanan korosi yang baik sedangkan unsur nikel untuk menambah kekuatan dan ketangguhan baja sebagai bahan struktur reaktor.

Baja tahan karat dengan kadar krom 13% sampai 27% akan meningkatkan sifat ketahanan korosi kimia karena keberadaan unsur krom dalam paduan ini akan membentuk krom oksida (Cr_2O_3) [3] pada permukaan paduan sebagai lapisan pelindung sehingga tidak terbentuk karat pada bagian paduan yang lebih dalam. Baja tahan karat austenitik mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) dan mempunyai beberapa kelebihan di antaranya bersifat non magnetik, ketahanan korosi tinggi, memiliki sifat keuletan dan ketangguhan yang sangat baik, selain itu juga mempunyai kelemahan, yaitu kerentanannya terhadap korosi antar butir pada suhu (500-900) °C yang disebabkan oleh presipitasi krom karbida ($Cr_{23}C_6$) pada batas butir [4].

Tingkat korosi suhu tinggi ditentukan oleh laju reaksi antara unsur-unsur logam pada paduan dengan gas yang ada pada lingkungannya seperti O, C, N, H, S, dan Cl. Reaksi terjadi dengan cara unsur-unsur logam yang keluar ke permukaan bereaksi dengan gas atau dengan cara gas-gas masuk ke dalam logam bereaksi dengan unsur-unsur logam. Ketahanan korosi pada suhu tinggi ditentukan oleh kadar unsur-unsur logam pada paduan yang dapat membentuk kerak oksida dan sifat fisiknya yang stabil, untuk itu dilakukan *design* bahan-bahan yang tahan terhadap korosi suhu tinggi, seperti pembuatan bahan *super alloy* atau dengan penciptaan lapisan kerak oksida krom yang oksidasinya cepat atau kerak oksida aluminium (alumina) yang kerak

oksidanya rapat. Masing-masing material memiliki kelebihan dan kelemahan terhadap jenis-jenis korosi tertentu. Pengujian korosi pada suhu tinggi sangat bermanfaat dalam bidang teknik nuklir seperti pada pengujian komponen reaktor, komponen pemanas insenerator untuk pengeringan limbah, pengilangan minyak, pabrik petrokimia, *furnace* (tanur), dan turbin mesin [5].

Korosi suhu tinggi dapat diartikan sebagai proses oksidasi akibat pemanasan atau perlakuan suhu. Berkaitan dengan masalah tersebut, dalam studi ini akan dilakukan pengamatan tentang pengaruh pemanasan (850 °C) terhadap proses oksidasi dipermukaan bahan baja tahan karat austenitik, melalui kandungan oksida dan struktur mikro-nya, dengan demikian ketahanan bahan pada korosi suhu tinggi sebagai tujuan studi ini dapat diprediksi. Hasil oksidasi ini dapat ditelusuri dari pertambahan bobot pada bahan yang teroksidasi.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Alat-alat yang digunakan adalah neraca analitik, *furnace*, *abrasive cutter*, MoPao 2D *Grinder Polisher*, pinset, cawan petri, ember, gunting, *hair dryer*, *ultrasonic cleaner*, XRD merek PANalytical Empyrean, MO dan SEM-EDS merek JEOL JSM-6510LA. Bahan-bahan yang digunakan adalah baja tahan karat austenitik tipe A2, larutan kalling (campuran dari HCl 100 mL, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ 5 gram, dan etanol 100 mL), autosol, pasta gigi, etanol 70%, kain bludru, dan kertas amplas dengan grit 120, 400, 800, 1000, 1500, 2000, 3000, dan 5000 *mesh*.

Tabel 1. Komposisi unsur baja austenitik 15%Cr-25%Ni

Komposisi Unsur (%berat)										
Fe	Cr	Ni	Mn	Si	C	Ti	S	P	Cu	Nb
57,74	15,42	25,01	0,32	0,96	0,34				Pengotor	< 0,1

Preparasi Sampel

Material baja austenitik 15%Cr-25%Ni dipotong menggunakan *abrasive cutter* dengan ukuran (1,5 x 1,4 x 0,5) cm³ sebanyak enam (6) potong; dua potong sampel *as-cast* dan dua potong sampel *quenching*. Selanjutnya, satu sampel *quenching* dan satu sampel *as-cast* dipoles menggunakan MoPao 2D *Grinder Polisher* dan kertas amplas dengan *grit* yang berurutan mulai dari yang kasar yaitu 120 kemudian naik secara berurutan 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000 sampai yang paling halus, yaitu 5000.

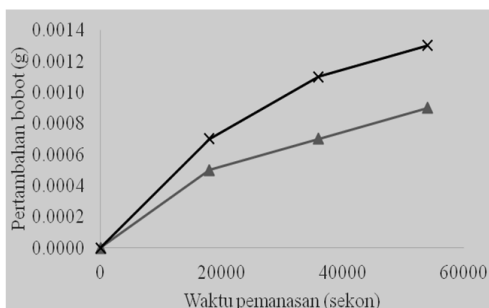
Pemolesan terakhir dilakukan dengan menggunakan autosol dan pasta gigi untuk menghilangkan goresan halus, hingga mengkilap seperti kaca. Sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan pelarut etanol

70% selama 10 menit kemudian dietsa selama 3 detik menggunakan larutan kalling yang merupakan campuran dari $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 5 gram, HCl 100 mL, dan etanol 100 mL.

Pengujian Korosi Suhu Tinggi

Sampel yang dikarakterisasi struktur mikro dan diuji korosi adalah material baja austenitik 15%Cr-25%Ni yang terdiri dari dua macam, yaitu *as-cast* dan *quenching*. Sampel *as-cast* merupakan sampel awal yang telah dipotong dan tidak diberikan perlakuan sedangkan sampel *quenching* merupakan sampel awal yang telah dipotong dan dipanaskan menggunakan tanur pada suhu 850 °C selama 90 menit kemudian dicelupkan ke dalam air secara cepat. *Quenching* merupakan proses pendinginan secara cepat logam atau pengeluaran panas dari logam dengan kecepatan tertentu yang berada pada kondisi suhu austenisasi (815-870 °C). Proses ini dilakukan untuk meningkatkan nilai kekerasan, kekuatan dan ketangguhan [6].

Kedua jenis sampel baja austenitik tersebut ditimbang bobot awalnya menggunakan neraca analitik kemudian dipanaskan menggunakan tanur (*Scientific furnace*) pada suhu 850 °C selama 15 jam seperti terlihat pada Gambar 1. Bobot sampel ditimbang menggunakan neraca analitik dan dicatat setiap 5 jam sekali. Sampel yang digunakan pada percobaan ini adalah baja tahan karat austenitik 15%Cr-25%Ni. Baja austenitik 15%Cr-25%Ni adalah baja non standar yang merupakan baja *low carbon* hasil *casting* di Telimek LIPI Bandung. Pengujian komposisi unsur-unsur yang terdapat pada baja austenitik 15%Cr-25%Ni dilakukan di Politeknik Manufaktur Bandung menggunakan alat Spektrometer WAS (*Optical Erosion Spectrometer*) yang disusun pada Tabel 1. Pengujian korosi atau oksidasi dilakukan menggunakan neraca analitik yang didukung dengan data karakterisasi menggunakan Mikroskop Optik (MO), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)* dan *X-Ray Diffractometer (XRD)*.



Gambar 2. Pertambahan bobot sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni as-cast (▲) dan quenching (×) pada beberapa waktu pemanasan.

Sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni sebelum dan sesudah uji oksidasi dipoles hingga halus dan dietsa dengan cara dicelupkan selama 3 detik dalam larutan

kalling yaitu: campuran dari $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 5 gram, HCl 100 mL dan etanol 100 mL. Larutan etsa berfungsi untuk melihat struktur mikro dengan cara mengikis/membersihkan permukaan sampel dimana larutan etsa harus memiliki kadar dan dilakukan dalam waktu pencelupan yang tepat. Jika berlebihan kadar dan waktunya, dapat menyebabkan *over etching* (permukaan bahan terlihat hangus atau berwarna gelap) sehingga struktur mikro sampel tersebut tidak dapat terlihat dan harus kembali dipoles ulang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketahanan Korosi Suhu Tinggi

Pengujian ketahanan oksidasi / korosi suhu tinggi [7-8] sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni yang telah dipotong dilakukan pada suhu 850 °C. Ketahanan oksidasi sampel baja ini dilihat berdasarkan pertambahan bobot yang diperoleh dari hasil pemanasan sampel selama 20000 detik (lebih dari 5 jam) menggunakan tanur. Pertambahan bobot setiap sampel diestimasi menggunakan neraca analitik. Jadi untuk setiap kelompok (3 buah) sampel, pengujian dilakukan hampir lebih dari 15 jam seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tungku Scientific dalam eksperimen uji oksidasi pada 850 °C selama 15 jam lebih.

Kurva dalam Gambar 2 di atas memperlihatkan perubahan nilai bobot terhadap waktu pemanasan dari sampel *quenching* dan *as-cast* yang ditimbang dengan neraca analitik. Hasil menunjukkan bahwa angka pertambahan bobot sampel *quenching* lebih besar dibandingkan dengan sampel *as-cast*. Pertambahan bobot tersebut dipengaruhi oleh oksida yang terbentuk setelah bahan sampel dipanaskan, sehingga dapat diduga bahwa sampel *as-cast* lebih tahan oksidasi dibandingkan dengan sampel *quenching*.

Analisis komposisi unsur secara semi kuantitatif menggunakan *SEM-EDS* pada sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni hasil uji ketahanan korosi suhu tinggi memberi penjelasan yang mendukung fenomena pertambahan bobot di atas. Beberapa unsur utama penyusun bahan dan unsur oksigen sebagai informasi utama terhadap kejadian oksidasi terdeteksi dengan jelas, seperti tersusun pada Tabel 2. Terdapat fenomena menarik jika data tersebut diperbandingkan bahwa; kandungan unsur oksigen dalam sampel *quenching*

Tabel 2. Hasil karakterisasi SEM-EDS pada sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni setelah dioksidasi pada suhu 850 °C / 5 jam lebih.

Unsur	Komposisi			
	As-cast		Quenching	
	(%berat)	(%atom)	(%berat)	(%atom)
Mn	0,31	0,20	2,10	0,88
Si	1,22	1,51	0,89	0,73
O	2,00	4,33	16,94	24,47
Ni	11,95	7,07	5,53	2,18
C	14,65	42,38	26,69	51,35
Cr	15,50	10,36	19,08	8,48
Fe	53,90	33,54	28,79	11,91

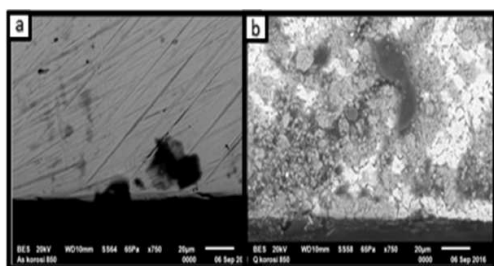
lebih besar daripada sampel *as-cast*, tapi perbedaan tersebut kurang signifikan, sehingga belum dapat disimpulkan bahwa sampel *as-cast* lebih tahan korosi suhu tinggi dibandingkan dengan sampel *quenching*.

Kebolehjadian pada fenomena ini adalah kemampuan unsur Cr untuk membentuk lapisan pasifasi (Cr_2O_3) dipermukaan bahan sangat besar dengan mengikat unsur O. Kandungan unsur Ni yang tinggi juga mampu membentuk spinel-spinel yang dapat menghambat pergerakan unsur O dipermukaan bahan. Sehingga bahan mampu menanggulangi produk oksidasi yang sangat kecil.

Struktur mikro

Karakterisasi baja austenitik 15%Cr-25%Ni hasil uji oksidasi dilengkapi dengan pengamatan struktur mikro bahan sampel dengan menggunakan SEM-JEOL tipe JSM-6510LA di PSTBM BATAN. Proses pengambilan gambar SEM menggunakan detektor elektron sekunder (SE) pada energi akselerasi berkas elektron primer maksimal dari sumber kawat wolfram sebesar 20 keV dengan jarak kerja atau *work distance* (WD) yang dipertahankan konstan sejauh 10 mm.

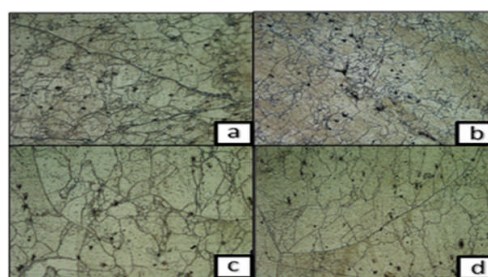
Struktur mikro permukaan sampel hasil uji oksidasi dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar tersebut memperlihatkan bagian permukaan sampel *quenching* yang dipanaskan pada $T = 850\text{ }^\circ\text{C}$ selama 15 jam lebih mengalami kerusakan dibandingkan dengan sampel *as-cast* yang dipanaskan pada $T = 850\text{ }^\circ\text{C}$ dengan jangka waktu yang sama. Foto morfologi tersebut cukup memperlihatkan kerusakan permukaan akibat oksidasi [9,10]. Permukaan sampel *as-cast* (Gambar 3(a))



Gambar 3. Mikroskop Elektron (SEM) pada permukaan sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni yang dioksidasi pada suhu 850 °C/5 jam lebih; (a). *as-cast* dan (b). *quenching*.

terlihat mulus dan batas poros masih utuh/tidak terkorosi, sedang permukaan sampel *quenching* (3b) terlihat jelas kerusakan akibat korosi, kerapuhan dan serpihan material (korodan) terdistribusi disekitar posisi porositas. Koloni korodan (daerah teroksidasi) ini terlihat berwarna lebih terang dibandingkan dengan sekitarnya. Dimungkinan pula kerusakan ini akibat interaksi dengan unsur lain ketika dipanaskan.

Hasil pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik, memperlihatkan terjadi perubahan struktur baik perubahan ukuran maupun distribusi butiran, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



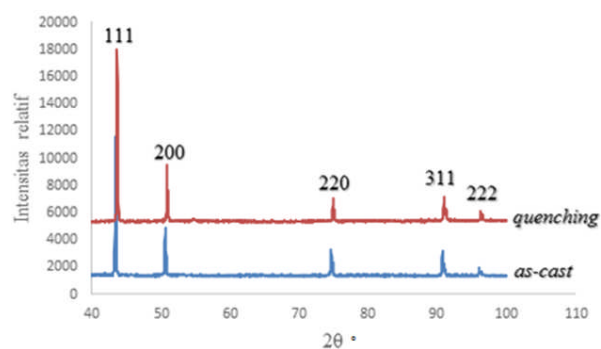
Gambar 4. Mikroskop Optik (MO) pada permukaan baja austenitik 15%Cr-25%Ni dengan pembesaran 200x; (a,c). *as-cast* sebelum dipanaskan pada suhu 850 °C /5jam lebih dan (b,d). sesudah di*quench* dari suhu 850 °C /5jam lebih.

Gambar 4 menampilkan hasil pemotretan permukaan dua kelompok sampel uji (*as-cast* dan *quenching*), setelah dilakukan pemanasan selama 15 jam lebih pada suhu 850 °C. Terlihat jelas bahwa ukuran butir membesar dan bentuknya tidak homogen dibandingkan sampel yang tidak dipanaskan. Selain itu terdapat bintik-bintik hitam di sekitar batas butir, baik pada sampel yang dipanaskan dan yang tidak dipanaskan. Bintik-bintik hitam tersebut diduga merupakan presipitasi oksida karbon [11]. Tetapi bintik-bintik hitam tersebut belum bisa dipastikan bahwa bintik hitam tersebut adalah oksida dari baja, sebagai akibat proses oksidasi.

Struktur Kristal

Salah satu ciri khas struktur mikro dari austenitik, yaitu terdapat *twinning* (dua garis sejajar). Gambar 4 tidak menunjukkan adanya *twinning* hal tersebut disebabkan oleh kandungan Cr yang sangat tinggi. Sampel tersebut dapat diklaim sebagai material austenitik berdasarkan pola difraksi yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan XRD seperti terlihat Gambar 5.

Karakterisasi struktur kristal dan analisis fasa [12] dilakukan menggunakan XRD merek PANalytical Empyrean dengan sudut pengukuran 2θ dari 40° - 100° . Sinar-X untuk pengukuran dihasilkan dari $Cu-K_\alpha$ dengan panjang gelombang 1,5406 Å. Analisis spektrum hasil XRD dilakukan dengan program MATCH [13] dan Microsoft Excel. Pola difraksi yang terlihat pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa fasa yang terbentuk merupakan



Gambar 5. Difraktogram sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni setelah uji ketahanan oksidasi pada 850 °C/5 jam lebih.

fasa tunggal, yaitu fasa austenitik (α) dan tidak terdapat puncak-puncak yang menunjukkan adanya oksida. Fasa- γ terbentuk karena baja 15%Cr-25%Ni memiliki kandungan Ni yang tinggi, sehingga mempunyai fasa utama gamma (γ) dan memiliki struktur kristal FCC dengan parameter kisi $a=b=c= 3.59 \text{ \AA}$ untuk *as-cast* dan $a=b=c= 3,58 \text{ \AA}$ untuk *quenching*. Terdapat lima buah refleksi yang merupakan puncak khas struktur austenitik, berurutan adalah bidang: (111), (200), (220), (311) dan (222) masing-masing pada sudut 2θ sebesar $43,53^\circ$, $50,75^\circ$, $74,70^\circ$, $90,79^\circ$, dan $96,10^\circ$ untuk sampel *as-cast* sedangkan untuk sampel *quenching* pada sudut 2θ sebesar $43,79^\circ$, $51,01^\circ$, $74,96^\circ$, $91,03^\circ$, dan $96,31^\circ$.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa secara keseluruhan pola difraksi hampir sama namun terjadi sedikit pergeseran puncak yang kemungkinan disebabkan oleh efek pemanasan. Mastuki dkk. [14] melaporkan bahwa oksida yang biasa muncul pada peristiwa oksidasi adalah besi oksida; Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 . Akan tetapi puncak oksida pada pengujian ini, terdeteksi dalam difraktogram Gambar 5 merupakan puncak minor yang tercacah disepanjang sumbu 2θ antara 40° hingga 100° . Sebuah puncak difraksi oksida besi Fe_2O_3 pada sampel *quenching* teridentifikasi pada sudut 2θ sekitar 57° dengan intensitas sangat lemah, hampir tenggelam dalam cacahan latar (*background counts*), yang disebabkan jumlah unsur oksigen yang sangat sedikit.

Selain parameter kisi, dari difraktogram tersebut juga dapat ditentukan ukuran kristal menggunakan persamaan *Debye-Scherrer* [15-16]. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dari parameter *Full Width Half Maximum (FWHM)* diperoleh ukuran kristal untuk sampel *as-cast* sebesar $82,9148 \text{ nm}$ sedangkan sampel *quenching* sebesar $82,9910 \text{ nm}$.

KESIMPULAN

Korosi pada sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni *as-cast* dan *quenching*, setelah dipanaskan pada suhu 850°C selama 5 jam lebih, tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Meskipun difraktogram belum terlalu

kentara memperlihatkan fasa baru tetapi produk oksidasi terdeteksi dari uji *SEM-EDS* yang menginformasikan prosentasi unsur oksigen (O) sebesar 2,0 %berat dalam sampel *as-cast* dan 16,94 %berat dalam sampel *quenching*. Sampel baja austenitik 15%Cr-25%Ni memperlihatkan ketahanan terhadap oksidasi pada suhu 850°C , baik di*quench* maupun tidak. Ketahanan oksidasi baja pada suhu tinggi disebabkan oleh pembentukan oksida logam yang protektif pada permukaan logam substratnya. Hal ini dapat dikatakan bahwa baja super austenitik 15%Cr-25%Ni memiliki ketahanan oksidasi (korosi suhu tinggi) yang baik pada suhu 850°C .

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterima kasih kepada Ka. PSTBM dan Ka. BSBM BATAN, Bapak. Drs. Agus Hadi Ismoyo, M.T. dan Bapak Imam Wahyono, S.ST. yang telah ikut andil dalam penelitian ini sebagai operator difraktometer sinar-X. Penelitian ini didanai program DIPA 2016.

DAFTAR ACUAN

- [1]. B.L. Bramfitt. "Mechanical Engineer's Handbook." vol. I, John Wiley & Sons, Inc., New York (2015).
- [2]. Parikin, T.H. Priyanto, A.H. Ismoyo and M. Dani. "Efek Rol Panas pada Sifat Mekanik Plat Baja 15%Cr-25%Ni Bahan Struktur Reaktor (Hot-Rolling Effects on Mechanical Properties of 15%Cr-25%Ni Steel Plates for Reactor Structure Materials)." Jurnal Sains Materi Indonesia, vol. 17, no. 1, pp. 22-28, 2015.
- [3]. Parikin, A.H. Ismoyo, R. Iskandar, A. Dimiyati. "Residual Stress Measurements on The TIG-Weldjoint of 57Fe15Cr25Ni Austenitic Steel for Structure Material Applications by Means X-Ray Diffraction Techniques." Makara J. Technol., vol. 21, no. 2, pp. 49-57, 2017.
- [4]. A.H. Ismoyo, S.H. Pratiwi, Parikin dan M. Dani. "Pengamatan Sifat Mekanik dan Struktur Mikro-Kristal Sekitar Las TIG Filer AISI 312 pada Baja 15% Cr-25% Ni Untuk Bahan Struktur Reaktor." Prosiding Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, pp. 269-274, 2015.
- [5]. I. khakpour, R. Soltani, M.H. Sohi. "Microstructure and High Temperature Oxidation Behaviour of Zr-Doped Aluminide Coatings Fabricated on Nickel-based Super Alloy." Procedia Materials Science, vol. 11, pp. 515-521, 2015.
- [6]. S. Imano, J. Sato, H. Kamoshida, T. Shibayama, and A. Ota. "Alloy Design and Innovative Manufacturing Technology of High-Strength Ni-base Wrought Alloy for Efficiency Improvement in Thermal Power Plants." Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev., vol. 52, no. 2, pp. 32-38, 2015.

- [7]. T.K. Tsao, A.C. Yeh, C.M. Kuo and H. Murakami. "High Temperature Oxidation and Corrosion Properties of High Entropy Superalloys." *Entropy*, vol. 18, no. 62, pp. 1-13, 2016.
- [8]. R. Salam, Bandriyana dan A. Dimiyati. "Uji Fungsi Magnetic Suspension Balance (MSB) untuk Penelitian Paterial Temperatur Tinggi." *Prosiding Seminar Nasional IX SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta, pp. 242-428, 2013.
- [9]. J. Metsäjoki, M. Oksa, S. Tuurna, J. Lagerbom, J. Virta, S. Y. Olli and T. Suhonen. "Tailoring a High Temperature Corrosion Resistant FeNiCrAl for Oxy-Combustion Application by Thermal Spray Coating and HIP." *Coatings*, vol. 5, pp. 709-723, 2015.
- [10]. R.T. Loto. "Pitting Corrosion Evaluation and Inhibition of Stainless Steels: A Review." *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 6, no. 10, pp. 2750-2762, 2015.
- [11]. M. Dani, Parikin, A.K. Rivai, A.H. Ismoyo, R. Iskandar dan A. Dimiyati. "Microstructures of the 57Fe-17Cr-25Ni-0.9Si-0.5Mn Austenitic Superalloy Steel for Structure Material Application." *Prosiding Pertemuan Ilmiah Imu Bahan 2016*, Serpong, pp. 50, 2016.
- [12]. A. Hrynyszyn and B. Cwalina. "Application of X-ray Diffraction for Studies on Microbially Induced Metal Corrosion." *CHEMIK*, vol. 69, no. 8, pp. 455-462, 2015.
- [13]. Match Powder software version 3.3 (<http://www.crystalimpact.com/match/>), diunduh 25 January 2017.
- [14]. T.N. Blanton, J.A. Kaduk, Q. Johnson. "X-ray Diffraction Characterization of a Distorted Debye-Scherrer Film Strip - the Effect of Deacetylation on Cellulose Triacetate and an Improved Structural Model for Cellulose II." *Powder Diffraction; Woodbury*, vol. 29, no. 2, pp. 108-112, June 2014.
- [15]. Mastuki, M.A. Baqiya, Darminto. "Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Ferit Menggunakan Pasir Besi dan Batu Kapur." *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 1, no. 1, pp. B76-B80, 2012.
- [16]. J.A. Kaduk and T.N. Blanton. "An Improved Structural Model for Cellulose II." *Powder Diffraction; Woodbury*, vol. 28, no. 3, pp. 194-199, 2013.