

PERILAKU ELEKTROKIMIA BAJA TAHAN KARAT SS 316 DALAM MEDIA NANO FLUIDA

Djoko Hadi Prajitno¹, Jan Setiawan²

¹Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – BATAN
Jl. Tamansari 71, Kota Bandung, Jawa Barat 40132

²Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong Gd.20 Tangerang Selatan, Banten 15314
e-mail: djoko hp@batan.go.id

(Naskah diterima: 07-12-2018, Naskah direvisi: 20-01-2019, Naskah disetujui: 08-02-2019)

ABSTRAK

PERILAKU ELEKTROKIMIA BAJA TAHAN KARAT SS 316 DALAM MEDIA NANO FLUIDA.

Korosi merupakan permasalahan umum yang sering terjadi pada logam dan paduannya. Metode pengujian secara elektrokimia merupakan salah satu metode yang tepat untuk mempelajari korosi logam dan paduannya dalam lingkungan tertentu. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida yang mengandung partikel nano ZrO_2 dengan metode elektrokimia. Potensial korosi, polarisasi Tafel, dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) digunakan untuk mempelajari perilaku elektrokimia baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida dengan variasi waktu perendaman selama 10, 60 dan 120 menit. Hasil pengukuran terhadap potensial korosi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nanofluid menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu perendaman. Hasil pengukuran konstanta Tafel anodik pada baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida menunjukkan bahwa nilai konstanta Tafel naik dengan bertambahnya waktu perendaman. Hasil analisis polarisasi Tafel ditunjukkan bahwa laju korosi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nanofluid tidak terlihat perbedaan yang berarti dan laju korosi cenderung turun seiring dengan bertambahnya waktu perendaman. Hasil analisis dengan EIS pada baja tahan karat SS 316 menunjukkan bahwa nilai *impedance* yang tinggi dalam media nano fluida sehingga memiliki laju korosi yang rendah bila dibandingkan dalam media air demin. Analisis dengan difraksi sinar X (X-RD) menunjukkan bahwa fasa utama pada baja tahan karat SS 316 hasil pengujian korosi dalam media air demin dan nano fluida adalah γ -austenit. Baja tahan karat SS 316 mempunyai ketahanan korosi yang tinggi dalam media air demin dan nano fluida dengan laju korosi di bawah 1 MPY.

Kata kunci: SS 316, korosi, ZrO_2 , nano fluida, metode EIS.

ABSTRACT

ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF STAINLESS STEEL SS 316 IN NANOFLUID MEDIUM.

Corrosion is a common problem in many engineering metals and alloys. Electrochemical method is powerfull instrument to use as tool to study corrosion behavior of metals and alloys in corrosive environment. The present study is to evaluate interaction between stainless steel SS 316 and nanofluid containing nano particles of ZrO₂ as an additive to demineralized water by electrochemical method. Corrosion potential, Tafel polarization, and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) of stainlees steel SS 316 were performed in both demineralized water and demineralized water containing nano particle 0,05% ZrO₂ at different immersion time. Corrosion potential examination shows that stainless steel 316 is actively corroded in both demin water and nanofluid. The corrosion potential tends to increase toward positive value for longer immersion time, both in demin water and nanofluid media. The value of anodic Tafel slope of also tends to increase for longer immersion time, both in demin water and nanofluid. Tafel polarization examination shows that corrosion rate of stainless steel 316 in demin water and nanofluid is not significantly different, and corrosin rate decreases with immersion time. EIS technique shows that the impedance of stainless steel 316 in nanofluid is higher when compared to the impedance in demineralized media, resulting in lower corrosion rates in nano fluids. X-ray diffraction examination of the specimens shows that the phase present in the stainless steel 316 alloys after corrosion testing is γ austenite, both in demin water and nanofluid. Stainless steel SS 316 is very good corrosion resistant material both in demin water and nanofluid with corrosion rate under 1MPY.

Kata kunci:SS 316 1, Corrosion, ZrO₂, nanofluid, EIS metode

PENDAHULUAN

Baja tahan karat merupakan paduan logam yang mempunyai posisi unik sebagai bahan struktur untuk keperluan diberbagai industri. Seri baja tahan karat sudah dikembangkan sejak lama dan sudah mendunia pemakaiannya karena baja tahan karat mempunyai sifat fisik, kimia, mekanik dan teknologi yang memenuhi berbagai keperluan industri sebagai bahan struktur karena relatif mempunyai sifat yang lebih baik bila dibandingkan dengan paduan lainnya. Salah satu seri baja tahan karat berdasarkan fasa penyusunnya adalah baja tahan karat seri austenit. Baja tahan karat seri austenitic mempunyai komposisi kimia untuk krom berkisar 16 – 20 persen dan nikel berkisar 8 – 12 persen serta unsur pepadu yang lain seperti Ti, Mn, Mo telah digunakan secara luas diberbagai industri. Penggunaan baja tahan karat di industri nuklir cukup banyak pemakaiannya baik di sirkuit primer maupun sirkuit sekunder pada reaktor berpendingin air ringan (*light water reactor/PWR*) [1]. Pada sirkuit primer baja tahan karat jenis austenit SS 316 banyak digunakan untuk bahan struktur *steam dryer*, bejana, sistem pipa, inti reaktor dan pompa reaktor. Sedangkan di sirkuit sekunder baja tahan karat SS 316 banyak digunakan untuk pipa *preheater* dan pipa *condenser* [2].

Nano fluida merupakan material yang unik dan mempunyai kelas tersendiri karena merupakan gabungan partikel nano dan cairan sebagai matriksnya. Nano fluida adalah suspensi padatan partikel adalah koloid dimana partikel dalam orde nano tersuspensi dalam cairan sebagai matriksnya. Oleh karena itu, nano fluida mempunyai sifat – sifat yang lebih menarik dibandingkan cairan asli pembawanya. Nano fluida mempunyai sifat konduktivitas panas, viskositas, perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas konveksi yang lebih baik bila dibandingkan dengan air dan minyak [3]. Nano fluida mempunyai prospek untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang industri yang digunakan sebagai pendingin

mesin, penghantar obat (*drug delivery*), pemanas air tenaga matahari, pendingin pada penukar panas dan pendingin elektronik [4]. Dalam industri nuklir, nano fluida sedang dipertimbangkan sebagai bahan pendingin untuk ECCS (*Emergency Cooling Core System*) dan media penghantar panas yang baik untuk bahan penukar panas karena mempunyai sifat konduktivitas termal yang baik [5].

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi korosi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida yang mengandung partikel nano sebesar 0,05 g/L dengan sistem air demin - ZrO_2 sebagai bahan pemindah panas. Korosivitas nano fluida dievaluasi dengan metode elektrokimia meliputi pengukuran potensial korosi, kurva Tafel dan *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS). Data yang diperoleh digunakan untuk mempelajari ketahanan korosi baja tahan karat SS 316 dalam media nano fluida yang diperkuat dengan data dari pola difraksi sinar-X-nya.

METODOLOGI

Sampel yang digunakan dalam penelitian SS 316 berbentuk *disc* dengan diameter 1,6 cm dan ketebalan 0,3 mm. Komposisi kimia sampel baja tahan karat hasil dari pengujian XRF ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia baja tahan karat SS 316.

No	Unsur / elemen	Nilai (%)
1	Carbon (C)	0,029
2	Silikon (Si)	0,390
3	Sulfur (S)	0,035
4	Fosfor (P)	0,050
5	Mangan (Mn)	1,648
6	Nikel (Ni)	9,930
7	Krom (Cr)	16,860
8	Molibdenum (Mo)	2,057
9	Besi (Fe)	-

Preparasi sampel yang dilakukan sebelum pengujian korosi, sampel diampelas dengan

berbagai kekasaran mulai dari grit 500, 800 dan 1200, kemudian dicuci dengan deterjen yang dilanjutkan pencucian menggunakan *ultrasonic cleaner* dalam larutan alkohol selama 10 menit [8].

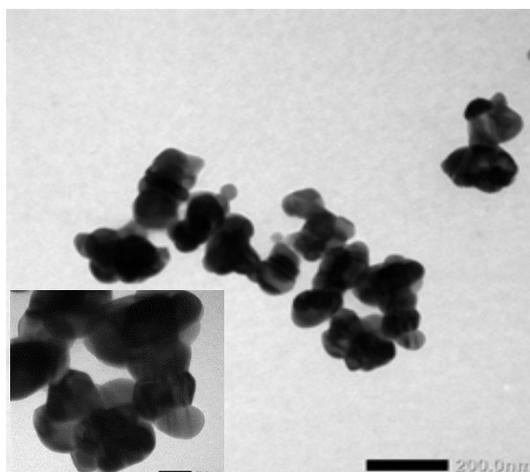
Pembuatan nano fluida dilakukan dengan mencampurkan air demin dan 0,05 g/L ZrO_2 nano partikel. Serbuk ZrO_2 yang digunakan sebagai nano partikel merupakan produk dari inframat dengan kemurnian 99,9% dengan rata-rata ukuran partikel berkisar 40 – 60 nm dengan luas permukaan (BET) 201 m^2/g . Pembuatan nano fluida dilakukan dengan mencampurkan 0,05 g ZrO_2 nano partikel dalam 1 L air demin dan 2 mL Cl untuk meningkatkan konduktivitas nano fluida. Campuran air demin dan nano partikel ZrO_2 diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Setelah diaduk dengan *magnetic stirrer*, campuran air demin dan nano partikel ZrO_2 digetarkan dengan alat *ultrasonic vibrator* pada frekuensi of 44 kHz selama 30 menit dengan tujuan nano partikel ZrO_2 dapat terdispersi dan stabil dalam air demin [7]. Nano fluida sistem air demin- ZrO_2 yang siap digunakan untuk pengujian korosi dilakukan karakterisasi menggunakan TEM.

Pengujian elektrokimia dilakukan dengan menggunakan sel korosi yang terdiri atas 3 elektroda yaitu baja tahan karat SS 316 sebagai elektroda kerja, elektroda standar *saturated calomel electrode* (SCE) dan kawat *platinum wire* sebagai elektroda bantu. Pengujian korosi dilakukan dengan potensiostat/galvanostat PCI4, G300 merk Gamry yang dihubungkan dengan komputer dan dilengkapi dengan *software* DC 105 produk Gamry. Akuisisi data pengukuran korosi dilakukan dengan menggunakan aplikasi Gamry Framework V 5.66 sedangkan analisa data korosi menggunakan aplikasi Gamry Echem Analyst V.5.61 [8]. Pengukuran potensial korosi dilakukan setelah sampel direndam selama 10, 60 dan 120 menit. Pengujian elektrokimia terhadap SS 316 dilakukan

selama 10 menit. Polarisasi Tafel dilakukan dengan mempolarisasi elektroda kerja SS 316 dari katodik ke anodik sebesar 600 V dengan *scan rate* sebesar 5 mV/s. Pengambilan data akuisisi EIS dilakukan pada elektroda kerja baja tahan karat SS 316 dengan frekuensi dari 100 KHz ke 10 Hz. dengan arus AC sebesar 0.1 mA. Besaran elektrokimia dilakukan analisis meggunakan *software* Echem Analyst dari Gamry Instrument [8] Data akuisisi dianalisa dengan *software* EIS300 dari Gamry untuk memperoleh *Nyquist* dan *Bode plot*. Pengujian pola difraksi sinar-X pada SS 316 yang telah dikorosikan dengan air demin dan air demin- ZrO_2 dilakukan untuk mempekuat hasil korosi yang terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi dan analisis nano partikel ZrO_2 dengan menggunakan TEM ditunjukkan pada Gambar 1. Dari Gambar tersebut diperlihatkan bahwa bentuk nano partikel ZrO_2 mempunyai bentuk relatif bulat.



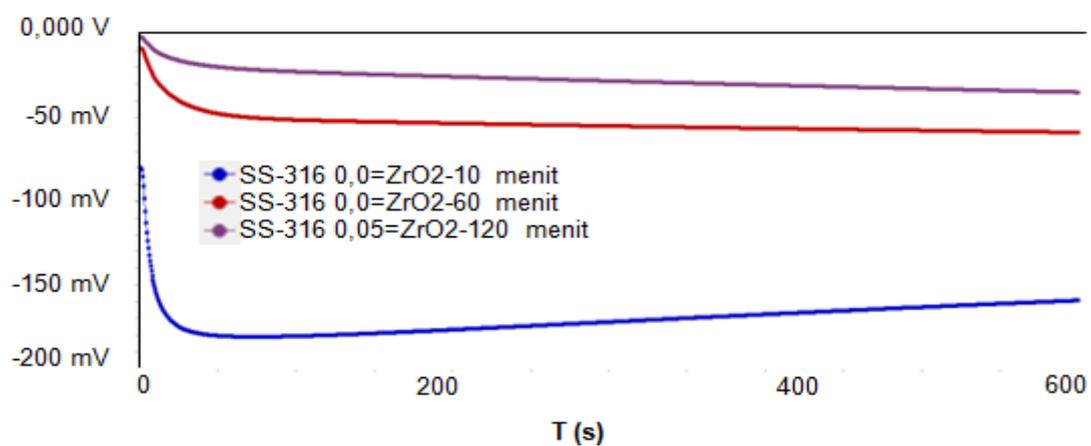
Gambar 1. Mikrostruktur partikel nano ZrO_2 menggunakan TEM.

Hasil pengukuran potensial korosi yang dinyatakan dengan (OCP) *open circuit* potensial korosi terhadap Ag/AgCl sebagai fungsi waktu perendaman bias dilihat pada Gambar 2 untuk waktu perendaman 10, 60 dan 120 menit. Pada dasarnya hasil pengukuran potensial korosi baja tahan

karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida tidak terjadi perbedaan yang berarti. Pada saat awal perendaman, OCP baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida menunjukkan penurunan yang drastis yaitu dengan potensial sebesar -177.7 mV dan $-179,6$ mV. Penurunan potensial yang drastis sampai ke tingkat yang minimum ini terjadi karena adanya stabilisasi perpindahan muatan di antar muka antara permukaan baja tahan

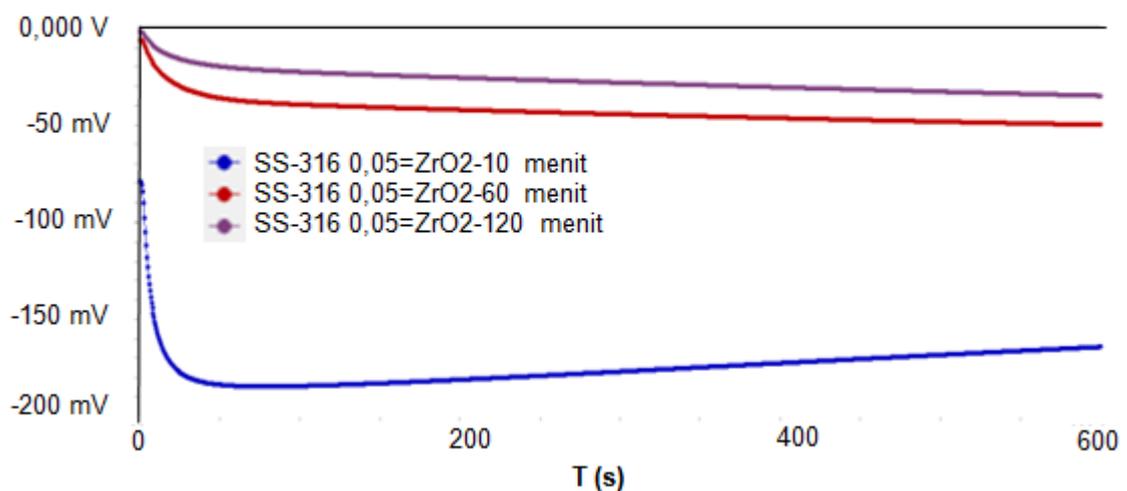
karat SS 316 dan larutan air demin dan nano fluida dengan timbulnya lapisan ganda Helmholtz (Helmholtz *double layers*) pada antar muka logam larutan [9]. Setelah itu terjadi kenaikan potensial yang relatif lambat dan relatif stabil sehingga diperoleh harga potensial korosi sampai kurun waktu perendaman selama 10 menit. Hal ini terjadi selama proses perendaman karena terjadi pembentukan lapisan pasif awal di permukaan [10].

V vs AgCl



(a)

V vs AgCl



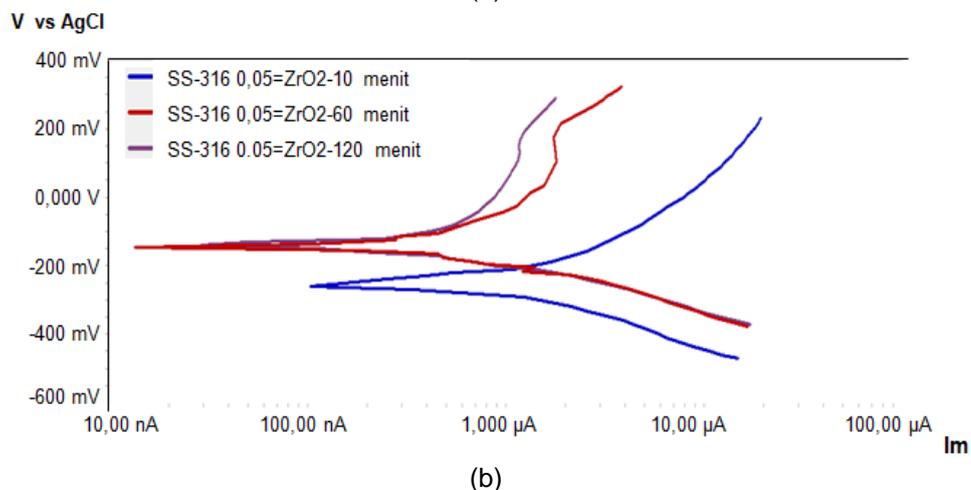
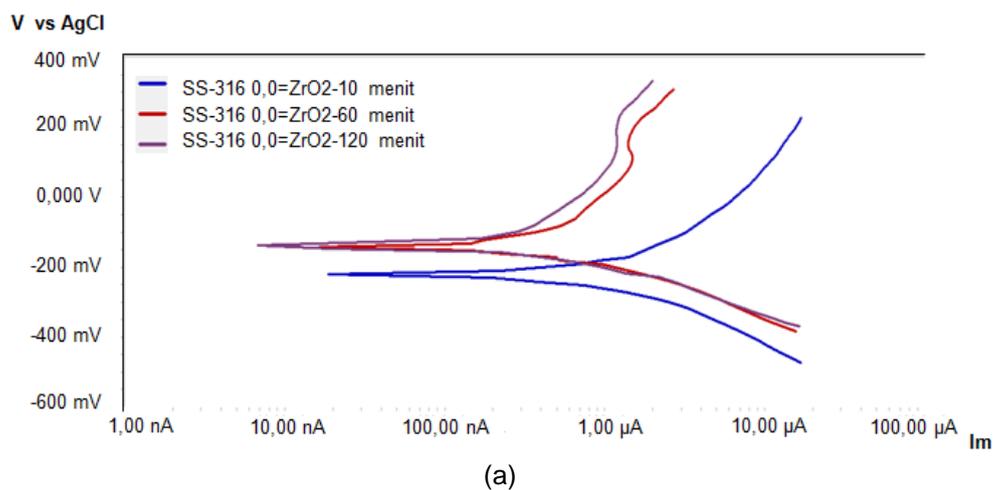
(b)

Gambar 2. Potensial korosi baja tahan karat SS 316 dalam media
(a) air demin
(b) nano fluida.

Pengaruh waktu perendaman terhadap perubahan potensial korosi terlihat pada Gambar 5(a) dan (b). Kedua Gambar tersebut bahwa bertambahnya waktu perendaman, nilai harga potensial korosi bergeser menuju kearah potensial yang positif. Pergeseran potensial korosi ke arah positif yang terjadi karena selama waktu perendaman dipermukaan baja tahan karat SS 316 mulai terbentuk lapisan pasif pada permukaan sehingga menggeser potensial korosi berubah ke nilai yang lebih positif[11].

Ketahanan korosi pada baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida dapat dievaluasi dengan metoda elektrokimia yang kedua yaitu polarisasi Tafel. Kurva polarisasi Tafel ditunjukkan pada Gambar 3. Waktu perendaman dalam

media air demin dan nano fluida yang berbeda akan berpengaruh terhadap pergeseran potensial korosi dan laju korosi. Serupa dengan hasil pada Gambar 2, pada perendaman selama 10 menit belum terlihat pasivasi. Proses pasivasi terlihat setelah perendaman selama 60 dan 120 menit. Naiknya potensial ke arah positif menunjukkan bahwa pada permukaan logam baja tahan karat SS 316 mulai terjadi pembentukan lapisan pasif oksida logam [12]. Besaran elektrokimia korosi seperti *corrosion potential* (E_{corr}), konstanta katodik (β_c) dan konstanta anodik (β_a) dari kemiringan garis Tafel, *corrosion current density* (I_{corr}) dan *corrosion rate* (CR) hasil analisa dari kurva polarisasi Tafel Gambar 3 diberikan pada Tabel 2.



Gambar 3. Polarisasi Tafel baja tahan karat SS 316 dalam media:
(a) air demin
(b) nano fluida.

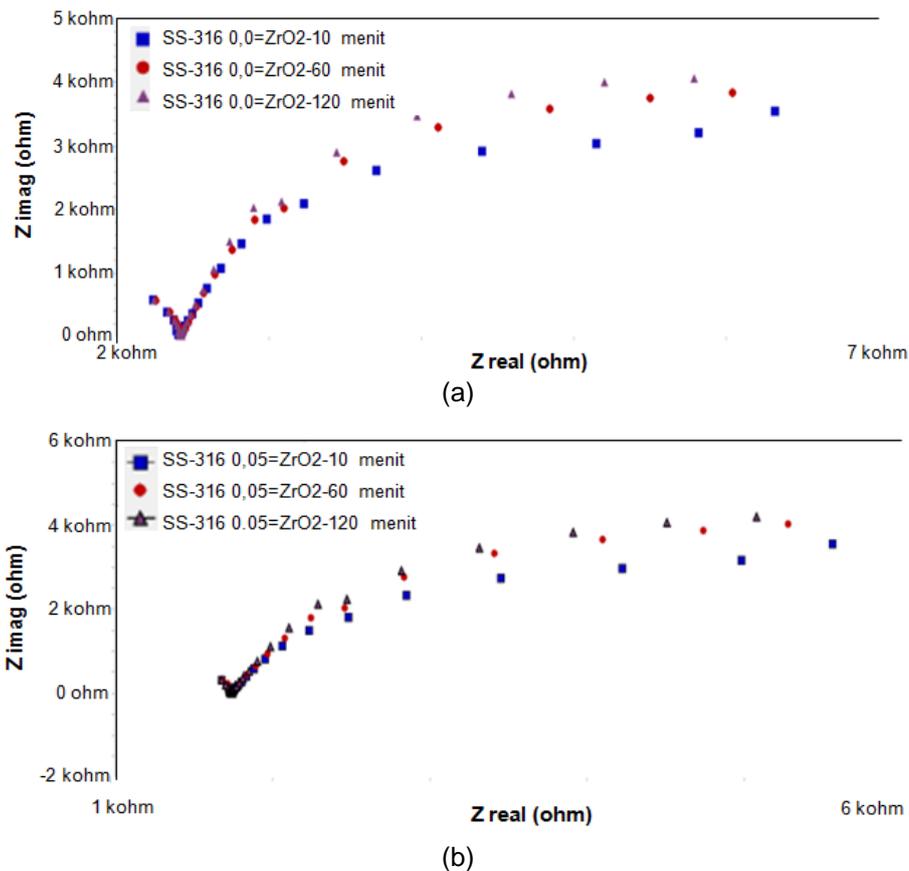
Tabel 2. Hasil analisa laju korosi dari kurva Tafel baja tahan karat SS 316

Parameter	Konsentrasi ZrO_2 (g/L)					
	0			0,05		
	Waktu (menit)					
	10	60	120	10	60	120
Ba (V/decade)	0,440	1,100	0,329	0,423	0,599	0,638
Bc (V/decade)	0,270	0,186	0,310	0,246	0,142	0,149
Icorr (μA)	1,930	0,850	0,192	1,720	0,592	0,549
Ecorr (mV)	-222	-141	-140	-255	-145	-142
CR (mpy)	0,780	0,345	0,345	0,694	0,239	0,222

Data pada Tabel 2 diperoleh dari konstanta polarisasi katodik dan anodik setelah diekstrapolasi pada daerah linear tepat pada potensial korosi [13,4]. Tabel 2 menunjukkan bahwa bertambahnya waktu perendaman dapat meningkatkan konstanta anodik (β_a) baja tahan karat SS 316 dalam kedua media air demin maupun nano fluida. Nilai konstanta katodik (β_c) relatif tidak berubah. Perubahan yang terjadi hanya bergeser naik sedikit ke arah potensial yang lebih positif dalam kedua media baik air demin atau nano fluida seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Bertambahnya waktu perendaman, juga meningkatkan potensial korosi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida. Potensial korosi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin sebesar -222 mV untuk waktu perendaman 10 menit meningkat menjadi -140 mV untuk waktu 120 menit. Serupa juga terjadi perubahan potensial korosi dalam media nano fluida sebesar -255 mV untuk 10 menit perendaman meningkat menjadi -142 mV untuk waktu 120 menit. Perubahan pada nilai konstanta anodik dapat mempengaruhi arus korosi dan laju korosi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida. Bertambahnya waktu perendaman menunjukkan terjadinya penurunan laju korosi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin. Hal serupa juga terjadi pada laju korosi baja tahan karat SS 316 dalam media nano fluida. Menurunnya laju korosi bisa terjadi karena pada

permukaan baja tahan karat SS 316 mulai terbentuknya lapisan pasif. Laju korosi baja tahan karat SS 316 dalam air demin sedikit lebih tinggi bila dibandingkan di dalam media nano fluida, namun perbedaan laju korosi tersebut tidak signifikan untuk laju korosi di bawah 1 MPY. Hal ini dapat dinyatakan juga bahwa laju korosi baja tahan karat SS 316 di dalam media air demin dan nano fluida mempunyai ketahanan korosi yang tinggi [15].

Pengujian EIS merupakan pengujian terhadap besaran yang ke tiga untuk mengamati perilaku elektrokimia baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida dengan waktu perendaman selama 10, 60 dan 120 menit. Data EIS tersebut ditunjukkan pada Gambar 4 dalam bentuk grafik Nyquist. Data grafik Nyquist merupakan hubungan antara tahanan nyata terhadap tahanan imajiner dengan grafik berbentuk semi lingkaran. Karakteristik grafik Nyquist untuk baja tahan karat SS 316 terjadi perubahan diameter yang membesar seiring dengan pertambahan waktu perendaman. Hal tersebut menunjukkan adanya kapasitif *loop* [16,17]. Gambar 4 memperlihatkan bahwa bertambahnya waktu perendaman dapat menaikkan impedansi pada baja tahan karat SS 316 dalam ke dua media tersebut. Impedansi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin meningkat dari 357 Ω , 3831 Ω dan 4066 Ω untuk masing masing waktu perendaman 10, 60 dan 120 menit.

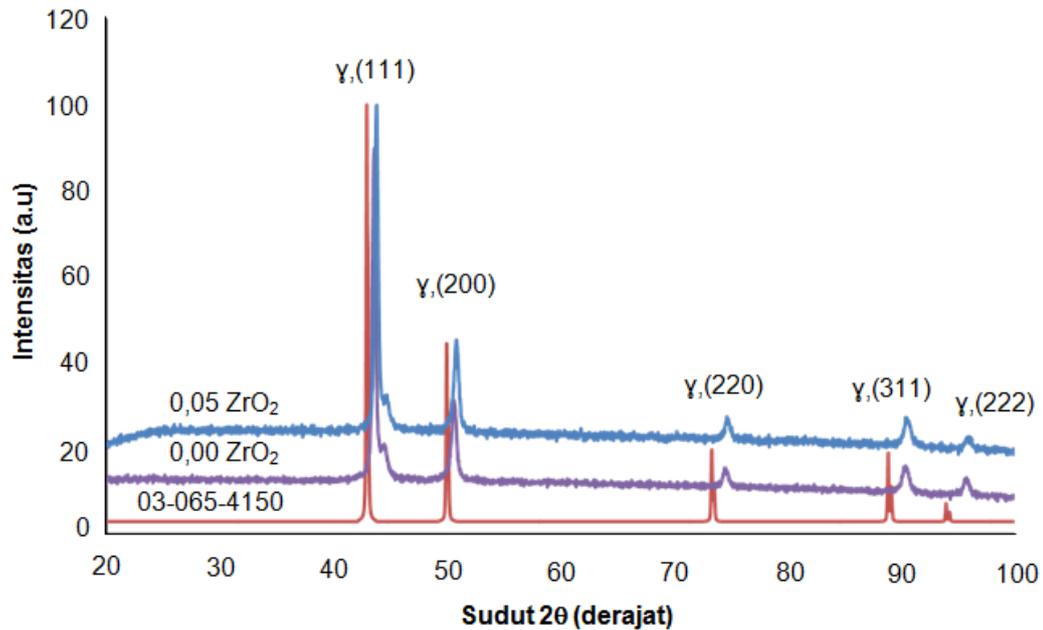


Gambar 4. Nyquist plot baja tahan karat SS 316 dalam media
(a) air demin
(b) nano fluida.

Meningkatnya impedansi sebagai fungsi waktu perendaman tersebut akan meningkatkan ketahanan korosi baja tahan karat SS 316 dalam media air demin. Hal ini seiring dengan hasil pengujian Tafel yang menunjukkan bahwa dengan meningkatnya waktu perendaman akan menurunkan laju korosi baja tahan karat SS 316. Terjadinya penurunan ini dikarenakan mulai terbentuknya lapisan pasif. Impedansi baja tahan karat SS 316 dalam media nano fluida mempunyai nilai 357 Ω , 4011 Ω dan 4202 Ω dan nilai tersebut lebih tinggi bila dibandingkan dalam media air demin. Nilai impedansi yang tinggi menunjukkan laju korosi baja dalam media nano fluida menurun yang disebabkan terbentuknya lapisan pasif pada permukaan baja [18].

Gambar 5 memperlihatkan pola difraksi sinar-X sampel baja tahan karat

SS 316 dalam media air demin dan nano fluida selama perendaman 60 menit yang dibandingkan dengan pola difraksi dari basis data kristalografi dengan nomor kartu 03-065-4150 untuk fasa besi (Fe). Pada Gambar 5 tersebut ditunjukkan bahwa puncak pada pola difraksi didominasi oleh fasa- γ yaitu fasa austenit [19,20]. Pola difraksi tersebut belum menunjukkan indikasi terbentuknya produk korosi ataupun lapisan pasif yang terbentuk di permukaan paduan. Dari pola difraksi dapat dinyatakan bahwa lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan baja tahan karat SS 316 tidak cukup banyak untuk dikarakterisasi oleh difraksi sinar-X. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa laju korosi baja tahan karat SS 316 pada ke dua media tersebut sangat rendah.



Gambar 5. Pola difraksi sinar-X baja tahan karat SS 316 dalam media air demin dan nano fluida selama perendaman 60 menit.

SIMPULAN

Bertambahnya waktu perendaman dapat meningkatkan potensial korosi baja tahan karat SS 316 dalam kedua media baik air demin maupun nano fluida ke arah lebih positif. Seiring dengan itu, nilai konstanta Tafel anodik meningkat diikuti dengan meningkatnya tahanannya sehingga laju korosi pada baja tahan karat SS 316 menurun dalam kedua media air demin dan nano fluida. Laju korosi baja tahan karat SS 316 yang diperoleh kurang dari 1 MPY. Baja tahan karat SS 316 ini dikategorikan sebagai material yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi dalam media air demin dan nano fluida. Hal tersebut diperkuat dengan pola difraksi sinar-X yang menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk setelah pengujian korosi dominan adalah fasa γ -austenit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Muhammad Yamin yang telah membantu penyiapan pembuatan nanofluid sehingga penelitian penulisan makalah ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Allen, J. Busby, M. Meyerc, D. Petic, "Materials challenges for nuclear systems," *Materials Today*, vol. 13, no. 12, pp.14-23, 2010.
- [2] S. J. Zinkle, G.S. Was, "Materials challenges in nuclear energy," *Journal Acta Materialia*, vol. 61, pp.735-758, 2013.
- [3] S. A. Angayarkanni, J. Philip, "Review on thermal properties of nanofluids: Recent developments," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 225, pp. 146-176, 2015.
- [4] R. Saidur, K. Y. Leong, H. A. Mohammad, "A review on applications and challenges of nanofluids," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 3, pp. 1646-1668, 2011.
- [5] M. G. M. Pop, B. G. Lockamon, "Nuclear Power Plant Using Nanoparticles In Closed Circuits Of Emergency Systems And Related Method". Patent number: 8160197, 2012

-
- [6] R. B. Ganvir, P. V. Walke, V. M. Kriplani, "Heat transfer characteristics in nanofluid: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 451-460, 2017.
- [7] Y. A. Albrimi, A. A. Addi, J. Douch, R. M. Souto, M. Hamdani, "Inhibition of the pitting corrosion of 304 stainless steel in 0.5 M hydrochloric acid solution by heptamolybdate ions," *Corrosion Science*, vol. 90, pp. 522–528, 2015.
- [8] D. H. Prajitno, D. G. Syarif, "The effect of Mo addition in stainless steels on the corrosion behavior in the nano fluids contain Al_2O_3 nano particles," *Materials Science and Engineering*, vol. 214, 012015, pp. 1-5, 2017.
- [9] A. Baron, W. Simka, G. Nawrat, D. Szewieczek, "Electropolishing and chemical passivation of austenitic steel," *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing*, vol. 31 no. 2, pp. 197-202, 2008.
- [10] Z. Feng, X. Cheng, C. Dong, L. Xu, X. Li, "Effects Of Dissolved Oxygen On Electrochemical And Semiconductor Properties of 316L Stainless Steel," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 407, pp.171–177, 2010.
- [11] Y. A. Albrimi, *et.al.*, "Electrochemical behaviour of AISI 316 austenitic stainless steel in acidic media containing chloride ions," *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 6, pp. 4614–4627, 2011.
- [12] N. A. Abdel Ghanyl, A. E. El-Shenawy, W. A. M. Hussien, "The inhibitive effect of some amino acids on the corrosion behaviour of 316L stainless steel in sulfuric acid solution," *Modern Applied Science*, vol. 5, no. 4, pp.19-29, 2011
- [13] R.Guidelli, *et.al.*, "Defining the transfer coefficient in electrochemistry," *Pure and Applied Chemistry*, vol. 86, no. 2, pp.245–258, 2014.
- [14] G. E. Badea, *et.al.*, "Polarization measurement used for corrosion rate determination," *Journal of Sustainable Energy*, vol.1, no.1, pp.1-5, 2010.
- [15] I. Hamidah, R. Wati, R. A. Hamdani, "Analysis of AISI 304 tensile strength as an anchor chain of mooring system," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* vol. 367, pp. 1-5, 012058, 2018.
- [16] L. Jinlong, L. Hongyun, "Comparison of corrosion behaviour between coarse grained and nano/ultrafine grained 304 stainless steel by EWF, XPS and EIS," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 453, pp. 469-473, 2014.
- [17] X. Cheng, Z. Feng, C. Li, C. Dong, X. Li, "Investigation of oxide film formation on 316L stainless steel in high temperature aqueous environments," *Electrochimica Acta*, vol. 56, pp. 5860– 5865, 2011.
- [18] L. Freirea, *et.al.*, "The electrochemical behaviour of stainless steel AISI 304 in alkaline solution swith different pH in the presence of chlorides," *Electrochimica Acta*, vol. 56, pp. 5280–5289, 2011.
- [19] D. H. Prajitno, "Effects of scan rate on the corrosion behavior SS 304 stainless steel in the nanofluid measured by Tafel polarization methods," AIP Conference Proceedings 2015, 1677, 070011.
- [20] G. Silva, *et.al.*, "Preparation and characterization of stainless steel 316L/HA biocomposite," *Materials Research*, vol. 16, no. 2, pp. 304-309, 2013.