



## Uji Ketahanan Korosi pada Temperatur Tinggi (700°C) dari Logam Paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai Bahan Alternatif Kelongsong (*Cladding*) Bahan Bakar Nuklir

Kusdi Prijono<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Komplek PUSPIPTEK Gd. 71, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia  
<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang Jl. Surya Kencana No. 1 Pamulang, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

E-mail: Ksdprijono8@gmail.com

Masuk :22 Agustus 2018

Direvisi : 9 Oktober 2018

Disetujui : 4 Januari 2019

**Abstrak:** Sintesis logam paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dilakukan untuk menghasilkan material kelongsong bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Uji ketahanan korosi dalam lingkungan air demin dan uap air temperatur tinggi dilakukan pada sampel paduan dengan komposisi persen berat Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 0 %, 0,5 % dan 1 %. Uji oksidasi temperatur tinggi dilakukan pada temperatur 700°C selama 6 jam. Perubahan laju oksidasi dianalisis berdasarkan perubahan berat dan lapisan pelindung oksidasi yang terbentuk selama proses pengujian. Hasil pengujian menunjukkan laju korosi dengan 0 % yttrium, 0,5 % yttrium dan 1 % yttrium masing-masing sebesar 0,0253 MPY, 0,02719 MPY dan 0,0484 MPY. Oksidasi pada temperatur tinggi 700°C selama 6 jam menunjukkan laju oksidasi semakin tinggi dengan meningkatnya kandungan unsur yttrium dalam paduan Fe-Cr sedangkan tebal lapisan oksida relatif sama sekitar 77 µm. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa kandungan yttrium 0 % hingga 1 % memiliki ketahanan korosi paduan yang cukup baik untuk digunakan sebagai material kelongsong bahan bakar nuklir dan penambahan unsur yttrium mampu meningkatkan ketahanan korosi paduan Fe-Cr- Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Kata kunci:** PLTN, Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, korosi

**Abstrak:** *Synthesis of Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alloy was carried out to produce fuel cladding material for Nuclear Power Plant (NPP). Corrosion resistance test in demin water environment and high temperature water vapor was carried out on alloy samples with weight percent composition of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> namely 0%, 0.5% and 1%. The high temperature oxidation test was carried out at 700 °C for 6 hours. Changes in the rate of oxidation are analyzed based on changes in weight and oxidation protection layer formed during the test process. The test results show the corrosion rate with 0% yttrium, 0.5% yttrium and 1% yttrium respectively 0.0253 MPY, 0.02719 MPY and 0.0484 MPY. Oxidation at high temperature of 700 °C for 6 hours shows that the oxidation rate is getting higher with increasing yttrium element content in Fe-Cr alloys while the thickness of the oxide layer is relatively the same around 77 µm. From the results of these tests indicate that the content of yttrium 0% to 1% has a corrosion resistance that is good enough for alloys to be used as a cladding material for nuclear fuel and the addition of yttrium can increase the corrosion resistance of Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alloys.*

**Keyword:** NPP, Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Corrosion

### PENDAHULUAN

Dalam rangka pemenuhan kebutuhan energi listrik saat ini yang terus meningkat, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan salah satu alternatif sumber energi listrik yang menjanjikan, dimana efisiensinya lebih besar dibandingkan dengan pembangkit-pembangkit listrik lainnya [1]. Energi ini berasal dari panas yang dihasilkan akibat pembelahan inti bahan bakar nuklir U-235 [2]. Selain efisiensi yang besar, PLTN juga memiliki resiko yang lebih besar dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya. Oleh karena itu, PLTN memerlukan suatu pengamanan yang lebih dibandingkan dengan pembangkit lainnya, termasuk salah satunya adalah terkait

kelongsong (*cladding*) bahan bakar nuklir. Kelongsong sangat penting karena bahan bakar yang digunakan dalam PLTN yaitu Uranium-235 juga digunakan sebagai sumber utama penghasil neutron dalam reaksi nuklir yang dapat menghasilkan radiasi. Oleh karena itu material yang digunakan sebagai kelongsong harus memenuhi standar keselamatan [3]. Syarat utama suatu bahan dapat digunakan sebagai kelongsong adalah harus mampu mengungkung unsur-unsur hasil produk fisi sehingga unsur-unsur tersebut tidak akan larut dalam air pendingin atau keluar dari teras reaktor. Selain itu, bahan yang digunakan harus tahan terhadap korosi akibat air khususnya pada temperatur tinggi baik ketika air dalam fasa cair maupun uap. Hal ini karena semakin tinggi temperatur dari reaktor maka efisiensi daya dari bahan bakar semakin besar.

Saat ini, logam paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan salah satu bahan alternatif untuk elemen bahan bakar nuklir [4]. Paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ini dibuat dari campuran serbuk Fe, Cr dan Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan persentase berat tertentu, yang melalui proses kompaksi dan kemudian disinter akan dihasilkan bongkahan (*pelet*). Penambahan unsur Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*yttrium*) memiliki ketahanan *creep*, oksida dan korosi yang tinggi [5]. Berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya diperkirakan bahwa penambahan unsur Fe hingga 1,0% dan Cr hingga 1,6% akan meningkatkan ketahanan korosi dari paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam uap air jenuh pada temperatur tinggi [6]. Korosi pada logam (*perkaratan*) merupakan peristiwa perusakan pada logam yang disebabkan oleh reaksi oksidasi. Pada umumnya korosi yang paling banyak terjadi adalah korosi oleh udara dan air. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mencegah korosi diantaranya adalah dengan pelapisan pada logam, proteksi katodik, penambahan inhibitor, dan membuat paduan logam yang tahan terhadap korosi. Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini akan diuji ketahanan korosi dari paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada temperatur tinggi dengan menggunakan instrumen Magnetic Suspension Balance (MSB), dan sebagai pembandingan digunakan logam Fe-Cr tanpa penambahan unsur logam lainnya. Temperatur proses yang dipilih adalah temperatur 700°C. Hal ini dikarenakan agar efisiensi daya dari bahan bakar nuklir menjadi tinggi. Morfologi dan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang terkorosi, dikarakterisasi menggunakan Scanning Elektron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive spektroskopi (EDS).

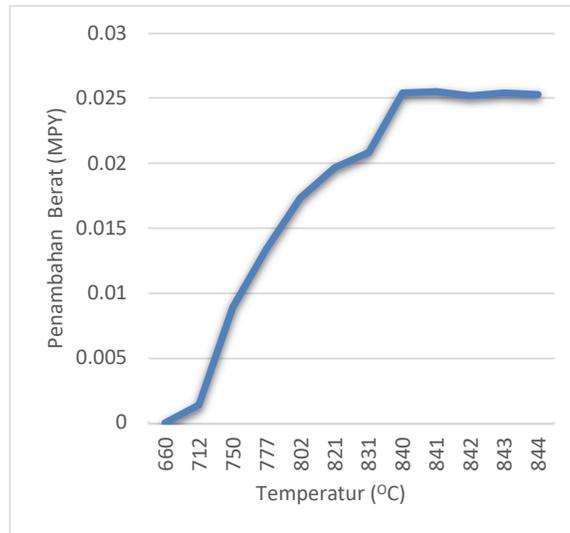
## METODE PENELITIAN

Sampel logam paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dipreparasi dengan komposisi persen berat Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 0 %, 0,5 % dan 1 %. Sampel diamplas dengan kertas amplas menggunakan mesin poles. Proses pengamplasan dilakukan hingga permukaan logam halus dan bersih dari zat pengotor seperti lemak atau oksida yang melekat pada sampel. Logam dan paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah diamplas kemudian direndam dan dikeringkan dengan tisu dan diusahakan tidak tersentuh oleh tangan atau kotoran yang lain. Uji ketahanan korosi dalam lingkungan air demin dan uap air temperatur tinggi dilakukan pada temperatur 700°C selama 6 jam. Perubahan laju oksidasi dianalisis berdasarkan perubahan berat dan lapisan pelindung oksidasi yang terbentuk selama proses pengujian

Oksidasi dilakukan dengan Magnetic Suspension Balance (MSB). Sampel yang telah dibersihkan dan dikeringkan, kemudian dioksidasi menggunakan peralatan analisis termal. Sampel kemudian dikarakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM).

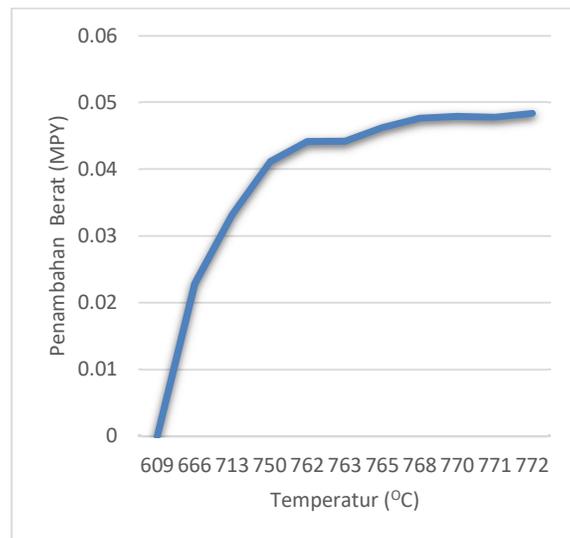
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap laju korosi logam Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dilakukan pengamatan dengan menggunakan suspensi magnetik. Proses pemanasan pada temperatur 700°C selama 6 jam dengan dialiri uap air memungkinkan terjadinya perubahan massa pada bahan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa korosi yang terjadi pada logam Fe-Cr dengan penambahan Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih lambat. Hal ini dapat dilihat dari perubahan berat massa terhadap waktu korosi. Pada paduan Fe-Cr tanpa Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> produk korosi yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan dengan penambahan Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sehingga paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mengalami pertambahan massa yang lebih banyak dibandingkan tanpa Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hal ini disebabkan oleh adanya unsur Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam paduan Fe-Cr yang dapat membentuk lapisan oksida. Lapisan oksida ini dapat menghambat peristiwa korosi [6], sehingga semakin banyak lapisan oksida yang terbentuk maka laju korosi akan semakin menurun [7].



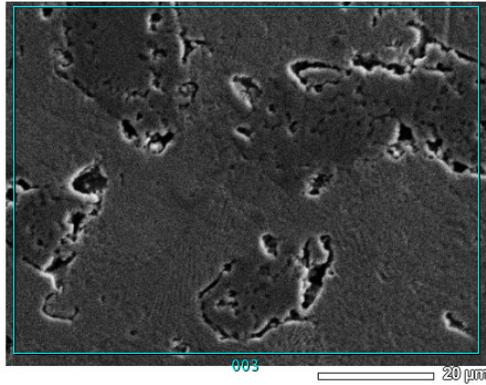
**Gambar 1.** Grafik hasil oksidasi logam Fe-Cr tanpa  $Y_2O_3$  pada temperatur 700°C selama 6 jam

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa logam Fe-Cr tanpa penambahan unsur  $Y_2O_3$  mempunyai laju berat masa yang terlihat lebih lambat dan mempunyai penambahan berat sebesar 0,025 MPY pada temperatur 700°C. Sedangkan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan berat cukup besar dibandingkan dengan pada sampel yang tidak menggunakan  $Y_2O_3$  yaitu sebesar 0,0484 MPY.

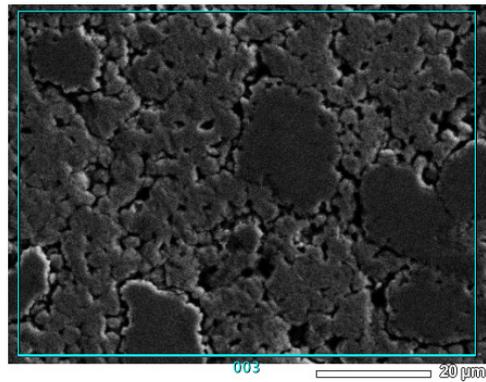


**Gambar 2.** Grafik hasil oksidasi logam Fe-Cr dengan  $Y_2O_3$  pada temperatur 700°C selama 6 jam

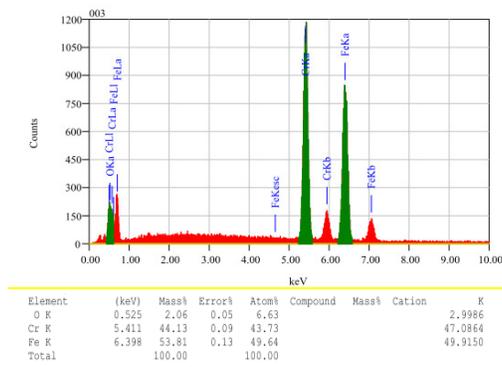
Dari hasil pengamatan menggunakan SEM dengan perbesaran 500 kali, mikrostruktur logam Fe-Cr dan logam paduan Fe-Cr- $Y_2O_3$  yang telah dioksidasi pada temperatur 700°C selama 6 jam dalam uap air masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4. Dari Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa logam Fe-Cr tanpa  $Y_2O_3$  mempunyai permukaan yang lebih kasar dan terdapat butiran-butiran yang merupakan produk oksidasi dari Fe-Cr. Sedangkan pada logam paduan Fe-Cr- $Y_2O_3$ , permukaannya terlihat lebih rapat. Selain itu, paduan logam Fe-Cr- $Y_2O_3$  yang telah mengalami oksidasi juga membentuk lapisan-lapisan oksida [8] yang dapat menghambat laju korosi seperti  $Fe_2O_3$ , dan  $Cr_2O_3$ . Pada analisis EDS (Gambar 5 dan 6), komposisi kimia yang terdapat pada logam paduan Fe-Cr- $Y_2O_3$  yaitu 67.20 persen berat Fe dan 28.70 persen berat Cr. Sementara itu unsur  $Y_2O_3$  tidak terdeteksi yang kemungkinan disebabkan oleh jumlah unsur  $Y_2O_3$  pada paduan sangat kecil sehingga tidak dapat dideteksi oleh peralatan EDAX ataupun unsur  $Y_2O_3$  telah membentuk senyawa oksida.



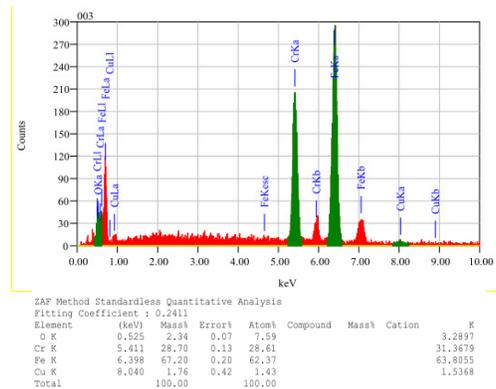
**Gambar 3.** Mikrostruktur logam Fe-Cr yang telah dioksidasi pada temperatur 700°C selama 5 jam dalam suasana uap air



**Gambar 4.** Mikrostruktur logam Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah dioksidasi pada temperatur 700°C selama 5 jam dalam uap air



**Gambar 5.** Pola difraksi dengan EDS Fe-Cr pada temperatur 700°C selama 5 jam



**Gambar 6.** Pola difraksi dengan EDS Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada temperatur 700°C selama 5 jam

## KESIMPULAN

Paduan Logam Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap korosi pada temperatur tinggi (700°C) dibandingkan dengan logam Fe-Cr tanpa Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hal ini disebabkan oleh adanya logam-logam yang tahan korosi pada paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seperti Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Cr. Selain itu juga lapisan pelindung (senyawa oksida) yang terbentuk pada paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih banyak dibandingkan logam Fe-Cr. Oleh karena itu paduan Fe-Cr-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sangat potensial untuk digunakan sebagai kelongsong (*cladding*) bahan bakar nuklir pada PLTN.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lukmandono 2015 Analisis SWOT untuk Menentukan Keunggulan Strategi Bersaing di Sektor Industri Manufaktur”, Seminar Nasional The 2 nd Industrial Engineering Conference, ISBN: 978-60270259-3-6, Surakarta, 9 September 2015
- [2] Kementerian Perindustrian 2012 Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 54/MIND/PER/3/2012 tentang Pedoman Penggunaan Produk Dalam Negeri untuk Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan
- [3] Zhü K, Zhao S-y, Yang S, Liang C dan Gu D 2016 *Resources Policy* 349 – 357
- [4] Bandriyana B, Ismoyo A H dan Parikin 201 *Jurnal Sains Material Indonesia* **14** 193
- [5] Li S, Zhou Z, Jang J, Wang M, Hu H, Sun H, Zou L dan Zhang L 2014 *Journal of Nuclear Materials* **455** 194
- [6] Fountana M C dan Greene M D 1967 *Corrosion Engineering* New York: Mc Graw Hill Book Company.
- [7] Parikin, Priyanto T H, Ismoyo A H dan Dani M 2015 *Jurnal Sains Materi Indonesia* **17**(1) 22
- [8] Darwin S, Deni S K, Saryanto H, Sulaiman H, Othman M A dan Pudji U 2010 AIP Conference Proceeding **1394** 90