

APLIKASI PROGRAM PENGAWASAN KOROSI UNTUK KOLAM PENYIMPAN REAKTOR RSG-GAS

Geni Rina Sunaryo dan Sriyono

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310
Email : genirina@batan.go.id

ABSTRAK

APLIKASI PROGRAM PENGAWASAN KOROSI UNTUK KOLAM PENYIMPAN REAKTOR RSG-GAS. Program Penuaan adalah suatu program yang harus diterapkan dalam suatu instalasi nuklir baik itu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) maupun reaktor riset. Tujuannya untuk memahami kondisi struktur material secara keseluruhan dari instalasi tersebut berdasarkan waktu sehingga dapat memprediksi sisa umur dan langkah yang harus dilakukan untukantisipasi. Reaktor RSG-GAS telah beroperasi lebih dari 20 tahun dan sudah menunjukkan proses penuaan struktur material baik di sisi primer maupun sekunder. Aplikasi program penuaan baru diaplikasikan pada tahun 2004. Salah satu dari program tersebut adalah pengawasan korosi struktur material reaktor. Dalam makalah ini akan dijelaskan penerapan program pengawasan korosi di reaktor RSG-GAS dan juga sistem pengelolaan kualitas air pendingin primer. Kupon korosi didesain untuk tujuan memahami pengaruh kualitas air primer reaktor RSG-GAS terhadap proses korosi homogen, *pitting*, *crevice* dan galvanik dari material yang dipakai sebagai struktur reaktor RSG-GAS di kolam reaktor, yang berhubungan dengan tingkat keberhasilan sistem pengelolaan kualitas air pendinginnya. Pencelupan dilakukan pada tahun 2007 di kolam penyimpanan sebelah teras RSG-GAS yang kualitas air pendinginnya persis sama dengan air kolam teras. Proses pemurnian dilakukan secara kontinyu. Setelah durasi pencelupan selama setahun, pengamatan dilakukan dengan menggunakan metoda visual dan metallografi menggunakan *reflected optical microscope* yang dilengkapi dengan kamera. Analisis kandungan unsurnya dilakukan dengan menggunakan X-met, dan analisis kualitas kimia airnya dilakukan dengan menggunakan ion chromatografi, AAS, pH-meter, konduktivimeter. Dari hasil pengamatan diketahui bahwa (a) kandungan unsur-unsur yang terlarut di air kolam masih dalam kategori yang diijinkan dan tertulis di Laporan Analisis Kecelakaan (LAK), (b) korosi *crevice* dan galvanik adalah korosi utama yang terbentuk; (c) tidak diamati terjadinya korosi *pitting*; (d) terjadi perubahan prosentasi kandungan unsur di dalam lempeng; dan (e) tidak teramati adanya bio korosi pada permukaan kupon. Pengalaman penanganan proses penuaan ini sangat berguna untuk dapat diterapkan di dalam PLTN mendatang.

Kata Kunci: Korosi homogen, korosi *pitting* , korosi galvanik, bio-korosi.

ABSTRACT

CORROSION SURVEILLANCE PROGRAM APPLICATION FOR INTERIM STORAGE RSG-GAS REACTOR. Ageing program is the program that should be implemented for both Nuclear Power Reactor and Nuclear Research Reactor. The purpose is to understand well the condition of reactor structures time to time to predict the life time and what we should do to anticipate. RSG-GAS reactor has been operated more than 20 years and already shown ageing process on their structure material for both primary and secondary side. The ageing program has been started on 2004. One of the program is to implemented the corrosion surveillance of structure material. In this paper, the implementation of corrosion surveillance in RSG-GAS reactor and primary water quality management will be described. Corrosion coupon is designed for understanding the Pitting, Crevice, Galvanic and General corrosion that has relation with the primary water quality management successfulness. The first batch of six coupon assemblies were strategically positioned in the service pool in January 2007 and has been withdrawn 1 set (horizontally and vertically) in stages for inspection after 1 year of exposure. The quality of water in the service pool for spent fuel storage basins is very highly demineralized water. The analyses for coupons was followed by visual as well as photographic evaluation of coupon surfaces. Metallographic examination under reflected optical microscope equipment with camera for investigation of pits width and X-met for analysing the element content. From the experimental result, it is known that (a) water quality od primary water is required the SAR, (b) crevice and galvanic effect were the main form of corrosion; (c) no pitting observed; (d) some percentage changes on element content; (e) no biofilm found on aluminium coupons. The experience on handling the ageing problem is very useful to b implemented for our future NPP.

Keyword : General corossion, pitting corrosion, galvanic corossion, bio corossion

PENDAHULUAN

Reaktor RSG-GAS memasuki usia operasi yang ke 24 tahun di tahun 2010. Didalam usaha mengoptimalkan pengoperasian dan pemanfaatan reaktor RSG-GAS dengan faktor keselamatan menjadi prioritas utama, beberapa program telah dilakukan di dalam mengidentifikasi masalah, yaitu:

1. IAEA-EBP Program 2003 – Ageing Management Program for Reactor Research.
2. IAEA-EBP Program 2004 – Water Chemistry for Nuclear Reactor Course I [1].
3. IAEA-EBP Program 2005 – Inspection for Secondary Cooling System of Multi Purpose Reactor, Serpong, Indonesia [2].
4. National Program – BATAN Center for Education , “Water Chemistry for Nuclear Reactor Course II”
5. EBP Program 2005 – Surveillance Program on Water Chemistry Control Management [3-6].
6. EBP Program 2006 – Analyses Surveillance Program on Water Chemistry Control Management
7. National Program – BATAN Center for Education , “Water Chemistry for Nuclear Reactor Course III”

Dari hasil kegiatan tersebut diketahui bahwa reaktor RSG-GAS telah menunjukkan tanda-tanda penuaan termasuk pada sistim pendingin primer dan sekundernya [1,7-9]. Masalah ini telah menyebabkan berkurangnya efektivitas pengoperasian reaktor yang berujung pada pengurangan efisiensi utilitas reaktor yang menggunakan sumber neutron. Diantara tanda-tanda penuaan yang sedang dihadapi adalah (1) terdeteksinya unsur logam yang tidak dikehendaki di air pendingin primer dan sekunder, (2) cepat jenuhnya sistim pembuatan air primer, (3) deteorisasi tangki kolam, (4) deteorisasi pompa sekunder dan (5) penipisan pada sistim pemipaan pendingin sekunder [2].

Pengetahuan yang di dapat dari kegiatan tersebut telah membawa pada suatu kesimpulan akan pentingnya dilakukan penelitian dan pengembangan guna mengatasi permasalahan yang sedang dihadapi, dimana salah satu aspeknya adalah permasalahan penanganan pengelolaan kimia air pendingin. Keberhasilan di dalam pengelolaannya akan mempunyai nilai tambah yang sangat bermanfaat di dalam pengoperasian PLTN mendatang di Indonesia yang mensyaratkan standar keamanan tertinggi dan memberikan imbas besar terhadap peningkatan ‘*public acceptance*’ iptek nuklir.

Salah satu cara mengevaluasi sistim pengelolaan kimia air pendingin primer yaitu

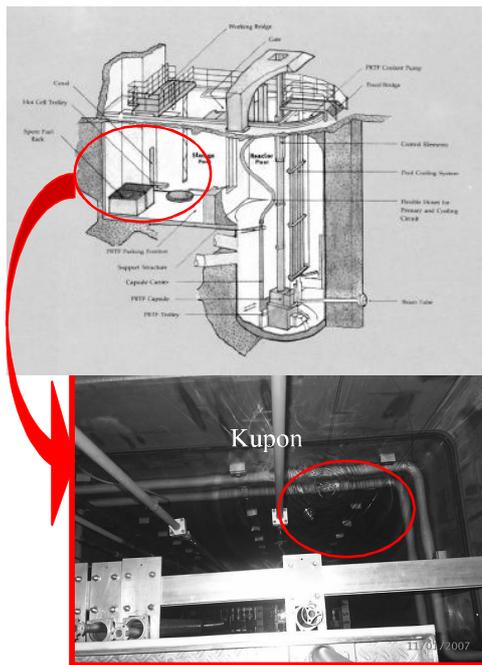
dengan menerapkan program pengawasan korosi di sisi primer reaktor RSG-GAS. Rancangan dan fabrikasi kupon telah ditulis dan dipresentasikan di International Conference on Research Reactors: Safe Management and Effective Utilization Sydney, Australia, 5-9 November 2007. Material yang dipakai adalah material yang digunakan sebagai struktur reaktor sisi primer yaitu AIMg₃, AIMg₂ dan SS-314.[10] Pencelupan dimulai pada awal tahun 2007. Lokasi pencelupan dilakukan di kolam penyimpanan yang letaknya bersebelahan dengan kolam teras. Pengamatan pertama dilakukan setelah periode satu tahun masa pencelupan dengan mengangkat satu set kupon dari tiga set yang telah dicelupkan. Dua set lainnya masih dalam proses pencelupan lanjutan guna pengamatan dengan periode pencelupan yang lebih panjang.

Pada makalah ini akan dijelaskan hasil dari pengamatan setelah proses pencelupan selama satu tahun. Tujuannya adalah untuk memahami seberapa jauh efektivitas pengelolaan kualitas air pendingin primer reaktor RSG-GAS terhadap proses korosi, baik itu homogen, *crevice* maupun galvanik setelah setahun pencelupan. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan metoda visual dan metalografi menggunakan *reflected optical microscope* yang dilengkapi dengan kamera. Analisis kandungan unsurnya dilakukan dengan menggunakan X-met, dan analisis kualitas kimia airnya dilakukan dengan menggunakan ion kromatografi, AAS, pH-meter, TDS-meter, konduktivimeter.

METODOLOGI

Penyiapan sampel

3 set vertikal dan 3 set horizontal dicelup ke dalam penyimpanan sementara yang letaknya bersebelahan dengan kolam teras pada tahun 2007 (Gambar 1). Kupon digantung dengan kawat baja hingga ketinggian 1 meter dari permukaan bawah. Pengambilan 1 set vertikal dan horizontal dilakukan setelah pencelupan 1 tahun dan dianalisis permukaannya dengan metoda yang akan dijelaskan berikut.



Gambar 1. Gambaran isometrik dari reaktor RSG-GAS, kolam penyimpanan [11] dan lokasi pencelupan kupon.

Analisis sampel

Sesaat setelah penarikan sampel setelah pencelupan 1 tahun, dilakukan pengukuran pH diantara 2 kupon yang berimpitan dengan menggunakan kertas lakmus.

Kandungan logam sampel sebelum dan sesudah pencelupan dianalisis dengan menggunakan X-met, yang bekerja berdasarkan identifikasi energi eksitasi dari masing-masing unsur logam setelah ditembak dengan sinar-X. Analisis permukaan metalografi dilakukan dengan menggunakan *camera digital*.

Analisis Kimia Air

pH, konduktivitas dan *Total Dissolved Solid* (TDS) diukur secara online, sedangkan beberapa ion terlarut serta logam seminggu atau sebulan sekali sesuai jadwal yang tertulis di LAK.[2] Pengukuran ion terlarut dengan menggunakan ion kromatografi, logam dengan AAS, pH dengan pH-meter, konduktivitas dengan konduktivimeter dan TDS dengan TDS-meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air Kolam Penyimpanan

Parameter air kolam seperti konduktivitas, pH dan konsentrasi Klor dimonitor secara periodik sebulan sekali dengan menggunakan ion

kromatografi, AAS, pH-meter, konduktivimeter. Konduktivitas dan pH diukur secara *online*. Hasil pengukuran konduktivitas adalah $1,3 - 1,7 \mu\text{S}/\text{cm}$, pH berada pada rentang $5,2 - 5,5$, klor tidak terdeteksi, TDS $0,7 - 0,9 \mu\text{S}/\text{cm}$ dan temperatur pada inlet dari sistem pemurnian yang diperuntukkan untuk kolam penyimpanan bahan bakar bekas (FAK01) adalah $23 - 34^\circ\text{C}$.

pH air di antara lempeng

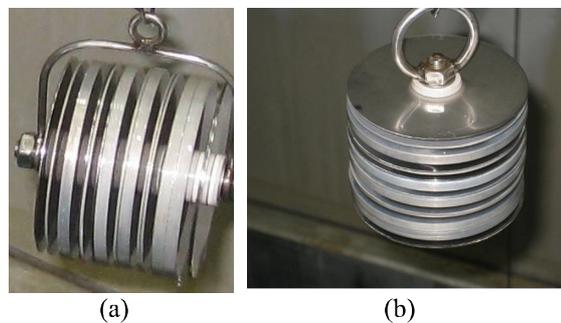
Sesaat setelah penarikan sampel dari kolam penyimpanan selama setahun, pH air terjebak diantara dua lempeng logam yang berimpit diukur dengan menyisipkan kertas lakmus (Gambar 2). Dari hasil pengukuran diketahui bahwa pH nya 4, yaitu satu poin lebih rendah dari pH air kolam penyimpanan (pH $5,4 - 5,5$, diukur dengan menggunakan pH meter digital yang akurasinya $\pm 0,1$). pH air terjebak di celah dua lempeng yang berimpit adalah sama untuk kedua posisi rangkaian kupon, horizontal dan vertikal.



Gambar 2. Pengukuran pH celah pasangan kupon dalam rangkaian rak setelah pencelupan 1 tahun di kolam penyimpanan reaktor RSG-GAS.

Pengamatan rangkaian kupon keseluruhan

Profil kupon dengan rangkaian vertikal dan horizontal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rak vertikal (a) dan horizontal (b) yang baru diangkat dari pencelupan pada kolam penyimpanan.

Dari pengamatan secara visual permukaan luar dari rangkaian rak, tidak terlihat adanya endapan ataupun partikel ataupun kerak berwarna kuning kemerahan yang menandakan terbentuknya oksida besi (II). Tetapi terlihat adanya sedikit butiran halus berwarna putih dari aluminium oksida pada permukaan luar rangkaian lempeng yang berimpit, terutama dua lempeng material Aluminium.

Setelah perlakuan pengamatan secara visual permukaan luar rangkaian rak, kemudian dilakukan pemisahan antara kupon satu dengan lainnya. Dari perlakuan ini diketahui bahwa lempeng dengan posisi yang berimpit dengan lempeng lainnya, baik diantara dua material sejenis maupun berlainan jenis, menjadi sulit dipisahkan. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi oksidasi reduksi antara dua permukaan yang berimpit dengan membentuk senyawa oksida. Hal ini diinisiasi oleh adanya air terjebak yang merupakan penyedia oksigen sebagai oksidator. Semakin besar kuantitas lapisan oksida yang terbentuk menunjukkan semakin tingginya laju korosi yang terjadi, yang juga menunjukkan semakin buruknya kualitas air yang melingkupinya. Definisi kualitas air yang buruk disini adalah bahwa air tersebut mempunyai nilai konduktivitas yang tinggi yang menunjukkan tingginya konsentrasi kandungan ion, atau dapat didefinisikan bahwa air tersebut mengandung banyak mineral.

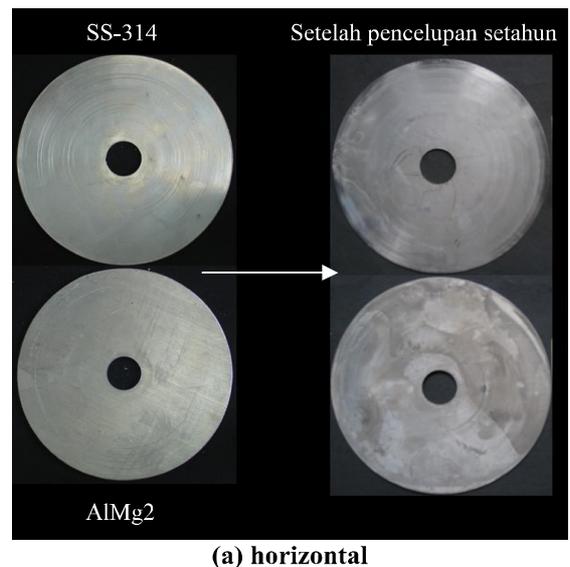
Analisis Permukaan Kupon

Setelah pemisahan kupon dari rangkaian satu persatu, pengamatan permukaan dilakukan secara visual dan diambil gambarnya dengan foto digital.

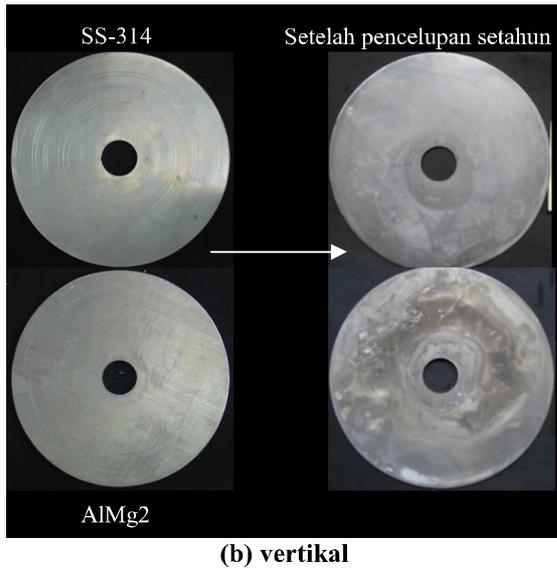
Korosi 'homogen' atau 'umum' terjadi karena adanya lingkungan yang agresif. Jika terjadi proses korosi homogen, area anodik di permukaan logam akan berpindah terus ke posisi lain yang akhirnya seluruh permukaan logam menjadi bersifat anodik dan berakibat pada kehilangan material lebih lanjut. Dari hasil pengamatan, diketahui bahwa lempeng yang di atur berdiri sendiri atau tidak dihimpitkan dengan lempeng lain (SS-304, AlMg2 ataupun Al2Mg3) tidak menunjukkan terbentuknya butiran atau endapan putih maupun kuning kemerahan pada permukaan kiri atau kanan (untuk rangkaian yang vertikal) dan atas atau bawah untuk rangkaian kupon yang horizontal. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi proses korosi 'homogen' untuk ketiga lempeng tersebut selama proses pencelupan selama satu tahun, atau dengan kata lain dapat dinyatakan bahwa kualitas air kolam pendingin primer RSG-GAS 'sangat baik' atau 'tidak agresif' menyerang permukaan lempeng.

Debris adalah butiran partikel halus yang berasal dari pengotor yang tidak terlarut. Adanya debris yang menempel pada permukaan lempeng dapat menyebabkan terjadinya perbedaan potensial yang akhirnya menginisiasi terjadinya proses korosi galvanik. Dari hasil pengamatan, tidak teramati adanya debris atau butiran halus pada permukaan lempeng kupon teratas dari rangkaian horizontal. Dengan tidak teramatinya debris pada permukaan logam menunjukkan bahwa proses pembersihan air kolam penyimpanan dengan menggunakan *skimmer* adalah sangat efektif, dapat membersihkan air kolam dari debris atau butiran halus yang bisa berasal dari debu sekitar permukaan luar kolam.

Korosi galvanik terjadi antara pasangan dua logam yang berlainan yang diinisiasi karena adanya perbedaan potensial. Dari hasil percobaan dua lempeng yang dihimpitkan, yaitu antara SS-314 dengan AlMg2 ataupun SS-314 dengan Al2Mg3. Setelah kedua lempeng yang berhimpit tersebut dibuka, dan diamati permukaan dalamnya, jelas terlihat adanya noda putih pada permukaan lempeng logam aluminium, tetapi tidak pada permukaan SS-314 (Gambar 4).



Gambar 4a. Permukaan bagian dalam pasangan SS-314 (atas)-AlMg2 (bawah) sebelum (sebelah kiri) dan setelah pencelupan 1 tahun (sebelah kanan) di kolam penyimpanan reaktor RSG-GAS secara horizontal (a)

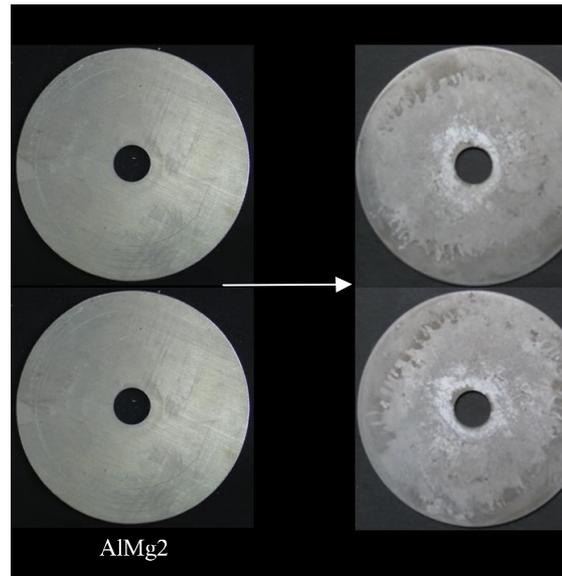


(b) vertikal

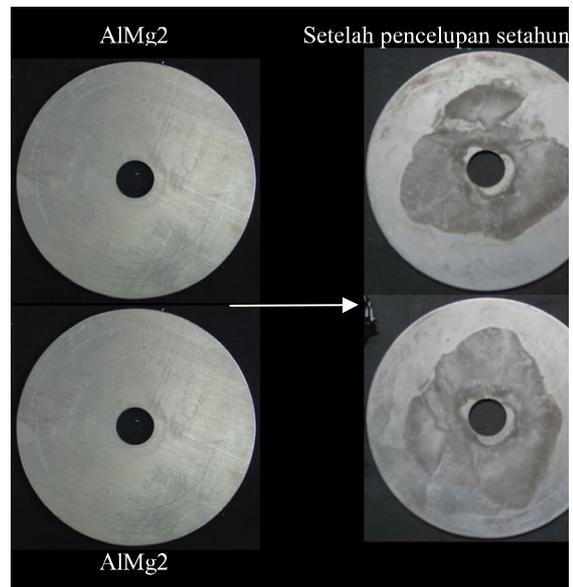
Gambar 4b. Permukaan bagian dalam pasangan SS-314 (atas)-AlMg2 (bawah) sebelum (sebelah kiri) dan setelah pencelupan 1 tahun (sebelah kanan) di kolam penyimpanan reaktor RSG-GAS secara vertikal (b).

Dari hasil percobaan teramati bahwa lempeng AlMg2 dengan posisi terhimpit dengan lempeng SS-314 secara vertikal lebih banyak terbentuk endapan putih dibandingkan dengan posisi horizontal (Gambar 4.b.). Berdasarkan fakta ini, dapat disimpulkan bahwa posisi vertikal lebih menginisiasi perbedaan potensial antara lempeng yang berlainan jenis tersebut 'lebih besar' dibandingkan dengan posisi horizontal. Sehingga, membuat lempeng aluminium posisi vertikal lebih banyak membentuk endapan putih. Proses korosi antar dua logam yang berbeda akan terjadi pada permukaan logam yang lebih mempunyai sifat anodik (negatif) (AlMg2) terhadap logam lain pasangannya (dalam hal ini SS-314)

Korosi crevice terjadi pada dua logam sejenis yang berimpitan. Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa, dua logam SS-314 yang berhimpitan, permukaan bagian dalamnya tidak teramati adanya endapan kuning kemerahan. Dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi korosi *crevice* pada dua logam SS 314 yang berimpitan. Lain halnya dengan SS-314, dua logam sejenis dari AlMg2 (Gambar 5) ataupun Al2Mg3 teramati adanya endapan putih.



(a) horizontal



(b) vertikal

Gambar 5. Permukaan bagian dalam pasangan AlMg2-AlMg2 sebelum (sebelah kiri) dan setelah pencelupan 1 tahun (sebelah kanan) di kolam penyimpanan reaktor RSG-GAS secara horizontal (a) dan vertikal (b).

Dari percobaan dipahami bahwa korosi *crevice* tampak jelas terlihat dengan adanya endapan putih pada permukaan bagian dalam kedua logam aluminium yang berimpitan (Gambar 5). Terbentuknya endapan putih tersebut menyebabkan kedua logam sejenis menjadi lebih sulit dipisahkan dibandingkan dengan rangkaian himpitan SS 314 dengan aluminium.

Rangkaian horizontal menunjukkan *crevice* dengan permukaan yang lebih melebar dibandingkan dengan rangkaian vertikal. Hal ini kemungkinan ada hubungannya dengan posisi kupon yang menyebabkan perbedaan pola air yang terjebak diantara dua lempeng yang berimpit. Pola tersebutlah yang membedakan geometri korosi *crevice*. Jenis korosi ini disebabkan adanya lingkungan yang korosif yang tercipta akibat terjebaknya air diantara dua lempeng yang berimpit. Reaksi katodik mengkonsumsi oksigen yang berasal dari larutan yang terjebak, sedangkan suplai oksigen dari luar sulit masuk kedalam celah. Sehingga, membuat permukaan logam menjadi lebih anodik dibandingkan dengan larutan terjebaknya. Konsentrasi ion logam didalam larutan terjebak semakin meningkat dan terkonsentrasi dibandingkan dengan larutan pada *bulk*. Laju korosi semakin lama semakin meningkat. Korosi akan terus berlangsung hingga konsentrasi oksigen menjadi uniform pada seluruh lokasi atau, jika ada suplai oksigen masuk - proses korosi ini akan terus berlangsung hingga logam tersebut rusak. Fenomena terjebaknya air tersebutlah yang menyebabkan menurunnya pH celah menjadi satu poin lebih rendah dibandingkan dengan larutan di *bulk*.

Biokorosi tidak ditemukan pada seluruh permukaan kupon. Biokorosi dapat dideteksi dengan mudah jika terjadi korosi yang berbentuk menyerupai lapisan film tipis atau lendir.

Berdasarkan pengamatan dengan menggunakan perbesaran 400 kali, dari keseluruhan rangkaian, tidak terlihat adanya korosi sumuran (*pitting*). Korosi jenis ini yang paling dikhawatirkan, karena secara kasat mata tidak tampak jelas ukuran lubangnya, tetapi dapat membuat menyerupai sumur masuk kedalam permukaan logam. Laju korosi sumuran sulit dideteksi, yang dapat dipercepat karena lingkungan yang agresif yang mengandung ion klorida.

Kandungan unsur pada lempeng

Kandungan unsur utama pada ketiga jenis material yang dipakai pada percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari tabel tersebut terlihat bahwa kandungan unsur utama yang berbeda adalah sesuai dengan jenis logamnya yaitu pada unsur Fe untuk SS-314 dan Al untuk logam paduan aluminium. Selain unsur utama, terlihat adanya perbedaan prosentasi kandungan Cr, dimana pada paduan aluminium tidak terdeteksi. Begitu juga dengan Mn, yang merupakan pengotor tetapi sedikit saja kandungannya dapat meningkatkan kekuatan ikatan dengan unsur lainnya membentuk fasa intermetalik FeMnAl6.

Tabel 1. Kandungan unsur utama pada ketiga jenis material percobaan yang dianalisis dengan menggunakan X-met sebelum pencelupan.

SS-314		AlMg ₂		Al ₂ Mg ₃	
Unsur	W%	Unsur	W%	Unsur	W%
V	0.0190	Al	99.0933	Al	98.9034
Cr	17.6585				
Mn	1.2758	Mn	0.1829	Mn	0.4189
Fe	71.1245	Fe	0.3585	Fe	0.4939
Co	0.7354				
Ni	9.3768				
Cu	0.2931	Cu	0.3653	Cu	0.1838
Mo	0.2979				
W	0.1309				

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa tidak terjadi perubahan prosentasi berat dari unsur utama pada logam SS-314 yang dirangkai secara vertikal maupun horizontal untuk kesemua tujuan pengamatan (korosi homogen, *crevice* maupun galvanik) estela setahun pencelupan.

Seperti halnya logam SS-314, logam AlMg₂ juga tidak terjadi perubahan prosentasi berat dari kandungan unsur utamanya. Berbeda dengan logam Al₂Mg₃, dari hasil pengukuran terlihat terjadinya sedikit peningkatan kandungan Mn. Analisis lebih lanjut mengenai kecenderungan ini perlu dilakukan.

Proses pembersihan debu dipermukaan air kolam terlihat Sangat efektif didalam mencegah terjadinya penempelan butiran halus pada permukaan material yang dapat menyebabkan terjadinya perbedaan potensial yang dapat menginisiasi proses korosi. Adanya sedikit partikel oksida besi yang mengendap dipermukaan aluminium, dapat memproduksi korosi sumuran dibawahnya dengan hanya konsentrasi ion klorida yang sangat rendah dalam skala ppm, walaupun potensial korosi lebih rendah dari potensial pitting di dalam lingkungannya.[12]

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil percobaan ini diketahui bahwa kualitas air kolam penyimpanan cukup baik, hal ini terlihat dari tidak signifikannya proses korosi homogen, galvanik, *crevice* maupun sumuran yang terjadi setelah pencelupan kupon selama setahun. Tetapi, perlu diperhatikan bahwa untuk mempertahankan struktur material reaktor sisi primer, hal yang harus diperhatikan adalah tidak hanya menjaga kualitas air kolam sebagaimana yang dipersyaratkan di LAK, tetapi juga

mencegah terjadi penempelan butiran halus pada permukaan material yang dapat menyebabkan terjadinya perbedaan potensial yang dapat menginisiasi lebih lanjut proses korosi sumuran hanya dengan konsentrasi ion klorida yang sangat kecil. Pengalaman penanganan proses penuaan ini sangat berguna untuk dapat diterapkan di dalam PLTN mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Ka PTRKN bapak Dr. Anhar R.A. dan bapak Ir. Iman Kuntoro selaku Ka PRSG pada tahun 2007 atas ijinnya melakukan percobaan ini. Selain itu juga kepada bapak Roziq H, bapak Sentot, ibu Diyah Erliana, bapak Budi, bapak Yusi dan teman lainnya yang tidak sempat penulis sebutkan, banyak terimakasih atas bantuan teknisnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. DIYAH ERLINA LESTARI, GENI RINA SUNARYO, YUSI EKO YULIANTO, SENTOT ALIBASYAH H. and SETYO BUDI UTOMO, 'G.A. Siwabessy Research Reactor Water Chemistry', Module B2, Water Chemistry Course I, Serpong, Indonesia, 2004.
2. ROZIQ HIMAWAN, SRIYONO. SAFRUL., HENDRO,"Analisis Ketebalan Pipa Sistem Pendingin Sekunder RSG-GAS", Sigma Epsilon, Agustus 2008 (sedang dicetak).
3. IAEA, EBP Report on Secondary Cooling System Inspection of RSG-Siwabessy, 2005.
4. IAEA TECDOC 927, 'Influence of Water Chemistry on Fuel Cladding Behaviour'.
5. IAEA, TRS 418, 'Corrosion of Research Reactor Aluminum Clad Spent Fuel in Water'.
6. GENI RINA SUNARYO. SRIYONO. DIYAH ERLIANA, International Conference on Research Reactors: Safe Management and Effective Utilization, Sydney, Australia, 5-9 November 2007, "Water Chemistry Surveillance for Multi Purpose Reactor 30 MW GA Siwabessy, Indonesia".
7. SENTOT A. H., 'Safety Principal, Water Chemistry System and Current Facing Problem for GAS Research Reactor,' Proceeding of Training Course on Water Chemistry of Nuclear Reactor System 2, February 22 – March 4, 2005.
8. DIYAH E.L., Pengelolaan Kimia Air Pendingin Reaktor G.A.Siwabessy , Diskusi Kimia Air dan Reaktor, P3TKN-BATAN, Bandung (2000).
9. DIYAH E.L., 'Current Status of RSG GAS Water Chemistry,' Proceeding of Training

- Course on Water Chemistry of Nuclear Reactor System 3, November 13 – 17, 2006.
10. GENI RINA SUNARYO, SRIYONO, DIYAH ERLINA LESTARI," WATER CHEMISTRY SURVEILLANCE FOR MULTI PURPOSE REACTOR 30MW GA SIWABESSY, INDONESIA" , *Proc. International Conference on Research Reactors: Safe Management and Effective Utilization*, 5 – 9 November 2007, Sydney, Australia
 11. TAGOR MALEM SEMBIRING, LIEM PENG HONG, IMAN KUNTORO and ZUHAIR, "Criticality Safety Assessment on the RSG-GAS Spent Fuel Storage for Anticipating the Next Core Conversion Program".
 12. S. RODRÍGUEZ, L. LANZANI, A. QUIROGA, E. SILVA AND R. HADDAD, "Study of the effect of sedimented particles on the corrosion behaviour of aluminium clad spent fuel during storage in water", RERTR Conference, Santiago (Chile) 10-14 November 2003, paper CN-100-10.

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

Bagaimana hubungannya hasil percobaan dengan kualitas air primer RGS?

(Sugiyanto, PTRKN-BATAN)

Jawaban :

Dari hasil analisis percobaan ini menunjukkan bahwa kualitas kimia airnya sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan tidak terjadinya korosi homogen selama pencelupan durasi 1 tahun. Korosi crevice dan galvanic yang terjadi dari hasil percobaan,hanya untuk material yang saling berhimpit, sedang pada realitanya tidak ada satupun material struktur pendingin yang didesain berhimpit.