

## PENGARUH ZINC TERHADAP LAJU KOROSI INCONEL 690 DAN INCOLOY 800 SEBAGAI MATERIAL TUBE PEMBANGKIT UAP PWR

Febrianto

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN  
Gedung 80 PUSPIPTEK Serpong, 15310, email: febri35@centrin.net.id

### ABSTRAK

**PENGARUH ZINC TERHADAP LAJU KOROSI INCONEL 690 DAN INCOLOY 800 SEBAGAI MATERIAL TUBE PEMBANGKIT UAP PWR.** Telah dilakukan pengujian untuk melihat pengaruh zinc terhadap laju korosi dan deposisinya pada permukaan Inconel 690 dan Incoloy 800 sebagai material tube pembangkit uap reaktor PWR (Pressurized Water Reactor /Reaktor Air Bertekanan). Pada reaktor PWR seperti juga pada reaktor BWR (Boiling Water Reactor/ Reaktor Air Mendidih) banyak ditemukan problem korosi. Pada reaktor BWR, penambahan zinc digunakan untuk menurunkan paparan radiasi tetapi dalam kenyataannya juga bisa menurunkan laju korosi dari material/komponen reaktor. Pengujian ini bertujuan untuk melihat sejauh mana peran zinc dalam menurunkan laju korosi dan dalam pembentukan oksida di permukaan material. Pengujian laju korosi dilakukan dengan Potensiostat dimana sebelumnya material yang diuji telah dikondisikan dengan menggunakan autoclave pada temperatur 250 °C selama 250 jam. Pada penelitian ini juga dilihat pengaruh zinc terhadap perubahan akumulasi kobalt pada permukaan material. Spesimen berbentuk tube dengan diameter luar 19,05 mm, tebal 1,09 mm dan panjang 10 mm. Dari hasil yang didapat, laju korosi material setelah penambahan zinc oksida lebih kecil dari pada sebelum penambahan zinc oksida. Oksida yang terbentuk dalam larutan kobalt sulfat lebih tebal dan tidak merata sedangkan oksida yang terbentuk setelah penambahan larutan zinc oksida terlihat lebih tipis dan merata. Dari hasil penelitian yang didapat, laju korosi Inconel 690 dalam larutan cobalt sulfat sebesar 1,9745 mpy dan laju korosi Incolloy 800 sebesar 1,6891 mpy. Sedangkan laju korosi Inconel 690 dalam larutan zinc oksida sebesar 0,5297 mpy dan laju korosi Incolloy 800 dalam larutan yang sama sebesar 0,4534 mpy.

Kata kunci : laju korosi, tube pembangkit uap, autoclave

### ABSTRACT

**EFFECT OF ZINC ON INCONEL 690 AND INCOLOY 800 CORROSION RATE AS PWR STEAM GENERATOR TUBE MATERIAL.** The experiment has been done to see the effect of zinc addition on corrosion rate and its deposition at Inconel 690 dan Incoloy 800 as PWR (Pressurized Water Reactor) steam generator material tube. At PWR and also BWR (Boiling Water Reactor) many corrosion problems have been found. At BWR, the purpose of zinc addition is for radiation exposure reducing but, in fact zinc addition can reduce material corrosion rate. The experiment purposes are to see the zinc role in reducing corrosion rate and oxide formation on material surface. The experiment carried out using autoclave at 250 °C for 250 hours and corrosion rate was determined by Potentiostat. In this experiment, effect of zinc on cobalt accumulation change at material surface has been determined. The specimen is in tube form with 19,05 mm in diameter, 1,09 mm in thickness and 10 mm length. From experiment the results, material corrosion rate after zinc oxide addition smaller than that before zinc oxide addition. Oxide that form in cobalt sulphate solution was more thickness and not uniform also oxide that form after zinc oxide addition was thinner and uniform. From the experiment results; Inconel 690 corrosion rate in cobalt sulphate solution is 1,9745 mpy and Incolloy 800 corrosion rate is 1,6891 mpy. Inconel 690 corrosion rate in zinc oxide is 0,5297 mpy and Incolloy 800 corrosion rate is 0,4534 mpy in same solution.

Keywords : corrosion rate, steam generator tube, autoclave

### PENDAHULUAN

Pada reaktor BWR, air reaktor dibiarkan mendidih di dalam teras reaktor sehingga produk radiolisis seperti O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menjadi cukup tinggi akibatnya air reaktor bersifat lebih oksidatif. Dengan tingginya produk radiolisis membuat material, komponen dan struktur

reaktor yang berada di lingkungan air reaktor BWR menjadi rentan terhadap korosi terutama korosi IGSCC (*Intergranular Stress Corrosion Cracking*). Sejak tahun 1974 lebih dari 1000 kasus *crack* terjadi pada sistem perpipaan reaktor BWR yang menimbulkan kerugian lebih dari jutaan dollar dalam industri nuklir <sup>(1)</sup>.

Penyebab *crack* ini adalah IGSCC yang merupakan efek gabungan 3 faktor yaitu: lingkungan yang agresif, material yang sensitif dan *stress*. Berkurang atau hilangnya salah satu efek di atas dapat mengurangi problem IGSCC. Dari faktor gabungan di atas, lingkungan yang agresif dalam hal ini sistem pendingin reaktor merupakan faktor yang dapat diperbaiki setelah reaktor dibangun dan dioperasikan.

Untuk menurunkan laju korosi IGSCC pada reaktor BWR telah digunakan hidrogen yang dikenal dengan *Hydrogen Water Chemistry/HWC* (kimia air berhidrogen) <sup>(2,3,4,5,6)</sup>. Penggunaan HWC bisa mengurangi laju korosi secara umum tetapi HWC meningkatkan paparan radiasi. Untuk mengatasi meningkatnya paparan radiasi ini banyak reaktor BWR menerapkan metoda penyuntikan zinc <sup>(5,7)</sup>. Metoda penyuntikan zinc kedalam sistem air umpan (*feed water system*) BWR dikenal dengan *zinc injection*. Penyuntikan zinc cukup sukses dalam menurunkan tingkat paparan radiasi yang disebabkan cobalt-60 yang merupakan kontributor utama tingginya paparan radiasi pada reaktor nuklir. Pada reaktor PWR banyak kasus korosi ditemukan walaupun tidak sebanyak dan separah korosi pada reaktor BWR. Pada reaktor PWR selain pada material bejana tekan problem korosi banyak terjadi pada tube pembangkit uap di bagian sisi primer. Keberhasilan penggunaan zinc pada reaktor BWR dalam menurunkan paparan radiasi dan dari beberapa reaktor terlihat juga penurunan laju korosi yang signifikan. Banyak peneliti yang melaporkan penggunaan zinc diharapkan juga bisa menurunkan paparan radiasi yang terjadi pada reaktor PWR, seperti keberhasilan penggunaan zinc pada reaktor BWR <sup>(8,9)</sup>. Inconel 690 digunakan sebagai tube pembangkit uap pada reaktor PWR sejak awal tahun 90an menggantikan Inconel 600 yang digunakan sejak awal tahun 80 an tetapi banyak mengalami kegagalan disebabkan problem korosi. Sedangkan Incoloy 800 merupakan alloy yang diperkirakan bisa digunakan sebagai tube pembangkit uap pada masa akan datang <sup>10)</sup>. Pada penelitian ini ingin dilihat pengaruh penambahan zinc yang bermanfaat pada reaktor BWR bisa juga diterapkan pada reaktor PWR.

Penelitian ini merupakan lanjutan dari percobaan yang telah dilakukan sebelumnya terhadap material pembangkit uap PWR pada berbagai kondisi.

## METODA EKSPERIMEN

Bahan spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah material Inconel 690 dan

Incoloy 800 berupa tube dengan diameter luar 19,05 mm, tebal 1,09 mm dan panjang 10 mm yang merupakan produk dari Inco Alloys Services PTE LTD. Benda yang akan diuji terlebih dulu dimounting menggunakan resin epoksi sehingga bagian yang akan berkontak dengan larutan uji saja yang dibiarkan terbuka. Pada saat mounting dipasang kabel sebagai hubungan arus. Spesimen uji diampelas dengan kertas dari grit 400, 600, 800 sampai dengan grit 1000 dan dipoles menggunakan pasta diamon METADI II ukuran 1/4 mikron. Pengujian dilakukan dengan *autoclave* pada temperatur 250°C selama 250 jam dengan konsentrasi oksigen 50 ppb. Pertama spesimen uji di kondisikan dalam larutan kobalt sulfat 10 ppm. Kemudian sebagian dari spesimen uji yang telah dikondisikan dalam larutan kobalt sulfat dikondisikan dalam larutan zinc oksida 10 ppm untuk melihat pengaruh penambahan zinc oksida terhadap laju korosi material dan bentuk oksida yang terjadi. Pengujian dilakukan pada temperatur 250°C karena keterbatasan kemampuan *autoclave* yang dimiliki. Spesimen uji yang telah di kondisikan diatas diuji laju korosinya dengan menggunakan Potensiostat. Setelah itu oksida logam yang terbentuk pada permukaan material diamati dengan kamera PAX cam. Analisa uji korosi dilakukan dengan metoda elektrokimia. Data arus korosi yang diperoleh selama pengujian diolah dengan analisa Tafel dengan mengekstrapolasi suatu plot log arus versus potensial pada pertemuan arus anodik dan katodik terkecil. Laju korosi (*corrosion rate*) didapat dengan menggunakan formula;

$$CR \text{ (mpy)} = 0,13 I_{\text{corr}} EW/\rho$$

Dimana;

CR = Corrosion rate (mili inchi/year)

$I_{\text{corr}}$  = Densitas arus korosi ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )

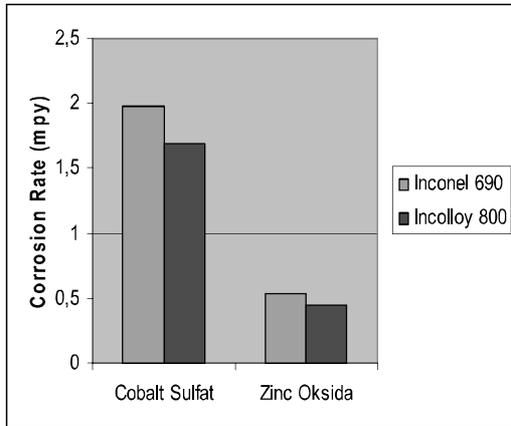
EW = Berat equivalen material (gr)

$\rho$  = Densitas material  $\text{gr}/\text{cm}^3$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran laju korosi (Gambar1), terlihat bahwa laju korosi material dalam larutan kobalt sulfat 10 ppm lebih besar dari pada laju korosi material setelah penambahan zinc oksida 10 ppm. Laju korosi Inconel 690 dalam larutan cobalt sulfat sebesar 1,9745 mpy dan laju korosi Incolloy 800 dalam larutan yang sama sebesar 1,6891 mpy. Sedangkan laju korosi Inconel 690 dalam larutan zinc oksida sebesar 0,5297 mpy dan laju korosi Incolloy 800 dalam larutan yang sama sebesar 0,4534 mpy. Dari hasil pengamatan, oksida yang terbentuk terlihat oksida yang

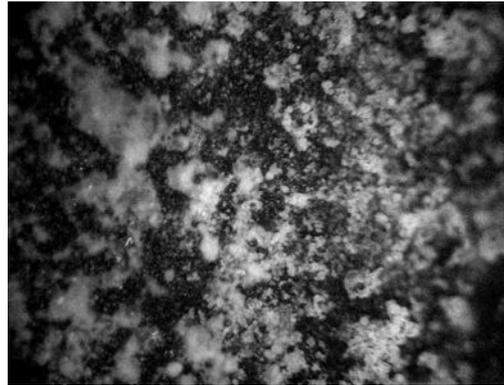
terbentuk dalam larutan kobalt sulfat lebih tebal dan tidak merata sedangkan oksida yang terbentuk dalam larutan zinc oksida terlihat lebih tipis dan merata.



Gambar 1. Laju Korosi material Inconel 690 dan Incolloy 800 dalam Larutan Cobalt Sulfat dan Zinc Oksida.

Hasil eksperimen pada studi ini memperlihatkan laju korosi material secara umum berkurang atau ketahanan material terhadap korosi meningkat dengan penambahan zinc pada temperatur tinggi. Ada beberapa argumentasi yang bisa menjelaskan perubahan laju korosi dengan penambahan zinc. Argumentasi utama adalah berdasarkan perubahan struktur oksida dengan penambahan zinc. Penambahan zinc akan meningkatkan kestabilan mekanik dan kimia dari lapisan pasif material<sup>(8)</sup>. Berdasarkan laporan Kawamura penambahan zinc akan menstabilkan oksida  $ZnCr_2O_4$  yang berbentuk spinel dan menambah ketahanan korosi material.

Gambar 2 dan 3, adalah gambar Incoloy 800 dan Inconel 690 dalam larutan kobalt sulfat yang dikondisikan dengan autoclave pada temperatur 250 °C selama 250 jam, terlihat oksida logam yang terbentuk dalam larutan kobalt sulfat lebih tebal dan tidak merata. Sedangkan Gambar 4 dan 5, adalah gambar Incoloy 800 dan Inconel 690 setelah ditambahkan larutan zinc oksida yang dikondisikan dengan autoclave pada temperatur 250 °C selama 250 jam, lapisan oksida logam yang terbentuk lebih tipis dan lebih merata. Penambahan ion zinc kedalam material yang telah dikondisikan dengan kobalt sulfat ternyata berpengaruh terhadap pembentukan oksida logam, dimana oksida logam menjadi lebih tipis dan lebih merata. Hal ini juga mengakibatkan berkurangnya akumulasi atau jumlah kobalt dipermukaan logam.



Gambar 2. Incoloy 800 dalam kobalt sulfat



Gambar 3. Inconel 690 dalam kobalt sulfat



Gambar 4. Incoloy 800 dalam Zinc Oksida



Gambar 5. Inconel 690 dalam Zinc Oksida.

Berkurangnya jumlah kobalt yang terakumulasi pada permukaan logam akibat penambahan ion zinc dapat dijelaskan bahwa zinc akan berkompetisi dengan kobalt pada tempat yang sama dalam lapisan oksida logam sehingga akan menurunkan konsentrasi kobalt dalam lapisan tersebut. Peran zinc dalam menurunkan paparan radiasi dapat dijelaskan dengan teori D. Lister dengan menggunakan konsep “*site preference energy*” pada kisi spinel<sup>(1)</sup>. Kemampuan zinc dalam penurunan paparan radiasi disebabkan tingginya energi ikatan pada posisi “*tetrahedral interstitial*” dalam kisi – kisi oksida. Dengan tingginya nilai *site preference energy* dibanding unsur valensi dua lainnya (33,89 kJ/mol), ion zinc bisa menggantikan posisi  $\text{Co}^{2+}$  (14,64 kJ/mol) dan unsur bervalensi dua lainnya dalam kisi kristal sehingga penambahan ion  $\text{Zn}^{2+}$  cenderung menstabilkan struktur kristal. Dengan terbentuknya oksida logam yang lebih stabil juga akan menurunkan laju korosi material logam selanjutnya.

Injeksi zinc bermanfaat pada material dengan beberapa cara: (1) menghasilkan lapisan korosi yang lebih tipis (2) berkompetisi dengan kobalt untuk tempat yang sama pada lapisan film sehingga mengurangi komposisi kobalt dalam film, dan (3) menekan terlepasnya kobalt baik sebagai sumber kobalt itu sendiri maupun kobalt yang berada dalam oksida logam karena sudah dihalangi oleh oksida yang terbentuk dengan ion zinc.

## KESIMPULAN

Dari hasil yang didapatkan terlihat bahwa oksida yang terbentuk dalam larutan kobalt sulfat lebih tebal dan tidak merata dengan penambahan zinc terlihat oksida yang terbentuk dalam larutan zinc oksida ini terlihat lebih tipis dan merata dan juga lapisan oksida yang terbentuk dengan penambahan ion zinc lebih stabil dibanding oksida yang terbentuk dengan ion kobalt.

Keadaan ini dapat menurunkan laju korosi pada material. Laju korosi Inconel 690 dalam larutan kobalt sulfat sebesar 1,9745 mpy dan laju korosi Incolloy 800 dalam larutan yang sama sebesar 1,6891 mpy. Sedangkan laju korosi Inconel 690 dalam larutan zinc oksida sebesar 0,5297 mpy dan laju korosi Incolloy 800 dalam larutan yang sama sebesar 0,4534 mpy.

## DAFTAR PUSTAKA

1. “ BWR Hydrogen Water Chemistry Guidelines”, 1987 Revision, NP – 4947 – SR, EPRI Special Report, Palo Alto, California, December 1988
2. GARCIA, S.E., COWAN, R.L., “ Zinc Addition Experience in BWRs Under Normal and Hydrogen Addition Chemistry “, Proc, JAIF Int,
3. Conf, on Water Chemistry in Nuclear Power Plants, Japan, 1998.
4. JAPAN NUCLEAR CYCLE DEVELOPMENTS INSTITUTE, “ Fugen Nuclear Power Station”, JNC TN 3410 2001 – 003, 2001.
5. “ BWR Hydrogen Water Chemistry Guidelines”, 1987 Revision, NP – 4947 – SR, EPRI Special Report, Palo Alto, California, December 1988
6. R.W..COWAN., “ BWR Water Chemistry Delicate Balance “,Proc, of 8<sup>th</sup> Int. Conf. On Water Chemistry of Nuclear Reactor System, Bournemouth, Vol 1, BNES, 2000.
7. WOOD, C.J., “ Developments in Nuclear Power Plant Water Chemistry “, Proc, of 8<sup>th</sup> Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactor System, Bournemouth, Vol.1, BNES, 2000.
8. GARCIA, S.E., COWAN, R.L., “ Zinc Addition Experience in BWRs Under Normal and Hydrogen Addition Chemistry “, Proc, JAIF Int, Conf, on Water Chemistry in Nuclear Power Plants, Japan, 1998.
9. MASASHI HAGINUMA AND KENKICHI ISHIGURE, Japan Nuclear Society , Vol 40, No 5, 59, 1998
10. .KAWAMURA AND H.HIRANO, Corrosion 98, Paper No,141, 1998
11. NORDMAN ,F, “ Efficient, Sustainable, and Economical Plant Operation “, Int. Conf. On Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems, Jeju island, Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems, Jeju island,
12. LISTER, D.H., “ Proc, Int, Symp, On Activity Transport in Water Cooled Nuclear Power Reactor, Ottawa, Oct. 1994.

## TANYA JAWAB

### **Pertanyaan:**

Apakah Teknologi *Zinc Injection* yang diterapkan pada BWR untuk mengurangi dampak penggunaan *hydrogen injection* dapat diterapkan di PWR?

(Geni Rina S., PTRKN BATAN)

### **Jawaban:**

Memang tujuan awal *injection zinc* adalah untuk mengurangi kenaikan paparan radiasi akibat *hydrogen injection*. Tetapi dari hasil lapangan ternyata *injection zinc* dapat menurunkan laju korosi pada BWR. Kenyataan ini yang ingin dicoba di PWR.