

**PENELUSURAN UNSUR PEMBENTUK KERAK PADA
SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR GA SIWABESSY DENGAN METODA
ANALISIS AKTIVASI NEUTRON (AAN)**

Diyah Erlina Lestari, Th. Rina M. Saleh Hartaman

ABSTRAK.

PENELUSURAN UNSUR PEMBENTUK KERAK PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR GA SIWABESSY DENGAN METODA ANALISIS AKTIVASI NEUTRON (AAN).

Telah dilakukan penentuan kandungan unsur kimia pada air pendingin sekunder dan kerak yang terbentuk pada pemipaan sistem pendingin sekunder. Penentuan kandungan unsur kimia dilakukan dengan metoda AAN. Pencacahan dilakukan dengan spektrometer gamma yang menggunakan detektor gamma beresolusi tinggi HPGe. Dari hasil pencacahan menunjukkan bahwa kandungan unsur kimia yang terkandung pada kerak adalah: Na, Br, Fe, Cl, Mg dan Co., ternyata terdapat juga pada air pendingin sekunder. Sedangkan unsur utama pembentuk kerak belum dapat terdeteksi.

ABSTRACT.

TRACING OF SCALING ELEMENTS IN SECONDARY COOLING SYSTEM OF GA SIWABESSY REACTOR BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.

Determination of content of chemical elements and scale formed in the secondary cooling system has been carried out by means of AAN method. The counting was performed using a gamma spectrometer equipped with high resolution HPGe detector. Results of counting show the elements contained in the scale are: Na, Br, Fe, Cl, Mg and Co which are also found in the secondary cooling water. The main scaling elements cannot yet be detected.

PENDAHULUAN

Reaktor GA Siwabessy merupakan reaktor riset sehingga panas yang ditimbulkan selama operasi reaktor akan dibuang ke lingkungan. Pada reaktor G.A Siwabessy untuk melepaskan panas tersebut dilengkapi dengan sistem pendingin yang terdiri dari sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder. Panas yang terbentuk pada sistem primer dipindahkan ke sistem sekunder melalui alat penukar panas dan akhirnya dibuang ke lingkungan melalui menara pendingin. Sebagai medium pembawa panas pada sistem pendingin sekunder digunakan air yang berasal dari penyedia air setempat (PAM PUSPIPTEK) tanpa pengolahan lebih lanjut.

Kerak merupakan salah satu masalah yang ditimbulkan yang dapat diakibatkan oleh air pendingin pada umumnya. Kerak akan mengurangi efisiensi alat penukar panas dan kerak yang timbul dengan cepat dapat menyebabkan tersumbatnya pipa. . Metoda AAN (Analisis Aktivasi Neutron) merupakan metoda analisis yang didasarkan pada karakteristik radiasi sinar gamma yang spesifik terhadap unsur radioaktif penyebabnya, kondisi

radioaktif ini dibuat dengan penambahan neutron agar terjadi reaksi inti. Di reaktor G.A. Siwabessy metoda AAN merupakan metoda yang sedang dikembangkan. Oleh karena itu dalam penelitian ini ditentukan kandungan unsur kimia yang terdapat pada kerak yang terbentuk pada sistem pendingin sekunder dengan metode AAN (Analisis Aktivasi Neutron). Dengan diketahuinya data unsur pembentuk kerak, diharapkan dapat diketahui sumber penyebabnya.

TEORI

Diskripsi Sistem Pendingin Sekunder

Sistem pendingin sekunder adalah tempat untuk menurunkan panas yang terakhir dari reaktor, panas yang terbentuk pada sistem primer dipindahkan ke sistem sekunder melalui alat penukar panas dan akhirnya dibuang ke atmosfer melalui menara pendingin.

Sistem ini direncanakan mampu membuang panas total 33000 KW dan terdiri dari 2 bagian pemipaan yang masing-masing bagian kapasitasnya 50%. Tiap bagian pemipaan tersebut terdiri dari pompa, alat penahan panas, pipa dan

menara pendingin. Sistem pendingin sekunder didisain juga mampu mendinginkan air primer, sehingga suhu aliran inlet ke kolam reaktor tidak melebihi 40°C.

Untuk mengurangi adanya/timbulnya kerak pada sistem pendingin sekunder dipakai bola-bola spons yang dilewatkan melalui pipa alat penukar panas dan dipasang katub blow down otomatis. bola tersebut terbuat dari karet alami dengan diameter 21 mm, sedangkan model dan ukurannya disesuaikan dengan tabung penukar panas sehingga bola-bola tersebut tidak merusakkan pipa-pipa yang dilewatinya, tetapi mampu membersihkan kerak-kerak yang mengendap di dalam penukar panas. Bentuk dan bola-bola spons tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Apabila harga konduktivitas air pendingin saluran telah mencapai 950 µs/cm, maka katup “blow down” akan terbuka secara otomatis dan air pendingin di buang ke lingkungan. Kecepatan maksimum penguangan air adalah 20 m³/jam yang dapat diatur dengan sebuah katup. Kehilangan air sebagai akibat “blow down” ini akan segera dikompensasi oleh penyedia air proses. Jika konduktivitas air pendingin sekunder telah mencapai 850 µs/cm. Katub “blow down” akan menutup secara otomatis.

Spesifikasi kualitas air pendingin sekunder

PH	: 6,5 – 8
Konduktivitas normal	: 950 µs/cm
Konduktivitas Maks	: 1500µs/cm
Kalsium sebagai CaCO ₃ maks	: 280 ppm
So ₄ ²⁻ maks	: 320 ppm
Hardness total maks	: 480 ppm
Fe total maks	: 1 ppm
Cl ⁻ maks	: 177.5 ppm
Laju korosi maks	: 3 mpy

Spesifikasi kualitas air proses (Puspiptek)

pH	: 7 – 7,5
Konduktivitas maks	: 150 µs/cm
Kalsium sebagai CaCO ₃ mak	: 34 ppm
SO ₄ ²⁻ maks	: 67.8 ppm
Hardness total	: 40 ppm
Fe total maks	: 1 ppm
Cl ⁻ maks	: 7.1 ppm

Kerak

Dalam sistem pendingin, kerak terbentuk karena unsur kimia yang larut dalam air terlalu jenuh. Dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti

kristal. Inti kristal ini akan terlarut lagi bila ukurannya lebih kecil dari ukuran partikel kritis (inti kritis) sementara itu kristal-kristal akan berkembang bila ukurannya lebih besar dari ukuran partikel kritis. Apabila ukuran inti kristal menjadi lebih besar dari inti kritis, maka akan mulailah pertumbuhan kristal. Laju pertumbuhan kristal ditentukan oleh laju difusi zat-zat terlarut pada permukaan kristal dan laju pengendapan zat terlarut pada kristal. Daya dorong difusi zat-zat terlarut adalah perbedaan antara konsentrasi zat-zat terlarut pada permukaan kristal dan pada larutan. Kristal-kristal yang telah terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak.

Jenis kerak:

Komponen-komponen khas kerak yang dijumpai pada sistem air pendingin adalah sebagai berikut:

1. Kalsium karbonat
2. Kalsium dan seng fosfat
3. Kalsium sulfat
4. Silika dan magnesium silikat.

1. Kalsium karbonat

Kalsium karbonat adalah kerak yang paling umum pada sistem air pendingin. Hasil kali kelarutan kalsium karbonat ditentukan pada persamaan berikut:

$$[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] = K_{sp} \quad (1)$$

K_{sp} = Hasil kali kelarutan kalsium karbonat

[] = Molaritas volumetrik ion

Keseimbangan disosiasi ion hidrogen karbonat adalah sebagai berikut :



$$\frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = K_2 \quad (3)$$

[HCO₃⁻]

K_2 = Konstanta disosiasi sekunder asam karbonat

Persamaan (4) diturunkan dari persamaan (1) dan persamaan (3)

$$\frac{K_2 [Ca^{2+}][HCO_3^-]}{[H^+]} = K_{sp} \quad (4)$$

karena konsentrasi HCO₃⁻ kurang lebih sama dengan konsentrasi alkalinitas mulai dalam air persamaan (4) dinyatakan sbb:

$$\log [Ca^{++}] + \log [M-Alk] + pH = \log [K_{sp}/K_2] \quad (5)$$

Persamaan (5) menunjukkan kondisi-kondisi jenuh kalsium karbonat di dalam air dan pH tercapainya kondisi pada persamaan tersebut disebut pH jenuh (pHs). Selisih antara pH air dan pH air jenuh (pHs) disebut indeks kejenuhan (SI) indeks langelier yang mempunyai persamaan:

$$SI = pH - pHs > 0 : \text{ kondisi lewat jenuh dari kalsium karbonat ... (6)}$$

$$SI = pH - pHs < 0 : \text{ kondisi tak jenuh dari kalsium karbonat (7)}$$

2. Kalsium Fosfat

Pada sistem-sistem air pendingin, ortofosfat atau polifosfat digunakan sebagai penghambat korosi. Polifosfat pada temperatur tinggi terhidrolisa menjadi ortofosfat. Hidrolisa polifosfat pada air pendingin dapat mencapai 40 sampai 90%, walaupun persentase ini bervariasi terhadap retention time dari air sirkulasi. Ortofosfat bergabung dengan ion-ion kalsium membentuk kalsium fosfat yang amorf.

Green, dengan kawan-kawan melaporkan persamaan berikut untuk larutan jenuh kalsium fosfat:

$$2 \log \left[\frac{K_1 K_2 K_3}{K_1 K_2 K_3 + (H^+)^3 + K_1 (H^+)^2 + K_1 K_2 (H^+)} \right] - \log K_{sp} = -3 \log [Ca^{2+}] - 2 \log [H_3PO_4] + [H_2PO_4^-] + [HPO_4^{2-}] + [PO_4^{3-}] \dots \dots (8)$$

dimana :

K_{sp} = hasil kali kelarutan kalsium fosfat, Ca₃(PO₄)₂

K₁, K₂, dan K₃ = konstanta disosiasi primer, sekunder dan tersier dari asam fosfat.

[] = molaritas volumetrik fosfat dan ion lain.

Bagian kiri dari persamaan (8) disebut faktor pH dan temperatur, dan kelompok pertama serta kedua pada bagian kanan disebut faktor kalsium dan fosfat.

(pH faktor temperatur) > (faktor kalsium) + (faktor fosfat) : Larutan lewat jenuh kalsium fosfat (9)

(pH faktor temperatur) < (faktor kalsium) + (faktor fosfat) : larutan tak jenuh kalsium fosfat. (10)

Indeks yang diperoleh Green, dkk. agak berbeda dengan kondisi lapangan sesungguhnya karena

indeks ini diturunkan dari kondisi kesetimbangan tak larut dari fosfat.

Karena itu, kubo, dkk. menentukan pH pengendapan kritis (pHc) dari kalsium fosfat dari percobaan dan diperoleh rumus berikut :

$$pHc = \frac{11,75 - \log [CaH] - \log [PO_4] - 2 \log t}{0,65} \quad (11)$$

[CaH] = kesadahan kalsium (ppm CaCO₃)
 [PO₄] = konsentrasi fosfat (ppm PO₄²⁻)
 t = temperatur (°C)

Definisi dari indeks kejenuhan adalah sebagai berikut:

$$SI = pHa - pHc \quad (12)$$

Dimana pH_a = pH sesungguhnya

SI > 0; kondisi kalsium fosfat lewat jenuh

SI < 0; kondisi kalsium fosfat tak jenuh

3. Kalsium Sulfat

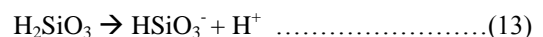
Kalsium sulfat mempunyai 3 tipe; dihydrate (CaSO₄ 2H₂O) stabil pada temperatur di bawah 98°C, hemihydrate (CaSO₄ ½ H₂O) stabil antara 98 dan 170°C. Kerak kalsium sulfat sangat keras dan sulit dibersihkan dengan pencucian kimiawi.

Kelarutan kalsium sulfat sekitar 40 kali lebih besar dibanding kalsium karbonat, sehingga kontrol pH air pendingin dengan menggunakan injeksi asam sulfat, dilakukan untuk mencegah kerak kalsium karbonat.

Bagaimanapun pada air sirkulasi dengan kesadahan kalsium tinggi, kalsium sulfat (CaSO₄ 2H₂O) dapat terendapkan sesuai dengan temperatur air. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara kesadahan kalsium Dan konsentrasi ion sulfat untuk pengendapan kalsium sulfat pada temperatur air dari 5 sampai 90°C. Kelarutan kalsium sulfat bertambah dengan naiknya temperatur sampai 37°C, kemudian cenderung menurun pada temperatur di atas 37°C.

4. Silika dan Magnesium Silikat

Kondisi keseimbangan disosiasi dari asam silisilat diperlihatkan pada persamaan berikut:



$$K_1 = 10^{-9,1} \quad , \quad K_2 = 10^{-11,77}$$

K₂ = Konstanta disosiasi sekunder dari asam silisilat

Asam salisilat dalam bentuk tak terdisosiasi dan konsentrasi HSiO_3^- rendah pada pH 8, maka asam salisilat dapat ditemukan dalam bentuk tak terdisosiasi pada air industri.

Hubungan pH dan suhu air terhadap kelarutan silika diperlihatkan pada Gambar 3. Kelarutan silika yang diperlihatkan pada Gambar 3, menggambarkan kelarutan dari monome asam silikat. Bila konsentrasi asam silikat melebihi kelarutan monomer, asam silikat bergabung bersama secara reaksi polimerisasi kodensasi.

Kelarutan silika meningkat pada pH di atas 9 karena meningkatnya jumlah HSiO_3^- . Bila konsentrasi asam salisilat melebihi kelarutan monomer, asam salisilat bergabung bersama secara reaksi polimerisasi kondensasi. Bila berat molekul polimer meningkat, polimer tersebut mengendap menjadi kerak yang keras sekali. Untuk menghambat pengendapan silika, konsentrasinya dijaga di bawah kelarutannya.

Magnesium silikat memiliki empat bentuk; forsterit $[\text{Mg}_2\text{SiO}_4]$, chrysolit $[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$, talk $[\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ dan sepiotil $[\text{Mg}_2\text{Si}_7,5\text{OH}_3\text{H}_2\text{O}]$.

Gambar 3 menunjukkan bahwa meningkatnya suhu akan meningkatkan kelarutan silika. Dalam hal magnesium silikat, pengendapan tidak terjadi walaupun dalam waktu satu bulan pada 20°C tetapi terjadi dalam waktu singkat pada 70°C . Jadi, meningkatnya suhu mempercepat laju pengendapan magnesium silikat.

TATA KERJA

Persiapan Cuplikan

1. Diambil cuplikan air pada pendingin sekunder sebanyak 1 liter dimasukkan dalam

cawan porselin. Kemudian diuapkan/dipanaskan dalam oven pada temperatur 80°C selama beberapa hari sampai diperoleh residu. Selanjutnya cuplikan residu ditimbang dengan berat 100 mg dan dimasukkan ke dalam kantong polielen kemudian dibungkus dengan aluminium foil.

2. Cuplikan kerak yang diambil dari Pipa pada sekunder ditimbang dengan berat dan dimasukkan ke dalam porselin kemudian dibungkus dengan Aluminium foil.

Iradiasi dan pencacahan

Cuplikan residu air pendingin sekunder dan kerak. Setelah dimasukkan ke dalam kapsul polietilen kemudian diiradiasi selama 50 detik dan 30 menit untuk waktu paruh pendek dan 1 jam dan 4 jam untuk paruh panjang dalam posisi sistem rabbit dengan fluks neutron thermal. Setelah diiradiasi cuplikan didinginkan dan dilakukan pencacahan masing-masing sesuai umur paruhnya. Pencacahan dilakukan dengan menggunakan spektrometer gamma dengan menggunakan detektor HPGe.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pencacahan: air pendingin sekunder dan kerak yang terbentuk pada sistem pendingin sekunder secara kualitatif dapat ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Sedangkan hasil analisis secara kimia pada cuplikan air umpan (raw water) dan pada air pendingin sekunder ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 1: Kandungan unsur yang teridentifikasi pada cuplikan air pendingin sekunder

Pengukuran ke	Kandungan Unsur Kimia
Pengukuran I	Na, Br, Zn, Mg, Fe, Co
Pengukuran II	Na, Cl, Mg, Fe, Co
Pengukuran III	Na, Br, Zn, Mg, Fe, Co

Tabel 4: (lanjutan)

Unsur Kimia	1992		1993		1994		1995		Nilai SAR
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	
PH	6,5	7	6,7	7	7,01	7,87	7,05	7,96	6,5-8
Konduktivitas μs/cm	640	1005	291	1005	142	933	280	950	1500
CaCO ₃ (ppm)	205	280	15	280	30	179	74	260	280
Hardness total (ppm)	290	452	34	467	41	285	94	385	480
Fe total (ppm)	0,07	0,3	0,05	0,58	0,01	0,19	0,01	0,4	Max 1
Seng (ppm)	2,5	7	2,5	6	2,8	6	3	5	Min 5
Chloride (ppm)	67	160	14	105	14	43	52	134	177,5
Bakteri/ml	<10 ³	<10 ³	<10 ³	<10 ³	<10 ³	<10 ³	<10 ³	<10 ³	Max 10 ³

Dari Tabel 1 dan 2 terlihat bahwa kandungan unsur kimia yang terdeteksi pada serbuk kerak ternyata terdapat pula pada air pendingin sekunder.

Pada umumnya, komponen-komponen kerak yang dijumpai pada sistem air pendingin adalah kalsium karbonat, kalsium fosfat, kalsium sulfat dan silika dan magnesium silikat⁽²⁾. Dengan melihat hasil pengukuran kandungan unsur kimia pada air umpan dan air pendingin sekunder (tabel 3 dan 4), maka kemungkinan terbentuknya kerak pada sistem pendingin sekunder adalah unsur kalsium. Pada penelitian ini ternyata hasil analisis menunjukkan bahwa unsur utama penyusun kerak (unsur kalsium) tidak terdeteksi di dalam sampel kerak maupun pada air pendingin sekunder. Tidak terdeteksinya unsur kalsium (Ca) dalam cuplikan dengan metode AAN mungkin disebabkan beberapa hal yaitu nuklida Ca-49 adalah radionuklida dengan $t_{1/2}$ pendek (8,72 menit). Kesulitan yang muncul adalah pada saat deteksi dimana aktivitasnya sudah habis (meluruh) sebelum sempat dicacah. Disamping itu Ca-49 memiliki energi tinggi (3084.54 keV dan 4072.00

keV), sedangkan peralatan cacah diprogram pada lebar channel 4000 sehingga Ca-49 tidak dapat terdeteksi.

Pada penelitian yang dilakukan, analisis kuantitatif belum bisa dilakukan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan unsur standar pembeding dan ketidakstabilan pada proses iradiasi.

KESIMPULAN

Dengan memperhatikan hasil pengamatan dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Unsur kimia yang terdeteksi pada kerak yang terbentuk pada sistem pendingin sekunder adalah Na, Br, Mg, Fe, Cl, dan Co, sama dengan unsur terdeteksi pada air pendingin sekunder.
2. Dengan metode AAN, unsur pembentuk utama kerak belum dapat terdeteksi karena kendala kondisi iradiasi dan waktu pencacahan.

DAFTAR PUSTAKA

1. BADAN TENAGA ATOM NASIONAL, "Safety Analysis Report for MPR 30, 7th Rev., Jakarta(1986)
2. DIYAH E.L. dkk., "Perawatan Kimiawi Air Pendingin Sekunder RSG GAS Selama 8 tahun operasi," Tri Dasa Mega, Buletin Reaktor Serba Guna, Vol. 4 No. 3, September 1995.
3. INTERATOM, "Description and Components of Secondary Cooling System", IA, Bensberg, (1986).
4. KEMMER FRANK.N," The Nalco Water Hand Book, Nalco Chemical Company, M Graw-Hill Book Company(1979)
5., "Kurita Hand Book of Water Treatment", Kurita ,Jakarta (1994).

Diskusi

Penanya : (Tukiran)

1. Selanjutnya setelah diketahui unsur pembentuk kerak itu apa ?
2. Apa analisa kualitatif dan kuantitatif dapat diperoleh ?

Jawab (Dyah EL)

1. Dengan diketahui unsur pembentuk kerak, diharapkan dapat diketahui sumbernya penyebabnya sehingga dapat dilakukan tindakanantisipasi yang harus diambil.
2. Dalam penelitian ini (dengan metoda AAN) analisis kualitatif dapat diperoleh sedangkan secara kuantitatif belum dapat dilakukan karena kendala unsur standar pembanding.

Penanya (Amir H.)

1. Kalau dengan NAA unsur Ca belum dapat dideteksi, apakah ada metode lain untuk mendeteksi unsur Ca ?
2. Apakah dapat mengurangi timbulnya endapan yang berupa kerak tersebut ?

Jawab (Dyah EL)

1. ada, hanya saja kerak yang dalam hal ini berupa serbuk diubah dulu dalam bentuk larutan. Dalam hal ini metoda AAN digunakan karena metoda AAN merupakan metode yang sedang dikembangkan di P2TRR.
2. Di reaktor G.A. Siwabessy untuk mengurangi timbulnya kerak pada sistem pendingin sekunder digunakan bola-bola spons yang dilewatkan melalui pipa alat penukar panas dan dipasang katup blow down otomatis serta pengendalian pH dimana pH air pendingin sekunder dipertahankan pada range 6,5 – 8 dengan menginjeksikan asam sulfat (H_2SO_4).

Penanya : (Anthony S)

1. Bagaimana pembentukan kerak di dalam sekunder ?

Jawab (Dyah EL)

Dalam sistem pendingin sekunder, kerak terbentuk karena unsur kimia yang larut dalam air terlalu jenuh. Dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal ini akan terlarut lagi bila ukurannya lebih kecil dari ukuran partikel kritis (inti kritis) sedangkan inti kristal yang ukurannya lebih besar dari ukuran inti kritis cenderung untuk menggumpal dan membentuk kerak.

