

## ANALISIS PENGOTOR PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG

Enung Nurlia<sup>1</sup>, Sumijanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – BATAN, Jl.Tamansari No.71, Bandung, 40132

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN, Serpong

### ABSTRAK

**ANALISIS PENGOTOR PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG.** Pengotor yang mengendap pada permukaan pelat penukar panas sistem pendingin sekunder reaktor TRIGA 2000 Bandung telah menyebabkan penurunan efektivitas pertukaran panas sebesar 30%. Hal ini berakibat terhadap kenaikan temperatur air pendingin primer hingga mencapai nilai ambang batas temperatur keselamatan reaktor. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk mengetahui sifat dan komposisi endapan sehingga dapat diambil tindakan yang tepat untuk mengatasinya. Metodologi penelitian meliputi pengambilan sampel endapan, pengamatan visual dan analisis komposisi endapan menggunakan metode XRD, XRF, EDAX serta analisis yang dilakukan oleh NALCO. Selain itu dilakukan juga analisis kimia basah terhadap endapan dan sampel air pendingin sekunder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa endapan yang terbentuk pada permukaan pelat penukar panas bersifat keras, rapat dan melekat kuat pada permukaan penukar panas. Endapan yang terbentuk merupakan kelompok endapan alkali tanah dan kelompok silikat yang keras. Endapan membentuk lapisan pada permukaan penukar panas sehingga berfungsi sebagai barrier korosi terhadap logam di bawahnya.

**Kata kunci :** pengotor, endapan, penukar panas

### ABSTRACT

**IMPURITEIS ANALYSIS ON SECONDARY COOLING SYSTEM OF THE BANDUNG TRIGA 2000 REACTOR.** The presence of scale fouling or deposit on heat-exchanger's heat transfer surface area of secondary cooling system of the Bandung TRIGA 2000 reactor has deteriorated its effectiveness up to 30%. This drawback increases the core inlet coolant temperature up to the limit value of reactor safety. Since the accumulated deposit is difficult to be removed, a countermeasure shall be conducted to study the characteristic and composition of the deposit, until a proper method can be obtained to solve the problem. The research methodology includes deposit sample taking, visual observation, deposit composition analysis using XRD, XRF, EDAX and analysis by NALCO. In addition, chemical analysis of deposit and water sample were also conducted. The research result shows that the formed deposit was a hard scale that strongly bounded on the heat-transfer surface area. The scale might be formed from alkali-earth scales group and non-dissoluable silicate scale group. The formed scale was corrosion barrier for metal beneath it.

**Key words :** impurities, deposit, heat exchanger

### 1. PENDAHULUAN

Reaktor TRIGA 2000 Bandung merupakan reaktor hasil *upgrading* yang telah beroperasi

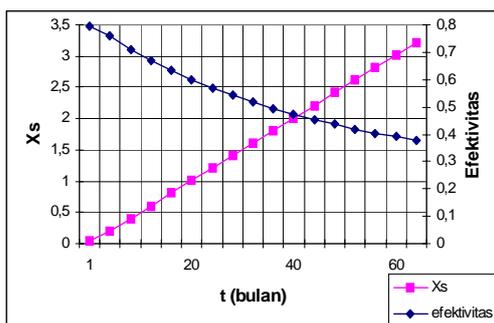
sejak pertengahan bulan Mei tahun 2000 dengan daya maksimal 2 MW. Agar reaktor dapat beroperasi secara optimal maka perlu tindakan yang tepat dalam perawatan dan

pemeliharaannya. Salah satu sistem yang perlu mendapatkan perhatian serius adalah sistem pendingin reaktor. Sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 Bandung terdiri dari sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder. Kedua sistem tersebut berfungsi membuang panas dari teras reaktor ke lingkungan. Pembuangan panas berlangsung melalui pemindahan panas dari teras ke sistem pendingin primer selanjutnya ke sistem pendingin sekunder melalui penukar panas tipe pelat [1].

Tingkat keberhasilan pemindahan panas dari sistem pendingin primer ke sistem pendingin sekunder sangat dipengaruhi oleh efektivitas penukar panas yang digunakan. Efektivitas penukar panas didefinisikan sebagai nilai yang menunjukkan kemampuan penukar panas dalam memindahkan panas dibandingkan dengan kemampuan teoritisnya. Adapun faktor yang mempengaruhi efektivitas penukar panas adalah (i) luas permukaan penukar panas, (ii) tipe penukar panas, (iii) mode / geometri aliran fluida, dan (iv) faktor pengotoran [2].

Dalam hal penukar panas yang digunakan pada sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 Bandung ketiga faktor yang disebut pertama merupakan faktor tetap, sedang faktor pengotoran merupakan faktor yang dapat berubah akibat pengaruh lingkungan dan kerusakan yang terjadi pada sistem.

Dari penelitian sebelumnya diperoleh hubungan antara efektivitas, tebal endapan ( $X_s$ ) terhadap waktu ( $t$ ) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1[3].



Gambar 1. Efektivitas, tebal endapan terhadap waktu

Dari Gambar 1 terlihat bahwa setelah reaktor beroperasi selama 40 bulan telah terjadi penurunan efektivitas penukar panas pada sisi sekunder sebesar 30% (efektivitas penukar panas turun dari 80% menjadi 50%) dan

endapan yang terbentuk diprediksi mempunyai tebal 2 mm.

Oleh karena penurunan efektivitas pemindahan panas yang terjadi sudah cukup signifikan sehingga menyebabkan temperatur fluida keluaran cukup tinggi, maka *team* reaktor memutuskan untuk membongkar penukar panas dan membersihkannya.

Mengingat pentingnya fungsi penukar panas dan resiko kebocoran yang mungkin timbul bila pembongkaran dilakukan secara rutin, maka pada kesempatan ini dilakukan penelitian untuk mengetahui komposisi dan sifat endapan yang terbentuk. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, selanjutnya dapat dipikirkan cara-cara untuk mencegah terjadinya pengendapan serta teknik perawatan sistem pendingin reaktor. Jika pengendapan tidak dapat dihindarkan, diharapkan bahwa endapan yang terbentuk bersifat kurang melekat dan mudah dibersihkan sehingga tindakan pembongkaran dapat dihindarkan.

Penelitian difokuskan pada analisis endapan yang terbentuk dan kandungan pengotor yang berada dalam air pendingin sekunder. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui faktor penyebab terbentuknya endapan dan memperkirakan mekanismenya. Data analisis akan digunakan untuk menentukan tindakan pencegahan ataupun perawatan sistem kimia air pendingin reaktor.

## 2. TEORI

Pengotoran merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan efektivitas penukar panas karena kotoran yang terkandung dalam air pendingin dapat membentuk endapan pada permukaan penukar panas sehingga daya hantar panasnya menurun.

Faktor penting yang berpengaruh terhadap pembentukan endapan adalah karakteristik air, temperatur, kecepatan alir, pertumbuhan mikroba, korosi dan kontaminasi [2].

### 2.1. Karakteristik air

#### 2.1.1. Derajat keasaman ( pH )

Keasaman air secara normal dapat dijelaskan sebagai bentuk konsentrasi ion hidrogen [ $H^+$ ] yang terdapat dalam air. Karena ion hidrogen berada dalam konsentrasi yang sangat rendah, maka keasaman diekspresikan dalam bentuk logaritma. Derajat keasaman (pH) didefinisikan sebagai  $-\text{Log} [H^+]$ . Jadi larutan

yang lebih asam maka  $[H^+]$  besar sehingga pH nya rendah. Air yang mengandung ion  $H^+$  dan  $OH^-$  pada konsentrasi  $10^{-7}$  mol/liter maka mempunyai pH=7. Air yang lebih asam mempunyai pH<7 dan air yang lebih basa mempunyai pH>7. Harga pH air dapat diubah dengan menambahkan sedikit asam / basa bergantung pada total konsentrasi senyawa dalam air [4].

### 2.1.2. Kesadahan (Hardness)

Kesadahan air perlu diperhatikan untuk berbagai aplikasi karena kesadahan air yang tinggi cenderung membentuk kerak. Untuk maksud praktis kesadahan dapat didefinisikan sebagai karakteristik air yang mewakili konsentrasi ion kalsium ( $Ca^{2+}$ ) dan ion magnesium ( $Mg^{2+}$ ) yang terdapat dalam air. Meskipun ion-ion lain seperti ion Fe, Mn, Cr dan lain-lain juga dapat menyebabkan kesadahan, akan tetapi ion-ion tersebut ada dalam konsentrasi relatif rendah terhadap ion Ca ataupun ion Mg. Total kesadahan diwakili oleh kombinasi konsentrasi ion Ca dan ion Mg. Air dengan tingkat kesadahan sangat rendah akan membentuk busa berlimpah dengan sabun. Untuk penggunaan dalam industri terutama pada kondisi suhu tinggi maka karakteristik pelarut air lunak (*soft water*) akan ditandai oleh tidak adanya deposit / endapan kerak pada jalur-jalur pipa yang dapat menyebabkan korosi.

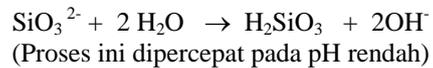
Kalsium dan magnesium dapat berada dalam air dalam berbagai bentuk garam seperti bikarbonat, karbonat, sulfat dan klorida. Pada pendidihan air, kalsium bikarbonat  $Ca(HCO_3)_2$  dan magnesium bikarbonat  $Mg(HCO_3)_2$  akan terurai menjadi garam karbonat yang mempunyai kelarutan kecil (membentuk endapan) dalam air menurut reaksi sebagai berikut [4]:



Oleh karena itu sebagian besar kesadahan yang disebabkan oleh  $Ca(HCO_3)_2$ ,  $CaCO_3$ ,  $Mg(HCO_3)_2$  dan  $MgCO_3$  dapat dihilangkan dengan cara pendidihan. Kesadahan yang disebabkan oleh adanya garam-garam karbonat dan bikarbonat disebut kesadahan sementara (kesadahan karbonat) yang dapat dihilangkan dengan cara pendidihan. Sedangkan garam-garam kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) sulfat dan klorida tidak terpengaruh (tidak hilang) oleh pendidihan dan disebut kesadahan tetap.

### 2.1.3. Kandungan silika

Kandungan silika menyatakan konsentrasi asam silikat  $H_2SiO_3$  (dinyatakan dalam  $SiO_2$ ) dalam air. Asam silikat dihasilkan dari hidrolisis garam-garam silikat oleh asam lemah.



Pada umumnya air yang mengandung material terlarut dan tersuspensi dapat menimbulkan problem pembentukan endapan yang serius. Dengan naiknya temperatur, kecenderungan terbentuknya endapan meningkat. Jika temperatur permukaan penukar panas lebih tinggi dari temperatur air pendingin, maka kecenderungan pembentukan endapan pada daerah ini akan bertambah. Pada laju alir rendah pengendapan terjadi secara alami akibat mengendapnya material tersuspensi. Pada laju alir yang lebih tinggi pengendapan tetap terjadi tetapi tidak terlalu banyak. Mikroorganisme juga dapat membentuk deposit pada permukaan. Sebagai tambahan peristiwa korosi dan aktivitas bakteri pengurai besi dapat menimbulkan produk korosi yang merupakan endapan dengan volume yang sangat besar. Semua koloni mikroba bertindak sebagai tempat berkumpulnya lumpur dan kotoran, sehingga menyebabkan terjadinya deposit dari endapan yang berbeda.

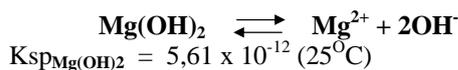
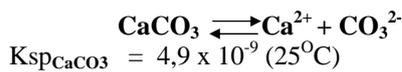
Material yang ke luar/bocor dari peralatan penukar panas dapat menimbulkan problem pengendapan yang serius melalui beberapa cara :

1. Mengendap sebagai produk tak larut.
2. Menyediakan nutrisi bagi mikroorganisme sehingga menyebabkan pertumbuhan mikroba yang tidak terkendali.
3. Bereaksi dengan kerak/inhibitor korosi membentuk endapan yang tidak larut.

Korosi merupakan penyebab utama rusaknya peralatan sistem pendingin air. Korosi berlangsung dalam berbagai tingkatan bilamana air, logam dan zat depolarisasi seperti oksigen berada dalam tempat yang sama, apalagi bila air mengandung spesi agresif seperti klorida dan sulfat. Korosi merupakan proses kimia sehingga laju reaksi akan naik dengan naiknya temperatur. Secara umum, pH yang lebih rendah akan menaikkan laju korosi sementara pertumbuhan kerak akan dihambat [5].

#### 2.1.4. Endapan

Endapan dapat terbentuk jika hasil kali konsentrasi dari kelarutan ion-ionnya melampaui Ksp (Konstanta hasil kali kelarutan). Sebagai contoh adalah pembentukan endapan  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{Mg(OH)}_2$  sesuai dengan reaksi kesetimbangan:



Endapan  $\text{CaCO}_3$  terbentuk bila hasil kali  $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] >$  harga Ksp nya, demikian juga endapan  $\text{Mg(OH)}_2$  terbentuk bila hasil kali  $[\text{Mg}^{2+}][\text{OH}^-]^2 >$  harga Ksp nya

Berdasarkan jenisnya, endapan dapat dikelompokkan dalam empat kelompok, yaitu :

1. Kelompok endapan alkali tanah yang terdiri dari :  
 $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$  dan  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ .
2. Kelompok endapan besi oksida yang terdiri dari ;  
 $\text{FeSiO}_3$ ,  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{NaFePO}_4$  (sodium ferofosfat),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
3. Kelompok endapan tembaga yang terdiri dari  $\text{CuO}$  dan  $\text{Cu}_2\text{O}$ .
4. Kelompok endapan silikat dengan komposisi sangat bervariasi dimana unsur silikat dominan.

### 3. TATA KERJA

Penelitian meliputi pengambilan sampel endapan dari pelat penukar panas, pengambilan sampel air dari tangki sekunder dan analisis awal yang meliputi pengamatan secara visual. Analisis komposisi endapan dilakukan dengan menggunakan metode XRD, XRF, EDAX, dan analisis yang dilakukan oleh NALCO. Sedangkan analisis kimia basah terhadap endapan dan sampel air menggunakan metode AAS.

#### 3.1. Pemeriksaan komposisi endapan menggunakan metode XRD [6]

Metode analisis kimia menggunakan XRD dibedakan menjadi analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan metode Hanawalt yang didasarkan pada posisi garis  $2\theta$  dan intensitas relatif puncak pada

pola difraksi. Analisis kuantitatif pada pola difraksi didasarkan pada intensitas difraksi dari sebuah fasa dalam campuran yang tergantung pada konsentrasi fasa tersebut dalam campuran. Ada tiga metode dalam analisis kuantitatif yaitu : metode standar interna, metode standar eksterna dan metode perbandingan langsung. Pada teknik standar interna sampel ditambahkan pada sampel standar yang diketahui massanya, kemudian diukur intensitas dari fasa yang akan dihitung relatif terhadap intensitas dari sampel yang ditambahkan. Metode standar eksterna pada prinsipnya sama dengan standar interna, tetapi pada metode ini perbandingan intensitas diukur langsung terhadap fasa yang sudah ada dalam campuran. Adapun metode perbandingan langsung terutama digunakan untuk menghitung austenit sisa pada baja, atau dapat juga digunakan untuk material yang sulit diperoleh satu fasanya dalam keadaan murni untuk dijadikan standar. Perbandingan langsung didasarkan pada perbandingan intensitas dari fasa fasa dalam sampel.

#### 3.2. Pemeriksaan komposisi endapan menggunakan metode XRF [7]

Kandungan unsur dalam material sampel dapat ditentukan dengan mengukur intensitas sinar-x pada energi tertentu yang dipancarkan oleh sampel. Intensitas radiasi yang dipancarkan tergantung pada intensitas radiasi, tipe radiasi, jarak antara sumber, sampel dan detektor, ketebalan sampel, keadaan permukaan sampel, konsentrasi unsur dan jenis unsur. Analisis kuantitatif dilakukan dengan membandingkan intensitas unsur yang diperiksa terhadap kurva standar. Kurva standar adalah kurva dari beberapa unsur standar, termasuk jenis dan konsentrasinya. Dalam tahap preparasi, sampel yang tidak diketahui dan sampel standar harus mempunyai bentuk dan perlakuan yang sama.

#### 3.3. Pemeriksaan komposisi endapan menggunakan metode EDAX [6]

EDAX (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*) merupakan salah satu alat yang dirangkaikan dengan SEM untuk menganalisis komposisi unsur yang terdapat pada permukaan sampel, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Metode ini didasarkan pada energi sinar-X karakteristik yang dimiliki oleh suatu unsur. Untuk analisis kuantitatif metode ini kurang teliti dibanding metode XRF atau analisis kimia basah karena hanya mewakili permukaan. Akan tetapi bila sampel cukup homogen, metode ini

cukup bisa diandalkan.

Hasil analisis komposisi endapan dan analisis kimia air yang diperoleh dievaluasi guna menentukan langkah-langkah pencegahan pembentukan endapan serta perawatan sistem pendingin sekunder.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berpangkal pada pengamatan terbentuknya endapan yang cukup tebal pada permukaan pelat penukar panas sistem pendingin sekunder. Fokus pembahasan lebih ditekankan pada endapan yang telah terbentuk. Pengamatan secara visual terhadap endapan yang terbentuk menunjukkan bahwa endapan bersifat keras, rapat dan melekat kuat pada permukaan penukar panas sehingga sulit dibersihkan. Endapan yang terbentuk menutup seluruh permukaan pelat dengan ketebalan cukup tinggi. Hal ini didukung oleh fakta di lapangan yang menunjukkan proses pelepasan endapan berlangsung cukup sulit meskipun telah dilakukan perendaman menggunakan asam nitrat selama waktu tertentu yang bertujuan untuk memecah ikatan [3]. Pengamatan visual endapan yang terbentuk pada permukaan penukar panas pada sisi sekunder seperti pada Gambar 2. Hasil analisis komposisi endapan yang terbentuk pada permukaan pelat penukar panas sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 ditampilkan pada Tabel 1.

Hasil analisis komposisi endapan yang terbentuk pada permukaan pelat penukar panas (menggunakan XRD, XRF, EDAX dan analisis yang dilakukan oleh NALCO) menunjukkan bahwa komponen utama pembentuk endapan terdiri dari unsur-unsur kalsium, magnesium dan silikat, dengan kandungan unsur silikat paling dominan. Hal ini didukung oleh data bahwa pemeriksaan menggunakan XRD memberikan hasil negatif. Pemeriksaan XRD negatif memberikan indikasi bahwa endapan yang terbentuk bersifat amorf. Sifat yang keras dari endapan ini disebabkan oleh kandungan unsur silikat (sebagai  $\text{SiO}_2$ ) dalam endapan yang dominan, dimana  $\text{SiO}_2$  merupakan senyawa amorf.

Berdasarkan jenisnya, endapan dapat dikelompokkan dalam empat kelompok, yaitu (i) Kelompok endapan alkali tanah yang terdiri dari  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ . (ii) Kelompok endapan besi oksida yang terdiri dari ;  $\text{FeSiO}_3$ ,  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{NaFePO}_4$  (sodium ferofosfat),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . (iii) Kelompok endapan tembaga yang terdiri

dari  $\text{CuO}$  dan  $\text{Cu}_2\text{O}$ . (iv) Kelompok endapan silikat dengan komposisi sangat bervariasi dimana unsur silikat dominan.



**Gambar 2. Pengamatan visual sisi primer dan sekunder pelat penukar panas**



**Gambar 3. Pengamatan visual endapan yang terbentuk pada permukaan pelat penukar panas**

Oleh karena hasil pemeriksaan XRD negatif, maka jenis senyawa endapan tidak dapat diidentifikasi melalui bentuk kristalnya (karena endapan tidak mempunyai bentuk kristal / amorf). Akan tetapi karena hasil analisis unsur-unsur Fe dan Cu dalam endapan cukup kecil, maka dianggap kemungkinan besar endapan terdiri dari kerak kelompok alkali tanah dan kerak kelompok silikat.

**Tabel 1. Hasil analisis komposisi endapan**

Unsur	Kandungan unsur				
	EDAX (%-berat)	XRF (%-berat)	NALCO		AAS (ppm)
			Sebelum pencucian (%-berat)	Setelah pencucian (%-berat)	
Si	33,73	33,434	61,55	75,05	-
Ca	3,70	2,622	6,55	1,72	385,32
Mg	6,85	6,781	8,14	5,79	4146,65
Fe	7,76	0,504	<0,5	<0,5	1666,79
Na	1,66	-	<0,5	<0,5	667,60
P	9,18	0,548	<0,5	<0,5	-
S	8,53	0,223	-	-	-

Pemeriksaan komposisi endapan menggunakan metode EDAX dan XRF menunjukkan hasil yang hampir sama untuk unsur-unsur Si, Ca dan Mg, sedang untuk unsur-unsur lainnya menunjukkan perbedaan yang cukup berarti. Hal ini dikarenakan kemampuan EDAX dalam analisis kuantitatif mempunyai tingkat ketelitian yang kurang dibanding metode XRF. Analisis EDAX biasanya hanya digunakan sebagai gambaran kasar komposisi suatu sampel. Perbedaan cukup mencolok dari kandungan Si, Ca dan Mg pada kedua metode tersebut di atas dengan hasil pengujian yang dilakukan oleh NALCO disebabkan analisis NALCO mengacu pada jumlah total 100% dari unsur-unsur yang diperiksa. Artinya hasil yang diperoleh NALCO

tidak menunjukkan komposisi sampel sebenarnya tetapi perbandingan relatif dari unsur-unsur yang diperiksa.

Hal yang menarik diperoleh dari data pemeriksaan yang dilakukan NALCO, yang mengindikasikan adanya perbedaan yang cukup besar dalam komposisi endapan sebelum dan setelah pencucian. Hal ini dimungkinkan oleh karena terjadi penurunan kadar Ca dan Mg yang cukup besar pada saat pencucian dimana senyawa Ca dan Mg larut tetapi silikat tidak larut atau tercuci. Dari kenyataan ini disimpulkan bahwa endapan adalah termasuk endapan golongan alkali tanah dimana sebagian besar berupa senyawa kalsium dan magnesium yang mudah larut. Selain itu kandungan Ca dan Mg yang cukup kecil dibanding Si dari setiap metode pemeriksaan yang digunakan menunjukkan bahwa proses *softener* yang dilakukan berhasil cukup baik dalam menekan jumlah Ca dan Mg dalam air, tetapi kurang berpengaruh dalam menurunkan kadar Si.

Selain metode yang disebut di atas, pada penelitian ini juga dilakukan analisis komposisi endapan dan sampel air pendingin sekunder menggunakan analisis kimia basah lainnya. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari data analisis kimia basah yang dilakukan, ternyata didapatkan kesulitan untuk memperoleh hasil yang seragam. Pengukuran yang berbeda (ulangan yang berbeda) menghasilkan data yang berlainan. Hal ini memberikan indikasi bahwa sifat dan komposisi kerak sangat beragam. Hasil lainnya diperoleh dari penentuan Si. Oleh karena pada kenyataannya pelarutan Si sangat sulit maka disimpulkan bahwa senyawa Si yang terdapat dalam endapan merupakan senyawa silikat yang tidak mudah larut.

**Tabel 2. Komposisi pengotor dalam air pendingin sekunder**

Konsentrasi unsur (ppm)	Kode Sampel									
	Reservoir				Softener				Air sekunder	
Ca	3,50	2,99	2,82	2,59	0,43	0,40	0,44	0,43	5,43	0,14
Mg	1,14	1,07	1,08	1,00	0,16	0,17	0,18	0,19	0,15	0,12
Kesadahan total (ekiv CaCO <sub>3</sub> )	13,50	11,94	11,55	10,65	1,75	1,71	1,85	1,87	14,12	0,85
Fe	0,06	0,08	0,14	0,17	0,08	0,09	0,09	0,22	0,07	0,06
Mn	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Na	13,17	13,00	13,07	0,08	43,45	43,48	43,41	43,88	66,82	52,15
SiO <sub>2</sub>	10,15	15,00	15,00	15,00	45,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00

Analisis endapan menggunakan AAS menunjukkan hasil yang kurang memuaskan. Hal ini mungkin karena ketidakcocokan metode AAS dalam analisis endapan. Ketidakcocokan ini antara lain disebabkan oleh :

1. Jangkauan metode AAS bersifat mikro, sedang analisis endapan bersifat makro.
2. Preparasi sampel yang kurang cocok.
3. Adanya ketidakcocokan matriks antara standar dengan sampel.

Hal menarik lainnya diperoleh dari data di lapangan adalah bahwa setelah pencucian terlihat permukaan pelat cukup bersih dan tidak menunjukkan tanda-tanda terjadinya korosi. Hal ini diduga sebagai akibat pembentukan senyawa silikat yang dominan dalam endapan yang bertindak sebagai barrier korosi terhadap lapisan di bawahnya sehingga proses korosi dapat dihambat.

## 5. KESIMPULAN

Pengotor pada sistem air pendingin sekunder reaktor TRIGA 2000 Bandung terutama terdiri dari senyawa-senyawa silika, kalsium dan magnesium. Senyawa-senyawa tersebut merupakan penyebab utama terbentuknya endapan pada permukaan pelat penukar panas. Endapan yang terbentuk bersifat keras, rapat dengan kelekatan tinggi sehingga tidak mudah larut dan sulit dilepaskan. Komposisi endapan didominasi oleh endapan kelompok alkali tanah dan endapan kelompok silikat yang tidak larut. Lapisan endapan yang terbentuk pada permukaan pelat penukar panas berfungsi sebagai *barrier* korosi.

## 6. SARAN

Untuk mencegah terjadinya pengendapan di atas permukaan pelat penukar panas maka harus diperhatikan hal-hal yang berpengaruh terhadap pembentukan endapan. Bila pencegahan difokuskan pada air yang digunakan, maka kandungan unsur-unsur yang berpotensi terhadap pembentukan endapan harus diminimalkan sampai pada kondisi dimana pembentukan endapan tidak dimungkinkan.

## 8. DISKUSI

### Henky P. Rahardjo – PTNBR BATAN :

Dari penelitian ini, kira-kira langkah-langkah apa saja yang harus dilakukan personil perawatan agar endapan-endapan di sistem pendingin sekunder berkurang, apa ada cara yang murah dan praktis,

Seandainya endapan masih juga terjadi, maka langkah lain yang dapat diambil adalah menyeimbangkan jumlah kandungan unsur-unsur pembentuk endapan yang terdapat dalam air. Hal ini dimaksudkan untuk menimbulkan kompetisi dalam pembentukan endapan sehingga diharapkan endapan yang terbentuk tidak bersifat seragam. Sebagai akibatnya maka daya ikat atau kelekatan endapan pada permukaan penukar panas tidak terlalu besar sehingga mudah dibersihkan.

Dalam kasus yang telah terjadi, yaitu telah terbentuk endapan pada permukaan pelat penukar panas maka tindakan yang dapat diambil untuk menghilangkannya adalah dengan pencucian kimia menggunakan pencuci kimia berbahan dasar asam fluorida atau membersihkannya secara mekanik.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

1. **BATAN**, Laporan Analisis Keselamatan (LAK), Reaktor Triga 2000 Bandung
2. **HOLMAN, J. P.**, Heat Transfer, Mc Graw Hill, Ltd., 5<sup>th</sup> ed., Singapore, 1986.
3. **HENKY P. RAHARDJO**, Prediksi Endapan Pengotor Penukar Panas Tipe Pelat reaktor Triga 2000 Bandung, Diktat NTC On Water Chemistry of Nuclear Reactor System II, BATAN – IAEA, 2005.
4. The NALCO Water Handbook, Mc Graw-Hill Handbooks.
5. **CHATTOPADHYAY P.**, Boiler Operation Engineering Questions and Answers, Second Edition, Tata Mc Graw-Hill, Publishing company Limited, New Delhi, 2000.
6. **ANONYMOUS**, Diktat Kursus Teknologi Korosi dan Analisis Kegagalan Pada Bahan Industri, Jakarta, 2007.
7. **ANONYMOUS**, Diktat Joint Training Course in Application of Nuclear Techique in Industry and Environment Available for The Safety of Nuclear Facility, center for Education and Training National Nuclear Energy Agency (BATAN), 2006.

mengingat sumber air reaktor itu diperoleh dari sumur artesis dan PDAM?

**Enung Nurlia :**

Langkah yang dapat dilakukan diantaranya:

1. Analisis komposisi/jenis pengotor dari masing-masing air baku (PDAM&Artesis), tentukan pilihan mana yang paling baik untuk digunakan. Bila digunakan campuran, pada perbandingan berapa yang menghasilkan air dengan komposisi paling aman/pembentukan endapan minimal.
2. Langkah yang cukup sederhana dan mungkin murah yaitu dengan perlakuan awal melalui *softening* untuk menghilangkan Ca dan Mg dan penambahan koagulan  $Al_2O_3$  untuk mengabsorpsi silika.

**Sukmanto Dibyo – PTRKN BATAN :**

1. Secara umum, tingkat kualitas air pendingin (*scaling*) ditunjukkan oleh indeks LSI (Langelus Saturation Indeks), apakah penelitian ini hanya analisis komposisi kimia saja?
2. Bahan kimia apa yang harus digunakan untuk menentukan endapan tersebut, agar endapan tersebut larut ?

**Enung Nurlia :**

1. Karena penelitian berpangkal pada fakta bahwa telah terbentuk endapan dan mencari upaya untuk menghilangkan endapan, maka fokus penelitian lebih ditekankan pada analisis komposisi. Untuk waktu yang akan datang akan sangat bermanfaat bila dilakukan pengukuran indeks saturasi secara berkala, dari sini bisa diprediksi apakah air yang digunakan lebih berpotensi terhadap pembentukan kerak (IS positif,  $LSI > 6$ ) atau bersifat korosif (IS negatif).
2. Karena endapan yang terbentuk terdiri dari campuran Ca, Mg dan  $SiO_2$  dengan  $SiO_2$  paling dominan, maka dapat dicoba menggunakan pencuci kimia berbahan dasar HF, di literatur disarankan pencuci kimia Haosh.