
KAJIAN IMPURITAS DAN PENGOLAHAN AIR TANGKI REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG

**Guntur D.S., Sobana, Mutiah dan Suhulman
Puslitbang Teknik Nuklir – BATAN Jl. Tamansari 71 Bandung**

ABSTRAK

KAJIAN IMPURITAS DAN PENGOLAHAN AIR TANGKI REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG. Air tangki reaktor TRIGA 2000 merupakan bagian yang penting di dalam sistem reaktor, karena berfungsi sebagai pendingin, moderator dan pelindung radiasi. Karena ketiga fungsi ini, air tangki mempunyai persyaratan tertentu yang dicantumkan pada LAK (Laporan analisis keselamatan) reaktor TRIGA 2000 Bandung. Selama pengoperasian, air ini mengalami berbagai peristiwa. Di dalam teras reaktor air bersentuhan dengan elemen bakar nuklir untuk memindahkan panas dari elemen bakar nuklir tersebut. Di dalam tangki reaktor air ini selain berfungsi sebagai perisai radiasi, juga sebagai penghalang pelepasan zat radioaktif ke lingkungan . Pada alat penukar panas, air melepaskan panas dari sistem reaktor ke sistem di luar reaktor. Karena berbagai peristiwa ini air reaktor yang pada awalnya sesuai dengan persyaratan LAK, setelah pengoperasian reaktor kualitasnya berubah, sehingga harus disirkulasi untuk dibersihkan kembali. Unsur pengotor yang berkaitan dengan persyaratan LAK reaktor TRIGA 2000 diidentifikasi, kemudian dari data penyebab pengotor yang mungkin terjadi , dipilih korosi dan pelepasan kembali ion oleh resin sebagai bahan diskusi.

Kata kunci: reaktor TRIGA 2000, air tangki, impuritas

ABSTRACT

THE ASSESSMENT OF IMPURITY AND WATER TREATMENT OF BANDUNG TRIGA 2000 REACTOR. Water of tank of Bandung TRIGA 2000 reactor is an important part of a reactor system, because of its function as cooler, moderator and as radiation shielding. Because of these functions, the tank water has to fulfill all requirements as written in the reactor SAR (Safety analysis report). During the reactor operation this water is exposed by many incidents. In the reactor core the water contact with fuel elements to transport the heat from them. In the heat exchanger system the water releases the heat from reactor system to the surrounding and in the reactor tank the water shields a radiation and protect a part of radioactive release to surrounding. Because of these processes, after the reactor operation the quality of the reactor tank water can be changed from the initial condition and hence was not fit anymore with the SAR, so that the water must be treated. The impurities related with

SAR were identified . From the data of the most probable impurities, corrosion and ions release were chosen as the discussion objects.

Key words: TRIGA 2000 reactor, tank water, impurity

PENDAHULUAN

Reaktor TRIGA 2000 Bandung adalah suatu reaktor penelitian yang menggunakan air sebagai pendingin, moderator dan sebagai pelindung radiasi. Sebagai pendingin maka air reaktor harus mempunyai kemampuan untuk memindahkan panas dari elemen bakar yang dihasilkan pada reaksi fisi yang terjadi dalam reaktor secara baik dan menjaga sedemikian rupa agar bahan bakar tidak meleleh. Proses perpindahan panas ini terjadi pada sistem pendingin primer, dengan reaktor sebagai tempat utama terjadinya proses perpindahan panas, sehingga seringkali air pendingin primer ini disebut dengan air tangki reaktor. Pada operasi reaktor, panas dilepaskan secara terus menerus sehingga jika panas tidak dipindahkan suhu air reaktor akan naik terus. Untuk menjaga agar suhu air tangki tidak lebih tinggi dari batas suhu yang diizinkan maka panas dari air tangki harus dipindahkan. Proses perpindahan panas dari air tangki ini keluar dari reaktor terjadi pada sistem sekunder. Oleh karena itu air yang digunakan untuk mendinginkan air tangki reaktor sering disebut air sekunder.

Air sebagai moderator harus mampu menurunkan energi neutron ke tingkat energi neutron termal, sehingga neutron dapat bereaksi dengan bahan bakar. Kemudian air sebagai perisai radiasi harus mampu melindungi/ mengurangi lingkungan dari paparan radiasi yang terjadi akibat reaksi fisi. Ke dua fungsi tersebut (moderator dan perisai radiasi) dilakukan oleh air primer atau air tangki reaktor. Karena perbedaan fungsi ini maka persyaratan untuk air primer dan sekunder berbeda. Selama ini dalam pelaksanaannya persyaratan air primer (air tangki) mengacu pada LAK reaktor TRIGA 2000 berdasarkan rekomendasi dari General Atomic, sedangkan untuk air

sekunder karena berada di luar reaktor tidak ada persyaratan khusus tetapi pada prinsipnya memenuhi persyaratan air industri untuk penukar panas

PERSYARATAN AIR TANGKI

Berdasarkan LAK Reaktor TRIGA 2000 air tangki reaktor harus memenuhi persyaratan seperti tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1 Peryaratan air tangki reaktor TRIGA 2000 menurut LAK (1)

Besaran	Harga Maksimal
pH	5,5- 6,5
Konduktivitas listrik	3,5 μmho
Kadar Si, Ca, Mg, Na	1 ppm

Untuk keperluan reaktor TRIGA 2000, bahan baku air diperoleh dari perusahaan air minum (PAM) ditambah dengan air tanah dari lingkungan P3TKN. Dapat diduga bahwa air baku akan mengandung ion kalsium dan khlor yang berasal dari kaporit dan ion lain yang umum berada pada air tanah seperti magnesium, besi, karbonat, bikarbonat, nitrat, nitrit, silikat dan lain-lain. Unsur logam dan silikat berada dalam air tersebut karena berasal dari tanah sekitar sumber air sedangkan karbonat, bikarbonat, nitrat dan nitrit berasal dari udara yang kemudian terabsorpsi oleh air hujan.

PROSES PENGOLAHAN

Berdasarkan persyaratan tersebut maka untuk tangki reaktor TRIGA 2000 telah dilakukan proses pengolahan sebagai berikut

Proses Shoftener, yaitu proses penukaran ion terutama penyebab kesadahan yaitu ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dengan ion Na^+ . Diharapkan ion Na^+ kelarutannya relatif lebih tinggi dari ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} serta dari ion lainnya yang bukan golongan alkali,

sehingga memperlambat pembentukan kerak pada komponen reaktor yang permukaannya panas. Pemeriksaan yang dilakukan pada proses tersebut adalah pemeriksaan kualitatif terhadap Ca dan Mg. Jika ada indikasi bahwa terdapat Ca dan Mg maka softener harus diregenerasi.

Proses Filtrasi, proses ini untuk menyaring partikel yang berukuran di bawah 5 mikron.

Proses Penukar ion dengan sistem Mixed bed, proses ini dimaksudkan untuk menukar kation yang ada dengan ion H^+ dan semua anion yang ada dengan ion OH^- .

Jika ke tiga proses tersebut berjalan sempurna maka akan diperoleh air yang bebas mineral dan bebas pengotor, tetapi dalam kenyataannya tidak seperti itu, impuritas dalam batas yang diizinkan akan tetap ada. Air yang sudah diproses kemudian digunakan sebagai air tangki reaktor.

Karena fungsinya sebagai pendingin pada sistem primer, serta moderator dan perisai radiasi pada tangki reaktor, maka air tangki mengalami pengotoran kembali. Untuk membersihkan air tangki dari pengotor yang jumlahnya sedikit (impuritas), maka pada air tangki reaktor dilakukan sirkulasi pengolahan ulang yang tahapannya adalah:

Kotoran yang mengapung di permukaan air ditangkap melalui *surface water skimmer*, kemudian disaring melalui sebuah filter sehingga kotoran tertahan dan air yang lolos kemudian didemineralisasi dan dikembalikan ke dalam tangki reaktor sebagai air yang memenuhi syarat. Jika air belum memenuhi syarat maka sirkulasi harus diulang.

FENOMENA YANG DIAMATI

Karena air tangki reaktor mengalami berbagai peristiwa maka air tangki ini dari waktu ke waktu mengalami perubahan. Dari data yang dikumpulkan secara prinsip semua persyaratan selalu terpenuhi, kecuali kadar Si dalam air kadang-kadang

melebihi batas yang diizinkan. Sebagai contoh, pemeriksaan air tangki pada tanggal 15-6-2001 ketika reaktor tidak beroperasi ditampilkan pada Tabel 2

Tabel 2 Perbandingan kualitas air tangki reaktor menurut ketentuan dan pengukuran pada tanggal 15-6-2001

Besaran yang diperiksa	Menurut ketentuan LAK	Hasil pengukuran
PH	5,5 sd 6,5	6,2
Konduktivitas	3,5 μ mho	1,6 μ mho
Ca,Mg, Na	< 1 ppm	<1 ppm
Si (sebagai SiO ₂)	<1 ppm	12 ppm

Karena air tangki mempunyai kadar Si yang melebihi ketentuan maka dilakukan sirkulasi pengolahan secara terus menerus meskipun reaktor tidak beroperasi. Pada tanggal 16-9-2001 dilakukan pemeriksaan kembali terhadap air tangki yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3: Hasil pemeriksaan air tangki reaktor pada tanggal 16-9-2001 menjelang operasi reaktor dibandingkan dengan ketentuan LAK

Besaran yang diperiksa	Menurut ketentuan LAK	Hasil pengukuran
PH	5,5 sd 6,5	5,9
Konduktivitas	3,5 μ mho	0,8 μ mho
Ca,Mg, Na	< 1 ppm	< 1 ppm
Si (sebagai SiO ₂)	< 1 ppm	0,5 ppm

Dari dua contoh data pada Tabel 2 dan Tabel 3 tersebut tampak bahwa kadar Si dapat berubah secara drastis (dari 12 menjadi 0,5) sedang yang lain selalu ada dalam batas ketentuan. Peristiwa naiknya kadar Si ini akan terulang setelah reaktor beroperasi dan akan turun kembali pada saat setelah disirkulasi.

Selain pemeriksaan secara konvensional telah dilakukan pula pemeriksaan radioaktivitas air reaktor

ANALISIS TERHADAP FENOMENA

Dari data yang digunakan sebagai contoh, telah dipilih data dengan kondisi yang ekstrim, yaitu kondisi pada saat air reaktor pernah terkotori Si dengan kadar mencapai 12 ppm sebagai SiO_2 . Dengan asumsi bahwa volume air tangki reaktor 20 m^3 (dibulatkan), maka di dalam tangki reaktor terdapat:

$$\text{Si sebanyak } (12 \text{ gr/m}^3 \times 20 \text{ m}^3) = 240 \text{ gr (sebagai SiO}_2)$$

Perlu didiskusikan dari mana terdapat Si sebanyak itu di dalam tangki reaktor. Untuk mengetahui fenomena ini beberapa kemungkinan sumber pengotor terhadap air reaktor perlu didata di antaranya :

1. Korosi pada dinding tangki reaktor
2. Korosi pada sistem perpipaan yang ada pada sistem primer dan komponen reaktor
3. Pengotoran melalui debu yang jatuh pada tangki reaktor
4. Pengotoran dari produk fisi
5. Pengotoran melalui lepasnya ion dari penukar ion karena pengaruh temperatur operasi

Di dalam proses yang nyata dapat saja semua peristiwa tersebut terjadi bersama-sama dengan bobot peran yang berbeda sehingga analisis terhadap penyebab terjadinya pengotoran menjadi rumit. Oleh karena itu pada kajian ini dicoba asumsi yang dapat membuka wawasan dari mana, atau peristiwa apa yang berperan sebagai penyebab pengotoran air tangki reaktor, dan seberapa jauh berakibat terhadap reaktor.

Asumsi 1

Pengotoran air tangki berasal dari dinding tangki reaktor, peristiwa yang lain yaitu butir 2 sampai 5 dianggap tidak terjadi. Asumsi ini dipilih karena merupakan asumsi yang terburuk yang tidak diinginkan, karena jika Si ini hanya berasal dari dinding reaktor yang mengalami korosi, maka kehilangan dinding reaktor mencapai

nilai yang maksimum. Tangki reaktor TRIGA 2000 terbuat dari Al.6061 T6, dengan tebal 6,35 mm, diameter tangki 1930 mm dan tinggi tangki 7500 mm (LAK). Data korosi yang diukur dengan dua metode yang berbeda ditampilkan pada Tabel 4 dan Tabel 5

Tabel 4. Korosi Al 6061 T6 pada air PRSG , PH 5 dengan metode Tahanan Polarisation (1)

Kondisi bahan	Kecepatan mm/ tahun	
	Temperatur ruang	Temperatur 50 ° C
bersih	0,0028	0,0566
bahan dengan las	0,0046	0,0394
bahan dengan cacat inklusi	0,0030	0,0907

Tabel 5. Korosi Al 6061 T6 pada air PRSG PH 5 dengan metode Potensio Dinamik (1)

Kondisi bahan	Kecepatan mm/ tahun	
	Temperatur ruang	Temperatur 50 ° C
bersih	0,0257	0,0541
bahan dengan las	0,0294	0,0699
bahan dengan cacat inklusi	0,0210	0,0572

Karena aluminium 6061 T6 mempunyai unsur kelumit Cu 0,25%, Mg 1 %, Si 0,6 % dan Cr 0,25 %. maka Si sebanyak 240 gram sebagai SiO₂, setara dengan kehilangan dinding reaktor sebanyak

$$(28/60) \times (1000/6) \times (240) \text{ gr} = 18667,04 \text{ gr},$$

hampir setara 19 kg paduan aluminium

Kehilangan ini setara **volume aluminium** sebesar

$$(18667,04 \text{ gr}) : 2,7 \text{ gr/cm}^3 = 6913,72 \text{ cm}^3$$

dengan menganggap tangki berbentuk silinder luas permukaan dinding tangki adalah

$$22/7 \times (193/2)^2 + 22/7 \times 193 \times 750 \text{ cm}^2$$

Atau setara dengan 50,28 m²

Dengan membagi volume Al yang hilang dengan luas permukaan, akan diperoleh kehilangan dinding reaktor setebal $1,3 \times 10^{-1}$ cm atau **0,13 mm**

Dengan membuat asumsi yang paling buruk bahwa semua Si berasal dari tangki maka Si sebanyak 12 ppm pada air tangki, setara dengan kehilangan dinding tangki 0,13 mm. Jika hasil perhitungan di atas dibandingkan dengan data korosi secara eksperimen pada Tabel 4 dan 5. Hasil ini lebih besar dari kehilangan tebal per tahun dengan pengukuran metode polarisasi maupun dengan hasil pengukuran dengan metode potensio dinamik dan perbedaannya mencapai kisaran 50 % dari kehilangan ketebalan yang maksimum.

Dugaan kenaikan kadar Si di air reaktor karena korosi wajar, sebab kehilangan ketebalan karena korosi hasil perhitungan (0,13 mm dalam waktu 1 tahun 4 bulan) lebih besar dari hasil pengukuran secara percobaan (0,09 mm/tahun) . Dapat diduga selain peristiwa korosi ada peristiwa lain berjalan pada proses pengotoran ini sehingga diperoleh pengotoran Si yang jika dikonversi pada kehilangan aluminium menjadi lebih besar dari laju korosi percobaan. Pemeriksaan radioaktivitas air reaktor pada bulan September 2001 secara kualitatif pada waktu reaktor beroperasi 2000 KW ditampilkan pada Tabel 6.

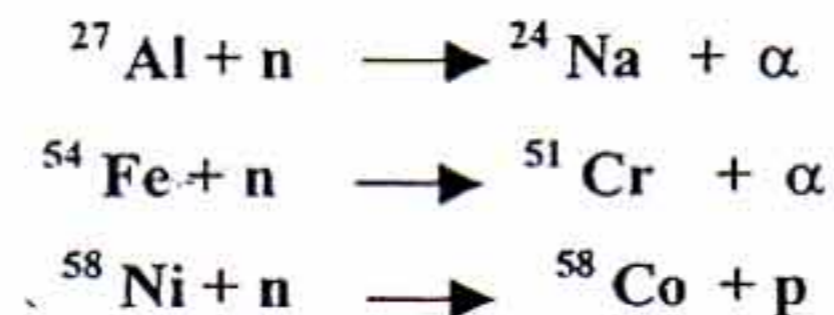
Tabel 6 : Pemeriksaan radioaktivitas air tangki reaktor pada bulan September saat reaktor beroperasi 2000 KW

Unsur zat radio aktif dalam air tangki	waktu paruh
¹³¹ I	8 Hari
¹⁴⁴ Ce	285 Hari
^{85 m} Kr	4 Jam
⁸⁸ Kr	2,8 Jam
¹³⁵ Xe	9 Jam
¹⁰² Rh	2 Tahun
⁹¹ Sr	9 Jam
⁸⁸ Y	107 Hari

²⁴ Na	14 Jam
⁵¹ Cr	27 Hari
¹⁸⁷ W	21 Jam
⁵⁸ Co	70 Hari

Dari data radioaktivitas air di atas tampak secara kualitatif unsur- unsur yang berasal dari peristiwa korosi pada reaktor baik yang berasal dari dinding tangki maupun kelongsong elemen bakar nuklir. Unsur tersebut adalah ²⁴ Na yang berasal dari ²⁷ Al, ⁵¹ Cr yang berasal dari ⁵⁴ Fe dan ⁵⁸ Co yang berasal dari ⁵⁸ Ni.

Adapun reaksi yang terjadi adalah (2)(3) :



Unsur- unsur lainnya merupakan hasil pembelahan ²³⁵ U dan mungkin pula berasal dari pengotor dari luar yang reaksinya tidak akan dibahas di sini.

Asumsi II

Pengotor air berasal dari pelepasan ion , terutama ion yang lemah seperti Si karena pengaruh suhu reaktor. Secara kualitatif telah dapat diamati resin yang rusak atau mendekati jenuh seringkali tidak dapat mengikat ion secara baik. Ion yang pernah ditangkap bisa saja dilepaskan kembali pada suhu operasi reaktor sehingga seringkali setelah operasi reaktor, terjadi kenaikan kadar Si. Tetapi jika resin penukar ion itu diganti maka kadar Si dalam air reaktor akan selalu di bawah kadar maksimal yang dibolehkan. Dari data pada Tabel 7 ditunjukkan kondisi air reaktor yang selalu dalam keadaan baik.

Tabel 7: Data pemeriksaan air reaktor setelah resin diganti

Tanggal	Kondisi Reaktor	PH	DHL	Si sebagai SiO ₂	Keterangan
19-3-2003	On pada 1500 kW	5,5-5,7	1,3 μ mho	<1 ppm	Ca,Mg,Na negatif
25-3-2003	On pada 20 kW	5,5-5,7	1,3 μ mho	<1 ppm	Ca,Mg,Na negatif
3-4-2003	On pada Kalibrasi	5,5-5,7	1,2 μ mho	<1 ppm	Ca,Mg,Na negatif
8-4-2003	Off	5,5-5,7	1,2 μ mho	<1 ppm	Ca,Mg,Na negatif

KESIMPULAN

1. Di dalam pengelolaan air reaktor bisa saja didapati berbagai persoalan. Salah satu contoh yang diangkat pada kasus ini adalah adanya kadar Si yang naik melebihi batas ketentuan. Kadar Si ini dapat turun kembali setelah air diproses ulang, demikian juga pengotor lain akan berkurang sehingga pada saat reaktor beroperasi air telah memenuhi syarat kembali.
2. Dari unsur yang dipersyaratkan LAK, maka unsur Si yang sering menunjukkan fenomena yang berbeda dari unsur yang lain.
3. Berdasarkan proses yang terjadi maka pengotoran air reaktor dapat diakibatkan oleh berbagai proses, yang terjadi secara serempak.
4. Dengan menganggap bahwa secara ekstrim Si berasal dari proses korosi saja, kehilangan tebal dinding reaktor secara perhitungan relatif kecil (0,13 mm) jika dibandingkan dengan dinding reaktor (6,23 mm), sehingga dapat dipastikan jika semua penyebab pengotor Si diperhitungkan maka kehilangan dinding reaktor karena korosi akan lebih kecil.
5. Pengotoran air reaktor akibat pelepasan unsur pada resin penukar ion dapat terjadi pada resin yang sudah jenuh atau resin rusak.

6. Reaktor TRIGA 2000 diisi air pada bulan Februari 2000, kondisi kandungan impuritas Si sebanyak 12 ppm dicapai pada bulan Juni 2001 atau 1 tahun 4 bulan setelah reaktor diisi air. Jika Si ini merupakan produk korosi yang dilepaskan kembali oleh resin yang jenuh, maka kehilangan dinding tangki sebesar 0,13 mm dalam waktu 1 tahun 4 bulan, lebih tinggi dari laju korosi maksimum berdasarkan percobaan (0.09 mm/tahun), dengan perbedaan laju korosi tidak lebih dari 10%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Laporan Analisis Keselamatan Reaktor TRIGA 2000 Bandung, Revisi 2, P3TKN, BATAN, Bandung, 2001
2. YUAN HUAN RONG , Proc. the. Int. Conf. of Nuclear Data for Science and Technologi, Mito, Yapan, 1988: 517.
3. K. KUDO, IAEA Tech. Doc. 335, 1985: 449