

KAJIAN BATU TOPAZ PRA IRADIASI DITINJAU DARI ASPEK KESELAMATAN OPERASI REAKTOR

Elizabeth Ratnawati, Diyah E.L, Kawkab Mustofa

ABSTRAK

KAJIAN BATU TOPAZ PRA IRADIASI DITINJAU DARI ASPEK KESELAMATAN OPERASI REAKTOR. Iradiasi batu topaz dalam kolam reaktor disatu sisi akan meningkatkan mutu batu topaz tetapi dari sisi lain juga membawa konsekuensi pada mutu air pendingin reaktor bila tidak ditangani dengan sebaik baiknya. Perlakuan awal batu topaz sebelum diiradiasi dalam kolam reaktor menjadi amat penting karena dalam proses ini diharapkan akan mengurangi jumlah pengotor yang terbawa oleh batu topaz. Kajian dilakukan dengan melakukan analisis terhadap batu topaz sebelum dan sesudah mengalami pencucian, dan endapan pengotor yang terdapat dalam air cucian topaz yang pertama. Analisis unsur menggunakan metode aktivasi neutron. Nuklida yang teridentifikasi dalam endapan air cucian topaz adalah Co-60, Fe-59, Cr-51, dan Zn-65 dengan konsentrasi unsur tertinggi adalah Fe-59 ($111,992 \pm 8,933 \mu\text{gr/gr}$). Sedangkan hasil analisis batu topaz pra iradiasi yang belum mengalami perlakuan apapun, memiliki unsur pengotor dengan nilai konsentrasi yang lebih tinggi bila dibanding dengan setelah mengalami proses pencucian. Dilakukan pula analisis pada air pendingin primer pada saat reaktor beroperasi dengan muatan topaz. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan nuklida yang memiliki waktu paruh panjang, seperti cobalt, masih berada dalam batas normal. Dapat dikatakan bahwa proses perlakuan awal terhadap batu topaz pra iradiasi yaitu pencucian secara bertahap, mampu mengurangi jumlah pengotor secara signifikan. Sehingga proses perlakuan awal pada topaz pra iradiasi amat penting dan mutlak untuk dilakukan agar supaya kegiatan utilisasi tetap berjalan dengan tidak mengabaikan aspek keselamatan operasi reaktor.

Kata kunci: topaz, unsur pengotor

ABSTRACT

THE STUDY OF TOPAZ PRA IRRADIATED VIEWED FROM THE SAFETY ASPECT OF THE REACTOR OPERATION. *The objectives of topaz irradiation have two consequences. While it improves the quality of topaz but also it may influence the quality of the reactor cooling water when it does not handled properly. Topaz pretreatment before irradiation becomes very important to reduce the amount of impurities carried by topaz. The study was conducted by analyzing the topaz before and after cleaning by water and deposition of impurities contained in the first used water. Assessment was done by analyzing of topaz using neutron activation analysis. Nuclides identified in deposition used water were Co-60, Fe-59, Cr-51 and Zn-65 with the highest concentrations was Fe-59 ($111.992 \pm 8.933 \mu\text{gr / g}$). While the results of the analysis of pre-irradiated topaz that have not been cleaned, has the higher impurities concentrations compared with after a cleaning process. The analysis of the primary cooling water whiles the reactor operating with load of topaz, showed that the content of nuclide has a half-length (cobalt-60) and still normal. It can be concluded that the pretreatment process to pre-irradiated topaz is gradually cleaned therefore it can reduce significantly the amount of impurities. So that the treatment process at the beginning of the pre irradiated topaz is very important and essential in order to make the utility continues running without neglecting safety aspect of the operation of the reactor.*

Keywords : Topaz, impurities

PENDAHULUAN

Iradiasi batuan Topaz didalam kolam reaktor, baik *in core* ataupun *out core* merupakan salah satu program utilisasi Reaktor Serba Guna GA Siwabessy. Iradiasi batu topaz dilakukan pada dua posisi iradiasi tersebut akan menghasilkan topaz dari yang semula berwarna putih menjadi warna-warna tertentu tergantung pada besarnya fluks neutron, lama iradiasi, dan geometri bahan dasarnya. Namun demikian, dalam proses iradiasi terhadap batuan topaz dimungkinkan pula adanya interaksi neutron terhadap unsur-unsur pengotor yang terdapat dalam

batu topaz yang dapat menghasilkan nuklida-nuklida radioaktif lainnya. Permasalahan akan timbul jika dalam reaksi dengan neutron tersebut terdapat produk fisi dari unsur pengotor yang memiliki waktu paruh panjang. Hal ini dikhawatirkan akan berpengaruh terhadap kualitas air pendingin primer sehingga mengganggu keselamatan operasi reaktor maupun limbah yang dihasilkan. Oleh karena itu perlakuan awal terhadap batu topaz sebelum diiradiasi dalam kolam reaktor menjadi amat penting karena diharapkan dalam proses perlakuan awal dengan cara pencucian secara berulang akan

mengurangi pengotor yang terbawa oleh batu topaz. Proses pencucian topaz dilakukan secara bertahap dan berulang hingga diperoleh air bilasan yang jernih. Pembilasan terakhir dilakukan dalam alat ultrasonik dengan menggunakan air demineralisasi dengan suhu 40°C. Dalam kajian ini akan dilakukan analisis unsur yang menempel di batu topaz sebelum dan setelah mengalami proses pencucian. Analisis unsur juga dilakukan terhadap endapan air cucian topaz yang pertama. Metode yang digunakan adalah metode pengaktifan neutron (AAN). Diharapkan dari hasil kajian ini akan diperoleh data yang dapat memberikan gambaran seberapa besar pengaruh perlakuan awal terhadap batu topaz sebelum diiradiasi. Apakah benar bahwa proses pencucian dapat mengurangi kuantitas pengotor yang terikut dalam batu topaz. Dari hasil kajian ini juga dapat

diperoleh jenis unsur apa yang terdapat dalam pengotor batu topaz, dimana keberadaan unsur-unsur ini dikuatirkan akan mengganggu kualitas air pendingin primer reaktor. Dengan demikian kegiatan utilisasi iradiasi batu topaz dapat tetap berjalan dengan tidak mengabaikan aspek keselamatan operasi reaktor.

TEORI

Batu Topaz terdiri dari gugusan silikat yang mengandung gabungan aluminium bersama dengan fluorine dan hidroksil., yang memiliki rumus kimia $Al_2SiO_4(FOH)_3$, atau aluminium silicate fluoride hydroxide. Topaz memiliki berat jenis 3,5 gr/cm³ dan derajat kekerasan (hardness) sebesar 8 skala Mohs.

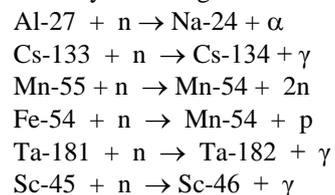
Berikut adalah spesifikasi dari batu topaz ⁽²⁾:

Warna	Jernih (jika tidak ada impuritas), biru, cokelat, jingga, abu-abu, kuning, hijau, merah muda dan merah muda kemerah-merahan.
Sistem kristal	ortorombik
Fraktur	konkoidal
Skala kekerasan Mohs	8 (mineral penentu)
Kilauan	kaca
Cerat	putih
Diafanitas	Transparan
Gravitasi spesifik	Warna pink/kuning 3.53 – 3.56 Biru/ tak berwarna 3.56 – 3,57
Sifat optik	Biaksial (+)
Indeks pembiasan	$n_\alpha = 1.606-1.629$ $n_\beta = 1.609-1.631$ $n_\gamma = 1.616-1.638$
Bias ganda	$\delta = 0.010$
Pleokroisme	Lemah di bagian tebal
Karakteristik lain	Fluoresen, UV pendek=kuning emas, UV panjang=krem

Batu topaz yang di iradiasi didalam reaktor akan memiliki warna indah sehingga dapat meningkatkan nilai jual. Iradiasi dilakukan baik di dalam teras reaktor maupun di luar teras reaktor. Pada saat batu topaz di iradiasi didalam kolam reaktor maka akan terjadi reaksi inti antara unsur-unsur yang terkandung dalam batu topaz, terutama Al dan Si, dengan neutron cepat. Reaksi tersebut akan merubah struktur kristal dalam batu topaz yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan warna pada topaz sehingga dapat meningkatkan kualitas. Untuk mengurangi radioaktivitas batu topaz pasca iradiasi yang diakibatkan adanya efek radiasi sekunder antara neutron termal/ epitermal dengan unsur unsur yang terkandung dalam topaz, maka iradiasi batu topaz dilakukan dalam suatu tabung yang dilapisi dengan bahan yang dapat menyerap neutron thermal dan epithermal ⁽¹⁾.

Menurut Laporan Analisis Keselamatan Iradiasi Batu Topaz pada Posisi IP di Teras RSG-GAS radionuklida yang muncul pada batu topaz

pasca iradiasi adalah Na-24, Cs-134, Mn-54, Ta-182, dan Sc-46. Radionuklida tersebut dihasilkan dari reaksi inti yang terjadi pada iradiasi topaz dengan neutron yaitu sebagai berikut ⁽¹⁾:

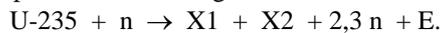


Namun demikian, adanya unsur pengotor di dalam batu topaz dimungkinkan terjadi reaksi neutron terhadap unsur pengotor tersebut yang dapat membentuk radionuklida-radionuklida lainnya. Oleh karena itu perlakuan awal terhadap batu topaz pra iradiasi dianggap sangat penting karena dengan dilakukannya proses ini diharapkan akan mengurangi jumlah pengotor yang terikut dalam batu topaz mulai dari proses penambangan hingga pemotongan (*cutting*) sehingga tidak mengganggu

kualitas air pendingin primer. Seperti yang tercantum dalam Laporan Analisis Keselamatan RSG GAS, kondisi air pendingin primer dalam kolam reaktor juga diperkirakan mengandung beberapa jenis unsur dalam jumlah terbatas sebagai hasil korosi teraktivasi dari bahan struktur yang ada didalam sistem air pendingin primer KBE01 dan KBE02.⁽⁶⁾

Salah satu unsur yang disebutkan tersebut adalah Co-60, yang memiliki waktu paruh panjang (5,27 tahun). Secara teoritis, unsur-unsur yang dapat membentuk Co-60 jika teriradiasi neutron adalah Co-58, Co-59, Cr-51, Fe-55 dan Ni-58.

Reaksi inti berikutnya yang terjadi dari interaksi neutron dengan materi adalah reaksi pembelahan atau reaksi fisi. Reaksi pembelahan terjadi jika iradiasi neutron dilakukan terhadap bahan-bahan fisil (*fissionable material*) seperti U-233, U-235, Pu-239 dan Pu-241. Reaksi pembelahan inti U-235 dengan neutron menghasilkan dua fragmen fisi dan dua atau tiga neutron. Fragmen fisi bersifat radioaktif sehingga akan terjadi peluruhan menjadi radionuklida anak peluruhannya. Fragmen fisi dan radionuklida anak peluruhannya disebut sebagai produk fisi. Reaksi fisi U-235 oleh neutron secara umum dapat dituliskan sebagai berikut:



Yang mana:

X1 dan X2 merupakan fragmen fisi

E adalah energi yang dibebaskan dari reaksi fisi

2,3 n maksudnya adalah 2 atau 3 neutron hasil reaksi fisi.

Dalam reaksi fisi dihasilkan dua fragmen fisi yang terdiri dari fragmen fisi ringan dan fragmen fisi berat. Fragmen fisi ringan memiliki nomor masa dari 72 sampai dengan 118 sedangkan fragmen fisi berat memiliki nomor masa dari 118 sampai dengan 162. Dari reaksi fisi ini dapat dipastikan tidak terbentuk radionuklida Co-60.

REAKSI AKTIVASI NEUTRON

Reaksi aktivasi neutron adalah iradiasi suatu target dengan neutron untuk menghasilkan spesi radioaktif yang biasanya disebut sebagai radionuklida. Jumlah radionuklida yang dihasilkan tergantung pada jumlah inti dalam target, jumlah neutron yang diterima oleh inti target, waktu iradiasi, jenis inti dalam target, dan faktorampang lintang reaksi. Radionuklida yang terbentuk akan meluruh sesuai dengan perubahan waktu dengan skema peluruhan yang karakteristik. Hal ini berarti distribusi hasil iradiasi akan dipengaruhi oleh waktu peluruhan⁽³⁾. Teknik aktivasi neutron merupakan teknik analisis yang memanfaatkan berkas neutron, partikel bermuatan atau foton, yang masing-masing dihasilkan di dalam suatu reaktor, siklotron atau sejenisnya. Metode analisis aktivasi

neutron didasarkan pada reaksi penangkapan neutron thermal oleh target melalui reaksi (n, γ) . Neutron thermal diabsorpsi oleh inti target dan menghasilkan inti baru dan neutron baru yang bersifat tidak stabil. Inti ini selanjutnya cenderung akan mencapai keadaan setimbang (stabil) dengan melepaskan kelebihan energinya melalui transisi isomerik, atau melalui peluruhan γ^- atau γ^+ yang umumnya diikuti pula oleh pancaran sinar- γ . Sinar- γ yang dipancarkan pada umumnya bersifat karakteristik untuk suatu radionuklida tertentu, dan sifat ini digunakan untuk mengidentifikasi suatu radionuklida hasil aktivasi.

METODE PELAKSANAAN

Kajian awal batu topaz pra iradiasi dilakukan dengan langkah berit ini

1. Analisis unsur pada batu topaz sebelum proses pencucian :

Analisis kualitatif dan kuantitatif terhadap pada batu topaz sebelum mengalami proses pencucian. Metode yang digunakan adalah metode aktivasi neutron (AAN), dengan bahan acuan standar SRM 2780 *Hard Rock Mine Waste*⁽⁴⁾.

2. Analisis unsur pada endapan air cucian yang pertama

Sebelum dimasukkan dalam alat pencuci ultrasonik batu topaz terlebih dahulu dicuci dengan air demineral dalam sebuah wadah. Air bekas cucian yang pertama nampak keruh. Setelah diendapkan kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring hingga diperoleh padatan untuk dikeringkan. Analisis unsur dilakukan dengan metode pengaktifan neutron (AAN). Bahan acuan standar yang digunakan untuk analisis secara kuantitatif adalah SRM 2702 *Inorganics in Marine Sediment*⁽⁵⁾.

3. Analisis unsur pada batu topaz setelah proses pencucian

Analisis kualitatif dan kuantitatif terhadap pada batu topaz sesudah mengalami proses pencucian. Metode yang digunakan adalah metode aktivasi neutron (AAN), dengan bahan acuan standar SRM 2780 *Hard Rock Mine Waste*⁽⁴⁾.

4. Analisis unsur pada air pendingin primer RSG GAS

Analisis unsur pada air pendingin primer sistem KBE01. Sampel diambil pada saat reaktor beroperasi 15 MW tanpa muatan topaz didalamnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan awal pada batu topaz pra iradiasi dilakukan dengan pencucian dimana proses dilakukan secara bertahap dengan menggunakan air demineralisasi. Pada saat proses pencucian yang pertama nampak perubahan pada air bekas cucian yang semula jernih menjadi keruh. Bekas air cucian yang pertama ini kemudian diendapkan dan disaring dengan menggunakan kertas saring sehingga diperoleh padatan berupa campuran serpihan topaz dan serbuk pengotor. Material inilah yang diambil untuk dianalisis kandungan unsurnya. Berikut adalah gambar hasil penyaringan dari endapan air cucian topaz yang pertama



Gambar 1 : Endapan pengotor topaz
Dari endapan tersebut kemudian dilakukan analisis unsur menggunakan metode pengaktifan neutron (AAN). Bahan acuan standar yang dipakai untuk menentukan konsentrasi masing masing unsur adalah *Standard Reference Material (SRM) 2702 Inorganics in Marine Sediment*⁽⁵⁾. Berdasarkan hasil analisis tersebut diperoleh beberapa jenis unsur yang ada dalam endapan air cucian topaz. Berikut adalah hasil analisis unsur endapan air cucian topaz.

Tabel 1: Konsentrasi unsur pengotor pada endapan air cucian topaz

Nuklida	Konsentrasi ($\mu\text{gr}/\text{gr}$)
Co-60	$0,846 \pm 0,192$
Fe-59	$111,992 \pm 8,933$
Cr-51	$20,460 \pm 1,365$
Zn-65	$12,678 \pm 0,599$

Dari hasil analisis unsur secara kualitatif dapat teridentifikasi beberapa nuklida dalam sampel endapan air cucian topaz, yaitu Co-60, Fe-59, Cr-51 dan Zn-65. Sedangkan dari perhitungan secara kuantitatif diperoleh bahwa konsentrasi unsur Fe menempati urutan yang paling tinggi ($111,992 \pm 8,933 \mu\text{gr}/\text{gr}$), disusul Chrom, Zink dan Cobalt. Adanya beberapa jenis unsur logam dalam pengotor topaz yang terlepas pada saat pencucian ini kemungkinan berasal dari berbagai proses tahapan misalnya pada saat proses penambangan, pemotongan hingga pengiriman yang tentunya tidak terlepas dari cemaran yang dapat menyumbang

adanya pengotor. Pada saat proses pemotongan (cutting), dimungkinkan adanya cemaran dari logam alat pemotong batu topaz.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada proses pencucian awal batu topaz yang dilakukan ini mampu melepaskan sejumlah pengotor yang menempel pada batu topaz yang akan mengurangi risiko penurunan kualitas air pendingin primer sehingga berakibat pada keselamatan operasi reaktor serta limbah yang dihasilkan dapat dihindari. Hal ini nampak dari hasil analisis yang telah disebutkan diatas.

Untuk mengetahui perbedaan kondisi topaz yang belum mengalami proses pencucian dan setelah mengalami proses pencucian beberapa tahapan, maka dilakukan pula analisis terhadap batu topaz sebelum dan setelah proses pencucian. Analisis unsur menggunakan metode pengaktifan neutron (AAN). Bahan acuan standar yang dipakai untuk menentukan konsentrasi masing masing unsur adalah *Standard Reference Material 2780 Hard Rock Mine Waste*⁽⁴⁾. Berikut adalah hasil analisis unsur yang dilakukan pada batu topaz.

Tabel 2: Hasil analisis unsur pada batu topaz sebelum dan sesudah pencucian

Nuklida	Kondisi topaz	Konsentrasi ($\mu\text{gr}/\text{gr}$)
Co-60	Sebelum pencucian	$0,586 \pm 0,119$
	Sesudah pencucian	$0,366 \pm 0,071$
Fe-59	Sebelum pencucian	$443,133 \pm 16,196$
	Sesudah pencucian	$16,571 \pm 5,399$
Cr-51	Sebelum pencucian	$0,645 \pm 0,120$
	Sesudah pencucian	$0,324 \pm 0,066$
Zn-65	Sebelum pencucian	$25,346 \pm 0,692$
	Sesudah pencucian	$5,340 \pm 0,250$

Berdasarkan hasil analisis terhadap batu topaz sebelum dan sesudah pencucian nampak ada penurunan besaran konsentrasi pada semua unsur unsur pengotor. Hal ini dapat dikatakan bahwa proses pencucian yang dilakukan mampu mereduksi sebagian pengotor yang melekat dalam batuan topaz. Telah disebutkan diatas bahwa pengotor dapat berasal dari berbagai tempat, mulai dari proses penambangan, pemotongan maupun pengiriman. Setelah proses pencucian, bukan berarti batu topaz terbebas seluruhnya dari unsur pengotor, tetapi masih terdeteksi adanya sejumlah unsur yang terkandung dalam batu topaz. Hal ini menandakan bahwa unsur unsur tersebut memang merupakan bagian dari batu topaz itu sendiri, yang menyatu sebagai satu ikatan yang kuat dalam suatu gugusan beberapa unsur dimana antara batu yang satu dengan yang lain memiliki bentuk dan jenis yang berbeda. Keberadaan unsur unsur yang membentuk ikatan yang menyatu membentuk sebuah gugusan dalam

batuan topaz inilah yang membuat topaz memiliki warna warna yang indah setelah di iradiasi dalam kolam reaktor.

Untuk mengetahui kualitas air pendingin primer pada saat reaktor beroperasi dengan muatan topaz didalamnya, maka dilakukan analisis terhadap air pendingin primer sistem KBE01. Sampel diambil pada saat reaktor beroperasi 15 MW dengan muatan batu topaz. Berikut adalah hasil analisis air pendingin primer KBE01

Tabel : Hasil analisis air pendingin primer KBE01

Unsur	T _{1/2} (hari)	Hasil Analisis (Ci/m ³)	Perkiraan Korosi Teraktivasi dari Bahan Struktur di Dalam Pendingin Primer ⁽⁶⁾ (Ci/m ³)
Cr-51	27,7	2,33E-7	1,00E-3
Co-60	1976,25	2,84E-7	5,70E-6

Berdasarkan hasil analisis terhadap air pendingin primer diatas, nampak bahwa konsentrasi unsur-unsur dalam air pendingin primer yang dapat terdeteksi masih berada dibawah nilai prakiraan konsentrasi korosi teraktivasi dari bahan struktur didalam pendingin primer KBE01 yang tercantum dalam dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK)⁽⁶⁾. Cobalt-60 yang merupakan salah satu unsur dengan umur paruh panjang (5,27 tahun) terdeteksi dalam konsentrasi dibawah nilai yang diperkirakan (1,83E-8 Ci/m³). Ini berarti bahwa proses iradiasi batu topaz dalam reaktor tidak menyebabkan konsentrasi unsur Cobalt dalam air primer melebihi batas yang diperkirakan. Sebab meningkatnya konsentrasi unsur-unsur dalam air primer dikhawatirkan akan membawa dampak pada kinerja sistem purifikasi air kolam reaktor (KBE01). Dimana sistem ini berfungsi untuk memisahkan produk aktivasi dan pengotor mekanik dari kolam reaktor dan menjaga kualitas pendingin primer pada tingkat tertentu, untuk membatasi tingkat radiasi di balai operasi dan ruangan instalasi⁽⁷⁾.

Dari hasil kajian batu topaz pra iradiasi ini dapat dikatakan bahwa proses pencucian topaz amat penting dan mutlak dilakukan. Karena dalam topaz yang belum mengalami proses pencucian banyak terdapat pengotor yang dapat menyebabkan menurunnya kualitas air pendingin reaktor. Dengan dilakukannya proses perlakuan awal pada batu topaz yaitu pencucian bertahap, maka kekuatiran terhadap menurunnya kualitas air pendingin reaktor yang akan membawa dampak pada keselamatan operasi reaktor menjadi tidak beralasan lagi. Dengan demikian kegiatan utilisasi tetap dapat berjalan dengan tidak mengabaikan aspek keselamatan operasi reaktor.

KESIMPULAN

1. Perlakuan topaz pra iradiasi yaitu proses pencucian secara berulang, mutlak dilakukan karena dapat mengurangi jumlah pengotor secara signifikan.
2. Ditinjau dari aspek keselamatan operasi reaktor, iradiasi batu topaz dalam reaktor layak untuk dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kajian Keselamatan Fasilitas Iradiasi Batu Topaz di RSG GAS, No ident RSG.OR.01.02.42.06
2. Noomie Lewinson
<https://www.cigem.ca/pdf/noomie.pdf>
Electron Beam Enhancement of Colorless Topaz, diunduh 26 Juli 2016
3. ANONIMOUS, IAEA Practical Aspect of Operating A Neutron Activation Laboratory, IAEA-TECDOC-564, Wina 1990
4. NIST, Certificate of Analysis Standard Reference Material 2780 Hard Rock Mine Waste, Gaithersburg, MD 20899, Certificate Issue date 31 Januari, 2003
5. NIST, Certificate of Analysis Standard Reference Material 2702 Inorganics in Marine Sediment, Gaithersburg, MD 20899, Certificate Issue date 07 Januari, 2003.
6. Anonimous, Laporan Analisis Keselamatan, RSG GAS, Bab XII, revisi 10.1
7. Anonimous, Laporan Analisis Keselamatan, RSG GAS, Bab VI, revisi 10.1