

IDENTIFIKASI TENORM DALAM NATRIUM ZIRKONAT (Na_2ZrO_3) HASIL PROSES PELINDIAN AIR

Sukirno dan Harry Supriadi

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN

e-mail : ptapb@batan.go.id

Diterima 23 Desember 2011, diterima dalam bentuk perbaikan 2 Pebruari 2012, disetujui 10 Oktober 2012

ABSTRAK

IDENTIFIKASI TENORM DALAM NATRIUM ZIRKONAT (Na_2ZrO_3) HASIL PROSES PELINDIAN AIR. Makalah ini melaporkan hasil-hasil pengukuran metoda spektrometri gamma dari konsentrasi radionuklida Th-228, Ra-226 dan K-40 serta dengan metoda AAN untuk pengukuran konsentrasi U-238 dan Th-232 dalam contoh natrium zirkonat (Na_2ZrO_3). Natrium zirkonat merupakan bahan hasil proses pelindian air, mengandung uranium dan torium, sehingga memiliki potensi kontaminasi dan menaikkan paparan radiasi yang cukup besar. Tiap tahapan proses akan menghasilkan produk yang di dalamnya kemungkinan terdapat TENORM. Instrumen yang digunakan adalah alat cacah γ maestro II EG&G spektrometer γ Ortec dengan detektor Ge(Li). Teknik untuk menentukan konsentrasi radionuklida Th-228 ditentukan melalui anak luruhnya yaitu Pb-212 yang mempunyai energi 238,6 keV, dan radionuklida Pb-210, Ra-226, K-40 langsung ditentukan dari energi masing-masing 46,5; 186,2; 1460,75 keV. U-238 diidentifikasi melalui energi puncak 228,2 keV dari Np-239 dan Th melalui energi puncak 311,8 dari Pa-233. Konsentrasi radionuklida yang tertinggi dalam natrium zirkonat pada berbagai ukuran butir adalah Ra-226 = $3664,4 \pm 95,9$ Bq/kg dan radionuklida yang terendah adalah K-40 = $82,37 \pm 13,0$ Bq/kg. Dari metoda analisis varians model desain acak sempurna untuk pengujian statistik, ditunjukkan bahwa terdapat tidak beda secara nyata pengaruh ukuran butir umpan (hasil leburan pasir Zr) terhadap konsentrasi radionuklida Pb-210, Ra-226, Th-228 dan K-40, pada pengujian dengan taraf kepercayaan 95 %.

Kata kunci : TENORM, pelindian, natrium zirkonat, uji statistik varian.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF TENORM IN SODIUM ZIRCONATE (Na_2ZrO_3) RESULT OF WATER LEACHING PROCESS. This paper present result of gamma spectrometric method measurements of Th-228, Ra-226 and K-40 radionuclides, whereas with NAA method for Th-232 and U-238 concentrations in sample of sodium zirconate (Na_2ZrO_3). Sodium zirconate is a result of water leaching process, containing uranium and thorium, so that it has the potential for contamination and increase the radiation exposure. Each stage of the process will produce a product in which there might be TENORM. The instrument used for the analysis of radioactivity was spectrometer γ maestro II EG&G spectrometer γ Ortec with detector Ge(Li). In this technique, Th-228 concentration is determined through one of its daughters, i.e. Pb-212, which has energy of 238,6 keV, and Pb-210, Ra-226 and K-40 are directly determined from its energy of 46,5; 186,2; 1460,75 keV respectively. U-238 was identified from peak energy 228.2 keV of Np-239 and Th-232, from the peak energy 311,8 keV of Pa-233. The highest concentration of radionuclides in the sodium zirconate at different grain sizes are Ra-226 = 3664.4 ± 95.9 Bq/kg and the lowest radionuclide is K-40 = 82.37 ± 13.0 Bq / kg. From the analysis method of variance model random designs perfect for the test statistic, indicated that there were no significant differences between the influence of grain size on the radionuclides concentration of radionuclides Pb-210, Ra-226, Th-228, and K-40, on testing with the level of 95%.

Keywords: TENORM, leaching, sodium zirconate, statistical variance.

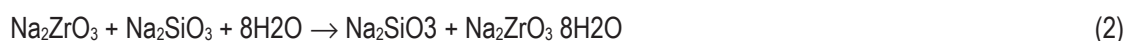
PENDAHULUAN

Secara alami pasir zirkon (ZrSiO_4) mengandung uranium dan torium, sehingga potensi kontaminasi dan menaikkan paparan radiasinya cukup besar. Laju paparan radioaktivitas yang dihasilkan tergantung dari geografisnya. Tiap tahapan proses pemurnian akan menghasilkan produk yang di dalamnya kemungkinan terdapat *TENORM* (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*). Keberadaan *TENORM* dapat diketahui dengan cara mendeteksi kandungan anak luruh uranium (Pb-210, Th-230, Ra-226, Pb-214, Bi-214), torium (Th-228, Ac-228, Pb-212, Bi-212, Tl-208) dan K-40. Pengolahan pasir zirkon menjadi zirkonia menggunakan metode basah antara lain peleburan pasir zirkon dengan pereaksi soda api, pelindian menggunakan air, pelindian menggunakan HCl, pengendapan menggunakan amonia serta kalsinasi yang menghasilkan ZrO_2 .

Pengolahan pasir zirkon secara kimia menggunakan metode proses basah diawali dengan peleburan pasir zirkon. Reaksi yang terjadi pada proses peleburan adalah,



Proses pemurnian dilakukan dengan melindi leburan menggunakan air. Reaksi yang terjadi dalam proses pelindian menggunakan air diduga sebagai berikut,



Hasil proses pelindian dipisahkan dengan cara dekantir dan penyaringan sehingga diperoleh padatan natrium zirkonat dan beningan atau filtrat yang berisi natrium silikat. Pada natrium zirkonat hasil pelindian ini radionuklida alam terikut dalam proses yang sering disebut *TENORM*^(1,2).

Radionuklida dalam *TENORM* berasal dari peluruhan radionuklida primordial dari peluruhan U-238, Th-232 dan K-40^(2,3). Permasalahan *TENORM* harus mendapat perhatian secara serius, karena dapat mencemari dan meracuni lingkungan serta mengganggu kesehatan masyarakat. Koordinasi penanganan terhadap *NORM* maupun *TENORM* di Indonesia merupakan kegiatan yang melibatkan lembaga pemerintah (BATAN, BAPETEN, DEPKES, BAPEDAL, Departemen terkait), lembaga swadaya masyarakat, dan ilmuwan/akademisi⁽¹⁾.

Penanganan terhadap pasir zirkon dan hasil pengolahan harus selalu mendapat perhatian yang serius karena pasir zirkon diduga mengandung elemen-elemen radioaktif dari deret uranium, torium dan anak luruhnya (biasanya terdapat dalam konsentrasi stabil)⁽⁴⁾. Akibat yang dapat ditimbulkan dalam masalah ini antara lain bahaya radiasi karena terkena partikel partikel alpha dengan terhisapnya debu atau serbuk dalam pernafasan⁽⁵⁾. Pengolahan pasir zirkon menjadi zirkonium dioksida menggunakan metode proses basah diawali dengan peleburan pasir zirkon dengan pereaksi NaOH, leburan yang diperoleh dilindi menggunakan air⁽⁶⁾. Hasil proses pelindian dipisahkan untuk mengambil padatan natrium zirkonat (Na_2ZrO_3), sedangkan filtrat yang berisi natrium silikat (Na_2SiO_3) disimpan. Sebagian besar tahapan proses menggunakan air sebagai media (pelindian dan pengendapan) memungkinkan menghasilkan *TENORM* karena air didominasi radionuklida dari radium, uranium dan radon beserta anak luruhnya⁽³⁾.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran radioaktivitas terhadap *TENORM* dalam $\text{Na}_2\text{ZrO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ hasil proses pelindian air terhadap ukuran butir umpan yang merupakan hasil leburan pasir zirkon. Hasil radioaktivitas *TENORM* diharapkan para pekerja yang terlibat dalam proses pemurnian pasir zirkon, melakukan pekerjaan dengan hati-hati, atau mengikuti prosedur kerja yang ada.

METODOLOGI

Bahan Yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Endapan hasil pelindian air ($\text{Na}_2\text{ZrO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). *Standard Reference Material (SRM) IAEA 315 Radionuclides in marine sediment* dan Eu-152 sebagai penentuan kalibrasi energi dan efisiensi. *NBL Reference Material No 107-A*, dan *109-A Monazite Sand*.

Alat Yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Reaktor Kartini, alat proses pelindian hasil leburan pasir zirkon, alat penggerusan, ayakan berbagai ukuran, seperangkat spektrometri gamma, wadah pencacahan, alat-alat gelas, timbangan analitik, vial polietilen dan kelongsong iradiasi.

Cara Kerja

Preparasi sampel

Pembuatan sampel dilakukan dengan cara melindi hasil leburan pasir zirkon dengan air selama 2 jam, dengan perbandingan hasil leburan dan air adalah 1 g : 40 ml. Setelah pelindian dilakukan pemisahan antara padatan dan cairan (filtrat), kemudian padatan (Na_2ZrO_3) dikeringkan. Pembuatan sampel dilakukan dengan variasi ukuran butir umpan (hasil leburan pasir Zr) yaitu 0,425 mm 0,300 mm dan 0,150 mm. Sampel padatan ditimbang 100 g, dimasukkan ke dalam tabung polietilen, ditutup hingga rapat. dan disimpan dalam tempat tertentu pada suhu kamar selama lebih kurang 30 hari untuk mencapai kesetimbangan radionuklida. Sampel tersebut siap untuk diidentifikasi kandungan radionuklidanya dengan menggunakan teknik spektrometri gamma.

Untuk menentukan U-238 dan Th-232 dilakukan penimbangan Na_2ZrO_3 seberat 0,10 g dalam vial polietilen, begitu juga standar yang digunakan *Monazite Sand* yang mengandung U-235 dan Th-232. Sampel, blanko dan standar dimasukkan bersama dalam kelongsong iradiasi dan siap untuk proses iradiasi di fasilitas Lazy Susan dengan fluks neutron berkisar $2.0 \times 10^{11} \cdot \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Pengukuran sampel

Sampel yang telah siap untuk pengukuran radionuklida diletakkan di atas detektor spektrometer gamma dengan waktu pencacahan selama 288000 detik (8 jam), pengukuran dilakukan dengan 3 (tiga) kali pengulangan. Setelah itu dilakukan perhitungan terhadap hasil pencacahan. Perhitungan dan penentuan efisiensi serta radionuklida mengacu pada penelitian sebelumnya⁽⁸⁾. Untuk menentukan kandungan radionuklida menggunakan persamaan (3).

$$A_{\gamma} = \frac{CS_{\gamma} - CB}{E \cdot Py \cdot L} \quad (3)$$

CS_{γ} = laju cacah radionuklida γ (cps). CB_{γ} = laju cacah blanko radionuklida γ (cps)

L = berat sampel (kg). E = efisiensi (%) dan Py = Probabilitas (%)

Uji batas deteksi terendah menggunakan (*Lower limit of detection LLD*) [3] dengan menggunakan persamaan (4) sumber radionuklida yang dipakai standar *Standard reference material IAEA-315*.

$$LLD = \frac{4,66 \cdot Sb}{E \cdot Py} \quad (4)$$

Sb = standar deviasi blanko, E = efisiensi

Py = Probabilitas radionuklida yang diperhatikan

Untuk menentukan U-238 dan Th-232 dilakukan iradiasi selama 2 x 6 jam, kemudian didinginkan sekitar 5 hari untuk mengidentifikasi radionuklida U-238 sedangkan untuk Th-332 pendinginan sekitar 30 hari. Perhitungan konsentrasi U-238 dan Th-332 dengan metoda komparatif dan menggunakan persamaan (5).

$$W_c = \frac{C_c}{C_s} \times W_s \quad (5)$$

W_c & W_s = kadar unsur yang diperhatikan & kadar unsur dalam standar (mg/kg)

C_c & C_s = laju cacah untuk cuplikan dan standar (cps).

Iradiasi neutron yang terjadi terhadap U-238 dan Th-232 dalam cuplikan natrium zirkonat maupun dalam standar akan teraktivasi menjadi radionuklida baru dengan persamaan reaksi nuklir seperti persamaan (6) dan (7), sehingga penentuan U-238 dan Th-232 berturut-turut pada energi 228,5 keV (Np-239) dan 311,8 keV (Pa-233)⁽¹⁰⁾.



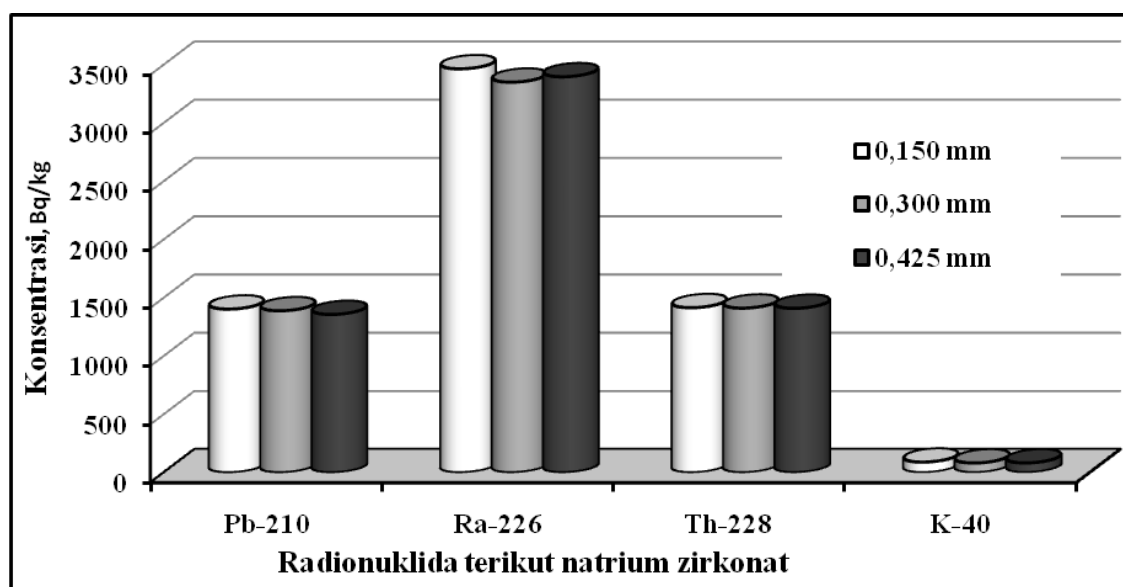
Penentuan pengaruh ukuran butir terhadap kandungan *TENORM* dalam natrium zirkonat dilakukan dengan uji statistik yaitu analisis varians model desain acak sempurna, dengan variabel tidak bebas terhadap variabel bebas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi radionuklida (*TENORM*) alam pemancar γ yang terkandung dalam sampel dengan metoda, pertama adalah dengan metoda spektrometri γ dan kedua adalah metoda analisis aktivasi neutron (AAN). Identifikasi radionuklida alam dipilih radionuklida yang penting dan perlu penanganan lebih lanjut karena radionuklida mempunyai umur panjang, yaitu Pb-210, Ra-226, Th-228 dan K-40 diidentifikasi dengan metoda spektrometri gamma, sedangkan U-238 dan Th-232 diidentifikasi dengan analisis aktivasi neutron. *TENORM* yang teridentifikasi dengan metoda spektrometri gamma adalah Pb-210, Ra-226, Pb-214, Bi-214, Ac-228, Pb-212, Bi-212, Tl-208 dan K-40.

Hasil pengukuran radioaktivitas *TENORM* terkandung dalam sampel dibedakan menjadi tiga ukuran butiran, dari leburan pasir zirkon yaitu ukuran butir 0,150 mm, 0,300 mm dan 0,425 mm. Dengan menggunakan teknik spektrometri gamma langsung dapat teridentifikasi radionuklida Pb-210 pada energi 46,5 keV; Ra-226 pada energi 186,2 keV dan K-40 pada energi 1460,7 keV sedangkan Th-228 pada energi 238,6 keV. Pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa perbandingan konsentrasi terhadap pengaruh butiran umpan pelindian air untuk keempat radionuklida tidak ada perbedaan yang mencolok, hampir dapat dikatakan mempunyai konsentrasi yang sama, hal ini dapat dibuktikan dengan uji statistik pada lembaran berikut.

Radionuklida yang mempunyai konsentrasi tertinggi adalah Ra-226 pada ukuran butir 0,150 mm yang mempunyai konsentrasi 3664 ± 92 mg/kg, sedangkan radionuklida yang mempunyai konsentrasi terendah adalah K-40 mempunyai konsentrasi $82,37 \pm 13,0$ Bq/kg untuk butir 0,300 mm. Nilai konsentrasi ini dapat juga dilihat pada lampiran Tabel 4.



Gambar 1. Histogram *TENORM* terkandung dalam natrium zirkonat (Na_2ZrO_3) dengan berbagai ukuran butir leburan pasir zirkon.

Batas Deteksi Terendah

Batas deteksi terendah (*Lower limit of detection* LLD) suatu radionuklida yang dicacah dengan alat spektrometer gamma diperlukan, untuk mengetahui kemampuan alat tersebut yang berhubungan dengan sensitivitas. Pada Tabel 1 disajikan batas deteksi terendah untuk radionuklida, parameter atau besaran-besaran yang tersaji merupakan hasil perhitungan kecuali probabilitas yang diambil dari tabel radionuklida ERDTMANN dan SOYKA⁽⁹⁾. Tersaji bahwa batas deteksi terendah setiap radionuklida mempunyai kepekaan terhadap detektor Ge(Li) yang dipergunakan.

Perhitungan dengan menggunakan persamaan (2), hasil pada Tabel 2 terlihat nilai batas deteksi terendah berturut-turut adalah Th-228 = 0,079 Bq/kg, Ra-228 = 0,368 Bq/kg, Ra-226 = 10,368 Bq/kg dan K-40 = 2,815 Bq/kg. Batas deteksi terendah juga diartikan sebagai jumlah terkecil radionuklida dalam sampel yang dapat dideteksi yang masih memberikan respon signifikan dibandingkan dengan blangko.

Tabel 2. Hasil perhitungan batas deteksi terendah (LLD) untuk radionuklida Th-228, Ra-228, Ra-226 dan K-40

	Ra-226	Th-228	Ra-228	K-40
Cps	0,0036	0,0021	0,00177	0,0036
Setandar deviasi, Sb	0,0003	0,0002	0,00018	0,0003
efisiensi E	0,0418	0,0281	0,00802	0,0048
Probabilitas(P_V)	0,036	0,431	0,290	0,107
LLD	$(4,66 \times 0,0003) / (0,0418 \times 0,036) = 0,987$			
		0,079	0,368	2,815

Penentuan konsentrasi U-238 dan Th-232 dilakukan dengan metoda AAN. Penentuan unsur secara kualitatif dilakukan dengan menentukan energi dari puncak-puncak spektrum kemudian mencocokkan dengan tabel isotop. Radionuklida Np-239 dan Pa-233, mempunyai lebih dari satu energi atau mempunyai multi energi gamma^(2,9), sedangkan pada Tabel 2 hanya 2 (dua) energi yang diperhatikan.

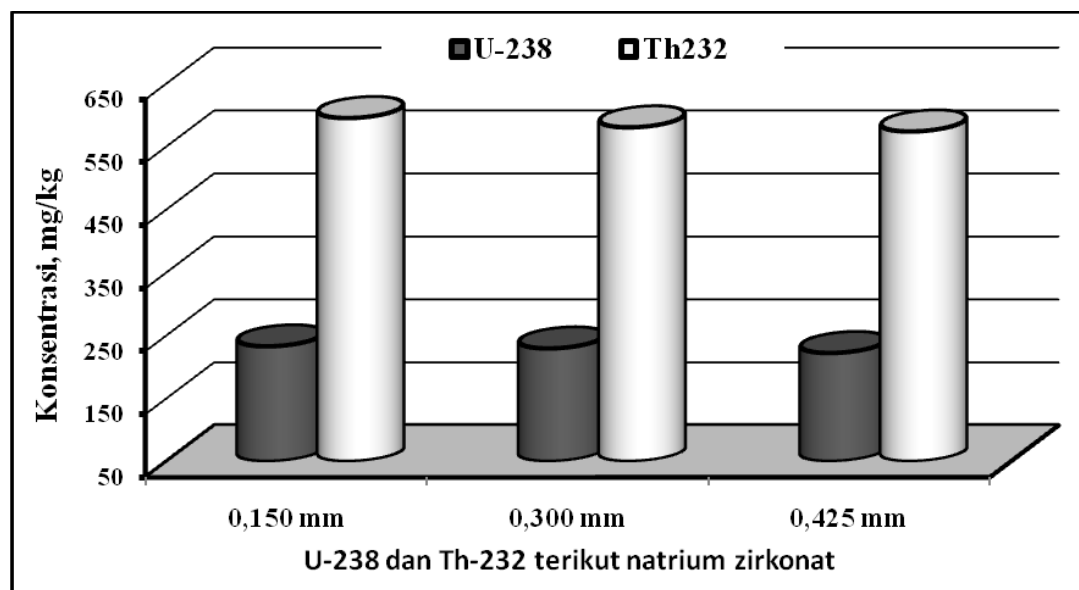
Tabel 2: Proses (n, γ) dengan memperhatikan hasil nuklida Np-239 dan Pa-233 metoda AAN.

Radionuklida	Energi (keV)	Probabilitas (%)	Nuklida diperhatikan
U-238	228,2 ; 277,6	10,72 ; 14,10	Np-239
Th-232	300,1 ; 311,8	5,80 ; 33,70	Pa-233

Setelah dipilih radionuklida Np-239 dan Pa-233 yang mempunyai probabilitas terbesar secara kualitatif, maka selanjutnya adalah penentuan secara kuantitatif. Gambar 2 merupakan histogram radionuklida U-238 dan Th-232 dari hasil analisis natrium zirkonat dengan menggunakan metoda AAN, terlihat perbandingan histogram radionuklida Th-232 lebih tinggi dari pada radionuklida U-238. Perbandingan konsentrasi antara U-238 terhadap Th-232 rata-rata berkisar 0,449 dapat juga dilihat pada Tabel 6, hal ini menunjukkan Th-232 dalam natrium zirkonat lebih dominan dibandingkan U-238.

Pengaruh ukuran diameter butiran umpan 0,150 mm, 0,300 mm dan 0,425 mm pada pelindian air terhadap hasil proses yang menghasilkan natrium zirkonat, perbedaan konsentrasi U-238 dan Th-232 tidak terlihat mencolok. Hal ini berarti tidak ada pengaruh butiran umpan untuk proses pelindian air terhadap konsentrasi radionuklida U-238 dan Th-232 dan diperkuat dengan dilakukannya uji statistik. Konsentrasi rata-rata terukur Th-232 adalah $659,97 \pm 11,8$ mg/kg sedangkan konsentrasi U-238 adalah $296,53 \pm 5,5$ mg/kg.

Sebelum dilakukan proses peleburan dan dilanjutkan proses pelindian kandungan Th-232 dan U-238 dalam pasir zirkon yang digunakan, telah dilakukan analisis oleh peneliti sebelumnya yaitu konsentrasi Th-232 sebesar 1109,2 mg/kg dan U-238 sebesar 447,2 mg/kg⁽¹¹⁾. Hal ini berarti menurut reaksi (2) pada proses pelindian menggunakan air, sebagian *TENORM* terikut dalam filtrat yang berisikan natrium silikat. Konsentrasi yang terikut bersama-sama larutan filtrat Th-232 berkisar 449,23 mg/kg sedangkan U-238 berkisar 150,67 mg/kg. Untuk proses pemisahan selanjutnya diharapkan U-238 dan Th-232 tidak terbawa oleh produk hasil, atau konsentrasinya diperkecil, sedang persyaratan untuk pembuatan kelongsong zircaloy untuk logam uranium adalah 3,5 mg/kg⁽¹²⁾.



Gambar 2. Histogram *U-238* dan *Th-232* terikut dalam natrium zirkonat (Na_2ZrO_3) dengan berbagai ukuran butir leburan pasir zirkon.

Untuk mengetahui pengaruh ukuran butir terhadap konsentrasi *TENORM* maka dilakukan uji statistik analisis varians (ANOVA) model desain acak sempurna terhadap analisis konsentrasi radionuklida yang terdapat pada hasil proses pelindian (Na_2ZrO_3). Dari daftar konsentrasi masing-masing radionuklida kemudian dihitung besaran-besaran yang diperlakukan seperti jumlah kuadrat-kuadrat (JK) untuk rerata, jumlah kuadrat-kuadrat nilai pengamatan, jumlah kuadrat-kuadrat antar perlakuan, jumlah kuadrat-kuadrat dalam perlakuan. Setelah harga-harga tersebut diperoleh, maka disusunlah sebuah daftar analisis ANOVA, seperti yang tersaji pada Tabel 3.

Nilai distribusi F dapat ditentukan melalui KT (Kuadrat Tengah) antar perlakuan terhadap KT dalam perlakuan, dengan dk (derajat kebebasan) pembilang $v_1 = 2$ dan dk penyebut $v_2 = 6$, maka daftar distribusi F dari tabel dapat diketahui, dalam hal ini besarnya adalah 5,14 untuk taraf nyata $\alpha = 0,05^{(7)}$. Sedangkan nilai distribusi F hitung pada Tabel 3 khusus untuk radionuklida Pb-210 adalah 0,206 lebih kecil dari 5,14 maka hipotesis nol diterima. Ini berarti ketiga ukuran butir memberikan pengaruh yang sama, atau tidak berbeda secara nyata terhadap konsentrasi radionuklida Pb-210. Dengan cara yang sama, maka untuk radionuklida lainnya, hasil distribusi F hitung pada Tabel 4.

Tabel 3. Pengamatan pada pencacahan Radionuklida Pb-210 dan daftar ANOVA untuk nilai F

No	Cacah pada panjang gelombang			Jumlah
	0.425 mm	0.300 mm	0.150 mm	
1	1349	1354	1288	
2	1369	1456	1282	
3	1490	1354	1499	
Jumlah	4208	4164	4069	12441
Pengulangan	3	3	3	9
Rerata	1402,7	1388	1356.333	1382,3

Ry = jumlah kuadrat-kuadrat (JK) untuk rerata = $(12441)^2/9$	17197609
My = Jumlah kuadrat-kuadrat antar perlakuan My = $(4208)^2/3 + \dots + (4069)^2/3 - 17197609$	3364,7

ΣY^2 = jumlah kuadrat-kuadrat semua nilai cacah $\Sigma Y^2 = (1349)^2 + (1369)^2 + \dots + (1499)^2$	17250099
E_y = Jumlah kuadrat-kuadrat dalam perlakuan	49125,3

Sumber variasi	Dk	JK	KT=JK/dk	F	
				Hitung	Tabel
Rerata	1	17197609	17197609	0,206	5,14
Antar Perlakuan (AP)	2	3364,7	1682,3		
Dalam Perlakuan (DP)	6	49125,3	8187,6		
Jumlah	9	17250099		F hitung = KT-AP/KT-DP	

Tabel 4. Daftar ANAVA untuk nilai distribusi F hitung dan F tabel dengan taraf nyata $\alpha = 0,05$

F	Pb-210	Ra-226	Th-228	K-40	U-238	Th-232
Hitung	0,206	0,955	1,051	0,644	0,351	0,106
Tabel	5,14	5,14	5,14	5,14	6,9	6,9

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa tidak ada pengaruh ukuran butir terhadap konsentrasi *TENORM* secara nyata.

KESIMPULAN

Dari penelitian dan perhitungan yang diperoleh, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Identifikasi *TENORM* yang terdapat dalam Na_2ZrO_3 dengan variabel ukuran butir hasil leburan, ada 11 radionuklida yaitu U-238, Th-233, Pb-210, Ra-226, Pb-214, Bi-214, Ac-228, Pb-212, Bi-212, Tl-208 dan K-40. Dari 11 radionuklida hanya 6 radionuklida yang ditentukan konsentrasinya yaitu analisis dengan metoda spektrometri gamma radionuklida Pb-210 (1356,9-1403,0) Bq/kg; Ra-266 (3396,- 3664,4) Bq/kg; Th-228 (1385-1415) Bq/kg; K-40 (83-90) Bq/kg. Analisis dengan metoda AAN adalah U-238 mempunyai konsentrasi $296,53 \pm 5,5$ mg/kg dan Th-233 mempunyai konsentrasi $659,97 \pm 11,8$ mg/kg. Perbandingan konsentrasi antara U-238 terhadap Th-232 rata-rata berkisar 0,449.
2. Pengaruh ukuran butiran umpan leburan pasir zirkon dengan ukuran butir 0,150 mm, 0,300 mm dan 0,425 mm, dapat disimpulkan tidak terdapat perbedaan secara nyata terhadap radioaktivitas *TENORM* dalam Na_2ZrO_3 .

DAFTAR PUSTAKA

1. DJAROT SULISTYO WISNUBROTO., "*Pengelolaan NORM dan TENORM dari Kegiatan Industri Non Nuklir*"., Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan Industri non Nuklir. BATAN, Jakarta (2003) 49-58.
2. IAEA., Measurement of Radionuclides in Food and The Environment., A Guide Book., Tech Rep Ser No 295, IAEA, Vienna (1989)
3. BUNAWAS dan SYARBAINI., Penentuan Potensi Resiko Tenorm pada Industri Non Nuklir., Buletin Alara, vol 6 nomor 3 April (2005) 13-18.
4. SYARBAINI dan WAHYUDI., "*NORM Beberapa industri dan Metoda Pengukurannya*". SimNas Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan. Prosiding PPI P3KRBIN-BATAN. Jakarta (2001) 252-261.
5. IAEA., Management of Waste from the Use of Radioactive Material in Medicine, Industry, Agriculture, Research and Education. Safety Guide No.WS-G-2.7. Vienna (2005)
6. BUDI SULISTYO, SUNARJO., "*Uji Fungsi Pelindian Natrium Zirkonat Secara Sinambung*". Prosiding PPI, PTAPB-BATAN Yogyakarta (2011) 6-11.
7. SUJANA., Desain dan Analisis Eksperimen. Edisi III, Penerbit TARSITO. Bandung (1989)

8. SUKIRNO. "Kajian Radioaktivitas Dalam Air dan Sedimen Sungai diSemenanjung Muria Tahun 2007". Prosiding PPI-PDIPTN PTAPB BATAN (2008) 56-62.
9. GERHARD ERDTMANN and WEMER SOYKA. The Gamma Rays of the Radionuclides. Tables for Applied Gamma Ray Spectrometry. New York (1979).
10. IAEA. Nuclear Analytical Techniques in Archaeological Investigations. STI/DOC/10/416. Vienna (2003).
11. SUKIRNO dan SRI MURNIASIH. "Validasi Metoda AAN untuk Pengujian Uranium dan Torium dalam pasir zirkon". Prosiding, FAANI BATAN. Serpong (2010) 102-110.
12. S.KATAM. Proses Pabrikasi Zirkonium dan Kelongsong Zicaloy. Buletin BATAN. Vol III, No 3 (1987) 16-24.

LAMPIRAN

Tabel 5. Kosentrasi *TENORM* yang terkandung dalam natrium zirkonat (Na_2ZrO_3).

No	Ukuran butir	Konsentrasi <i>TENORM</i> , Bq/kg			
		Pb-210	Ra-226	Th-228	K-40
1	0,150 mm	1403,02±76,4	3464,45±92,9	1414,93±14,1	90,09±6,3
2	0,300 mm	1388,48±58,7	3350,09±51,2	1411,24±44,1	82,37±13,0
3	0,425 mm	1356,99±123,7	3396,43±50,9	1409,59±8,9	82,89±6,3

Tabel 6. Kosentrasi *U-238* dan *Th-232* yang terkandung dalam natrium zirkonat (Na_2ZrO_3).

	U-238	Th232	U-238/Th-232
0,150 mm	296,37±34,37	672,04±26,86	0,441
0,300 mm	302,12±24,95	648,36±39,43	0,466
0,425 mm	291,10±23,13	659,52±85,26	0,441
Rerata	296,53±5,5	659,97±11,8	0,449