

STUDI KARAKTERISTIKA RADIOLOGIK DI LINGKUNGAN PABRIK YANG TERKONTAMINASI NORM^{*)}

Mukh Syaifudin

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN

ABSTRAK

STUDI KARAKTERISTIKA RADIOLOGIK DI LINGKUNGAN PABRIK YANG TERKONTAMINASI NORM. Telah dilakukan studi karakteristik radiologik suatu pabrik yang terkontaminasi NORM (*naturally occurring radioactive materials*) dan memasuki masa dekomisioning meliputi pengukuran konsentrasi thorium dan gas radioaktif dalam tanah permukaan, sub permukaan, dan bijih logam FeCb, serta laju paparan gross gamma eksternal. Konsentrasi thorium-228 dianalisis dengan spektrometri gamma dan kandungan gas radioaktif diukur dengan menempatkan sampel dan membiarkan terjadi peluruhan radioaktif dalam tabung emansi yang dirangkai dengan tabung Lucas. Gross gamma eksternal diukur dengan PIC (pressurized ionization chamber). Hasil studi menunjukkan bahwa konsentrasi Th-228 dalam bijih logam FeCb yang dianalisis dengan spektrometri gamma adalah $680,53 \pm 90,89$ pCi/g dan keseimbangan radioaktifnya 36%. Konsentrasi thoron dalam tanah adalah $0,77 \pm 0,09$ pCi/g dengan waktu paruh $64,96 \pm 11,10$ detik, konsentrasi radon adalah $0,17 \pm 0,03$ pCi/g dan konsentrasi Th-232 adalah $603,44 \pm 67,88$. Studi fraksinasi sampel tanah dan bubuk thorium menunjukkan bahwa konsentrasi Th-232 cenderung bertambah dengan mengecilnya ukuran partikel. Gross gamma eksternal yang terukur adalah sebesar $14,1 \mu\text{R}/\text{jam}$.

ABSTRACT

THE STUDY OF RADIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ENVIRONMENT OF FACTORY CONTAMINATED WITH NORM. A study of radiological characteristics of the environment of a plant contaminated with NORM (*naturally occurring radioactive materials*) and entered decommissioning time has been conducted which covered the thorium and radioactive gas concentrations in the ground and sub ground soils and FeCb slag, as well as external gross gamma analysis. The concentration of Th-232 in soil was analyzed by gamma spectrometry methods. The contents of radioactive gases were measured by placing the samples in an emanation flask connected with a Lucas flask. The external gross gamma was measured by using a PIC (pressurized ionization chamber) and internal gross gamma was measured by lowering a portable gamma spectrometer to various depths in the boreholes. The results showed that the concentration of Th-228 in the FeCb slag analyzed by gamma spectrometry was $680,53 \pm 90,89$ pCi/g and the radioactivity balance was 36%. The concentration of thoron in bulk was $0,77 \pm 0,09$ pCi/g with the half life of $64,96 \pm 11,10$ seconds, the concentration of radon was $0,17 \pm 0,03$ pCi/g and concentration of Th-232 was $603,44 \pm 67,88$. The study of fractionation of soil samples and thorium powder showed that concentration of Th-232 was inversely proportionate to particle size. The external gross gamma measured with PIC was $14,1 \mu\text{R}/\text{hour}$.

I. PENDAHULUAN

Molycorp Inc. di Washington PA Facility adalah produsen berbagai paduan logam-logam molibdenum, tanah jarang (*rare earth/RE*), kolumbium (niobium), boron, dan tungsten yang dipergunakan sebagai bahan pembuatan besi, baja, super alloy, magnet, dan

logam non-besi. Produk ini banyak dipergunakan untuk pipa air minum, pipa dan kilang minyak, dll. Paduan logam yang diproduksi dan bahan tambangnya diimpor dari Araxa Brazil adalah FeMo, MoO₃, (RE)Si, REM, FeCb, FeB, MnB, CaB dan FeW. Ternyata bahan tambang ini mengandung unsur

Dilakukan di Environmental Radiation and Toxicology Laboratory (ERTL), Universitas Utah, USA.

radioaktif thorium alam (0,05% berat atau lebih) yang telah tersebar dan mengkontaminasi lingkungan, bangunan dan pekerja pabrik di samping kandungan radionuklida dalam bijih logam (*slag*) itu sendiri [1]. Hasil pemantauan di beberapa daerah di Brazil yang tingkat NORM-nya terelevasi, Araxa menunjukkan pajaran luar yang tertinggi dibanding daerah lain [2]. Karena produk yang dihasilkan sudah tidak lagi dapat bersaing di pasaran, maka pabrik direncanakan akan ditutup dan untuk itu lingkungan pabrik perlu dibersihkan dari kontaminan radiologik [3].

Pabrik Molycorp yang telah beroperasi selama kurang lebih 70 tahun adalah salah satu dari 40 buah lebih pabrik pengolah bahan yang mengandung unsur radioaktif yang memasuki masa dekomisioning sesuai dengan keputusan NRC (*National Research Council*) dalam "1990 *Site Decommissioning Management Plan (SDMP)*". Dalam hal ini Molycorp dan konsultannya (salah satunya adalah ERTL) sedang mengembangkan Site Characterization Plan (SCP) yang meliputi distribusi, jenis dan besarnya kontaminan radiologik dan potensi paparan jangka panjang terhadap manusia (karakteristik radiologik) setelah aktivitas dekomisioning selesai serta laju migrasi thorium dan anak luruhnya [4].

Dalam makalah ini disajikan hasil studi karakteristik radiologik di lingkungan pabrik Molycorp Inc. yang akan ditutup.

II. BAHAN DAN METODE

Survei dan pengambilan sampel di lokasi pabrik Molycorp Inc. di Washington PA

dilakukan oleh tim dari ERTL Universitas Utah, USA. Area pengambilan sampel (diarsir) disajikan dalam Gambar 1.

a. Konsentrasi Th-232 dalam bijih logam FeCb dan tingkat keseimbangan radionuklida.

Analisis spektrometri gamma untuk mengetahui kandungan Th-232 telah dilakukan pada 24 sampel dengan cara membandingkan emisi gamma Tl-208 pada energi 2.614 keV dengan emisi gamma Ac-228 pada energi 908 keV. Untuk mengetahui efek samping bijih FeCb terhadap areal yang terkontaminasi, maka konsentrasi dan tingkat keseimbangan radionuklida dalam deret uranium dan thorium, dan perbandingan nuklida dalam deret uranium terhadap nuklida dalam deret thorium. Detektor yang digunakan adalah detector NaI 8 inci.

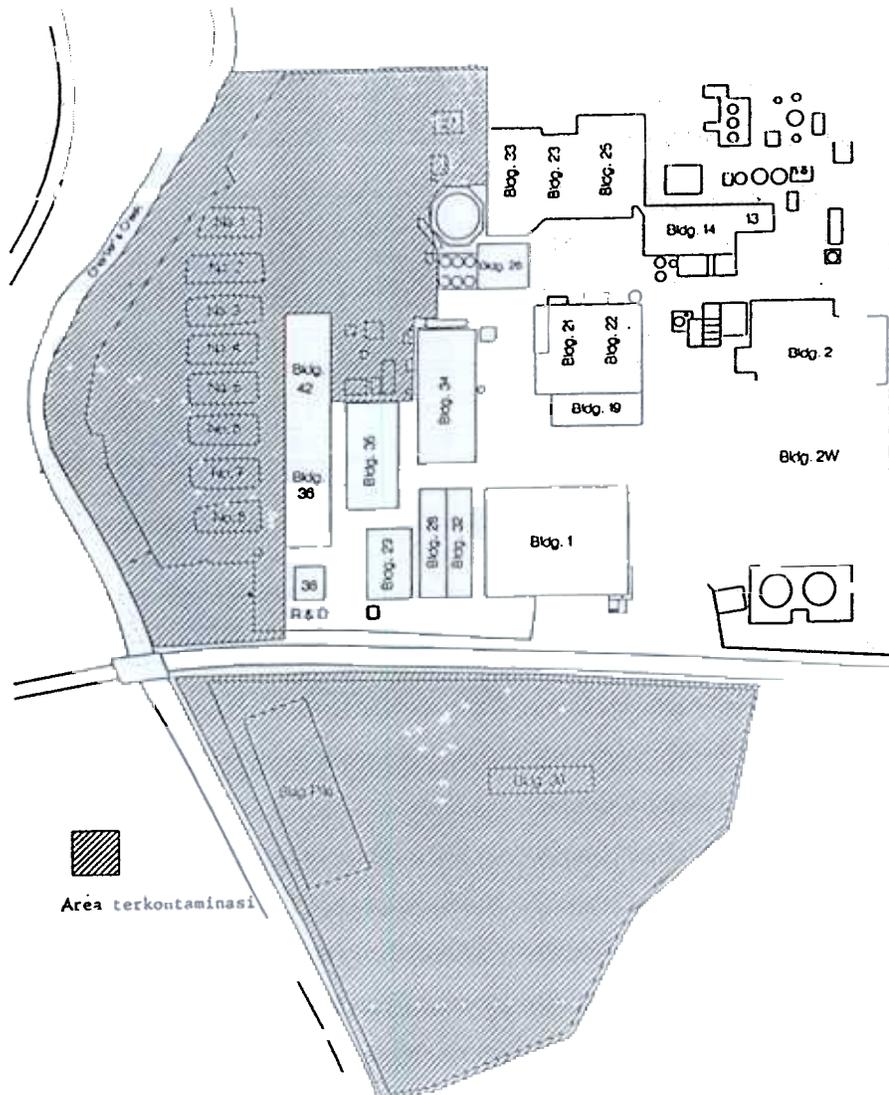
b. Kandungan gas radioaktif (thoron dan radon) dalam tanah.

Kandungan thoron (Rn-220) diukur dengan menempatkan sampel dalam tabung emanasi yang dirangkai dengan tabung Lucas. Diagram peralatan dapat dilihat dalam Gambar 2. Setelah sampel diletakkan dalam tabung, peralatan dibuat hampa, kemudian diisi dengan nitrogen bebas radon. Sampel dibiarkan beremanasi selama 0,25-2 jam (waktu pertumbuhan thoron dan cukup untuk mencegah pertumbuhan gas radon selama pengukuran thoron). Gas nitrogen yang mengandung thoron dalam tabung emanasi kemudian dialirkan ke dalam tabung Lucas. Emisi alfa dari thoron segera dicacah 4 kali berturut-turut masing-masing selama 1 menit dengan pencacah Ludlum untuk mengukur umur paruh gas thoron. Metode pengukuran

radon ($Rn-222$) sama dengan thoron tetapi waktu pertumbuhannya 3 hari dan pencacahannya 10 menit untuk memberi waktu bagi thoron untuk meluruh. Radon yang terkumpul dicacah selama 30 menit dua kali berturut-turut.

d. Kandungan thorium dalam tanah

Sampel tanah permukaan dan sub permukaan (± 200 g) dari lokasi yang terkontaminasi digerus dan disaring dengan penyaring ANSI nomor 4 (4,75 mm), 50 (0,30

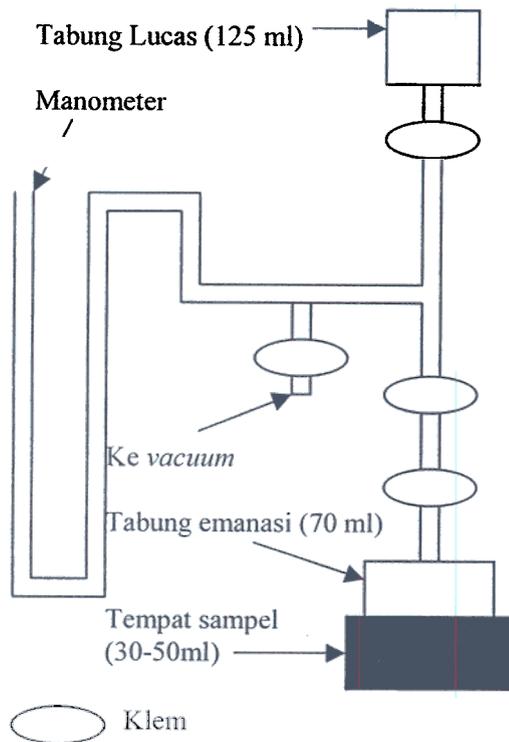


Gambar Denah Pabrik Molycorp Inc. dan area tempat pengukuran gross gamma eksternal dan internal serta lokasi pengambilan sampel.

c. Survei gross gamma eksternal

Pengukuran gross gamma eksternal dilakukan dengan PIC (*pressurized ionization chamber*) dan sintilometer merk Ludlum Model 19 pada ketinggian 1 meter di atas tanah.

mm), 100 (0,15 mm), dan 200 (0,075 mm) kemudian ditempatkan dalam wadah plastik (marinelli) tertutup berdiameter 4 inchi dan dicacah pada detector NaI 6 inchi yang dirangkai dengan MCA Aptec Odyssey.



Gambar 2. Skema rangkaian peralatan untuk studi emanasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis spektrometri gamma yang dilakukan pada 24 sampel FeCb bertujuan mengetahui konsentrasi Th-232 melalui tingkat keseimbangan radioaktif antara Th-228 dengan Th-232. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi Th-228 dalam bijih FeCb adalah $680,53 \pm 90,89$ pCi/g. Hasil analisis selengkapnya disajikan dalam Tabel 1. Telah diketahui bahwa kelimpahan unsur Tl-208 dalam deret thorium adalah 36%, sedangkan perbandingan cacah antara Ac-228 dan Tl-208 dalam penelitian ini adalah 0,34 atau 34% (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa Th-232 dalam sampel sangat mendekati keseimbangan dengan Th-228, sehingga konsentrasi Th-228 adalah indikasi Th-232.

Tabel 1. Hasil analisis spektrometri gamma pada sampel bijih logam FeCb.

Sampel	Cacah net Ac-228	Cacah net Tl-208	Tl-208/Ac-228	Th-228* (pCi/g)
TP1-2	69.400	24.000	0,35	491,16
TP1-3	61.096	20.629	0,34	600,01
TP1-4	56.131	17.746	0,32	599,56
TP1-5	37.137	13.024	0,35	773,22
TP2-4	52.805	18.816	0,36	310,55
TP3-2	78.600	28.800	0,37	590,13
TP3-3	56.133	19.502	0,25	799,22
TP3-4	55.907	20.421	0,37	435,55
TP3-5	48.907	13.870	0,28	284,21
TP4-1	59.188	21.007	0,35	1.240,61
TP4-2	54.394	20.099	0,37	1.074,94
TP4-3	55.340	18.762	0,34	1.191,38
TP5-2	55.776	17.048	0,31	91,95
TP5-3	56.273	19.391	0,34	979,89
TP6-1	48.800	17.101	0,35	66,78
TP6-2	35.831	10.226	0,29	493,98
TP6-4	59.767	20.427	0,34	1.151,77
TP6-6	28.950	9.568	0,33	1.453,28
TP6-7	54.285	18.579	0,34	1.156,69
TP6-8	54.042	18.235	0,34	892,07
TP7-4	49.765	18.618	0,37	152,25
TP7-5	50.329	13.650	0,27	22,13
TP7-7	53.851	17.292	0,32	66,98
TP7-9	52.831	18.051	0,34	544,68
		Rata-rata	0,34 ± 0,03	680,53 ± 90,89

*) Konsentrasi Th-228 diperoleh dari cacah netto Tl-208

Hasil analisis emanasi thoron dalam bubuk tanah (Tabel 2) menunjukkan bahwa konsentrasi thoron adalah $0,77 \pm 0,09$ pCi/g dan waktu paruh rata-rata gas radioaktif yang terkumpul adalah $63,96 \pm 11,79$ detik yang menunjukkan bahwa apa yang diukur dengan pencacahan gross alfa adalah emanasi thoron dari Th-232 yang terkandung dalam sampel. Karena sample dibiarkan beremanasi selama waktu pertumbuhan minimal 10 kali umur paruh thoron, maka thoron akan berada dalam keseimbangan dengan induknya yaitu Th-232, sehingga tidak perlu mengoreksi waktu pertumbuhan. Daya emanasi adalah

perbandingan antara konsentrasi thoron yang diemanasi dari matrik bubuk bijih pada kondisi keseimbangan sekular dengan konsentrasi thorium dalam matrik bubuk tanah yang dilakukan oleh ERTL dan Enserch (konsultan radiasi lingkungan di Pennsylvania). Tabel 2 menunjukkan bahwa fraksi emanasi thoron rata-rata adalah $1,27E-3 \pm 1,37E-4$.

Konsentrasi Th-232 dalam tanah hasil

analisis spektrometri gamma adalah $603,44 \pm 67,88$ pCi/g. Jika dibandingkan dengan sampel tanah dari lingkungan normal sebagai kontrol yakni hasil penelitian oleh Sutarman dkk. [5] di daerah Jawa Barat yang sebesar $0,01-1,79$ pCi/g maka lingkungan di lokasi Pabrik Molycorp sudah terkontaminasi oleh Th-232 sampai kurang lebih 300-70.000 kali. Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran oleh

Tabel 2. Hasil analisis emanasi thoron dan konsentrasi Th-232 dalam bubuk tanah.

Sampel	Konsentrasi thoron (pCi/g)	Waktu paruh (detik)	Fraksi emanasi	Konsentrasi Th-232 terukur (pCi/g)	Konsentrasi thoron (pCi/g) dalam tanah -100 mesh
TP1-2	0,67	94,65	1,36E-03	491,16	0,19
TP1-3	1,56	50,21	2,60E-03	600,01	0,32
TP1-4	1,46	56,56	2,43E-03	599,56	0,38
TP1-5	0,80	62,60	1,04E-03	773,22	1,06
TP1-6*	0,82	51,92	2,31E-03	353,00	0,25
TP2-4	0,29	79,66	9,27E-04	310,55	0,26
TP2-4D	0,36	65,47	1,16E-03	310,55	TD
TP3-2	1,18	58,22	1,99E-03	590,13	1,01
TP3-3	0,84	59,77	1,05E-03	799,22	1,06
TP3-4	0,60	75,10	1,38E-03	435,55	0,64
TP3-5	BBD	TD	TD	284,21	BBD
TP3-6*	0,49	56,85	5,87E-04	830,00	0,55
TP3-8*	BBD	TD	TD	610,00	0,92
TP4-1	1,25	60,65	1,01E-03	1.240,61	1,17
TP4-2	1,06	52,63	9,85E-04	1.074,94	1,14
TP4-3	0,64	67,33	5,38E-04	1.191,38	0,69
TP5-1*	1,46	44,10	2,38E-03	614,00	0,58
TP5-2	BBD	TD	TD	91,95	BBD
TP5-3	0,69	55,86	7,06E-04	979,89	0,66
TP6-1	BBD	TD	TD	66,78	BBD
TP6-2	0,38	76,30	7,60E-04	493,98	0,44
TP6-3*	0,44	68,20	7,99E-04	553,00	0,39
TP6-6	0,91	72,69	6,29E-04	1.453,28	1,06
TP6-7	1,60	70,74	1,39E-03	1.156,69	1,13
TP6-8	0,87	61,18	9,79E-04	892,07	1,24
TP7-3*	1,270,26	72,36	9,29E-04	279,00	0,52
TP7-4	BBD	TD	TD	152,25	0,26
TP7-5	BBD	TD	TD	22,13	BBD
TP7-7	BBD	TD	TD	66,98	BBD
TP7-9	1,70	60,34	3,13E-03	544,68	2,55
TP7-10*	0,58	61,70	6,84E-04	847,00	0,98
Rata-rata	0,77±0,09	64,96±11,10	1,27E-03 ± 1,37E-04	603,44 ± 67,88	0,78 ± 0,10

Catatan : BBD : Di bawah batas deteksi (0,236 pCi/g), TD: tidak ada data, *: diukur oleh Enserch

peneliti yang lain [Leli Nirwani dkk. dalam 6] yang menemukan konsentrasi Th-228 sebesar 0,223 pCi/g maka konsentrasi Th-228 hasil penelitian ini ± 3.000 kali lebih besar. Konsentrasi aktivitas radionuklida alamiah Th-232 dalam berbagai macam tanah yang dicatat oleh UNSCEAR 1988 [7] adalah berkisar antara 7 – 50 Bq/kg (0,19-1,35 pCi/g) sehingga konsentrasi Th-232 dalam tanah yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebesar 450-3.100 kali lebih besar. Dengan demikian maka lingkungan pabrik telah terkontaminasi oleh Th-232 selama 70 tahun beroperasi dan oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan yang sangat intensif baik pada lingkungan maupun para pekerjanya

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa tidak ada perbedaan konsentrasi thoron antara sampel tanah tidak disaring dengan tanah disaring (berukuran -100 mesh). Dengan demikian ukuran partikel tidak berpengaruh pada konsentrasi thoron dan hal ini didukung

oleh fraksi emanasi yang hampir sama ($1,27E-03$ untuk yang tidak disaring dan $1,18E-03$ untuk yang disaring).

Pengukuran konsentrasi radon yang diemanasi dari 30 sampel tanah menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata radon dalam tanah yang tidak disaring adalah $0,17 \pm 0,03$ pCi/g sedangkan yang disaring dengan ANSI nomor 100 adalah $0,91 \pm 0,15$ pCi/g (Tabel 3). Dengan demikian konsentrasi radon dalam tanah yang disaring 5.3 kali lebih tinggi daripada tanah yang tidak disaring, hal ini disebabkan karena permukaan tanah yang disaring lebih luas.

Pengukuran thoron juga dilakukan dengan menggunakan prosedur yang sama dengan sampel bubuk thorium. Dari data diketahui bahwa konsentrasi thoron yang terkumpul adalah $0,78 \pm 0,10$ pCi/g dengan waktu paruh gas thoron adalah $55,91 \pm 2,83$ detik dan fraksi emanasinya adalah $1,18E-03 \pm 1,67E-04$ (data lengkap tidak disajikan).

Tujuan studi fraksinasi adalah untuk

Tabel 3. Hasil studi emanasi radon dalam bubuk tanah berdasarkan ukuran partikel.

Sampel	Konsentrasi Rn-222 (pCi/g)		Sampel	Konsentrasi Rn-222 (pCi/g)	
	Tidak disaring	Disaring (ANSI 100)		Tidak Disaring	Disaring (ANSI 100)
TP1-2	0,09	0,32	TP5-1	0,26	0,94
TP1-3	0,11	0,24	TP5-2	0,13	0,41
TP1-4	0,12	0,74	TP5-3	0,90	0,28
TP1-5	0,12	1,12	TP6-1	0,03	BBD
TP1-6	0,11	BBD	TP6-2	0,10	0,70
TP2-4	0,05	0,44	TP6-3	0,16	0,61
TP3-2	0,05	0,56	TP6-6	0,11	2,50
TP3-3	0,14	1,33	TP6-7	0,20	2,78
TP3-4	0,11	0,91	TP6-8	0,07	0,76
TP3-5	0,08	0,33	TP6-10	0,21	0,80
TP3-6	0,09	0,61	TP7-3	0,21	0,31
TP3-8	0,08	0,50	TP7-4	0,07	0,28
TP4-1	0,20	1,02	TP7-5	0,06	0,44
TP4-2	0,58	1,54	TP7-7	0,25	3,43
TP4-3	0,09	1,17	TP7-9	0,42	1,77
			Rata-rata	0,17 ± 0,03	0,91 ± 0,15

mengetahui konsentrasi relatif Th-232 sebagai fungsi ukuran partikel. Enam sampel bijih logam, 12 sampel tanah permukaan dan 12 sampel pengeboran digerus sehingga berukuran 4, 50, 100 dan 200 mesh dan dianalisis kandungan Th-232-nya dengan spektrometri

gamma. Tabel 4a, 4b dan 4c menunjukkan hasil studi fraksinasi tersebut dan terlihat bahwa konsentrasi Th-232 bertambah besar dengan mengecilnya ukuran partikel untuk semua jenis sampel kecuali bubuk thorium ukuran 4 mesh.

Tabel 4a. Konsentrasi Th-232 (pCi/g) dalam tanah sub permukaan berdasarkan ukuran partikel.

Sampel	Ukuran mesh standard			
	4	4 - 50	50 - 100	100 - 200
SB-56-02	22,1	14,7	13,1	15,1
SB-56-03	20,2	16,0	9,4	9,8
SB-56-15	12,0	15,0	59,9	47,1
SB-56-21	3,6	44,9	58,7	74,8
SB-56-24	25,1	32,7	64,0	106,3
SB-56-18	15,1	18,5	332,0	497,1
SB-56-27	8,5	24,1	14,3	7,2
SB-56A-09	12,5	23,6	15,0	0,0
SB-56A-08	13,2	84,0	141,0	159,6
SB-56C-08	29,0	56,7	33,6	50,9
SB-56C-10	2,5	0,0	95,3	27,7
SB-56C-11	5,1	58,0	12,9	18,6
Rata-rata	14,1±2,5	32,4±6,9	70,8±26,4	84,5±39,9

Tabel 4b. Konsentrasi Th-232 (pCi/g) dalam tanah permukaan berdasarkan ukuran partikel.

Sampel	Ukuran mesh standard			
	4	4 - 50	50 - 100	100 - 200
SG-01-A	88,6	139,7	154,6	TD
SG-01-B	9,6	51,5	85,9	278,0
SG-01-C	33,7	68,3	118,0	166,4
SG-01-D	39,2	50,0	90,3	125,6
SG-04-B	21,0	60,3	121,2	139,1
SG-31-A	0,0	35,7	44,6	57,6
SG-31-D	135,4	191,6	191,4	191,6
SG-34-A	153,6	116,4	116,8	157,1
SG-35-B	23,3	40,8	145,9	1048,0
SG-39-C	107,5	149,2	234,2	359,2
SG-39-D	31,7	56,9	115,2	149,0
SG-46-A	27,1	85,4	208,5	160,0
Rata-rata	55,9±14,9	87,1±14,5	135,6±15,7	257,4±82,6

Tabel 4c. Konsentrasi Th-232 (pCi/g) dalam bubuk thorium berdasarkan ukuran partikel.

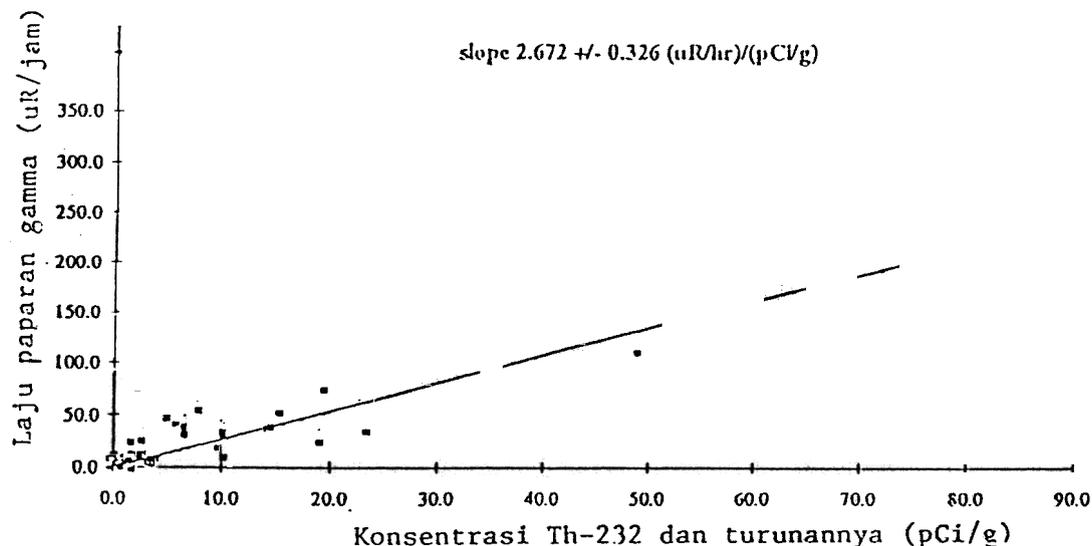
Sampel	Ukuran mesh standard			
	4	4 - 50	50 - 100	100 - 200
TP-1-2	370,5	328,3	TD	379,8
TP-1-6	410,9	295,8	615,5	202,6
TP-3-6	889,4	583,7	520,0	724,6
TP-5-1	349,6	361,6	305,0	499,4
TP-6-7	716,4	901,9	920,0	1190,0
TP-7-3	186,3	204,7	121,4	229,5
Rata-rata	487,2±107,0	446,0±104,7	496,4±136,3	537,6±152,1

Pengaruh ukuran partikel terhadap tingkat keseimbangan turunan Th-232 melalui perbandingan Tl-208 dengan Ac-228 telah dilakukan dengan cara sama seperti prosedur di depan. Tabel 5 menyajikan hasil studi tersebut dan terlihat bahwa perbandingan *branching* untuk Tl-208 adalah 36%. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan tersebut tidak dipengaruhi oleh ukuran partikel dan radionuklida dalam deret Th-232 sangat mendekati keseimbangan.

dalam tanah permukaan yang dihubungkan dengan laju paparan sinar gamma eksternal. Gambar 3 menunjukkan hasil analisis regresi linier hubungan antara pengukuran PIC dengan konsentrasi rata-rata Th-232 dalam tanah. Pada kondisi uniform, factor koreksi Beck [8] dan NCRP-50 [9] adalah 2,82 $\mu\text{R}/\text{jam}$ untuk setiap 1 pCi/g Th-232 dalam keseimbangan dengan turunannya dalam sampel tanah yang terdistribusi uniform karena diperoleh "error"

Tabel 5. Perbandingan aktivitas Tl-208/Tc-228 dalam sampel berdasarkan ukuran partikel.

Sampel	Ukuran mesh standard				Rata-rata
	4	4-50	50-100	100-200	
TP1-1	0,345	0,341	TD	0,346	0,344
TP1-6	0,345	0,369	0,322	0,388	0,356
TP3-6	0,341	0,334	TD	0,348	0,341
TP5-1	0,371	0,368	0,418	0,346	0,376
TP6-7	0,390	0,314	0,426	TD	0,377
TP7-3	TD	TD	TD	0,349	0,349
Rata-rata	0,358	0,345	0,389	0,355	0,359



Gambar 3. Hasil analisis regresi linier hubungan antara pengukuran PIC dengan konsentrasi rata-rata Th-232 dalam tanah.

Tujuan survei gamma eksternal ini adalah untuk mengetahui di bagian mana dari lokasi pabrik yang mengandung bahan radioaktif melebihi batas opsi 1 (5 pCi/g) dan juga untuk mengoreksi pengukuran Th-232

yang besar dari konsentrasi Th-228 dan data yang menyebar. Meskipun demikian *slope* garis regresi $2,67 \pm 0,33$ ($\mu\text{R}/\text{jam}$)/(pCi/g) hampir sama dengan faktor koreksi NCRP-50 [9] dan Beck [8]. Kalibrasi Beck juga mendukung

bahwa batas opsi 1 (5 pCi/g Th-232 dalam keseimbangan dengan anak luruhnya) dan memberikan laju paparan sebesar 14,1 μ R/jam.

Untuk mengetahui karakteristik pengemisi pengeboran dari luar area juga dianalisis dengan spektrometri gamma menggunakan detektor beresolusi tinggi dan hasilnya disajikan dalam Tabel 5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa radionuklida yang berada dalam tanah tersebut terutama adalah K-40 dan radionuklida dalam deret radium, sedangkan konsentrasi Th-232 dan anak luruhnya adalah rendah. alamiah dalam tanah, 12 sampel

Tabel 6. Konsentrasi radionuklida dalam 12 sampel tanah di luar area.

Radionuklida	Aktivitas rata-rata (pCi/g)
Pb-210	1,625 \pm 0,243
Th-234	1,118 \pm 0,158
Pb-212	1,104 \pm 0,055
Pb-214	1,024 \pm 0,046
Ac-228	0,969 \pm 0,047
Tl-208	1,062 \pm 0,201
Bi-214	1,088 \pm 0,153
Bi-212	1,080 \pm 0,062
Th-228	0,744 \pm 0,052
K-40	0,944 \pm 0,052

IV. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas diperoleh kesimpulan bahwa konsentrasi rata-rata Th-232 dalam bijih logam FeCb dengan spektrometri gamma adalah 680,53 \pm 90,89 pCi/g. Perbandingan cacah antara Ac-228 dan Tl-208 adalah 34% yang menunjukkan bahwa Th-232 dalam sampel FeCb sangat mendekati keseimbangan dengan anak luruhnya. Hasil studi emanasi menunjukkan bahwa konsentrasi thoron dalam bubuk tanah adalah 0,77 \pm 0,09

pCi/g dengan waktu paruh 64,96 \pm 11,10 detik dan konsentrasi radon adalah 0,17 \pm 0,03 pCi/g. Konsentrasi Th-232 rata-rata dalam tanah dan bubuk thorium cenderung membesar dengan mengecilnya ukuran partikel dan konsentrasi tertinggi terlihat pada ukuran 100-200 mesh. Gross gamma eksternal yang terukur adalah sebesar 14,1 μ R/jam.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pimpinan dan seluruh staf ERTL yang telah membimbing dan memberi saran hingga tulisan ini selesai. Terima kasih juga disampaikan kepada NRC sebagai penyandang dana training.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Plan for Site Characterization in Support of decommissioning of Molycorp Inc. Washington Pa Facility, Molycorp Inc. and its consultants, Washington PA, August 1993.
2. SOHRABI, M., The state-of-the-art on worldwide studies in some environments with elevated naturally occurring radioactive materials (NORM), Appl. Radiat. Isot. 49 (3), 1998, 169-188.
3. WRENN, M.E. et al. Support documentation for site characterization report for the decommissioning of the Molycorp, Inc. Washington, PA Facility, ERTL University of Utah, Salt Lake City, 1995.
4. SINGH, N.P. and WRENN, M.E., Tracers and methods for determining thorium and uranium in biological samples, In : Wrenn, M.E. Editor : *Actinides in man and animals*, Salt Lake City (Utah), RD Press, 1981, 53-68.
5. SUTARMAN, WAHYUDI dan WARSONA, A., Penentuan konsentrasi 238U, 232Th, dan 40K dalam tanah dan laju paparan total menggunakan spektrometri gamma in situ di daerah Jawa

- Barat, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan VIII, 23-24 Agustus 2000, 42-49.
6. NIRWANI, L., SUTARMAN, dan WAHYUDI, Konsentrasi ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs , dan ^{40}K di dalam tanah pada beberapa daerah di Propinsi Jawa Barat, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan VIII, 23-24 Agustus 2000, 111-116.
 7. UNSCEAR 1988, Sources, effects and risks of ionizing radiation, United Nations, New York, 1988, 95-122.
 8. BECK, H.L., DE COMPO, J.A., and GOGOLAK, C.V. In situ Ge(Li) and NaI(Tl) gamma ray spectrometry, Report HASL-258 (US. Atomic Energy Commission, New York).
 - o NCRP Report No. 50, Environmental radiation measurement, National Council on Radiation Protection and Measurements, Washington DC., 1976, hal. 38-40.

TANYA JAWAB :

Marzaini Nareh – P3KRBiN BATAN

1. Apakah yang dimaksud dengan karakteristik radiologik disini ?
2. Sebaiknya satuan disajikan dalam Bq/kg.
3. Mengapa kandungan gas radioaktif bertambah dengan mengecilnya ukuran sample ?

Mukh Syaifudin

1. Di dalam penelitian ini adalah konsentrasi thorium dan gas radioaktifnya (radon dan thoron) dalam tanah permukaan, sub permukaan dan bijih logam FeCb (slag).
2. Terima kasih atas sarannya.
3. Karena dengan mengecilnya ukuran sample maka luas permukaannya bertambah luas sehingga emisi gas dari sample juga bertambah.