

KAJIAN Pb-210 DALAM BIOTA, AIR DAN SEDIMEN LAUT SEKITAR CALON TAPAK PLTN UJUNG LEMAHABANG

Rosidi dan Sukirno

P3TM – BATAN

ABSTRAK

KAJIAN Pb-210 DALAM BIOTA, AIR DAN SEDIMEN LAUT SEKITAR CALON TAPAK PLTN UJUNG LEMAHABANG Rencana lokasi pembangunan Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama di Indonesia, yang akan dibangun terletak disekitar Ujung Lemahabang Muria. Dalam rangkaantisipasi kemungkinan terjadi perubahan radioaktivitas karena pengoperasian PLTN, perlu dipersiapkan rona awal aktivitas radioaktivitas alam didaerah tersebut Instrumen yang digunakan adalah spektrometer gamma Ortec dengan detektor Ge(Li). Hasil identifikasi radionuklida Pb-210 pada musim penghujan untuk ikan kerapu; 0,52 Bq/kg ganggang coklat 7,39 Bq/kg ganggang merah 1,53 Bq/kg dan ganggang hijau 3,06 Bq/kg, sedangkan pada musim kemarau untuk ikan kerapu, ganggang coklat, merah dan hijau berturut-turut adalah; 0,0849; 0,849; 0,20 dan 0,39 Bq/kg. Radionuklida Pb-210 dalam air laut masih jauh dibawah nilai batas radioaktif lingkungan (4.000 mBq/l) menurut SK Kepala BAPETEN Nomor 02/Ka.BAPETEN/V-99. Radioaktivitas Pb-210 terukur adalah 2.58 mBq/l. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa kedua musim tidak berbeda secara nyata pada pengujian dengan taraf kepercayaan 95%. $F_B < F_D$ disetiap cuplikan, hal ini menunjukkan Pb-210 pada perairan tersebut lebih besar bertransfer ke sedimen daripada ke biota.

ABSTRACT

STUDY OF Pb-210 ON BIOTA, WATER AND SEDIMENT MARINE SAMPLES AROUND NPP CANDIDATE LEMAHABANG REGION. Lemahabang Muria peninsula region has been selected as the first Indonesian nuclear power plant (NPP) site candidate. To anticipate the change of radioactivity before, and after NPP operation must be prepared data base of natural radioactivity exposure at this area. The analysis of radioactivity using gamma spectrometer of Ortec with Ge(Li) detector. The radioactivity of Pb-210 in the rain season of kerapu fish 0.52 Bq/kg, brown algae 7.39 Bq/kg red algae 1.53 Bq/kg, and green algae 3.06 Bq/kg while for dry season radioactivity of kerapu fish, brown algae, red algae and green algae were 0,0849; 0,849; 0,20 and 0,39 Bq/kg respectively. Radioactivity of Pb-210 of sea water were much lower than that of the threshold value of environmental radioactivity (4.000 mBq/l) based on Act of Kepala BAPETEN No 02/Ka.BAPETEN/V-99. The maximum radioactivity of Pb-210 of sea water measured was 2,58 m Bq/l. The statistic test result shows that there is no significant no difference between both seasons with the significant level 95%. $F_B < F_D$ for all samples, in that case Pb-210 in the water which was transferred in sediment is greater than that of to the biota.

PENDAHULUAN

Radioaktivitas biota di perairan pantai Ujung Lemahabang, Kabupaten Jepara diperkirakan akan mengalami perubahan yang sangat signifikan sebagai konsenkuensi dari perkembangan di berbagai sektor dan akan beroperasinya PLTU Tanjungjati B. Perubahan radioaktivitas biota di perairan ini menyebabkan data rona awal (*base line*) radioaktivitas biota di perairan diperkirakan akan mengalami perubahan yang direpresentasikan oleh peningkatan kadar radioaktivitas biota, terutama pengukuran radioaktivitas radionuklida Pb-210. Untuk

mengetahui perubahan tersebut maka radioaktivitas biota perairan harus dianalisis sebelum dan sesudah beroperasinya PLTU.

Keterangan IAEA (1) dan menurut HISWARA (2) sumber-sumber radiasi yang berasal dari alam memberikan sumbangan paparan radiasi terbesar pada kehidupan manusia. Lebih dari 85 % dosis radiasi rata-rata efektif yang diterima manusia dari radionuklida alam. Sumber radiasi alam tersebut meliputi sumber yang berasal dari kosmik yaitu hasil dari interaksi sinar kosmik dengan atom-atom di atmosfer, ini disebut radionuklida kosmogenik,

dan sumber radiasi alam lainnya adalah deret uranium, deret thorium, deret aktinium dan hasil anak luruhnya serta K-40, radionuklida ini disebut radionuklida primordial yang sudah ada sejak terbentuknya alam semesta.

Salah satu anak luruh dari deret uranium (U-238) adalah Pb-210 dan menjadi stabil pada nuklida Pb-206. Keterangan IAEA (1) dan menurut ERDTMANN dkk (3) Radionuklida Pb-210 merupakan radiasi alam memancarkan partikel beta dan gamma pada energi 46,52 keV dan mempunyai probabilitas isotopik 4 %, dan umur paro 20,4 tahun[1,3], yang berasal dari kerak bumi. Ada dua sumber pokok Pb-210 yaitu berasal dari udara sebagai partikel aerosol yang berterbangan dan jatuh ke permukaan dan berasal dari tanah atau dari sedimen itu sendiri. Menurut BAROKAH dkk (4) sumber Pb-210 dari udara disebut sebagai *unsupported* sedangkan dari tanah atau batu-batuan disebut sebagai *supported*. [4] Pb-210 *unsupported* di udara biasanya berasal dari kegiatan instalasi nuklir, industri yang menggunakan bahan alam maupun instalasi PLTU batu bara dan lain-lain. Sifat kimia Pb-210 sama dengan Pb stabil, mudah teradsorpsi oleh hampir semua padatan alamiah seperti lempung, oksida sulfida, maupun zat-zat organik sehingga kecil kemungkinan untuk termobilisasi.

Menurut DAHLGARD (5) faktor bioakumulasi dan faktor distribusi dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan organisme untuk mengakumulasi dan melakukan distribusi logam berat dari lingkungannya. Faktor bioakumulasi (F_B) dan faktor distribusi (F_D) merupakan angka banding antara aktivitas logam berat dalam biota dan atau sedimen dengan aktivitas logam berat dalam air laut yang dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan organisme dalam mengakumulasi radioaktivitas.

Tujuan pengukuran radioaktivitas untuk identifikasi radionuklida Pb-210 adalah untuk memperoleh informasi aktivitas Pb-210 dalam biota, air dan sedimen laut dan dapat dipergunakan sebagai rona awal radioaktivitas biota perairan di daerah calon tapak PLTN Ujung Lemahabang Muria Jawa Tengah yang mengakomodasikan data lingkungan terkini.

TATA KERJA

Bahan

Cuplikan ganggang merah, ganggang hijau ganggang coklat dan ikan kerapu, N₂ cair, air laut, sediment, SRM sedimen IAEA 315, dan isotop sumber pemancar multi gamma Eu-152.

Alat

Wadah *sampel* ganggang dan *cool box* tempat pendingin ikan kerapu, freezer, wadah pencacahan, pengering lampu, lumpang tahan karat, mortar penggerus, ayakan 100 mesh, timbangan analitik dan seperangkat Spektrometer Gamma dengan detektor Ge(Li).

Cara Kerja

Sampling

Cuplikan ganggang merah, ganggang hijau ganggang coklat dan ikan kerapu diambil di laut sekitar Lemahabang pada musim penghujan (27 Februari 2003) dan musim kemarau tahun pertama (23 Juli 2003) dan musim kemarau tahun kedua (18 Agustus 2004), sedangkan tahun kedua musim penghujan tidak dilakukan sampling.

Ganggang dipisahkan sesuai dengan jenisnya, dimasukkan dalam kantong plastik berlabel untuk dibawa ke laboratorium dan disimpan dalam freezer. Ikan kerapu dipancing diperairan Lemahabang dan sebagian dibeli pada nelayan. Ikan tersebut dimasukan dalam *cool box* yang berisi es kemudian dibawa ke laboratorium dan dimasukan dalam *freezer* sebelum dilakukan preparasi.

Preparasi

Preparasi cuplikan kelautan dilakukan berpedoman pada penelitian yang telah dilaksanakan di laboratorium Dasar Inovasi Bahan (DIB) oleh SUKIRNO dkk (6). Begitu juga dalam perhitungan, persamaan-persamaan yang digunakan pada makalah ini mengacu pada buku yang ditulis oleh SUSETYO (7) dan makalah SUKIRNO dkk.(6).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kualitatif dan Kuantitatif

Pengukuran cuplikan dilakukan pada kondisi alat yang tepat sama dengan kondisi kalibrasi. Puncak spektrum γ untuk Pb-210, dapat dicatat nomor salurnya. Setelah mendapat nilai tenaga tetap, maka dengan menggunakan tabel isotop yang disusun oleh ERDTMANN DAN SOYKA (4), diperoleh radionuklida Pb-210 yang diinginkan.

Hasil pengukuran aktivitas radionuklida Pb-210 dalam ikan kerapu dan ganggang disajikan pada Tabel 1. Terlihat aktivitas ikan kerapu lebih kecil dibandingkan dengan ganggang. Ganggang coklat mempunyai aktivitas tertinggi pada musim kemarau tahun pertama yaitu

sebesar $0,85 \pm 0,055$ Bq/kg dibandingkan dengan ganggang lainnya.

Menurut SUDJANA (8) untuk menguji apakah ganggang coklat, merah maupun hijau mempunyai aktivitas Pb-210 yang berbeda, pengaruh terhadap musim penghujan, kemarau tahun pertama dan kemarau tahun kedua, maka dilakukan pengujian hipotesis statistik dan

pengujian untuk aktivitas Pb-210 yang sama. Uji statistik menggunakan metoda analisis varians desain acak sempurna. Berdasarkan uji hipotesis bahwa aktivitas Pb-210 yang diamati, pada perbedaan kedua musim tahun pertama dan tahun kedua yaitu tidak berbeda secara nyata untuk semua jenis biota (ikan kerapu dan ganggang) yang diambil dari lingkungan.

Tabel 1. Data hasil pengukuran aktivitas Pb-210 (Bq/kg) dalam cuplikan biota

Jenis biota	Hasil cacah pengamatan (Bq/kg)		
	Penghujan I	Kemarau I	Kemarau II
Ikan kerapu	0,050	0,078	0,085
	0,058	0,091	0,071
	0,052	0,083	0,069
	0,042		0,071
Rerata (mg/kg)	$0,052 \pm 0,004$	$0,084 \pm 0,55$	$0,074 \pm 0,06$
Ganggang Coklat	0,66	0,74	0,65
	0,81	0,91	0,82
	0,72	0,89	0,78
			0,83
Rerata (mg/kg)	$0,73 \pm 0,068$	$0,85 \pm 0,072$	$0,77 \pm 0,071$
Ganggang hijau	0,56	0,54	0,71
	0,48	0,65	0,65
	0,46	0,59	0,65
			0,61
	$0,50 \pm 0,04$	$0,59 \pm 0,045$	$0,65 \pm 0,03$
Ganggang merah	0,13	0,18	0,19
	0,17	0,21	0,24
	0,16	0,19	0,21
			0,22
Rerata (mg/kg)	$0,15 \pm 0,014$	$0,20 \pm 0,020$	$0,22 \pm 0,021$

Hal ini berdasarkan perhitungan dari nilai F perhitungan lebih kecil daripada nilai F statistik dengan pengambilan taraf signifikan $\alpha = 0,05$ atau dengan taraf kepercayaan 95%, hasil uji statistik (nilai F) disajikan pada Tabel 6.

Pada Tabel 2, data hasil pengukuran aktivitas radionuklida Pb-210 dalam air laut dan aktivitas tertinggi yang diijinkan. Pada tabel terlihat bahwa aktivitas yang terukur untuk daerah pantai Lemahabang, tengah laut Lemahabang sekitar 2 km dari pantai dan daerah PLTU Ujung Jati B (pantai) sekitar 8 km dari pantai Lemahabang mempunyai aktivitas yang tidak jauh berbeda, bila dilakukan uji statistik menggunakan metoda analisis varians desain acak sempurna aktivitas Pb-210 tidak berbeda nyata. Pada musim penghujan untuk daerah PLTU dan tengah laut Lemahabang tidak dapat dilakukan berhubung ombak yang sangat besar.

Nilai batas kadar tertinggi yang diijinkan untuk radionuklida Pb-210 dalam air laut menurut

Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 02/Ka.BAPETEN/V-99, baku Mutu Radioaktivitas Lingkungan.[9], adalah 4.000 mBq/l untuk Pb-210 terlarut sedangkan untuk yang tidak terlarut adalah $7 \cdot 10^6$ mBq/l. Aktivitas radionuklida Pb-210 untuk cuplikan biota (ikan maupun ganggang) menurut keputusan tersebut, belum ada. Aktivitas terukur untuk musim penghujan dan kemarau sekitar 1,5-2,5 mBq/l masih dibawah dari aktivitas tertinggi yang diijinkan, sehingga air laut tersebut masih belum tercemar Pb-210, yang datang dari udara sebagai partikel aerosol yang berterbangan dan jatuh ke permukaan laut dan berasal dari sedimen dasar laut tersebut. Sumber Pb-210 dari udara disebut sebagai *unsupported* merupakan anak turunan Ra-226 adalah gas Rn-222 yang mudah menguap ke udara dan di udara membentuk Pb-210, kemudian radionuklida tersebut akan turun ke lautan bebas, dan dari sedimen laut disebut sebagai *supported*. Semua Pb-210 tersebut sumbernya dari peluruhan deret uranium.

Tabel 2. Data hasil Pb-210 dalam air laut dan aktivitas tertinggi yang diijinkan

Nama tempat	aktivitas (mBq/l)			Tertinggi diijinkan
	Terukur			
	Penghujan	Kemarau, I	Kemarau, II	
Pantai L Abang	1,528±0,15	2,307±0,15	1,87±0,16	4.000
Laut L.Abang	Tidak diambil	2,045±0,21	2,28±0,18	
Daerah PLTU	Tidak diambil	2,580±0,26	1,82±0,08	

Radioanuklida Pb-210 yang terdapat dalam sedimen dapat disajikan pada Tabel 3, pada tabel musim penghujan air dan sedimen laut tidak diambil untuk tahun pertama maupun kedua, kecuali pantai Lemahabang. Pada uji statistik aktivitas Pb-210 tidak mempunyai perbedaan

yang nyata. Pada Tabel 3 tersebut aktivitasnya sekitar 5,2-7,8 Bq/l, sehingga aktivitas Pb-210 yang terukur tidak akan berpengaruh untuk kedua musin pada tahun pertama (tahun 2003) maupun tahun kedua (tahun 2004).

Tabel 3. Data aktivitas Pb-210 dalam sedimen laut

Nama tempat	aktivitas Bq/kg		
	Penghujan	Kemarau, I	Kemarau, II
Pantai L Abang	6,28±0,54	7,82±0,67	5,18±0,60
Laut L.Abang	Tidak diambil	5,96±0,10	5,94±0,47
Daerah PLTU	Tidak diambil	5,77±0,53	7,15±0,44

Faktor Bioakumulasi (F_B) dan Faktor Distribusi (F_D)

Faktor bioakumulasi dan faktor distribusi tidak diperbandingkan pada kedua musim karena keduanya berlangsung dalam selang waktu yang berbeda. Faktor bioakumulasi dan faktor distribusi digunakan untuk mengetahui aktivitas Pb-210 dari lingkungan terlarut dalam air laut atau langsung terendapkan dalam dasar laut, atau kemampuan organisme untuk mengakumulasi dan melakukan distribusi radionuklida Pb210 dari lingkungannya.

Hasil perhitungan nilai perbandingan aktivitas ini melalui faktor distribusi dalam sedimen dan faktor bioakumulasi dalam biota seperti terlihat pada Tabel 4. Pada Tabel 4 tersebut, terlihat bahwa faktor bioakumulasi untuk ikan kerapu maupun ganggang lebih kecil daripada faktor distribusi atau $F_B > F_D$. Hal ini karena Pb-210 di perairan lebih banyak berpindah atau terendapkan ke sedimen dan pada lingkungan sedimen itu sendiri telah ada Pb-210 dari peluruhan deret uranium (U-238) alam yang telah ada sejak terbentuknya bumi ini. Sedangkan Pb-210 yang terdapat dalam biota bertransfer dari sedimen itu sendiri juga dari lingkungannya yang berasal dari jatuhnya dibawa air hujan dan kemudian bertransfer ke biota dengan melalui proses biotransformasi dan biakumulasi.

Dapat dilihat juga F_B biota pada musim penghujan pada umumnya lebih besar dari pada musim kemarau kecuali pada ikan kerapu. Hal ini karena proses akumulasi dan proses biotransformasi radionuklida Pb-210 lebih besar pada musim penghujan dari pada musim kemarau. Sedangkan bila dibandingkan akumulasi untuk biota maka ganggang coklat > ganggang hijau > ganggang merah > ikan kerapu. Berarti ganggang coklat lebih toleran dan lebih peka daripada ganggang hijau dan ganggang merah maupun ikan kerapu terhadap radionuklida Pb-210.

Nilai simpangan baku sangat perlu dalam pengukuran radioaktivitas lingkungan, pengukuran dengan tingkat kepercayaan 95 %, disajikan pada Tabel 5. Pengukuran nilai simpangan baku atau standar deviasi sangat tergantung dari pada besar dan kecil aktivitas cuplikan yang diukur, semakin kecil aktivitas cuplikan yang diukur maka nilai simpangan baku juga makin kecil dan begitu juga sebaliknya.

Presisi merupakan keseksamaan dari pengukuran radionuklida Pb-210 dengan menggunakan spektrometer gamma dengan detektor yang digunakan. Hasil presisi disajikan pada Tabel 5, dari perhitungan menghasilkan nilai rata-rata dibawah 10 %. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang digunakan untuk mengukur Pb-210, dengan ketelitian yang dapat dipertanggung jawabkan dan sangat baik.

Tabel 4. Hasil perhitungan faktor bioakumulasi (F_B) dan faktor distribusi (F_D) logam berat; air laut, ikan kerapu, ganggang, sedimen laut.

Musim	F_B (l/kg)			Ikan kerapu	F_D (l/kg)
	Ganggang				
	Coklat	Hijau	Merah		
Penghujan	4.836,4	3.311,5	1.014,4	340,3	4.109,9
Kemarau, I	3.680,1	1.716,9	879,9	368,0	3.389,7
Kemarau, II	4.628,9	3.940,1	1.329,3	443,1	3.101,7

Aktivitas minimum yang dapat dideteksi (MCA) untuk setiap cuplikan antara ganggang dan ikan kerapu mempunyai nilai yang sama, hal ini karena standar deviasi rerata dari pada latar

antara ikan kerapu dan ganggang sama. Pada Tabel 2 terlihat MCA adalah 0,098 Bq/kg, untuk musim kemarau maupun musim penghujan.

Tabel 5. Pengukuran simpangan baku, presisi dan aktivitas deteksi terendah untuk radionuklida Pb-210 dalam cuplikan ikan kerapu dan ganggang

Musim	Cuplikan	Simpangan baku	Presisi (%)	MCA Bq/kg
Hujan	Ikan kerapu	0,045	8,653	0,098
	Ganggang coklat	0,712	9,634	
	Ganggang merah	0,140	9,032	
	Ganggang hijau	0,231	4,562	
Panas	Ikan kerapu	0,094	10,600	
	Ganggang coklat	0,714	8,409	
	Ganggang merah	0,220	10,837	
	Ganggang hijau	0,382	9,644	

KESIMPULAN

- Identifikasi Pb-210 yang terdapat pada cuplikan biota (ikan kerapu dan ganggang), sedimen dan air laut dilakukan dengan teknik sepektrometri gamma melalui tenaga 46,52 keV. Aktivitas Pb-210 dalam biota terukur berkisar (0,05-0,85) Bq/kg dan sediment terukur berkisar (5,2-7,8) Bq/kg
- Faktor bioakumulasi lebih kecil daripada faktor distribusi, hal ini karena Pb-210 di perairan lebih banyak bertransfer ke sedimen dan pada biota dan dalam sedimen itu sendiri telah ada Pb-210 dari peluruhan deret uranium. Akumulasi ganggang coklat > ganggang hijau > lga merah > ikan kerapu, berarti ganggang coklat lebih toleran dan lebih peka daripada ganggang hijau dan ganggang merah maupun ikan kerapu terhadap radionuklida Pb-210.
- Nilai batas radioaktivitas untuk radionuklida Pb-210 untuk ikan maupun ganggang menurut: Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 02/Ka.BAPETEN/V-99, belum ada, sedangkan untuk air laut kadar tertinggi yang diijinkan untuk Pb210 terlarut adalah 4.000 mBq/l dan air laut yang terukur (1,5 -2,5) mBq/l, sehingga perairan tersebut masih jauh dari tercemar Pb-210.

DAFTAR PUSTAKA

- IAEA. "Measurement of Radionuclides in Food and The Environment", A Guide Book., "Tech Rep Ser No 295, IAEA, Vienna (1989)
- HISWARA, E. "Analysis Technique of Environment Radioactivity Samples." BATAN-JAERI Training course on Radiation Measurement and Nuclear Spectroscopy. Jakarta (1998)
- ERDTMANN, G., AND SOYKA. E. "The Gamma Rays of the Radionuclides.", New York (1979).
- ALIYANTA BAROKAH., SYAFALNI dan HARJONO "Penentuan Laju Infiltrasi Pb stabil Dalam Tanah Permukaan Berdasar Distribusi" Pusat Aplikasi Isotop & Radiasi.", Jakarta (1999)
- DAHLGAARD, H., "Marine Radioecology, Nordic Radiology: Compendium for a Nordic Postgraduate Course in General Radioecology.", Land Sweden (1991)
- SUKIRNO, MUZAKKY, TAFTAZANI A., "Identifikasi Radionuklida Pemancar gamma di Daerah Pantai Lemahabang Muria Dengan Spektrometer gamma". PPI-P3TM-BATAN Yogyakarta (2003)

7. SUSETYO. W., "Spektrometri Gamma Dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron.", Gadjah Mada University Press. (1988)
8. SUDJANA., "Desain dan Analisis Eksperimen." Edisi III. Penerbit Tarsito. Bandung (1989)
9. ANONIM. "Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 02/Ka.BAPETEN/V-99, Baku Mutu Radioaktivitas Lingkungan.", Jakarta (1999).

LAMPIRAN

Tabel 6. Daftar analisis varians model desain acak sempurna berlaku pada aktivitas radionuklida Pb-210 dalam cuplikan biota.

Biota	Sumber variasi	dk	JK	KT	F	
					Hitung	Tabel
Kerapu	Rerata	1	5,19	5,19	2,27	4,46
	Antar perlakuan	2	0,20	0,10		
	Dalam perlakuan	8	0,35	0,044		
Jumlah		11	5,44			
Ganggang Coklat	Rerata	1	616,16	616,16	1,68	4,74
	Antar perlakuan	2	1,92	0,96		
	Dalam perlakuan	7	3,99	0,57		
Jumlah		10	622,91			
Ganggang merah	Rerata	1	38,49	38,49	2,11	4,74
	Antar perlakuan	2	0,79	0,39		
	Dalam perlakuan	7	1,31	0,19		
Jumlah		10				
Ganggang Hijau	Rerata	1	352,84		4,73	4,74
	Antar perlakuan	2	3,98	1,99		
	Dalam perlakuan	7	2,98	0,42		
Jumlah		10	358,45			

catatan:

- DK = derajat Kebebasan
 JK = jumlah kuadrat-kuadrat semua nilai pengamatan
 Ry = jumlah kuadrat-kuadrat untuk rerata
 Ey = jumlah kuadrat-kuadrat dalam perlakuan
 F = kt (antar perlakuan)/dalam perlakuan

TANYA JAWAB

Sajimo

- Apa manfaatnya dengan mengetahui aktivitas Pb-210?
- Dengan sumber apa dilakukan kalibrasi?

Rosidi

- Untuk data base rona awal lingkungan sebelum dibangun PLTN, yang bisa

digunakan untuk membandingkan setelah ada PLTN.

- Dengan pemancar multi gamma ¹⁵²Eu.

Ngatijo

- Selain Pb-210 isotop apa saja yang ada dalam cuplikan sedimen?

Rosidi

- Selain Pb-210 ada Pb-212, Pb-214, Tl-208, Tc dan K-40 yang merupakan isotop pemancar gamma.