

KARAKTERISTIK TAPAK POTENSIAL DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF DAERAH SERANG BANTEN : Konsentrasi *Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM)* dalam Batuan Andesit, Breksi dan Tanah

Sucipta, Risdiyana Setiawan, Dadang Suganda, Arimuladi Setyo Purnomo

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN

E-mail : scipta@batan.go.id

ABSTRAK

KARAKTERISTIK TAPAK POTENSIAL DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF DAERAH SERANG BANTEN : Konsentrasi *Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM)* dalam Batuan Andesit, Breksi dan Tanah. Telah dilakukan pengukuran radiasi *Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM)* di lingkungan tapak potensial disposal limbah radioaktif daerah Serang Banten. Pengukuran konsentrasi NORM dilakukan untuk mengetahui rona awal konsentrasi NORM. Ruang lingkup kegiatan yang dilakukan meliputi pengukuran konsentrasi NORM, serta pengambilan contoh batuan dan atau tanah permukaan. Radionuklida yang diukur konsentrasinya meliputi Cs-137 (bukan NORM) dan K-40, Ra-226 dan Th-232 (NORM). Survey atau pengukuran radiasi NORM menggunakan alat *Gamma Spectrometry Portable* dan *Global Positioning System (GPS)*. Wilayah kerja pengukuran meliputi SRG-1, SRG-2, SRG-3 dan SRG-5 yang termasuk dalam wilayah tapak potensial berbatuan andesit dan breksi vokanik, serta SRG-4 yang mewakili tanah dan penggunaan lahan sawah. Dari hasil pengukuran diperoleh data bahwa 5 lokasi pengukuran memiliki konsentrasi NORM bernilai latar (*background*). Konsentrasi NORM pada ke 5 titik pengukuran tersebut masih jauh di bawah ambang batas maksimum yang diijinkan berdasarkan Peraturan Kepala (Perka) Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPATEN) dan rekomendasi Badan Tenaga Nuklir Internasional (IAEA).

Kata Kunci : NORM, tapak, disposal, limbah radioaktif.

ABSTRACT

CHARACTERISTIC OF THE POTENTIAL SITE FOR RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL IN SERANG BANTEN : Concentration of Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM) in the Andesite, Breccia and Soil. NORM radiation measurement of potential site for radioactive waste disposal at Serang Banten has been carried out. NORM measurements conducted to determine the baseline concentration of NORM. Scope of work performed includes measurements the concentration of NORM, as well as rock and surface soil sampling. NORM radionuclides concentration measured include Cs-137 (non NORM) and K-40, Ra-226, Th-232 (NORM). The NORM measurements performed with a Portable Gamma Spectrometry and Global Positioning System (GPS). The work area includes of SRG-1, SRG-2, SRG-3 and SRG-5 that are located in the andesitic and breccias rock of potential site for radioactive waste disposal. SRG-4 located on land farming with surface soil. The measurement results is, all location have NORM concentration that are worth the background. The concentration of NORM in all measurement points is still far below the maximum allowable under the Decree of BAPATEN Chairman and the International Atomic Energy Agency (IAEA) recommendation.

Keywords : NORM, disposal site, radioactive waste.

PENDAHULUAN

Pada tahun 2010 telah dilaksanakan kegiatan seleksi tapak potensial untuk disposal limbah radioaktif berdasarkan aspek-aspek geomorfologi, litostratigrafi, seismotektonik, vulkanologi, hidrologi, hidrogeologi, cebakan tambang, demografi, kawasan penting dan situs bersejarah^[1]. Wilayah-wilayah potensial telah dipilih untuk dilakukan studi, yang meliputi Serang, Serpong, Karawang, Subang, Sumedang, Jepara, Rembang dan Tuban. Dari evaluasi

terhadap wilayah-wilayah potensial tersebut telah diperoleh 10 (sepuluh) tapak potensial yaitu Ujungjaya (Sumedang), Kramatronggeng - Cilame (Karawang), Kragan (Rembang), Bancar (Tuban), Puloampel (Serang), Jatirogo (Tuban), Buahdua (Sumedang), Bojonegara (Serang), G. Pusu (Jepara) dan Serpong.

Untuk melengkapi data karakteristik tapak potensial tersebut maka pada tahun 2016 dilakukan pengukuran konsentrasi *Naturally Occurring*

Radioactive Materials (NORM) dan Cs-137. Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007^[2], *NORM* adalah zat radioaktif yang secara alami terdapat di alam. Untuk mengetahui rona awal lingkungan dari aspek konsentrasi *NORM* dalam batuan dan tanah dalam wilayah tapak potensial disposal limbah radioaktif perlu dilakukan pengukuran konsentrasi *NORM*. Data rona awal lingkungan dari aspek konsentrasi *NORM* perlu diketahui dalam rangka penyusunan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL). Pembangunan dan pengoperasian disposal limbah radioaktif dalam suatu lokasi termasuk dalam jenis rencana usaha dan atau kegiatan yang wajib memiliki AMDAL^[3], karena dalam pengoperasian disposal limbah radioaktif diperkirakan akan menimbulkan dampak fisik-kimia berupa pencemaran terhadap air dan tanah.

Konsentrasi *NORM* dalam bahan alamiah umumnya adalah rendah, namun demikian konsentrasi yang relatif tinggi bisa ditemukan akibat dari aktivitas manusia, sebagai contohnya adalah *TENORM* dalam pertambangan dan industri. Proses pengolahan bahan mentah hasil tambang dapat meningkatkan konsentrasi radionuklida sehingga mencapai tingkat radiasi yang perlu diperhatikan dalam penanganan, penyimpanan, pengangkutan dan peralatan proses. *NORM/TENORM* meliputi unsur uranium, thorium, radium, radon dan produk anak luruhnya^[4].

NORM/TENORM memiliki potensi sebagai penyebab paparan secara eksternal dan internal terhadap masyarakat dan pekerja. Selama operasi produksi tambang normal, bahaya radiasi hanya berasal dari emisi gamma *NORM/TENORM* yang terkumpul di dalam lokasi penambangan. Lokasi tambang tersebut biasanya terbuka selama operasi, maupun dalam masa pemeliharaan, maka personil akan dapat bersentuhan langsung dengan *NORM/TENORM*. Kondisi demikian akan menyebabkan paparan eksternal dan internal. Paparan internal oleh *NORM/TENORM* dapat terjadi secara injeksi atau inhalasi ketika ada pengerjaan pada atau di dalam fasilitas dan peralatan, penanganan limbah dan benda-benda terkontaminasi permukaan, serta selama pembersihan peralatan terkontaminasi. Paparan internal juga dapat terjadi akibat inhalasi debu udara yang mengandung radionuklida alam dan inhalasi gas radon dan thoron.

Dalam *Basic Safety Standard* yang dikeluarkan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency = IAEA*)^[4] disebutkan bahwa apabila konsentrasi radionuklida dalam material lebih dari atau sama dengan 1 Bq/g dan laju paparan gamma dari material tersebut lebih dari atau sama dengan 50 μ R/jam, maka material tersebut dinyatakan radioaktif. Menurut Perka BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009^[5], tingkat intervensi diberlakukan dengan ketentuan berikut, yaitu jumlah atau kuantitas *NORM/TENORM* paling sedikit 2 (dua) ton, dan tingkat kontaminasi sama dengan atau lebih tinggi dari 1 Bq/cm² (satu becquerel persentimeter persegi) dan/atau konsentrasi aktivitas sebesar 1 Bq/gr (satu becquerel pergram) untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium; atau 10 Bq/gr (sepuluh becquerel pergram) untuk kalium.

Daerah penelitian didominasi oleh wilayah penambangan batuan beku andesit sebagai bahan bangunan, sehingga perlu pula ditinjau tentang keselamatan penggunaan bahan bangunan tersebut dari sisi konsentrasi *NORM*. Pengukuran *NORM* dalam bahan bangunan pernah dilakukan di Azerbaijan^[6]. Dalam *Standard of Radioactive Safety (SRS) 76/87* ditentukan bahwa konsentrasi efektif (C_{ef}) *NORM* dalam bahan bangunan tidak boleh lebih dari 370 Bq/kg. Di Swedia pernah dilakukan penyelidikan aktivitas *NORM* dalam berbagai lapangan maupun daerah kerja untuk tujuan keselamatan, sehingga ditemukan beberapa lokasi yang perlu dilakukan penyelidikan lebih lanjut seperti dalam abu batubara dan saringan dari pengolahan air minum^[7]. Pernah dilakukan pengkajian terkait *state of the art* pada studi tentang lingkungan yang memiliki kandungan *NORM* relatif tinggi^[8]. Pengukuran radiasi dan konsentrasi *NORM* pada lahan calon tapak PLTU batubara di daerah Kramatwatu Serang Banten juga pernah dilakukan dalam rangka untuk mengetahui rona awal konsentrasi *NORM/TENORM* yang akan dituangkan dalam dokumen AMDAL^[9]. Studi potensi peningkatan paparan unsur radioaktif alam akibat pembakaran batubara pernah dilakukan juga^[10], serta pengukuran tingkat radioaktivitas radionuklida primordial ²³⁸U dan ²³²Th di lingkungan tambang batubara terbuka^[11].

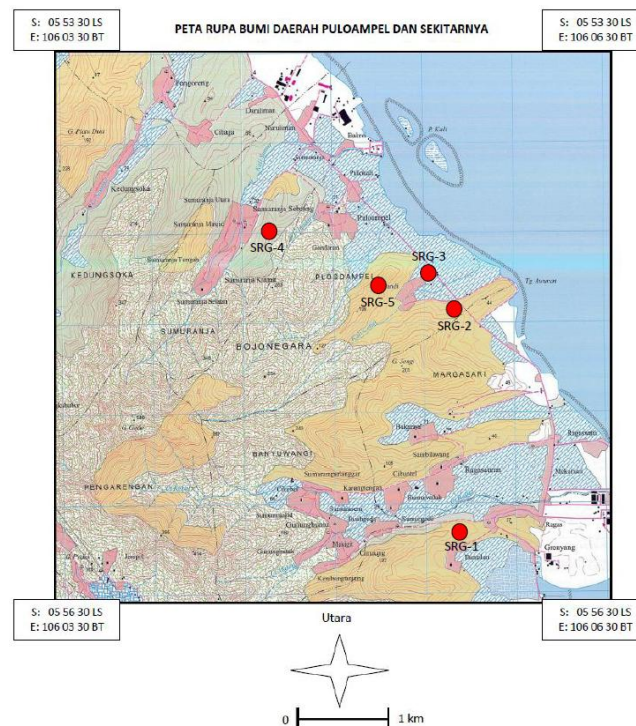
Tujuan dari pengukuran radiasi dan konsentrasi *NORM* adalah untuk mengetahui rona awal konsentrasi *NORM*

sebelum wilayah tersebut digunakan untuk kegiatan tertentu. Lingkup pekerjaan yang dilakukan meliputi pengukuran konsentrasi *NORM*, serta pengambilan contoh batuan dan tanah permukaan. Radionuklida yang diukur konsentrasinya meliputi K-40, Ra-226 Th-232 (*NORM*) dan Cs-137 (bukan *NORM*).

METODOLOGI

Pengukuran *NORM* dilakukan pada wilayah tapak potensial di daerah Puloampel, Kabupaten Serang, Propinsi Banten, pada tanggal 22-24 Nopember 2016, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.

Perlengkapan yang digunakan dalam pengukuran konsentrasi *NORM* adalah *Gamma Spectrometer Portable (GSP Atomtec) AT6101DR*, *Global Positioning System (GPS)*, *soil sampler*, *plastic bag*, *APD*, *TLD*, palu geologi, kompas geologi, peta lokasi, kamera digital, *Personal Computer*.



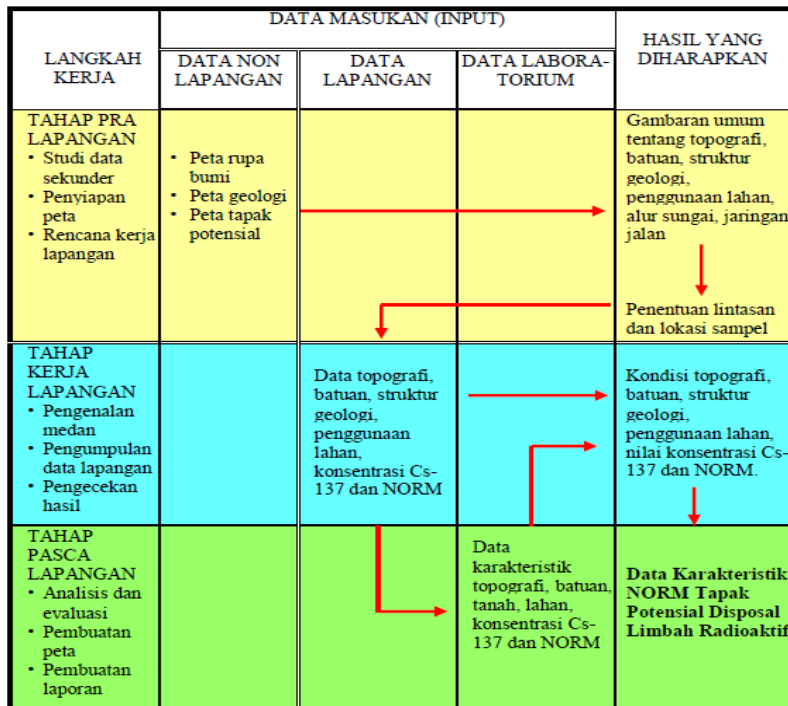
Gambar 1. Lokasi pengukuran *NORM*

Karakterisasi *NORM* dilakukan dengan langkah-langkah kegiatan pra-lapangan, lapangan dan pasca-lapangan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Khusus untuk kegiatan lapangan dengan urutan sebagai berikut :

1. Pengamatan kondisi lingkungan;
2. Penentuan lokasi pengukuran, dengan memilih batuan, tanah atau lahan yang masih asli (*undisturbed*);
3. Penentuan dan pencatatan posisi koordinat geografi dari titik pengukuran;
4. *Setting on* alat ukur pada posisi titik pengukuran;
5. Pengukuran dengan *GSP Atomtec* dilakukan sebanyak 3 sampai 5 kali pengulangan dengan interval waktu 3-5 menit;
6. Pembacaan dan pencatatan hasil pengukuran pada buku catatan lapangan;

7. *Setting off* alat ukur;
8. Pengambilan contoh batuan dan tanah sebanyak lebih kurang 2 kg;
9. Pewadahan dan pemberian label contoh batuan dan tanah dalam kantong plastik sampel;
10. Pengepakan alat untuk pindah ke lain lokasi.

Kegiatan paska lapangan adalah kegiatan laboratorium dan studio atau kantor, yang meliputi preparasi contoh, analisis laboratorium, evaluasi hasil analisis, pengolahan data dan pembuatan laporan.



Gambar 2. Diagram alir kegiatan karakterisasi NORM tapak potensial

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah penelitian Serang termasuk dalam wilayah Karang-Merak yang merupakan bekas tubuh gunungapi Karang dan Gede. Daerah Serang (Bojonegara dan Puloampel) merupakan daerah dataran bergelombang dan perbukitan rendah-tinggi dengan lereng landai-terjal. Kondisi proses geomorfologi permukaan seperti erosi dan gerakan tanah relatif tidak intensif, karena kondisi penyusun batuan yang berupa batuan beku andesit dan breksi vulkanik yang relatif kompak dan keras. Secara morfogenesis daerah penelitian merupakan daerah yang terbentuk oleh aktivitas vulkanik. Oleh karena itu daerah penelitian dapat diklasifikasikan sebagai satuan perbukitan lereng gunungapi^[9].

Batuan yang tersingkap di daerah penelitian meliputi (urut dari tua ke muda) hasil gunungapi Gede, tufa Banten, batugamping koral dan endapan aluvium^[10]. Hasil gunungapi Gede berupa lava, lahar dan breksi termampatkan, yang berumur Plistosen. Tufa Banten terdiri dari tufa, tufa batuapung dan batupasir tufaan, yang berumur sedikit lebih muda daripada hasil gunungapi Gede. Stratigrafi daerah penelitian yang hanya terdiri dari dua satuan batuan dapat disimpulkan relatif sederhana. Batuan yang dapat dipilih sebagai batuan potensial adalah batuan beku andesit dari hasil gunungapi Gede. Ketebalan batuan tersebut diduga mencapai lebih dari 500 m, dengan luas pelamparan mencapai 10x10 km².

Penggunaan lahan daerah pengukuran NORM dan sekitarnya berupa

tambang batu, semak, hutan, kebun dan sawah (Gambar 3). Kondisi lapangan dan kegiatan pengukuran radiasi dan konsentrasi NORM serta pengambilan contoh tanah dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil pengukuran radiasi dan konsentrasi NORM dapat dilihat pada Tabel 1, 2, 3, 4 dan 5.

Data hasil pengukuran konsentrasi Cs-137 dan NORM dari lokasi SRG-01 ditunjukkan pada Tabel 1. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi

Cs-137 adalah 0 Bq/kg, K-40 berkisar antara 231,4 sampai dengan 378,8 dengan rata-rata sebesar 319,6 Bq/kg. Konsentrasi Ra-226 dalam tanah di lokasi SRG-1 berkisar antara 7,7 – 8,8 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 8,33 Bq/kg. Konsentrasi Th-232 berkisar antara 15,2 – 32,6 Bq/kg dan rata-rata sebesar 25,0 Bq/kg. Konsentrasi efektif NORM berkisar antara $48,4 \pm 6,9$ Bq/kg sampai dengan $73,5 \pm 18,7$ Bq/kg dengan rata-rata sebesar $63,5 \pm 14,1$ Bq/kg.



Lokasi SRG-1



Lokasi SRG-2



Lokasi SRG-3



Lokasi SRG-4



Lokasi SRG-5a



Lokasi SRG-5b

Gambar 3. Lokasi pengukuran NORM yang berupa dataran bergelombang dengan penggunaan lahan tambang andesit (lokasi SRG-1), tambang batu (lokasi SRG-2), tambang andesit (lokasi SRG-3), sawah (lokasi SRG-4 dan semak, tegal, kebun dan hutan (lokasi SRG-5).

Tabel 1. Hasil pengukuran konsentrasi Cs-137 dan NORM lokasi SRG-01-2016, Ragas Grenyang, koordinat lokasi S : 05° 56' 10.0" E : 106° 06' 03.9"

No	Batuan dan penggunaan lahan	Elevasi (m)	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)				Konsentrasi Efektif NORM (Bq/kg)
			Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232	
1	Andesit, tambang batu andesit	38	0	231,4	8,8	15,2	48,4±6,9
2	Andesit, tambang batu andesit	38	0	378,8	8,5	27,2	68,7±16,7
3	Andesit, tambang batu andesit	38	0	348,6	7,7	32,6	73,5±18,7
		Rata-rata	0	319,6	8,33	25,0	63,5±14,1

Tabel 2. Hasil pengukuran konsentrasi Cs-137 dan NORM lokasi SRG-02-2016, koordinat lokasi S : 05° 54' 47.5" E : 106° 05' 58.3"

No	Batuan dan penggunaan lahan	Elevasi (m)	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)				Konsentrasi Efektif NORM (Bq/kg)
			Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232	
1	Breksi vulkanik, tambang batu	30	0	186,0	6,9	18,0	44,6 ± 6,2
2	Breksi vulkanik, tambang batu	30	0	177,0	7,5	16,8	43,3 ± 8,8
3	Breksi vulkanik, tambang batu	30	0	186,3	5,7	17,6	---
		Rata-rata	0	183,1	6,7	17,5	43,95 ± 7,5

Data hasil pengukuran konsentrasi Cs-137 dan NORM dari lokasi SRG-02 dapat dilihat pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi Cs-137 adalah 0 Bq/kg, konsentrasi K-40 berkisar antara 177,0 Bq/kg sampai dengan 186,3 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 183,1 Bq/kg. Konsentrasi Ra-226 dalam tanah di

lokasi SRG-2 berkisar antara 5,7– 7,5 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 6,7 Bq/kg. Konsentrasi Th-232 berkisar antara 16,8 sampai dengan 18,0 Bq/kg dan rata-rata sebesar 17,5 Bq/kg. Konsentrasi efektif NORM berkisar antara 43,3 ± 8,8 Bq/kg sampai dengan 44,6 ± 6,2 Bq/kg dengan rata-rata sebesar 43,95 ± 7,5 Bq/kg

Tabel 3. Hasil pengukuran konsentrasi Cs-137 dan NORM lokasi SRG-03-2016, Sumuranja, koordinat lokasi S : 05° 54' 17.2" E : 106° 04' 42.9"

No	Batuan dan penggunaan lahan	Elevasi (m)	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)				Konsentrasi Efektif NORM (Bq/kg)
			Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232	
1	Andesit, tambang batu andesit	30	0	241,7	6,2	15,0	46,4 ± 7,0
2	Andesit, tambang batu andesit	30	0	243,8	7,1	13,4	---
3	Andesit, tambang batu andesit	30	0	199,0	7,1	18,0	45,5 ± 6,5
		Rata-rata	0	228,7	6,8	15,5	46,0 ± 6,8

Hasil pengukuran konsentrasi Cs-137 dan NORM dari lokasi SRG-03 seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi Cs-137 adalah 0 Bq/kg, konsentrasi K-40

berkisar antara 199,0 Bq/kg sampai dengan 243,8 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 228,7 Bq/kg. Konsentrasi Ra-226 dalam tanah di lokasi SRG-3 berkisar antara 6,2 – 7,1 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 6,8 Bq/kg.

Konsentrasi Th-232 berkisar antara 13,4 – 45,5 ± 6,5 Bq/kg sampai dengan 46,4 ± 7,0 Bq/kg dengan rata-rata sebesar 15,5 Bq/kg. Konsentrasi efektif NORM berkisar antara 18,0 Bq/kg dan rata-rata sebesar 15,5 Bq/kg. Konsentrasi efektif NORM berkisar antara 45,5 ± 6,5 Bq/kg sampai dengan 46,4 ± 7,0 Bq/kg dengan rata-rata sebesar 46,0 ± 6,8 Bq/kg.

Tabel 4. Hasil pengukuran konsentrasi Cs-137 dan NORM lokasi SRG-04-2016, Candi, koordinat lokasi S : 05° 54' 22.4" E : 106° 05' 11.7"

No	Batuan dan penggunaan lahan	Elevasi (m)	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)				Konsentrasi Efektif NORM (Bq/kg)
			Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232	
1	Tanah alluvial, sawah kering	16	10,1	45,6	5,2	17,2	31,7 ± 6,0
2	Tanah alluvial, sawah agak basah	16	13,0	38,6	5,1	15,2	27,9 ± 7,4
3	Tanah alluvial, sawah gembur	16	11,1	55,3	6,3	14,1	29,0 ± 4,5
		Rata-rata	11,4	46,5	5,5	15,5	29,5 ± 6,0

Hasil pengukuran konsentrasi Cs-137 dan NORM dari lokasi SRG-04 seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi Cs-137 antara 10,1 - 13,0 Bq/kg dengan rata-rata 11,4 Bq/kg. Konsentrasi K-40 berkisar antara 38,6 sampai dengan 55,3 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 46,5 Bq/kg.

Konsentrasi Ra-226 dalam tanah di lokasi SRG-4 berkisar antara 5,1 – 6,3 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 5,5 Bq/kg. Konsentrasi Th-232 berkisar antara 14,1 – 17,2 Bq/kg dan rata-rata sebesar 15,5 Bq/kg. Konsentrasi efektif NORM berkisar antara 27,9 ± 7,4 sampai dengan 31,7 ± 6,0 Bq/kg dengan rata-rata sebesar 29,5 ± 6,0 Bq/kg.

Tabel 5. Hasil Pengukuran dosis radiasi dan konsentrasi NORM lokasi SRG-05-2016, bukit Utara Candi, koordinat lokasi S : 05° 54' 46.3" E : 106° 05' 23.2"

No	Batuan dan penggunaan lahan	Elevasi (m)	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)				Konsentrasi Efektif NORM (Bq/kg)
			Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232	
1	Tanah residual, tegalan dan kebun	33	24,8	58,4	5,2	28,0	46,8 ± 14,3
2	Breksi vulkanik, semak alang-alang	55	8,4	151,4	10,8	21,5	51,9 ± 8,5
3	Breksi vulkanik, semak dan hutan	87	9,0	163,0	7,8	20,3	47,5 ± 8,3
4	Breksi vulkanik, rumput dan semak	100	0	21,4	8,9	16,0	48,1 ± 8,6
		Rata-rata	10,6	98,6	8,2	21,5	48,6 ± 9,9

Hasil pengukuran konsentrasi Cs-137 dan NORM dari lokasi SRG-05 seperti ditunjukkan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi Cs-137 antara 0 - 24,8 Bq/kg. Konsentrasi K-40 berkisar antara 21,4 sampai dengan 163,0 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 98,6 Bq/kg. Konsentrasi Ra-226 dalam tanah di lokasi SRG-5 berkisar antara 5,2 – 10,8 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 8,2 Bq/kg. Konsentrasi Th-232 berkisar antara 16,0 – 28,0 Bq/kg dan rata-rata sebesar 21,5 Bq/kg. Konsentrasi efektif NORM berkisar antara

46,8 ± 14,3 sampai dengan 31,7 ± 6,0 Bq/kg dengan rata-rata sebesar 51,9 ± 8,5 Bq/kg.

Ada fenomena menarik yang didapat dari hasil pengukuran konsentrasi NORM dan bukan NORM di lima lokasi tersebut, yaitu bahwa :

1. K-40 ditemukan memiliki nilai konsentrasi tertinggi di semua titik pengukuran, Th-232 memiliki nilai konsentrasi menengah, dan Ra-226 memiliki nilai konsentrasi terendah.
2. Nilai konsentrasi NORM tertinggi terdapat pada batuan andesit, disusul

- batuan breksi dan terendah terdapat pada tanah.
3. Nilai rata-rata konsentrasi efektif NORM berkisar antara $29,5 \pm 6,0$ Bq/kg (SRG-4) hingga $63,5 \pm 14,1$ Bq/kg (SRG-1). Nilai konsentrasi efektif tersebut masih jauh dari ambang batas tertinggi yang termasuk kategori aman yaitu 370 Bq/kg^[6].
 4. Lokasi pengukuran pada batuan dasar (*bedrock*) andesit dan breksi tidak ditemukan konsentrasi radionuklida Cs-137 (bukan NORM).
 5. Radionuklida Cs-137 hanya ditemukan pada lokasi pengukuran yang berupa tanah atau lahan yang sudah mengalami pengolahan atau ada unsur intervensi manusia seperti lahan sawah, tegalan dan kebun (SRG-4 dan sebagian SRG-5).
 6. Semakin tinggi lokasi pengukuran, nilai konsentrasi Cs-137 semakin rendah (lokasi SRG-5).

KESIMPULAN

Nilai konsentrasi NORM tertinggi terdapat pada batuan andesit, disusul batuan breksi dan terendah terdapat pada tanah. K-40 ditemukan memiliki nilai konsentrasi tertinggi di semua titik pengukuran, Th-232 memiliki nilai konsentrasi menengah, dan Ra-226 memiliki nilai konsentrasi terendah.

Dilihat dari nilai rata-rata konsentrasi K-40, Ra-226 dan Th-232 menunjukkan nilai konsentrasi yang masih rendah dan belum melampaui batasan NORM yang harus diintervensi yaitu sebesar 1 Bq/g (1 kBq/kg) bagi Ra-226 dan Th-232, dan 10 Bq/g (10 kBq/kg) bagi K-40.

Nilai rata-rata konsentrasi efektif NORM berkisar antara $29,5 \pm 6,0$ Bq/kg hingga $63,5 \pm 14,1$ Bq/kg, masih jauh dari ambang batas tertinggi yang termasuk kategori aman yaitu 370 Bq/kg.

Kecenderungan konsentrasi K-40, Ra-226 dan Th-232 dalam batuan dan tanah di lokasi pengukuran wilayah tapak potensial (lokasi SRG-1, SRG-2, SRG-3, SRG-4 dan SRG-5) menurut ketentuan peraturan perundangan masih relatif jauh di bawah ambang batas dan menunjukkan nilai rona lingkungan yang bersifat latar (*background*).

Radionuklida Cs-137 (bukan NORM) hanya ditemukan pada lokasi pengukuran yang berupa tanah atau lahan yang sudah mengalami pengolahan atau ada unsur intervensi manusia seperti lahan sawah, tegalan dan kebun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pimpinan PTLR atas dukungan kebijakan dan pendanaannya, pemerintah daerah setempat atas izinnya untuk berlangsungnya *survey* ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada bapak Marwoto atas bantuan surveinya.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUCIPTA, BUDI S., DADANG S., HERU S. DAN A.S. PURNOMO, Evaluasi Tapak Potensial untuk Penentuan Tapak Terpilih Disposasi Limbah Radioaktif di Pulau Jawa, Prosiding SNTPL VIII, PTLR BATAN, Serpong, 2011.
2. PERATURAN PEMERINTAH RI No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
3. PERATURAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP RI NO. 05 TAHUN 2012 tentang Jenis Rencana Usaha dan/atau Kegiatan Yang Wajib Memiliki Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup.
4. KATHREN, R.L., NORM Sources and Their Origins, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
5. Peraturan Kepala Bapeten No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*.
6. ALIYEV, C., NORM in building materials, Proc. of NORM IV International Conference, Szczyrk, Poland, 2004, p. 256-266.
7. SODERMAN, A.L., BREWITZ, E. and H. MORE, Investigation of NORM Activities in Sweden, Proc. of the 5th International Symposium on NORM, Univ. of Seville – IAEA - Spanish Nuclear Safety Council & Univ. of Huelva, Seville, 2007, p. 393-398.
8. SOHRABI, M., The State of the Art on Worldwide Studies in Some Environments with Elevated NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
9. HENI, Studi Potensi Peningkatan Paparan Unsur Radioaktif Alam Akibat Pembakaran Batubara, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir,

- BATAN, Vol. 7 No. 2 Desember (2005).
10. SUCIPTA, RISDIYANA, S., A.S. PURNOMO, Pengukuran Radiasi dan Konsentrasi *Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM)* pada Lahan Calon Tapak PLTU Batubara Kramatwatu Serang Banten, Prosiding SNTPL XIV, PTLR BATAN – Universitas Indonesia, Jakarta, 2016, p. 155-164.
 11. A.S. ARIEF, MELAWATI, J. & K. SANTOSO, Tingkat Radioaktivitas Radionuklida Primordial ^{238}U dan ^{232}Th di Lingkungan Tambang Batubara Terbuka. Prosiding Seminar Keselamatan Radiasi dan Lingkungan XI, Jakarta (2005).
 12. RUSMANA, E., SUWITODIRDJO, K. dan SUHARSONO, Peta Geologi Lembar Serang, P3G ESDM, Bandung, 1991.