

# **PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH XIV**

## **TEMA SEMINAR**

Pengembangan IPTEK Pengelolaan Limbah yang Inovatif,  
Handal, berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan  
Guna Meningkatkan Daya Saing Bangsa



**05 Oktober 2016**

Gedung IASTH Universitas Indonesia  
Salemba – Jakarta

**Penyelenggara**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN  
Dan  
Program Studi Ilmu Lingkungan - UI

**Diterbitkan Desember 2016**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas karunia-Nya Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV dapat diterbitkan. Seminar ini terselenggara atas kerjasama antara Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN dengan Program Studi Ilmu Lingkungan – Universitas Indonesia. Seminar dengan tema “Pengembangan IPTEK Pengelolaan Limbah yang Inovatif, Handal, Berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan Guna Meningkatkan Daya Saing Bangsa” telah dilaksanakan pada tanggal 5 Oktober 2016 di Gedung IASTH It.3 Universitas Indonesia, Salemba.

Seminar diselenggarakan sebagai media sosialisasi hasil penelitian dan pengembangan di bidang limbah radioaktif dan non radioaktif. Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV dijadikan sebagai media tukar menukar informasi dan pengalaman, ajang diskusi ilmiah, peningkatan kemitraan di antara peneliti, akademisi, dan praktisi industri, mempertajam visi pembuat kebijakan dan pengambil keputusan, serta peningkatan kesadaran kolektif terhadap pentingnya pengelolaan limbah yang inovatif, handal, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

Prosiding ini memuat karya tulis dari berbagai hasil penelitian mengenai pengelolaan limbah radioaktif, industri dan lingkungan. Makalah telah melalui proses evaluasi dari tim editor. Makalah dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu kelompok pengelolaan limbah, disposal, lingkungan, dan perundang-undangan. Makalah-makalah tersebut berasal dari para peneliti di lingkungan BATAN, BAPETEN dan BPPT serta dosen dan mahasiswa di lingkungan UI, UNDIP, dan UNS.

Semoga penerbitan prosiding ini dapat digunakan sebagai data sekunder dalam pengembangan penelitian dimasa akan datang, serta dijadikan bahan acuan dalam kegiatan pengelolaan limbah. Akhir kata kepada semua pihak yang telah membantu, kami ucapkan terima kasih.

Jakarta, Desember 2016

Kepala  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif  
Badan Tenaga Nuklir Nasional

Ir. Suryantoro, MT

## **SUSUNAN TIM EDITOR**

Ketua	: Dr. Budi Setiawan	- BATAN
Anggota	: 1. Dr. Sigit Santoso	- BATAN
	2. Dr. Heny Suseno	- BATAN
	3. Drs. Gunandjar, SU	- BATAN
	4. Ir. Aisyah, MT	- BATAN
	5. Dr. Djoko Hari Nugroho	- BAPETEN
	6. Dr. Ir. Mohammad Hasroel Thayib, APU	- UI
	7. Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA	- UI

## SUSUNAN PANITIA

<b>Pengarah</b>	:	1. Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional	- BATAN
		2. Ketua Program Studi Ilmu Lingkungan UI	- UI
<b>Penanggung Jawab</b>	:	Ir. Suryantoro, MT	- BATAN
<b>Penyelenggara</b>			
Ketua	:	Budiyono, ST	- BATAN
Wakil Ketua	:	Moch. Romli, S.ST, MKKK	- BATAN
Sekretaris	:	1. Enggartati Budhy Hendarti, A.Md	- BATAN
		2. Pricillia Azhani, STP., M.Si.	- UI
		3. Titik Sundari, A.Md	- BATAN
Anggota	:	1. Widya Handayani, SE	- BATAN
		2. Sugianto, ST	- BATAN
		3. Wezia Berkademi, SE, M.Si	- UI
		4. M. Nurhasim, S.ST	- BATAN
		5. Eri Iswayanti, A.Md	- BATAN
		6. Agustinus Muryama, ST	- BATAN
		7. Budi Arisanto, A.Md	- BATAN
		8. Azhar Firdaus, S.Sos.I, M.Si	- UI
		9. Risdiyana, A.Md	- BATAN
		10. Adi Wijayanto, ST	- BATAN
		11. Arifin Istavara, S.ST	- BATAN
		12. CH. Susiana Atmaja, A.Md	- BATAN
		13. Imam Sasmito	- BATAN
		14. Moh. Cecep Cepi H., S.ST	- UI
		15. Parjono, ST	- BATAN
		16. Siswanto	- BATAN
		17. Sariyadi	- BATAN
		18. Maulana	- BAPETEN
		19. Drs. Hendro	- BATAN
		20. Sunardi, ST	- BATAN
		21. Gatot Sumartono, ST	- BATAN
		22. Ir. Eko Madi Parmanto	- BATAN
		23. Alphana Fridia Cessna, ST., M.Si	- UI
		24. Rukiaty	- BATAN
		25. Ade Rustiadam, S.ST	- BATAN
		26. Ajrieh Setiawan, S.ST	- BATAN
		27. Suparno, A.Md	- BATAN
		28. Suhartono, A.Md	- BATAN

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	i
Susunan Tim Editor .....	ii
Susunan Panitia .....	iii
Daftar Isi .....	iv
1 Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Pra-Disposal : Imobilisasi Limbah Radioaktif Uranium Menggunakan Abu Batubara Sebagai Bahan Matriks <i>Synroc</i> .. <b>Gunandjar dan Yuli Purwanto</b>	1
2 Pengelolaan Limbah Cair Dengan Pendekatan Konsep Eko-Efisiensi: Analisis Hubungan Antara Penerapan Program <i>Cleaner Production</i> Di Area Produksi Dengan Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) .....	14
<b>Wahyu Wikandari, Roekmijati Widaningroem Soemantojo, Tri Edhi Budhi Soesilo</b>	
3 Pengolahan Limbah <i>Methylen Blue</i> Secara Fotokatalisis Dengan TiO <sub>2</sub> Dimodifikasi Fe Dan Zeolit .....	29
<b>Agus Salim Afrozi, Rahmat Salam, Auring R, Asep Nana S</b>	
4. Kinerja Konsorsium Bakteri Dari Sungai Opak Yogyakarta Dalam Reduksi Nitrat Dengan Sumber Karbon Yang Berbeda .....	37
<b>Hanies Ambarsari, Miswanto</b>	
5. Pengelolaan Limbah Radioaktif Hasil Dekontaminasi Di Instalasi Produksi Radioisotop Paska Berhenti Operasi .....	45
<b>Suhaedi Muhammad, Nazaroh, Rr.Djarwanti,RPS</b>	
6. Pemanfaatan Limbah Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Pembantu Peledakan (ANFO) Pada Kegiatan Pertambangan Batubara (Kasus Pemanfaatan Limbah Oli Bekas di PT. JMB Group) .....	52
<b>Danang Widiyanto</b>	
7. Sistem Pemurnian Helium Pada Reaktor Daya Experimental (RDE) Tipe HTR-10.....	60
<b>Aisyah, Yuli Purwanto</b>	
8. Pengolahan Limbah Daun Jati Kering Dari Desa Leyangan, Ungaran Menjadi Pulp Kering Dengan Proses Soda .....	68
<b>Linda Kusumaningrum, Heny Kusumayanti</b>	
9 Pembuatan Zat Warna Alami Dari Buah Mangrove <i>Spesies Rhizophora Stylosa</i> Sebagai Pewarna Batik Ramah Lingkungan Dalam Skala Pilot Plan .....	76
<b>Paryanto, Wusana Agung Wibowo, Moch Helmy Aditya</b>	
10 Konsentrasi Faktor Pada Bioakumulasi Plutonium Oleh Siput Macan ( <i>Babylonia Spirata L.</i> ) Di Perairan Teluk Jakarta .....	82
<b>Murdahayu Makmur , Muhammad Qowi Fikri, Defri Yona, Syarifah Hikmah JS</b>	
11. Pengaruh Koefisien Distribusi <sup>137</sup> Cs Pada Keselamatan Calon Tapak Fasilitas Disposasi Limbah Radioaktif .....	93
<b>Budi Setiawan, Dadang Suganda</b>	
12. Kajian Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Beberapa Adsorben .....	105
<b>Mirawaty, Gustri Nurliati</b>	

13	Studi Eksperimen Difusi Boron Dalam Bentonit Terkompaksi Dalam Kondisi Reduksi Oleh Fe .....	113
	<b>Mas Udi, Noria Ohkubo</b>	
14	Pengolahan Limbah Uranium Cair Dengan Resin Anion Amberlite IRA-400 Cl Dan Imobilisasi Resin Jenuh Menggunakan Polimer .....	118
	<b>Dwi Luhur Ibnu Saputra, Wati, Nurhayati</b>	
15	Studi Pemanfaatan Zeolit Sebagai Bahan Penopang Asam Oksalat Untuk Dekontaminasi Permukaan Aluminium .....	124
	<b>Sutoto</b>	
16	Karakteristik Limbah Radioaktif Tingkat Rendah Dan Sedang Reaktor Daya Eksperimental HTR-10 .....	129
	<b>Kuat Heriyanto</b>	
17	Pengembangan Penerapan Sistem Pengawasan Dalam Rangka Pencegahan Masuknya <i>Scrap Metal</i> Terkontaminasi Zat Radioaktif ke Dalam Wilayah Hukum Republik Indonesia .....	136
	<b>Nanang Triagung Edi Hermawan</b>	
18	Pengawasan Zirkon Di Indonesia .....	145
	<b>Moekhamad Alfiyan</b>	
19	Polimorfisme XPD23 Pada Pekerja Radiasi Medik .....	151
	<b>Wiwin Mailana, dan Yanti Lusiyantri</b>	
20	Pengukuran Radiasi Dan Konsentrasi <i>Naturally Occuring Radioactive Materials</i> (NORM) Pada Lahan Calon Tapak PLTU Batubara Kramatwatu Serang Banten .....	155
	<b>Sucipta, Risdiana S., Arimuladi SP.</b>	
21	Perhitungan Jumlah Limbah Paska Dekomisioning Reaktor Triga Mark II Bandung .....	165
	<b>Sutoto, Kuat Heriyanto, Mulyono Daryoko</b>	
22	Fenomena Distribusi Radionuklida Kontaminan Pada Air Kanal Fasilitas KH-IPSB3 Pasca Perbaikan Filter <i>Skimer</i> .....	173
	<b>Titik Sundari, Darmawan Aji, Arifin</b>	
23	Difusi Radiocesium Oleh Tanah Urugan Sebagai Bahan Penutup Fasilitas Disposal Demo di Kawasan Nuklir Serpong : Karakterisasi <i>Dry Density</i> Tanah Permukaan di Lokasi Fasilitas Disposal Demo .....	179
	<b>Nurul Efri Ekaningrum, Budi Setiawan</b>	
24	Uji Integritas Kelongsong Bahan Bakar Nuklir Bekas Reaktor Dengan Metode Uji Cicip ..	186
	<b>Dyah Sulistyani Rahayu, Darmawan Aji</b>	
25	Verifikasi Penggunaan Library Origen 2.1 Untuk Perhitungan Inventori Teras Reaktor Tipe HTGR 10 MWth .....	194
	<b>Anis Rohanda, Jupiter S. Pane, Amir Hamzah</b>	
26	Penentuan Densitas Boron Karbida (B <sub>4</sub> C) Menggunakan Autopiknometer Dan Secara Metrologi .....	199
	<b>Torowati, Mu`nisatun, S., Yatno Dwi Agus</b>	
27	Evaluasi Pengukuran Tingkat Kontaminasi Permukaan Material Terkontaminasi Untuk Tujuan Klierens (Studi Kasus : Limbah Pelat Logam Hasil Dekomisioning Fasilitas Pemurnian Fosfat Pt. Petrokimia Gresik) .....	205
	<b>Moch Romli, Mas'udi , Sugeng Purnomo, M. Nurhasyim, T. Sulistiyo H.N., Suhartono, Imam Sasmito, L. Kwin P</b>	

28	Evaluasi Tahanan Pembumian Instalasi Penyalur Petir Pada Stasiun Meteorologi Kawasan Nuklir Serpong .....	212
	<b>Adi Wijayanto, Arief Yuniarto, Budihari</b>	
29	Evaluasi Pengendalian Dosis Radiasi Pada Kegiatan <i>Dismantling</i> Dan Pengondisian Zat Radioaktif Terbungkus Yang Tidak Digunakan .....	217
	<b>Suhartono, Moch Romli, Arie Budianti, Adi Wijayanto, Mahmudin</b>	
30	Penerimaan Dosis Radiasi Sebagai Indikator Keselamatan Dalam Proses Pengolahan Limbah Radioaktif Tahun 2015 .....	224
	<b>L.Kwin Pudjiastuti, Hendro, Suhartono, Arie Budianti</b>	
31	Penerapan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Badan Air di Kawasan Nuklir Serpong ..	230
	<b>Arif Yuniarto, Aepah Nurbiyanti, Ambar Winansi, Ritayanti</b>	
32	Analisis Kegagalan Proses Pembangkit Uap Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Cair .....	241
	<b>Budiyono, Sugianto</b>	
33	Jaminan Mutu Layanan Evaluasi Dosis Perorangan Dengan <i>TLD Barc</i> di PTKMR-Batan ..	250
	<b>Nazaroh, Rofiq Syaifudin, Sri Subandini Lolaningrum, dan Nina Herlina</b>	
34	Perancangan Sistem Kendali <i>VAC Off-Gas</i> Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif berbasis Programable Logic Control .....	260
	<b>Sugianto, Budiyono, Arifin Istavara</b>	
35	Uji Kelayakan Operasi Genset BRV20 RSG-Gas Setelah Dilakukan Perbaikan .....	268
	<b>Teguh Sulisty</b>	
36	Analisis Sistem Ventilasi Fasilitas Produksi 131I di PTRR-BATAN.....	278
	<b>Mulyono, Hermanto, Sofyan Sori, Sriyono</b>	
37	Aplikasi <i>Scada</i> Dengan Media Komunikasi Nirkabel 2.4 Ghz Untuk Pengendali Operasi Fasilitas Kanal Hubung Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KHIPSB3)	283
	<b>Parjono , Budiyono</b>	
38	Pembuatan Dan Pengujian <i>Burner</i> Pada Tungku Peleburan Timbal Untuk Fabrikasi <i>Shielding</i> Sumber Radioaktif Bekas Terbungkus .....	292
	<b>Arifin Istavara, Jonner Sitompul, Sugianto</b>	
39	Aplikasi Reaktor Pada <i>Capacitor Bank</i> Sebagai Peredam Harmonik Catu Daya Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif .....	299
	<b>Jonner Sitompul, Sugianto</b>	

## **PENGUKURAN RADIASI DAN KONSENTRASI *NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS (NORM)* PADA LAHAN CALON TAPAK PLTU BATUBARA KRAMATWATU SERANG BANTEN**

**Sucipta, Risdiana S., Arimuladi SP.**

*Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Kawasan Puspipstek Serpong Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310  
E-mail : scipta@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**PENGUKURAN RADIASI DAN KONSENTRASI *NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS (NORM)* PADA LAHAN CALON TAPAK PLTU BATUBARA KRAMATWATU SERANG BANTEN.** Telah dilakukan pengukuran radiasi *Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM)* di lingkungan calon tapak PLTU Kramatwatu Serang Banten. Pengukuran radiasi dan konsentrasi NORM dilakukan untuk mengetahui rona awal radiasi dan konsentrasi NORM sebelum wilayah tersebut digunakan untuk kegiatan PLTU. Lingkup pekerjaan yang dilakukan meliputi pengukuran laju paparan gamma dan konsentrasi *NORM*, serta pengambilan contoh tanah permukaan. Radionuklida NORM yang diukur konsentrasinya meliputi K-40, Ra-226 dan Th-232. Dalam kegiatan survey atau pengukuran radiasi NORM dilakukan dengan alat *Gamma Spectrometry Portable, Surveymeter, AustralRAD* dan *Global Positioning System (GPS)*. Area kerja pengukuran meliputi *TN-1* dan *TN-2* yang termasuk dalam wilayah calon tapak PLTU, serta *TN-3* dan *TN-4* yang berada di luar wilayah tapak PLTU. Dari hasil pengukuran radiasi *NORM* diperoleh data bahwa ke 4 lokasi pengukuran memiliki konsentrasi NORM yang sifatnya bernilai latar (*background*). Konsentrasi NORM pada ke 4 titik pengukuran tersebut masih jauh di bawah nilai maksimum yang diijinkan berdasarkan Peraturan Kepala (Perka) Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPATEN) dan rekomendasi Badan Tenaga Nuklir Internasional (IAEA).

Kata kunci : pengukuran, NORM, tapak, PLTU.

### **ABSTRACT**

**RADIATION AND CONCENTRATION MEASUREMENT OF *NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS (NORM)* ON LAND OF SITE CANDIDATE FOR COAL POWER PLANT (CPP) AT KRAMATWATU SERANG BANTEN.** *NORM radiation measurement of site candidate for coal power plant at Kramatwatu Serang Banten has been carried out. NORM radiation measurements conducted to determine baseline radiation and the concentration of NORM before the area is used for the plant. Scope of work performed includes measurements gamma exposure rate and the concentration of NORM, as well as surface soil sampling. NORM radionuclides concentration measured include K-40, Ra-226 and Th-232. In surveys or NORM radiation measurements performed with a Portable Gamma Spectrometry, Surveymeter, AustralRAD and Global Positioning System (GPS). The work area includes the measurement of TN-1 and TN-2 were included in the prospective power plant site, and TN-3 and TN-4 located outside the territory of the power plant site. From the measurement results, NORM radiation data showed that all four measurement locations have NORM concentrations that are worth the background. The concentration of NORM in all four measurement points is still far below the maximum allowable under Decree of BAPATEN Chairman and recommendation the International Atomic Energy Agency (IAEA).*

Key words : measurement, NORM, site, CPP

### **PENDAHULUAN**

Pembangunan dan pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara dengan kapasitas  $\geq 100$  MW dalam satu lokasi termasuk dalam jenis rencana usaha dan atau kegiatan yang wajib memiliki Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL)<sup>[1]</sup>. Dalam pengoperasian PLTU tersebut diperkirakan akan menimbulkan dampak penting aspek fisik-kimia berupa pencemaran terhadap udara, air dan tanah. Beroperasinya PLTU batubara menyebabkan sejumlah kelompok radionuklida alamiah terlepas ke lingkungan

udara yang akan terdeposisi ke badan air maupun permukaan tanah. Radionuklida yang terlepas dari pengoperasian PLTU batubara diketahui sebagai radionuklida golongan TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*), yaitu radionuklida alamiah yang mengalami peningkatan akibat ada teknologi (campur tangan) manusia. Radionuklida-radionuklida yang terlepas dari pengoperasian PLTU batubara tersebut umumnya mempunyai waktu paruh relatif lama (orde tahunan). Jenis radionuklida yang terlepas ke atmosfer dari pengoperasian PLTU batubara tergantung dari beberapa faktor, diantaranya



yaitu konsentrasi radionuklida dalam batubara, kandungan abu dari batubara, temperatur pembakaran, system penyekat antara *fly* dan *bottom ash*, serta efisiensi kendali emisi<sup>[2]</sup>. Untuk mengetahui rona awal lingkungan dari aspek radiasi dan konsentrasi NORM dalam tanah wilayah tapak maka perlu dilakukan pengukuran radiasi dan konsentrasi NORM sebelum dimulainya konstruksi dan operasi PLTU.

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007<sup>[3]</sup> dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009<sup>[4]</sup>, *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material* selanjutnya disingkat *TENORM* adalah zat radioaktif alam yang dikarenakan kegiatan manusia atau proses teknologi terjadi peningkatan paparan potensial jika dibandingkan dengan keadaan awal. Setiap orang atau badan yang karena kegiatannya dapat menghasilkan mineral ikutan berupa *TENORM* harus melaksanakan intervensi terhadap terjadinya paparan yang berasal dari *TENORM* melalui tindakan remedial. Intervensi adalah setiap tindakan untuk mengurangi atau menghindari paparan atau kemungkinan terjadinya paparan kronik dan paparan darurat. Pelaksanaan intervensi dimaksud hanya diberlakukan untuk *NORM* dan *TENORM* dengan konsentrasi radioaktif melebihi tingkat intervensi. Tingkat Intervensi adalah tingkat dosis yang dapat dihindari dengan melakukan tindakan protektif atau remedial untuk situasi paparan kronik atau paparan darurat.

Pada umumnya konsentrasi *NORM* dalam bahan alamiah 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<sup>[5]</sup>.

*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.

Berdasarkan rekomendasi yang ditetapkan dalam *Basic Safety Standard* yang dikeluarkan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency = IAEA*)<sup>[5]</sup>, 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  $\mu$ R/jam, maka material tersebut dinyatakan radioaktif. Menurut Perka BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009<sup>[4]</sup>, 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/cm<sup>2</sup> (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.

Pengelolaan *NORM/TENORM* dilaksanakan agar tidak mencemari lingkungan dan membahayakan masyarakat. Beberapa langkah pengelolaan yang harus dilakukan meliputi inventarisasi, identifikasi, pengangkutan, *on-site* atau *off-site treatment*, pewadahan, penyimpanan sementara dan penyimpanan lestari (*landfill/disposal*). Beberapa negara maju telah berpengalaman dalam melakukan pengelolaan limbah *NORM/TENORM*, mulai dari inventarisasi hingga pengoperasian *landfill*<sup>[6-16]</sup>. Pengalaman dari negara-negara maju tersebut bisa dikaji untuk dikembangkan dan diterapkan di Indonesia.

Dengan konsep pengelolaan limbah *NORM/TENORM* tersebut maka diharapkan masalah limbah *NORM/TENORM* dapat ditangani dengan baik, dan akhirnya setelah ditemukan konsep yang optimal akan bisa diterapkan di masa mendatang untuk mendukung program industri nasional yang dapat menyejahterakan masyarakat.

Tujuan dari pengukuran radiasi dan konsentrasi *NORM* adalah untuk mengetahui rona awal radiasi dan konsentrasi *NORM* sebelum wilayah tersebut digunakan untuk kegiatan PLTU. Lingkup pekerjaan yang dilakukan meliputi pengukuran laju paparan gamma dan konsentrasi *NORM*, serta pengambilan contoh tanah permukaan. Radionuklida *NORM* yang diukur

konsentrasinya meliputi K-40, Ra-226 dan Th-232.

## METODOLOGI

Pengukuran NORM dilakukan pada wilayah calon tapak PLTU di daerah Kramatwatu, Kabupaten Serang, Propinsi Banten, pada tanggal 14-15 Januari 2016, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.

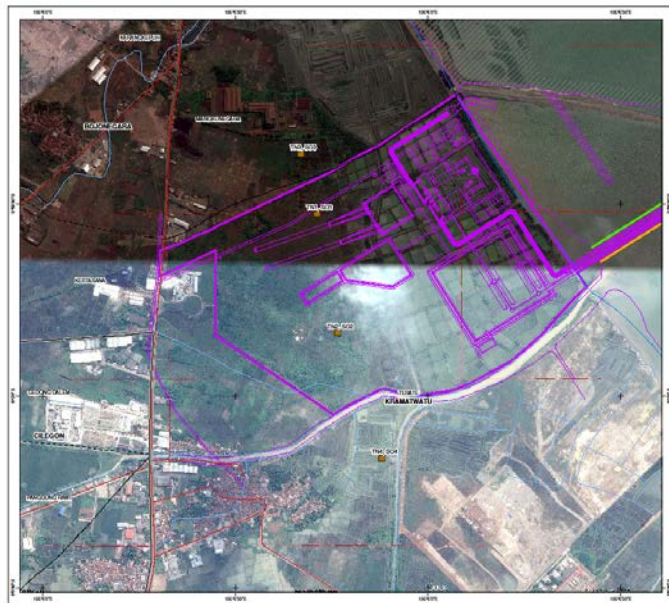
Perlengkapan yang digunakan dalam pengukuran NORM adalah sebagai berikut : *Gamma Spectrometer Portable (GSP Atomtec) AT6101DR, Surveymeter model 3-97 Ludlum-USA, AustralRAD Mini 8-in-1 Wireless Gammasonics, Global Positioning System (GPS), soil sampler, plastic bag* dengan kapasitas 2 liter, peralatan pelindung diri (*helmet, safety shoes, goggles*), *TLD, hand-tools (e.g. spade, hoe, pail and wheelbarrow)*, peta lokasi, kamera digital, *Personal Computer*.

Pengukuran NORM di lapangan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pengamatan kondisi lingkungan;
2. Penentuan lokasi pengukuran (2 titik di dalam tapak dan 2 titik di luar tapak), dengan memilih 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 baik *Atomtec, Surveymeter* maupun *AustralRAD*;
5. Pengukuran dengan *GSP Atomtec* dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan dengan interval waktu 3-5 menit;
6. Pengukuran radiasi dengan *Surveymeter* dan *AustralRAD* dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan dengan lokasi titik pengukuran yang berbeda (di titik pusat, 10 m utara, 10 meter timur, 10 m selatan dan 10 meter barat);
7. Pembacaan dan pencatatan hasil pengukuran pada form pencatatan;
8. *Setting off* masing-masing alat ukur;
9. Pengambilan contoh tanah permukaan sebanyak lebih kurang 2 kg dengan sekop atau cangkul;
10. Pewadahan dan pemberian label contoh tanah dalam kantong plastik sampel;
11. 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 1. Lokasi pengukuran NORM

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi asli wilayah tapak pengukuran NORM berupa dataran aluvial kaki perbukitan (bagian barat) dan dataran pantai laut Jawa (bagian timur). Secara geologi, lokasi pengukuran NORM tersusun oleh endapan

aluvial berumur kuartar yang berupa pasir, lanau dan lumpur dengan sedikit kerikil-kerakal. Penggunaan lahan daerah pengukuran NORM dan sekitarnya berupa sawah, kawasan industri, permukiman, semak, kebun, tambak dan pantai (Gambar 1 dan 2).



Lokasi TN-1



Lokasi TN-2



Lokasi TN-3



Lokasi TN-4

Gambar 2. Lokasi pengukuran NORM yang berupa dataran dengan penggunaan lahan kebun (lokasi TN-1), lahan kosong (lokasi TN-2), sawah (lokasi TN-3) dan semak (lokasi TN-4).

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 dan 4.

**Tabel 1. Hasil pengukuran dosis radiasi dan konsentrasi NORM Lokasi TN-01,  
 Koordinat Lokasi S : 05° 59' 33.4" E : 106° 05' 34.0"**

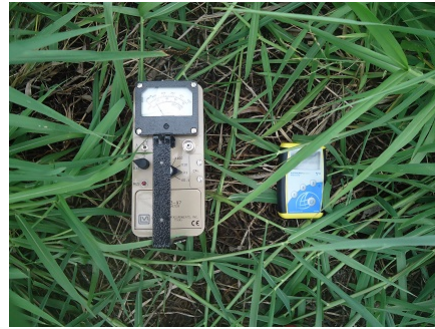
No	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)			Aktivitas Efektif NORM (Bq/kg)
		Survey-meter	Austral RAD	K-40	Ra-226	Th-232	
1	14	0,050	0,052	36,20	40,40	20,20	<b>68,3±7,8</b>
2	14	0,050	0,052	36,40	38,30	<b>20,50</b>	66,6±7,7
3	14	0,050	<b>0,070</b>	33,30	40,90	15,80	62,8±7,3
4	14	0,050	0,052	<b>38,20</b>	<b>42,50</b>	17,30	66,8±7,5
5	14	<b>0,060</b>	<b>0,070</b>	27,10	40,60	15,80	63,6±7,3
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,052</b>	<b>0,059</b>	<b>34,24</b>	<b>40,54</b>	<b>17,92</b>	<b>65,6±7,5</b>

Data hasil pengukuran radiasi dan konsentrasi NORM dari lokasi TN-01 ditunjukkan pada Tabel 1. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa laju dosis yang diukur dengan *Survey-meter* berkisar antara 0,050 sampai dengan 0,060  $\mu\text{Sv/h}$  dengan nilai rata-rata adalah 0,052  $\mu\text{Sv/h}$ . Laju dosis yang diukur dengan *AustralRAD* berkisar antara 0,052 – 0,070  $\mu\text{Sv/h}$ . Konsentrasi Ka-40 berkisar antara 27,10 sampai

dengan 38,20 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 34,24 Bq/kg. Konsentrasi Ra-226 dalam tanah di lokasi 1 berkisar antara 38,30 – 42,50 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 40,54 Bq/kg. Konsentrasi Th-232 berkisar antara 15,80 – 20,50 Bq/kg dan rata-rata sebesar 17,92 Bq/kg. Aktivitas efektif NORM berkisar antara 62,8 ± 7,3 sampai dengan 68,3 ± 7,8 Bq/kg dengan rata-rata sebesar 65,6 ± 7,5 Bq/kg.



Lokasi TN-1



Lokasi TN-2



Lokasi TN-3



Lokasi TN-2



Lokasi TN-4



Gambar 3. Kegiatan pengukuran NORM di lapangan

Data hasil pengukuran radiasi dan konsentrasi NORM dari lokasi TN-02 dapat dilihat pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa laju dosis yang diukur dengan *Surveyrometer* berkisar antara 0,050 sampai dengan 0,070  $\mu\text{Sv/h}$  dengan nilai rata-rata adalah 0,062  $\mu\text{Sv/h}$ . Laju dosis yang diukur dengan *AustralRAD* berkisar antara 0,052 – 0,070  $\mu\text{Sv/h}$  dan rata-rata 0,062  $\mu\text{Sv/h}$ . Konsentrasi Ka-40 berkisar antara 19,80 sampai dengan 36,70

Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 29,56 Bq/kg. Konsentrasi Ra-226 dalam tanah di lokasi TN-2 berkisar antara 33,40 – 41,20 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 37,12 Bq/kg. Konsentrasi Th-232 berkisar antara 17,10 – 22,00 Bq/kg dan rata-rata sebesar 19,46 Bq/kg. Aktivitas efektif NORM berkisar antara  $62,1 \pm 7,5$  sampai dengan  $68,9 \pm 7,9$  Bq/kg dengan rata-rata sebesar  $64,8 \pm 7,6$  Bq/kg.

**Tabel 2. Hasil Pengukuran dosis radiasi dan konsentrasi NORM Lokasi TN-02, Koordinat Lokasi S : 05° 59' 51.1" E : 106° 05' 46.8"**

No	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)			Aktivitas Efektif NORM (Bq/kg)
		Survey-meter	Austral RAD	K-40	Ra-226	Th-232	
1	19	0,060	0,052	19,80	38,10	17,60	62,9 $\pm$ 7,4
2	19	0,050	0,052	29,30	34,10	19,50	62,1 $\pm$ 7,5
3	19	<b>0,070</b>	<b>0,070</b>	33,20	38,80	<b>22,00</b>	<b>68,9<math>\pm</math>7,9</b>
4	19	<b>0,070</b>	<b>0,070</b>	28,80	33,40	21,10	63,4 $\pm$ 7,7
5	19	0,060	<b>0,070</b>	<b>36,70</b>	<b>41,20</b>	17,10	66,8 $\pm$ 7,5
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,062</b>	<b>0,062</b>	<b>29,56</b>	<b>37,12</b>	<b>19,46</b>	<b>64,8<math>\pm</math>7,6</b>

Hasil pengukuran radiasi dan konsentrasi NORM dari lokasi TN-03 seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa laju dosis yang diukur dengan *Survey-meter* berkisar antara 0,050 sampai dengan 0,060  $\mu\text{Sv/h}$  dengan nilai rata-rata adalah 0,054  $\mu\text{Sv/h}$ . Laju dosis yang diukur dengan *AustralRAD* berkisar antara 0,052 – 0,087  $\mu\text{Sv/h}$  dan rata-rata 0,062  $\mu\text{Sv/h}$ . Konsentrasi Ka-40 berkisar antara 20,20 sampai dengan 33,50

Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 28,84 Bq/kg. Konsentrasi Ra-226 dalam tanah di lokasi TN-3 berkisar antara 31,00 – 34,30 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 32,76 Bq/kg. Konsentrasi Th-232 berkisar antara 17,20 – 23,20 Bq/kg dan rata-rata sebesar 20,04 Bq/kg. Aktivitas efektif NORM berkisar antara 57,0  $\pm$  7,2 sampai dengan 59,3  $\pm$  7,5 Bq/kg dengan rata-rata sebesar 58,0  $\pm$  7,3 Bq/kg.

**Tabel 3. Hasil Pengukuran dosis radiasi dan konsentrasi NORM Lokasi TN-03, Koordinat Lokasi S : 05° 59' 26.9" E : 106° 05' 33.4"**

No	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)			Aktivitas Efektif NORM (Bq/kg)
		Survey-meter	Austral RAD	K-40	Ra-226	Th-232	
1	20	0,050	0,052	29,00	31,00	20,90	<b>59,3<math>\pm</math>7,5</b>
2	20	<b>0,060</b>	<b>0,087</b>	<b>33,50</b>	34,20	<b>23,20</b>	58,4 $\pm$ 7,2
3	20	<b>0,060</b>	0,070	20,20	<b>34,30</b>	17,20	58,4 $\pm$ 7,2
4	20	0,050	0,052	32,40	31,60	18,50	57,0 $\pm$ 7,2
5	20	0,050	0,052	29,10	32,70	20,40	57,0 $\pm$ 7,2
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,054</b>	<b>0,062</b>	<b>28,84</b>	<b>32,76</b>	<b>20,04</b>	<b>58,0<math>\pm</math>7,3</b>

Hasil pengukuran radiasi dan konsentrasi NORM dari lokasi TN-04 seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa laju dosis yang diukur dengan *Survey-meter* berkisar antara 0,040 sampai dengan 0,070  $\mu\text{Sv/h}$  dengan nilai rata-rata adalah

0,054  $\mu\text{Sv/h}$ . Laju dosis yang diukur dengan *AustralRAD* berkisar antara 0,032 – 0,070  $\mu\text{Sv/h}$  dan rata-rata 0,052  $\mu\text{Sv/h}$ . Konsentrasi Ka-40 berkisar antara 21,30 sampai dengan 25,20 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 23,28 Bq/kg.

**Tabel 4. Hasil Pengukuran dosis radiasi dan konsentrasi NORM Lokasi TN-04, Koordinat Lokasi S : 06° 00' 09.2" E : 106° 05' 46.2"**

No	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)			Aktivitas Efektif NORM (Bq/kg)
		Survey-meter	Austral RAD	K-40	Ra-226	Th-232	
1	23	<b>0,070</b>	<b>0,070</b>	24,60	30,10	27,70	68,5 $\pm$ 6,4
2	23	0,060	0,052	22,40	32,00	23,00	64,1 $\pm$ 6,1
3	23	0,040	0,032	<b>25,20</b>	32,00	27,50	70,2 $\pm$ 6,5
4	23	0,050	0,052	22,90	<b>33,50</b>	23,10	65,7 $\pm$ 6,1
5	23	0,050	0,052	21,30	32,50	<b>28,80</b>	<b>72,1<math>\pm</math>6,6</b>
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,054</b>	<b>0,052</b>	<b>23,28</b>	<b>32,02</b>	<b>26,02</b>	<b>68,1<math>\pm</math>6,3</b>

Konsentrasi Ra-226 dalam tanah di lokasi TN-4 berkisar antara 30,10 – 33,50 Bq/kg, dengan rata-rata sebesar 32,02 Bq/kg. Konsentrasi Th-232 berkisar antara 23,00 – 28,80 Bq/kg dan rata-rata sebesar 26,02 Bq/kg. Aktivitas efektif NORM berkisar antara  $64,1 \pm 6,1$  sampai dengan  $68,5 \pm 6,4$  Bq/kg dengan rata-rata sebesar  $68,1 \pm 6,3$  Bq/kg.

#### Perbandingan Konsentrasi NORM dalam Batubara, Bottom Ash dan Fly Ash

Pada Tabel 5 ditunjukkan perbandingan konsentrasi NORM dalam batubara dari berbagai negara. Konsentrasi K-40 berkisar antara tak terdeteksi (ttd) hingga 760 Bq/kg, U-238 antara

ttd hingga 250 Bq/kg, Ra-226 berada pada kisaran antara ttd sampai dengan 100 Bq/kg, Pb-210 dari tidak terdeteksi (ttd) hingga 52 Bq/kg, Po-210 berkisar antara ttd s/d 30, Th-332 berkisar antara ttd – 111 Bq/kg dan Ra-228 antara ttd sampai 35 Bq/kg. Radionuklida yang relatif umum dijumpai di setiap negara sebagai NORM adalah K-40, Ra-226 dan Th-232.

Pada Tabel 6 ditunjukkan perbandingan konsentrasi radionuklida NORM dalam fly ash PLTU batubara di beberapa negara. Dalam fly ash PLTU batubara mengandung K-40 antara ttd hingga 1000 Bq/kg, Ra-226 antara 15 hingga 999 Bq/kg, dan Th-232 antara ttd sampai 300 Bq/kg.

**Tabel 5. Konsentrasi radionuklida dalam batubara dari beberapa negara**<sup>[2,17-20]</sup>

No.	Asal Batubara	Konsentrasi radionuklida (Bq/kg)						
		K-40	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-232	Ra-228
1	Australia	ttd	ttd	30-48	ttd	ttd	ttd	ttd
2	Brasil	370	ttd	100	ttd	ttd	67	ttd
3	Kanada	440	ttd	30	ttd	ttd	26	ttd
4	Cekoslovakia	ttd	ttd	4,1-13	ttd	ttd	ttd	ttd
5	China: - jenis 1 - jenis 2	ttd	ttd	7	ttd	ttd	ttd	ttd
		69	-	27	52	-	26	-
6	Jerman: - bituminus - coklat	ttd	<40	20	25	30	<20	ttd
		ttd	15	<10	10	10	<7	ttd
7	Hungaria	ttd	ttd	1,5	ttd	ttd	ttd	ttd
8	India	ttd	ttd	25	ttd	ttd	ttd	35
9	Italia: -lignit (Italia tengah) -lignit (Sardinia)	ttd	15- 25	4-15	ttd	ttd	74-111	ttd
		ttd	250	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
10	Polandia: - jenis I - jenis II	290	38	ttd	ttd	ttd	30	ttd
		37-760	2-140	ttd	ttd	ttd	7-110	
11	Afrika Selatan	110	ttd	30	ttd	ttd	20	ttd
12	Rusia	120	28	ttd	ttd	22	ttd	ttd
13	Inggris: - jenis I - jenis II	120	17	ttd	ttd	ttd	17	ttd
		ttd	11-29	7,4-94	ttd	ttd	2,4-19	ttd
14	Amerika Serikat - Bagian Barat - Illinois & Kentucky - Alabama, Tennessee - Wyoming I - Wyoming II	110	20	16	17	ttd	13	13
		44	27	ttd	ttd	ttd	8,5	ttd
		120	ttd	8,9	ttd	ttd	27	ttd
		ttd	ttd	0,52	10	ttd	ttd	ttd
		ttd	18	ttd	31	41	ttd	ttd
15	Venezuela	110	ttd	<20	ttd	ttd	<20	ttd
16	Rumania : - coklat - lignit - campuran	310	39	38	-	-	30	-
		274	41	74	-	-	25	-
		305	31	53,5	-	-	16,5	-
17	Perancis (lignit)	17	-	40	-	-	-	5
18	Yunani	65-91	-	77-89	-	-	-	14-16
19	Indonesia (Kalimantan)	-	1,70	-	-	-	2,70	-

Keterangan : ttd = tidak terdeteksi

Pada Tabel 7 ditunjukkan perbandingan konsentrasi radionuklida NORM dalam beberapa jenis batubara, *bottom ash* dan *fly ash*. Bila kita tinjau konsentrasi NORM dalam *bottom ash*, maka diperoleh angka-angka antara 2-160 Bq/kg (U-238), 5-237 Bq/kg (Ra-226), 1,5 hingga 147 Bq/kg (Th-232) dan 158 – 1000 Bq/kg (K-40). Konsentrasi NORM dalam *fly ash* terkumpul, U-

238 antara 3-312 Bq/kg, Ra-226 antara 4-528 Bq/kg, Th-232 antara 2 hingga 170 Bq/kg dan K-40 berkisar antara 160 – 1200 Bq/kg. Konsentrasi NORM dalam *fly ash* yang lolos, U-238 antara 4-420 Bq/kg, Ra-226 antara 6-558 Bq/kg, Th-232 antara 2,2 hingga 170 Bq/kg dan K-40 berkisar antara 160 – 1300 Bq/kg.

**Tabel 6. Kandungan dan konsentrasi radionuklida dalam *fly ash* PLTU batubara di beberapa negara<sup>[2]</sup>**

No.	Negara	Konsentrasi radionuklida (Bq/kg)							
		K-40	Ra-226	U-238	Pb-210	Po-210	Th-232	Th-228	Ra-228
1	Australia	ttd	520	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
2	Jerman	ttd	70-300	70-300	200-3000	300-5500	30-100	ttd	ttd
3	India	ttd	100	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	130
4	Italia:								
	I	80-1000	44-330	40-70	ttd	ttd	300	ttd	ttd
	II	-	37-74	-	-	-	-	-	333
	III	-	999	-	-	-	-	-	-
5	Hungaria	ttd	20-560	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
6	USA	260-270	15	200	160-630	250-700	100-160	100-120	100-160
	I	260-270	15	200	160-630	250-700	100-160	100-120	100-160
	II	-	161	-	-	-	-	-	84
	III	-	137	-	-	-	-	-	67
7	Rumania	500	113	71	206	240	59	70	-

Keterangan : ttd = tidak terdeteksi

**Tabel 7. Kandungan dan konsentrasi radionuklida dalam beberapa jenis batubara, *bottom ash* dan *fly ash*<sup>[2]</sup>**

No	Radio-nuklida	Batubara coklat (Bq/kg)	Lignit (Bq/kg)	Batubara campuran (Bq/kg)	<i>Bottom ash</i> (Bq/kg)	<i>Fly ash</i> (Bq/kg)	
						terkumpul	lolos
1	U-238	7-101	1,5-96	1,1-112	<b>2-160</b>	<b>3-312</b>	<b>4-420</b>
2	Ra-226	1-91	8-152	4-120	<b>5-237</b>	<b>4-528</b>	<b>6-558</b>
3	Pb-210	-	-	-	-	10-500	11-510
4	Po-210	-	-	-	-	10-540	11-589
5	Th-232	30	10-35	1-43	<b>1,5-147</b>	<b>2-170</b>	<b>2,2-170</b>
6	Th-228	-	-	-	-	1,2-175	1-175
7	K-40	230-590	182-490	30-615	<b>158-1000</b>	<b>160-1200</b>	<b>160-1300</b>

Pada Tabel 8 ditunjukkan konsentrasi radionuklida NORM yang terlepas dari pengoperasian PLTU batubara.

**Tabel 8. Konsentrasi radionuklida yang terlepas dari pengoperasian PLTU batubara 1000 MWe<sup>[2]</sup>**

Bentuk/Jenis	Aktifitas (Bq/tahun)
Gas	
1. Rn-222	$(0,30 - 8,14) \times 10^9$
Partikulat:	
1. K-40	$(0,20 - 28,70) \times 10^9$
2. U-238	$(0,06 - 0,30) \times 10^9$
Ra-226	$(0,04 - 51,70) \times 10^9$
U-234	$(0,06 - 0,30) \times 10^9$
Po-218	$(0,14 - 0,30) \times 10^9$
Pb-214	$(0,14 - 0,30) \times 10^9$
Po-214	$(0,14 - 0,30) \times 10^9$
Pb-210	$(0,14 - 0,30) \times 10^9$
Po-210	$0,30 \times 10^9$
Th-234	$0,30 \times 10^9$
Pa-234	$0,19 \times 10^9$
3. Th-232	$0,19 \times 10^9$
Th-228	$0,07 \times 10^9$
Tl-208	$0,19 \times 10^9$
Ac-228	$0,19 \times 10^9$
Bi-212	$(4,07 - 14,80) \times 10^9$
Rn-220	$0,19 \times 10^9$
Ra-224	$(0,19 - 3,5) \times 10^9$
Ra-228	$(0,09 - 3,5) \times 10^9$
Po-216	$(0,09 - 0,19) \times 10^9$

Dengan adanya gambaran data konsentrasi NORM dalam batubara, *bottom ash* dan *fly ash* dari beberapa negara seperti ditunjukkan dalam Tabel 5, 6, 7 dan 8 tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi NORM berada jauh di atas *background* alamiah calon tapak PLTU

Kramatwatu. Pada Tabel 9 ditunjukkan adanya kelipatan antara 1 – 56 kali lipat antara konsentrasi alamiah (*background*) terhadap konsentrasi dalam *bottom ash* dan *fly ash* hasil pengoperasian PLTU batubara.

**Tabel 9. Perbandingan konsentrasi NORM daerah kajian terhadap konsentrasi NORM dalam *bottom ash* dan *fly ash* dari pengoperasian PLTU batubara\**

Radio-nuklida	TN-1 (Bq/kg)	TN-2 (Bq/kg)	TN-3 (Bq/kg)	TN-4 (Bq/kg)	<i>Bottom ash</i> (Bq/kg)	<i>Fly ash</i> (Bq/kg)		Kelipatan
						ter-kumpul	lolos	
K-40	34,24	29,56	28,84	23,28	158-1000	160-1200	160-1300	5-56 kali
Ra-226	40,54	37,12	32,76	32,02	5-237	4-528	6-558	1-17 kali
Th-232	17,92	19,46	20,04	26,02	1,5-147	2-170	2,2-170	1-10 kali

## KESIMPULAN

Dilihat dari nilai rata-rata radiasi dan konsentrasi K-40, Ra-226 dan Th-232 menunjukkan nilai radiasi dan 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. Kecenderungan konsentrasi K-40, Ra-226 dan Th-232 dalam

tanah di lokasi pengukuran calon tapak PLTU (lokasi TN-1 dan lokasi TN-2) serta di luar calon tapak PLTU (lokasi TN-3 dan TN-4) relatif sama, dan menurut ketentuan peraturan perundangan masih relatif jauh di bawah ambang batas, sehingga tidak perlu dilakukan intervensi lebih lanjut. Data hasil pengukuran radiasi dan konsentrasi NORM di wilayah calon tapak PLTU Kramatwatu dan sekitarnya menunjukkan nilai rona lingkungan yang bersifat latar



(background). Radionuklida NORM yang paling dominan dijumpai dalam batubara, *bottom ash* dan *fly ash* adalah K-40, Ra-226 dan Th-232 dengan nilai konsentrasi yang relatif jauh di atas latar (background) alamiah.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pimpinan PTLR atas ijinnya, pendamping dan tim *survey* dari ERM serta beberapa staf dan pengamanan setempat yang telah mendampingi untuk berlangsungnya *survey* ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Bapak Chevy Cahyana dan kawan-kawan dari Laboratorium Lingkungan PPIKSN atas bantuan analisis sampelnya.

### DAFTAR PUSTAKA

1. 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.
2. Melawati, J., Kajian Dampak Lepas Radionuklida dari Pengoperasian PLTU Batubara dan PLTN ke Lingkungan, Iptek Nuklir : Bunga Rampai Presentasi Ilmiah Jabatan Peneliti, BATAN, Jakarta.
3. Peraturan Pemerintah RI No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
4. Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*.
5. Kathren, R.L., NORM Sources and Their Origins, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
6. 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.
7. Paschoa, A.S., Potential Environment and Regulatory Implications of NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
8. Heaton, B., Field Survey Instrumentation and Radioanalytical Procedures for NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
9. Hipkin, J., Paynter, R.A. and P.V. Shaw, Exposures at Work to Ionizing Radiation Due to the Use of NORM in Industrial Processes, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
10. Smith, D.M. and P. Kemball, Regulatory Control and NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
11. Bhattacharyya, D.K., Issues in the Disposal of Waste Containing NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
12. O'Brien, R.S. and M.B. Cooper, TENORM : Pathway Analysis and Radiological Impact, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
13. Carlyle, J., etc., Disposal Options and Case-study Analysis, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
14. Hutchinson, D.E. and L.F. Toussaint, Near Surface of Concentrated NORM Wastes, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
15. Peraturan Pemerintah RI No. 61 Tahun 2013, tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif (2013).
16. NORM Waste Management Technical Committee, Technical Report on the Management of Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in Waste (2005).
17. Simopoulos, S.E. & M.G. Angelopoulos, Naturally Radioactivity Release from Lignite Power Plants in Greece, *Journal Environmental Radioactivity* 5 (1987).
18. Heni, Studi Potensi Peningkatan Paparan Unsur Radioaktif Alam Akibat Pembakaran Batubara, *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, BATAN, Vol. 7 No. 2 Desember (2005).
19. A.S. Arief, Melawati, J. & K. Santoso, Tingkat Radioaktivitas Radionuklida Primordial  $^{238}\text{U}$  dan  $^{232}\text{Th}$  di Lingkungan Tambang Batubara Terbuka. Prosiding Seminar Keselamatan Radiasi dan Lingkungan XI, Jakarta (2005).
20. T. Ren, Comparative Health Risk Assessment of Nuclear Power and Coal Power in China. *Journal Radiological Protection* Vol. 18 (1998).