

## RADIOAKTIVITAS ALAM HASIL PEMBAKARAN BATUBARA DARI PLTU PACITAN

Sukirno, Sri Murniasih, Rosidi dan Sutanto.W.W

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN

Jl. Babarsari No. 21 Po. Box. 6101 ykbb Yogyakarta

email: sukirno@batan.go.id

### ABSTRAK

*RADIOAKTIVITAS ALAM HASIL PEMBAKARAN BATUBARA DARI PLTU PACITAN. Pemantauan radioaktivitas dalam pembangkit listrik batu bara telah dilakukan oleh Laboratorium AAN PSTA, pada tahun 2015. Pemantauan meliputi analisis tanah, air, abu layang (fly ash), abu dasar (bottom ash) dan batubara. Tujuan dasar dari pekerjaan ini adalah investigasi kandungan radionuklida alam dalam sampel batubara dan produk pembakarannya di pembangkit listrik Pacitan sebagai langkah awal untuk memperkirakan radioaktif di sekitarnya. Makalah ini menyajikan hasil analisis radioaktivitas sampel batubara, fly ash dan bottom ash serta sampel lingkungan berupa tanah dan air. Radionuklida alam Ra-226, Th-232, K-40, U-235, U-238, dan Pb-210 ditentukan dengan spektrometri gamma yang dilengkapi detektor HPGe. Konsentrasi radionuklida alam pada butiran halus batubara, bottom ash dan fly ash mempunyai konsentrasi berkisar (0,057-162,182) Bq/kg. Radioaktivitas yang terkandung dalam tanah berkisar (0,041-169,34) Bq/kg sedangkan dalam air berkisar (0,003-0,045) Bq/L. Menurut PERKA BAPETEN. No 7 Tahun 2013. Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan, hasil analisis pengukuran air yang terdapat disekitar PLTU Pacitan masih dibawah nilai batas yang diijinkan oleh BAPETEN.*

*Kata kunci: radioaktivitas alam, spektrometri gamma, bottom ash, fly ash, tanah dan air*

### ABSTRACT

*NATURAL RADIOACTIVITY PRODUCT FROM COAL BURNING IN PLTU PACITAN. Monitoring of radioactivity in the coal-fired power plant has been carried out in the CAST-NAA laboratory at 2015. Monitoring includes analysis of soil, water, fly ash, bottom ash and coal. The basic purpose of this work is the investigation of natural radionuclide contents in coal and the actual product samples in the Pacitan power plant as a first step to estimate the radioactive in the vicinity. This paper presents the results of the analysis of radioactivity in samples of coal, fly ash and bottom ash as well as environment samples of soil and water. Ra-226, Th-232, K-40, U-235, U-238, and Pb-210 Natural radionuclides are determined by gamma spectrometry with HPGe detector. Natural radionuclide in fine grain coal, bottom ash and fly ash have concentrations range (162.182 to 0.057) Bq/kg. Radioactivity contained in soil ranges (0.041 to 169.34) Bq/kg, whereas in water ranges (0.003 to 0.045) Bq/L. According Perka BAPETEN. No. 7 of 2013. On Boundary Value Environmental Radioactivity, the results of measurement analysis contained water around the power plant Pacitan still below the limit values allowed by BAPETEN.*

*Keywords: radioactivity, spectrometry of gamma, bottom ash, fly ash, soil and water*

### PENDAHULUAN

Manusia selalu terpapar radiasi alam, terutama disebabkan aktivitas radionuklida primordial terutama deret U-238, Th-238 dan K-40. Radionuklida primordial tersebut berada di kerak bumi, bahan bangunan, udara, air, makanan serta di dalam tubuh manusia sendiri [1, 2]. Radionuklida alam yang ada di bumi tidak terdistribusi secara merata, radionuklida tersebut distribusi pada tanah, pasir, dan batuan termasuk batu bara. Paparan radiasi dari radionuklida memainkan peran penting dalam proteksi radiasi dan pengukurannya.

Program pemerintah untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat yaitu dengan mendirikan beberapa PLTU di pulau Jawa dan Bali.

Salah satu PLTU menghasilkan energi listrik yang cukup besar adalah PLTU Pacitan. PLTU Pacitan dibangun diatas lahan seluas 65 ha, terletak di laut selatan pulau Jawa tepatnya di desa Sukorejo, kecamatan Sidomoro, sekitar 30 km arah timur Pacitan, Propinsi Jawa Timur. Proyek PLTU Pacitan Jawa Timur, ini memiliki dua unit pembangkit listrik dengan kapasitas total 630 MW, dimana kapasitas masing-masing unit pembangkit listrik sebesar 315 MW. PLTU Pacitan mulai beroperasi untuk komersial pada 2013 dimana unit 1 mulai beroperasi pada bulan Februari sedangkan unit 2 pada bulan Maret. Secara nonkomersial, sebenarnya PLTU Pacitan sudah beroperasi dan menghasilkan listrik sejak tahun 2012 dalam rangka proses pengujian.

Pembakaran batubara sebagai bahan bakar

pembangkit listrik mengarah ke redistribusi radionuklida alam berasal dari batubara dan radionuklida tersebut terkonsentrasi dalam *fly ash* dan *bottom ash*. Batubara secara alami mengandung sejumlah radionuklida seperti Ra-2226, Th-232, K-40, U-235, U-238, dan Pb-210 [3-5]. Pembakaran batubara akan meningkatkan radiasi alam di sekitar pembangkit listrik sebagai dampak pelepasan radionuklida dan anak luruhnya di ekosistem sekitarnya. Sehingga batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik merupakan penyumbang utama radiasi alam karena menghasilkan abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) dalam jumlah cukup besar. Dimana *fly ash* dan *bottom ash* juga mengandung radionuklida. Bahan radioaktif yang secara alami ada di alam disebut juga *NORM* ringkasan dari *Naturally Occurring Radioactive Material*, yang sadar atau tidak sadar merupakan bagian dari kehidupan manusia.

Dengan demikian semua bentuk konversi yang berasal dari batubara dalam proses kegiatan industri akan menghasilkan produk/bahan/limbah. Produk yang mengandung radionuklida alam disebut *technologically enhanced naturally occurring radioactive material (TENORM)* [3, 6]. Pada umumnya TENORM dijumpai dengan konsentrasi yang sangat rendah dan menjadi bagian kehidupan sehari-hari manusia. Namun ada beberapa TENORM mempunyai konsentrasi radionuklida yang tinggi yang mampu menaikkan paparan radiasi di lingkungan sekitar.

Tujuan analisis sampel industri dalam pekerjaan ini adalah untuk mengetahui konsentrasi aktivitas radionuklida alam yang terdapat dalam abu layang (*fly ash*), abu dasar (*bottom ash*) dan batubara sebagai umpan yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Selain itu akan diketahui juga faktor pengayaan *TENORM* dari hasil pembakaran batubara. Analisis konsentrasi aktivitas radionuklida alam pada sampel lingkungan (tanah dan air) di sekitar PLTU juga dilakukan pada pekerjaan ini untuk mengetahui dampak terhadap ekosistem sekitar. Analisis radionuklida pada pekerjaan ini dilakukan dengan menggunakan alat spektrometri gamma yang dilengkapi dengan detektor semikonduktor resolusi tinggi HPGe.

## TATA KERJA

### Sampling

Sampel industri batubara, abu dasar (*bottom ash*) dan abu layang (*fly ash*) diambil dari fasilitas PLTU Pacitan. Pengambilan sampel lingkungan tanah dan air dipengaruhi oleh intensitas kegiatan fasilitas di sekitar PLTU Pacitan dengan radius sekitar 0,5 sampai 2 km dari lokasi PLTU. Tanah

yang diambil sebagai sampel lingkungan adalah tanah bagian permukaan dengan seluas 20 x 20 cm dan kedalaman sampai 10-15 cm. Sampel lingkungan yang telah diambil diberi identitas berupa tanggal, lokasi dan waktu sampling yang dituliskan pada kantong atau botol *polyethylene* supaya tidak hilang atau lupa pada saat di bawa ke laboratorium.

### Preparasi

Semua sampel industri batubara, *bottom ash* dan *fly ash* dikering ditumbuk dengan penumbuk tahan karat, dan dilakukan pengayakan hingga lolos 100 mesh kemudian dilakukan homogenisasi dan ditimbang 70 g dalam wadah silinder (diameter 48 mm dan tinggi 50 mm) yang berlabel dan disegel [5,7]. Sampel lingkungan untuk tanah perlakuannya sama seperti sampel industri. Khusus sampel air yang telah diambil dari lingkungan sebanyak 1000 ml diuapkan secara pelan-pelan dalam cawan porselin di atas pemanas sampai sisanya masih tertinggal 20 ml dan dimasukkan ke dalam botol *polyethelene*.

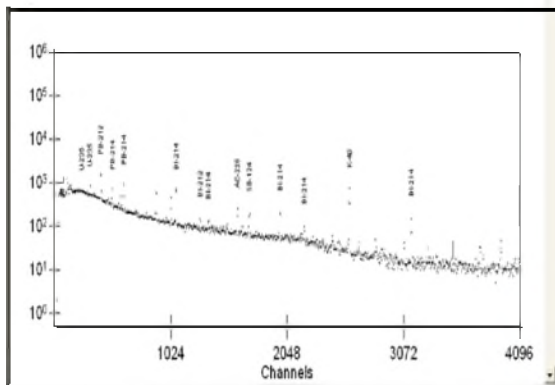
### Analisis Spektrometri Gamma

Analisis sampel dilakukan menggunakan spektrometer gamma dilengkapi dengan *software Genie 2000* dan detektor HPGe yang memiliki efisiensi relatif 35% dan resolusi 1,925 keV pada energi gamma 1332 keV dari Co-60. Penentuan performa detektor dilakukan dengan menggunakan *point source* pada penentuan efisiensi detector jarak tertentu [5-7]. Pengukuran radioaktivitas Ra-226, U-238 dan Th-232 dilakukan dari radioaktivitas anak luruhnya terutama radon. Hal ini didasarkan asumsi bahwa telah terjadi kesetimbangan sekular setelah sampel dalam kondisi kedap udara selama 30 hari [3,4,6] dan dapat juga kesetimbangan sekular setelah 21 hari [8]. Kesetimbangan sekular terjadi pada peluruhan radionuklida dengan umur paruh yang jauh lebih panjang dibandingkan radionuklida anak luruhnya. Radionuklida alam yang ditentukan aktivitasnya pada penelitian ini adalah Pb-210 (46,5 keV), Th-234 (63,0 keV), U-235 (143,8 dan 185,7 keV), Pb-214 (295,6; 351,9 keV), Bi-214 (609,3, 1120,3, dan 1764,5 keV), Ac-228 (338,6 dan 911,1 keV) dan K-40 (1460,7 keV). Khusus Pb-210 dan Th-234 mempunyai energi karakteristik rendah sehingga penentuan radioaktivitas menggunakan standar *Reference Material LAEA-315 Radionuclides in Marine Sediment*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 merupakan spektrum radionuklida alam dalam batubara dengan pencacahan dilakukan selama 86400 detik. Tidak semua spektrum radionuklida dapat tampil pada gambar tersebut

seperti Pb-210 pada energi 46,5 keV, Th-234 pada energi 63 keV, Ra-226 pada energi 186,2 keV. Untuk identifikasi Ra-226 melalui anak luruhnya yaitu radionuklida Bi-214 (609,3, 1120,3 dan 1764,5 keV) dan Th-232 melalui anak luruhnya yaitu Pb-214 (295,6; 351,9 keV) dan Ac-228 (338,6 dan 911,1 keV) [1,3,5,8]. Pada Gambar 1 terlihat bahwa spektrum dari radionuklida U-235 ada dua puncak energi karakteristik yaitu 143,8 keV dan 185,7 keV. Untuk menentukan radioaktivitas digunakan energi puncak 143,8 keV (probabilitas 10,10 %) walaupun mempunyai probabilitas lebih rendah daripada energi puncak 185,7 keV (probabilitas 54,00 %) [8,9]. Hal ini disebabkan pada energi 185,7 keV terdapat gangguan (*interfering*) dengan energi puncak 186,2 keV, atau dapat juga digunakan dengan koreksi radionuklida Ra-226. U-238 ditentukan melalui Th-234 atau dengan Pa-234m ( $T_{1/2} = 1,17$  menit) pada 1000,0 keV [1,3,4].



**Gambar 1.** Identifikasi radioaktivitas alam dengan teknik spektrometri gamma

Hasil pengukuran radioaktivitas (Pb-210, Ra-226, Th-232, U-235, U-238 dan K-40) dalam sampel industri batubara, *bottom ash* dan *fly ash* secara kuantitatif disajikan pada Tabel 1. Pada Tabel 1 disajikan konsentrasi dari radionuklida alam yang terdeteksi dalam batubara dan *bottom ash* lebih rendah dibandingkan yang terdeteksi dalam *fly ash*.

Konsentrasi radionuklida yang terdeteksi dalam batubara berkisar 0,057±0,001 Bq/kg (U-235) sampai dengan 18,844±0,17 Bq/kg (K-40). Menurut UNSCEAR [3], konsentrasi radionuklida yang terdapat dalam batubara yang diharapkan untuk Ra-226 adalah 35 Bq/kg (kisaran 17-60 Bq/kg), Th-232 adalah 30 Bq/kg (kisaran 11-64 Bq/kg), K-40 adalah 400 Bq/kg (kisaran 140-850 Bq/kg). Hal ini menunjukkan hasil analisis batubara yang dipakai sebagai bahan bakar PLTU Pacitan masih jauh dibawah arahan UNSCEAR. Konsentrasi radionuklida U-235 TENORM yang terdeteksi dalam *bottom ash* dan *fly ash* mempunyai konsentrasi terkecil masing-masing 0,057 dan 0,553

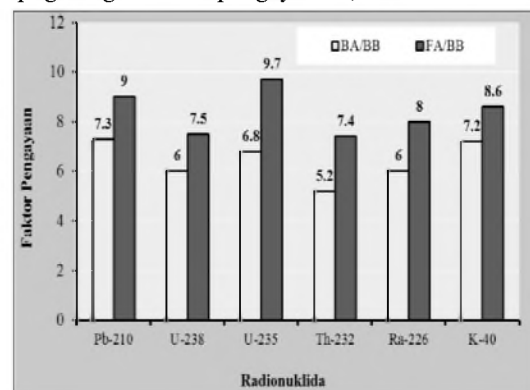
Bq/kg sedangkan konsentrasi terbesar masing-masing adalah 135,933 Bq/kg dan 162,182 Bq/kg untuk radionuklida K-40.

Batas terkecil deteksi suatu unsur radioaktif yang diukur dengan alat spektrometer gamma sangat diperlukan, untuk mengetahui kemampuan alat tersebut yang berhubungan dengan sensitivitas. Batas terkecil deteksi untuk radionuklida Pb-210, Th-232, U-235, U-238 dan K-40 beturut-turut adalah 0,05; 0,105; 0,010; 1,137 dan 0,405 Bq/kg [5].

**Tabel 1.** Hasil pengukuran radioaktivitas Pb-210, U-238, U-235, Ra-226, K-40 dan Th-232 dengan teknik spektrometri gamma.

Radio-nuklida	Konsentrasi (Bq/kg)		
	Batubara	<i>bottom ash</i>	<i>fly ash</i>
Pb-210	3,084±0,19	22,367±1,73	27,681±3,04
U-238	3,477±0,32	20,905±2,51	25,962±3,46
U-235	0,057±0,001	0,389±0,03	0,553±0,03
Th-232	4,404±0,29	23,197±1,24	32,560±1,48
Ra-226	4,391±0,29	26,054±1,17	35,501±1,33
K-40	18,844±0,17	135,933±5,73	162,182±7,9

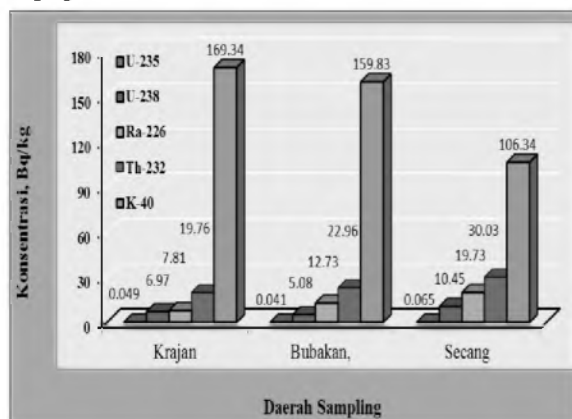
Pengayaan radionuklida (*TENORM*) yang terjadi setelah pembakaran batubara menjadi abu layang (*fly ash*) maupun abu dasar (*bottom ash*) dapat dilihat pada histogram Gambar 2 yaitu berkisar antara 5,2 sampai 9,7 kali. Pada umumnya setelah terjadinya pembakaran batubara menghasilkan *fly ash* dengan faktor pengayaan *TENORM* berkisar 5 sampai 10 kalinya [2,10]. Pengayaan yang tertinggi untuk *bottom ash* terdapat pada radionuklida Pb-210, dimana pada semula batubara mempunyai konsentrasi 3,084 Bq/kg setelah pembakaran Pb-210 terukur menjadi 22,367 Bq/kg dengan faktor pengayaan sebesar 7,7 kali. Untuk *fly ash* pengayaan tertinggi terdapat pada U-235 dari konsentrasi 0,057 Bq/kg menjadi 0,553 Bq/kg dengan faktor pengayaan 9,7 kali.



**Gambar 2.** Pengayaan radioaktivitas dari batubara (*BB*)-*bottom ash* (*BA*) dan batubara (*BB*)-*fly asha* (*FA*)

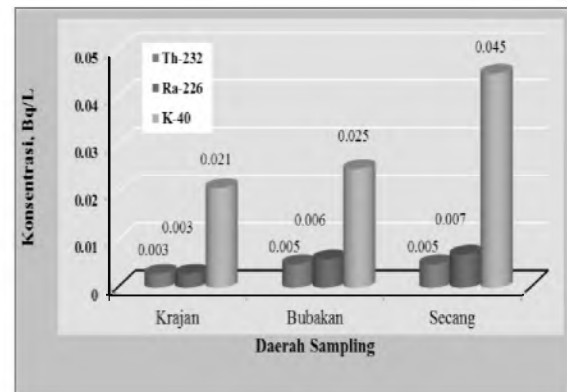
Pengukuran radionuklida alam juga dilakukan untuk sampel lingkungan yaitu tanah dan air di sekitar fasilitas PLTU Pacitan. Gambar 3 merupakan histogram konsentrasi radionuklida (U-235, U-238, Ra-226, Th-232 dan K-40) dalam tanah di daerah sampling (Krajan, Bubakan, Secang). Secara alami radionuklida yang ditemukan dalam berbagai konsentrasi pada permukaan tanah, tergantung pada formasi geologi. Berbagai proses industri operasi yang berhubungan dengan NORM menyebabkan meningkatkan aktivitas alami. Rata-rata konsentrasi dari radium (Ra-226), thorium (Th-232) dan potasium (K-40) di dunia yang terdapat pada lapisan kulit bumi berturut-turut sekitar 40 Bq/kg, 40 Bq/kg, dan 400 Bq/kg [11].

Pada Gambar 3 terlihat sangat jelas bahwa radioaktivitas tertinggi yang terukur adalah K-40 dengan konsentrasi berkisar 169,34 Bq/kg dari daerah Krajan. Konsentrasi radioaktivitas K-40 yang terukur tersebut dibawah rata-rata radioaktivitas lapisan kulit bumi dan begitu juga hasil pengukuran radioaktivitas lainnya yang terdapat dalam tanah. Radioaktivitas terendah yang terukur adalah U-235 dengan konsentrasi 0,041 Bq/kg.



**Gambar 3.** Histogram konsentrasi radionuklida (U-235, U-238, Ra-226, Th-232 dan K-40) dalam tanah di daerah sampling.

Gambar 4 merupakan histogram konsentrasi radionuklida dalam air dengan 3 radionuklida yang diperhatikan yaitu Th-232, Ra-226 dan K-40. Dari ketiga radioaktivitas terukur mempunyai konsentrasi 0,003 Bq/L atau (3,0 Bq/m<sup>3</sup>) yaitu radionuklida Th-232 dari daerah Krajan sampai dengan 0,045 Bq/L atau (45 Bq/m<sup>3</sup>) untuk radionuklida K-40 dari daerah Secang. Menurut PERKA BAPETEN. No 7 Tahun 2013. Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan, untuk radionuklida Th-232 adalah 730 Bq/m<sup>3</sup> dan radionuklida Ra-226 adalah 1000 Bq/m<sup>3</sup> [12]. Hasil analisis pengukuran air yang terdapat disekitar PLTU Pacitan masih dibawah nilai batas yang diijinkan oleh BAPETEN.



**Gambar 4.** Histogram konsentrasi radionuklida (Th-232, Ra-226 dan K-40) dalam air di daerah sampling.

## KESIMPULAN

Radionuklida alam yang ditentukan adalah Ra-226, Th-232, K-40, U-235, U-238, dan Pb-210 dengan spektrometri gamma menggunakan detektor HPGe. Radioaktivitas yang terkandung dalam batubara berkisar 0,057±0,001 Bq/kg (U-235) sampai dengan 18,844±0,17 Bq/kg (K-40), radioaktivitas pada *bottom ash* berkisar 0,389±0,03 Bq/kg (U-235) sampai dengan 135,933±5,73 Bq/kg (K-40) dan radioaktivitas yang terdapat pada *fly ash* berkisar 0,553±0,03 (U-235) Bq/kg sampai dengan 162,182±7,91 Bq/kg (K-40). Radioaktivitas yang terkandung dalam tanah di 3 (tiga) lokasi sampling yaitu Krajan, Bubakan dan Secang dengan konsentrasi berkisar (0,041-169,34) Bq/kg sedangkan dalam air berkisar (0,003-0,045) Bq/L. Pengayaan radioaktivitas hasil pembakaran batubara yang terkecil terjadi pada *bottom ash* berkisar 5,2 kali untuk Th-232 dan nilai 7,3 kali untuk Pb-210. Untuk pengayaan radioaktivitas dalam *fly ash* adalah 7,4 kali (Th-232) sampai dengan 9,7 kali (U-235).

## DAFTAR PUSTAKA

- Romala.R.C., Chobey.Vm., Prasad.G., Kies.A., *Radionuclide Analysis in the Soil of Kumaum Himalaya, India Using Gamma Ray Spectrometry*. Research Communications. Current Science, vol. 100, No 6. India, 2011. 906-914.
- Pandit.G.G, Sahu.S.K, Puranik. V.D, *Natural radionuclides from coal fired thermal power plants estimation of atmospheric release and inhalation risk*, Radioprotection, vol 46. EDP Sciences, 173-179, 2011.
- Jankovic.M.M, Todovic.D.J, Nikolic.J.D., *Analysis of Radionuclide in Coal, Slag and ash in Coal Fired Power Plants in Serbia*. J. Min. Metall. Sect. B-Metall. 47 (2) B 149 – 155, 2011.

4. Soho. S.K, Parami.V.K, Quirit.L.L, Yonehara.H, Ishikawa.T, Tokonami.S, *Determinum of Uranium Concentrations and Its Activity Ratio in Coal and Fly Ash from Philippine Coal-fired Thermal Power Plants Using ICP-MS and TIMS*. Proc. Radiochim. Acta I 257-261, 2011.
5. Sukirno. Sri Murniasi. Rosidi, *Estimasi Faktor Pengayaan Radionuklida Alam Hasil Pembakaran Batubara dari PLTU Paiton. Prosiding PPI-PDIPTN*, Buku II. PTAPB-Batan, Yogyakarta. 71-76, 2014.
6. Elegba. S.B, Funtua.I.I. *Naturally Occurring Radioactive Material Assessment of Oil and Gas Production Installations in Nigeria*, Naturally Occurring Radioactive Material (NORM-IV) Proceedings of an international conference. IAEA-TECDOC-1472. *Szczyrk, Poland*. IAEA 256-258, 2005.
7. Al-Sulaiti.H.A, Regan.P.H, Bradley.D.A, Matthews.M., *Preliminary determination of natural Radioactivity Level of the State of Qatar using High resolution gamma ray spectrometry*. IX Radiation Physics & Protection Conference. Nasr City-Cairo, 213-223, 2008.
8. PERMA-FIX ENVIRONMENTAL SERVICES, Inc. *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (TENORM) Study Report*. Pennsylvania Department of Environmental Protection. Harrisburg, 2015.
9. Moatar. F, Shadizadeh.S.R, Karbassi.A.R., *Determination of Naturally occurring Radioactive Materials (NORM) in Formation Water During Oil Exploration*. J.Radional Nucl Chem 283:3-7, 2010.
10. Heidrich.C, Brown.S, Colliera.D, *Natural occurring radionuclides in Australian coal combustion Products (CCPs)*. 2011 World of coal Ash (WOCA) Conference. In Denver. USA, 2011.
11. Kinami.A.T, Huahari.M, Alsadig.Ia, Al-Sulaiti.H, *NORM in Soil and Sludge Samples in Dukhan Oil Field*, *Donnish Journal of Research in Environmental Studies*. Doha-Qatar (2015).Vol 2(4) pp. 037-043, 2015.
12. PERKA BAPETEN, No 7 Tahun 2013. *Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan*. Jakarta, 2013.