

**STUDI POTENSI PENINGKATAN PAPARAN UNSUR RADIOAKTIF ALAM AKIBAT  
PEMBAKARAN BATUBARA**

Heni Susiati\*)

**ABSTRAK**

**STUDI POTENSI PENINGKATAN PAPARAN UNSUR RADIOAKTIF ALAM AKIBAT PEMBAKARAN BATUBARA.** Studi ini merupakan hasil kajian yang memberikan gambaran potensi masalah secara umum mengenai limbah radioaktif alam hasil pembakaran batubara. Pada kenyataannya pembakaran batubara adalah merupakan satu sumber paparan radiasi yang disebut konsentrat radioaktif alam (TENORM) karena batubara merupakan material bumi yang mengandung konsentrasi rendah Uranium-238, Thorium-232, dan anak luruhnya serta Kalium-40. Pencemaran radioaktif alam tersebut akan tersebar di lingkungan dan berpotensi meningkatkan paparan radiasi. Tingkat kontaminasi radionuklida terhadap lingkungan tergantung asal usul batubara tersebut.

**ABSTRACT**

**THE STUDI OF POTENTIALLY INCREASING THE NATURALLY OCCURING RADIOACTIVE EXPOSURE FROM THE COAL COMBUSTION.** This paper is the result of assessment will discuss potential issues of coal combustion results. The fact that coal combustion throughout the world are the major sources of radioactive materials released to the environment has several implications. It's an actual fact that burning of coal is one source of radiation exposure to naturally occurring radioactive materials (TENORM) wastes because coal as most earth materials contains low concentrations of Uranium-238, Thorium-232 and their radioactive progeny and Kalium-40. The degree of radionuclide contamination of the environment depends on the original matter of coal seams.

---

\*) Staf Bidang Pengkajian Kelayakan Tapak PLTN – PPEN

## I. PENDAHULUAN

Pada saat ini, bahan bakar batubara merupakan salah satu sumber energi tak terbarukan yang digunakan untuk membangkitkan listrik. Pembakaran batubara selain akan mengakibatkan pencemaran udara oleh polutan seperti gas sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan gas-gas rumah kaca (GRK), seperti karbon dioksida, selain itu juga merupakan sumber zat radioaktif dari adanya kegiatan industri non nuklir. Hal ini terjadi karena batubara juga mengandung unsur radioaktif alam yang terjebak dalam batubara, kemudian pada saat pembakaran terjadi penguraian yang menyebabkan unsur radioaktif alam tersebut akan ikut keluar bersama-sama dengan gas emisi lainnya. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pemakaian batubara juga dapat menaikkan konsentrasi zat radioaktif di lingkungan, bukan hanya dari kegiatan-kegiatan yang terkait dengan teknologi nuklir saja. Perbedaannya adalah emisi PLTN dijaga sangat ketat agar tidak melebihi batas yang diizinkan, sedangkan emisi dari PLT batubara dibiarkan bebas, seperti peraturan khususnya emisi zat radioaktif alam dari pembakaran PLTU di Indonesia juga belum diperhatikan. Sumber radiasi dari batubara bukan hanya dari Uranium dan Thorium, tetapi juga dari hasil peluruhannya seperti Radium, Radon, Polonium, Bismuth dan Timbal. Selain itu juga terdapat K-40 alamiah di dalam batubara<sup>[1]</sup>.

Saat ini telah banyak penelitian sehubungan dengan limbah radioaktif alam hasil pembakaran batubara yang disebut dengan istilah NORM (*Naturally Occuring Radioactive Material*) dan TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*) di beberapa negara seperti China, Amerika Serikat, Jepang, Australia dan lain sebagainya. Namun demikian informasi tersebut masih relatif kurang mendapat perhatian, seperti juga di Indonesia yang belum memberikan peraturan yang ketat sehubungan dengan limbah NORM dan TENORM tersebut. Pengoperasian PLTU yang ada di Indonesia masih memperlihatkan kurangnya perhatian mengenai permasalahan tersebut, sehingga hal ini akan menjadi potensi peningkatan paparan radiasi di lingkungan.

Di daerah Ujung Lemahabang, Jepara direncanakan akan dibangun PLTN jenis PWR/ PHWR dengan kapasitas antara 600 - 1.000 M.We per unit yang telah teruji keandalan operasinya dan kinerjanya di banyak negara. Menurut hasil Studi CADES (*Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia*), PLTN tersebut direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2016<sup>[2]</sup>. Bersamaan dengan rencana pembangunan PLTN tersebut, pada saat ini sedang dibangun PLTU Batubara di daerah Tanjungjati, Tubanan. Jarak antara lokasi PLTU

Tanjungjati B dengan lokasi rencana pembangunan PLTN berkisar  $\pm 7$  km di sebelah Barat Daya calon tapak PLTN di Ujung Lemahabang<sup>[3]</sup>. Keberadaan PLTU dan PLTN yang beroperasi di daerah tersebut membuka kemungkinan adanya polusi zat radioaktif maupun zat non radioaktif yang diperkirakan akan menyebabkan terjadinya penurunan kualitas udara.

Dalam kaitan dengan rencana pembangunan PLTN di Ujung Lemahabang, Jepara dan pengoperasian PLTU Batubara Tanjungjati, di Kabupaten Jepara, maka informasi mengenai potensi limbah radioaktif yang kemungkinan akan dihasilkan oleh pembakaran batubara perlu dilakukan evaluasi sedini mungkin. Seperti kita ketahui bahwa selama ini di kalangan masyarakat masih terjadi pro dan kontra sehubungan dengan limbah radioaktif PLTN. Hal ini sangat penting untuk dijadikan perhatian, karena masih banyak masyarakat yang kurang mengerti akan peningkatan radioaktivitas alam sebagai akibat pembakaran batubara. Apabila PLTN jadi dibangun di daerah tersebut dan dengan mengetahui tingkat pencemaran radioaktivitas alam yang berasal dari PLTU Batubara, maka PLTN tidak akan dicurigai sebagai sumber satu-satunya pencemaran radioaktivitas.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas, studi ini dibuat adalah untuk memberikan gambaran problem lingkungan yang kemungkinan besar akan dihadapi baik secara regional maupun global di masa mendatang akibat peningkatan paparan radioaktif alam dari pembakaran batubara sehingga akan menambah potensi peningkatan konsentrasi ambien (background) radiasi alam dan juga dampak terhadap kesehatan manusia. Radiasi alam yang ada semenjak bumi tempat kita tinggal ada, merupakan ancaman yang cukup potensial apabila konsentrasinya tinggi. Pembahasan dalam makalah ini dibatasi pada studi terhadap polutan radioaktif hasil pembakaran batubara secara umum yang diperoleh dari berbagai data sekunder.

## **II. METODOLOGI**

Untuk menunjang studi ini dilakukan suatu kajian kepustakaan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan di beberapa negara antara lain Amerika Serikat, Australia, dan lain sebagainya sehubungan dengan polutan radioaktif yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Literatur dan data tersebut diperoleh dari internet maupun studi literatur dari beberapa referensi yang berkaitan. Data tersebut dapat digunakan sebagai data awal pembandingan guna mengetahui dampak pembangunan di daerah tersebut dengan adanya PLTU Batubara dan PLTN. Di samping itu juga dilakukan suatu kajian kepustakaan dari beberapa literatur hasil penelitian yang berkaitan dengan

pengumpulan data rona awal untuk kualitas radioaktivitas alam di udara daerah Semenanjung Muria.

### III. RADIOAKTIVITAS AKIBAT PEMBAKARAN BATUBARA

Polutan konvensional dari hasil pembakaran batubara yang selama ini diketahui oleh masyarakat adalah gas-gas berupa CO (karbon monoksida), NOx (oksida-oksida nitrogen), SOx (oksida-oksida belerang) dan juga partikel-partikel yang terhambur ke udara sebagai bahan pencemar udara. Partikel-partikel tersebut dapat menimbulkan dampak pencemaran lingkungan, selain timbulnya hujan asam maupun efek rumah kaca yang disebabkan oleh gas hasil pembakaran batubara seperti tersebut di atas<sup>[1]</sup>. Pemakaian batubara ternyata sangat menarik, karena selain mengeluarkan gas maupun partikel seperti telah diuraikan di atas, ternyata batubara mengandung unsur radioaktivitas alam yang terjebak didalamnya. Bahan radioaktif alamiah yang terdapat di alam ini disebut NORM<sup>[4]</sup> Beberapa penelitian melaporkan bahwa NORM dapat memberikan kontribusi kenaikan radioaktif alam lingkungan.

Pada saat pembakaran batubara terjadi *cracking* yang menyebabkan unsur radioaktivitas alam tersebut akan ikut keluar bersama-sama dengan gas emisi lainnya. Dalam proses pengolahan tersebut, unsur radioaktif alam ikut terkonsentrasi dan akhirnya membentuk konsentrat radioaktif yang disebut *TENORM*<sup>[5]</sup>. Polutan radioaktif yang ke luar dari batubara yang paling dominan adalah unsur radioaktif seperti U-238, Th-232, dan K-40. Unsur-unsur ini mempunyai waktu paruh yang sangat panjang yaitu milyaran tahun. Disamping itu U-238 dan Th-232 meluruh menghasilkan beberapa anak luruh dengan waktu paruh dari detik sampai ribuan tahun. Tabel 1 menunjukkan jenis-jenis polutan radioaktif yang keluar dari pembakaran batubara yang paling dominan, beserta waktu paruhnya.

Tabel 1. Polutan Radioaktif Dominan dari Pembakaran Batubara

No.	Polutan	Lambang	Jenis Radiasi	Waktu Paro
1.	Timbal-210	$^{210}_{82}\text{Pb}$	Radiasi Beta	19,4 tahun
2.	Plonium-210	$^{210}_{84}\text{Po}$	Radiasi Alpha	138,3 hari
3.	Protactinium-231	$^{231}_{91}\text{Pa}$	Radiasi Alpha	$3,43 \times 10^4$
4.	Radium-226	$^{226}_{88}\text{Ra}$	Radiasi Alpha	tahun
5.	Thorium-232	$^{232}_{90}\text{Th}$	Radiasi Alpha	1620 tahun
6.	Uranium-238	$^{238}_{92}\text{U}$	Radiasi Alpha	$1,39 \times 10^{10}$

7.	Karbon-14	${}^6\text{C}^{14}$	Radiasi Beta	tahun
8.	Kalium-40	${}^{19}\text{K}^{40}$	Radiasi Alpha	4,5 x 10 <sup>9</sup> tahun 5730 tahun 1,28 x 10 <sup>9</sup> tahun

Polutan radioaktif nomor urut 1 sampai dengan 6 termasuk ke dalam golongan logam berat yang apabila masuk ke dalam tubuh manusia akan mengikuti *lever route* yang berdampak buruk terhadap kesehatan manusia. Perlu diketahui bahwa radiasi Beta yang ke luar dari Timbal-210 merupakan bahaya radiasi eksterna dan interna terhadap tubuh manusia, sedangkan radiasi Alpha yang ke luar dari Polonium-210 sampai dengan Uranium-238 merupakan bahaya radiasi interna terhadap tubuh manusia. Bahaya radiasi eksterna artinya unsur radioaktif tersebut walaupun berada di luar tubuh manusia tetap dapat merupakan sumber bahaya radiasi, karena daya tembusnya yang besar. Sedangkan bahaya radiasi interna artinya unsur radioaktif tersebut tidak berbahaya kalau hanya berada di luar tubuh manusia karena daya tembusnya (jangkauannya) yang sangat pendek, akan tetapi menjadi berbahaya bila masuk ke dalam tubuh manusia karena daya ionisasinya besar. Apabila dilihat dari segi daya racunnya atau radiotoksitasnya, maka polutan radioaktif nomor 1 sampai dengan nomor 4 pada Tabel 1 tersebut di atas termasuk kelompok radiotoksitas sangat tinggi, sedangkan polutan radioaktif Thorium-232 dan Uranium-238 termasuk kelompok radiotoksitas rendah. Walaupun Thorium-232 dan Uranium-238 termasuk kelompok radiotoksitas rendah, namun kedua unsur radioaktif tersebut adalah induk unsur radioaktivitas alam yang memiliki banyak turunan. Thorium-232 akan menurunkan 11 unsur radioaktif alam dan satu unsur stabil yaitu Timbal-208, sedangkan Uranium-238 akan menurunkan 17 unsur radioaktif alam dan satu unsur stabil yaitu Timbal-206. Sedangkan Karbon-14 yang ke luar dari batubara dapat berupa abu karbon (*fly ash*) atau dalam bentuk gas CO<sub>2</sub> dan senyawa hidrokarbon lainnya, akan tetapi atom karbonnya adalah Karbon-14 yang radioaktif. Karbon-14 termasuk kelompok radiotoksitas sedang. Mengingat hal tersebut di atas, maka pemakaian batubara sebagai salah satu alternatif diversifikasi energi untuk sumber energi pembangkit tenaga listrik, hendaknya diikuti pula dengan usaha menambah alat penangkap (*filter*) polutan radioaktif yang keluar dari hasil pembakaran batubara. Proyek "*coal clean combustion*" seperti pada proyek PLTU Batubara tidak hanya bertujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan berupa gas-gas yang menyebabkan timbulnya

hujan asam dan efek rumah kaca serta partikel-partikel pencemar udara saja, akan tetapi lebih jauh lagi harus sudah mulai memikirkan masalah polutan radioaktif yang ke luar dari hasil pembakaran batubara<sup>[1]</sup>.

Unsur radioaktif yang ke luar dari *cracking* batubara sangat banyak dan ini tergantung pada jenis dan asal tempat penambangan batubara. UNSCEAR melaporkan konsentrasi unsur radioaktif rata-rata sebesar 50 Bq/kg untuk K-40, 20 Bq/kg untuk U-238, dan 20 Bq/kg untuk Th-232. Tetapi beberapa jenis batubara mempunyai konsentrasi lebih tinggi dan batubara asal Rumania mempunyai konsentrasi 6 kali untuk K-40 dan 2 kali untuk U-238 dari konsentrasi yang dilaporkan UNSCEAR. Sedangkan batubara asal Freital, Jerman dilaporkan memiliki konsentrasi U-238 sampai sebesar 15.000 Bq/kg<sup>[6]</sup>.

#### IV. PEMBAHASAN

Zat radioaktif dirasakan oleh sebagian masyarakat dunia sebagai masalah yang sangat membahayakan, selain merupakan masalah krusial dari PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir). Kesalahpahaman publik yang sangat besar tentang PLTN mungkin sebagian besar dihubungkan dengan (1) ketakutan yang dilebih-lebihkan dan tersebar luas tentang radiasi, (2) gambaran yang telah disimpangkan tentang kecelakaan reaktor (3) ketakutan yang nyata akan pembuangan limbah radioaktif tidak pada tempatnya, dan (4) kegagalan untuk memahami dan mengukur risiko.

Paparan radioaktif alam dari PLTU batubara secara umum lebih besar daripada paparan dari PLTN. Hal ini tentu berlawanan dengan anggapan umum bahwa hanya PLTN yang menghasilkan radioaktivitas yang berbahaya bagi lingkungan. Pada kenyataannya, PLTU batubara cenderung memberikan paparan yang lebih besar per individu kecuali untuk organ seperti kelenjar gondok karena adanya lepasan gas mulia (I-131). Lepasannya radionuklida utama tahunan untuk PLTU batubara adalah berupa Radium-226 (0,0172 Ci) dan Radium-228 (0,0108 Ci)<sup>[6]</sup>.

Berbagai penelitian yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa pembakaran batubara akan menghasilkan radionuklida, termasuk isotop-isotop Uranium, Thorium, Tritium, Argon, Gas Mulia, Radon, dan Polonium, serta K-40 yang akan dilepaskan ke lingkungan. Studi ini mencoba untuk memberikan informasi tentang sejumlah bahan-bahan dan limbah yang timbul dalam proses pembakaran batubara yang berpotensi mengeluarkan limbah radioaktif alam yang belum diketahui oleh masyarakat secara luas. Berdasarkan hasil beberapa penelitian di beberapa negara telah diperoleh data menyangkut limbah NORM dari hasil pembakaran batubara. Data konsentrasi dari

unsur-unsur radioaktif hasil pembakaran batubara hasil dari berbagai penelitian di tampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa radionuklida K-40 di beberapa negara menunjukkan bahwa radionuklida yang dominan kuantitasnya dari produk pembakaran batubara bila dibandingkan dengan radionuklida U-238, Ra-226, Pb-210, Po-210, Th-232, maupun Ra-228. Sedangkan negara Kanada dan Polandia II merupakan negara penghasil batubara dengan kandungan radionuklida K-40 terbanyak.

Tabel 2. Konsentrasi Aktivitas Radionuklida dalam Sampel Batubara (Bq kg<sup>-1</sup>)

No.	Asal Batubara	Deret <sup>238</sup> U			Deret <sup>232</sup> Th				Referensi
		<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ra	
1.	Australia			30 - 48					Bayliss dan Whaitte (1996)
2.	Brasil	370		100			67		
3.	Kanada	440		30			26		
4.	Czekoslovakia			4,1 - 13					Jaworowski, dkk. (1971)
5.	China			7					Jaworowski, dkk. (1971)
6.	Jerman Bituminus Coklat		<40 15	20 <10	25 10	30 10	<20 <7		Jacobi
7.	Hungaria			1,5					Jaworowski, dkk. (1971)
8.	India			25				35	Mishra, dkk. (1980)
9.	Italia Lignit (Itali Tengah) Lignit (Sardinia)		15 - 25 250	4 - 15	25 - 50		70 - 110		Mastinu (1980) Mastinu (1980)
10.	Polandia I II	290 37 - 760	38 2 - 140				30 7 - 110		Tomezynska, dkk. (1981)
11.	Afrika selatan	110		30			20		
12.	Rusia	120	28			22			Lisachenko and Obuhova (1981)
13.	Inggris I II	120	17 11 - 29	7,4 - 94			17 2,4 - 1,9		Hamilton (1974) Camplin (1980)
14.	Amerika Serikat Bagian Barat Illinois dan Kentucky Alabama, Tennessee, & Kentucky Wyoming 1 Wyoming 2 Appalachia, Illinois, Montana, Pennsylvania & Wyoming Rata Negara Bagian	110 44 120	20 27	16 8,9 0,52	17 10 31		13 8,5 27	13	Coles, dkk. (1978) Klein, dkk. (1975) Bedrosian, dkk. (1970) Kakinen, dkk. (1975)
		70	18 16	14	41		8,9		Beck, dkk. (1980)
		52	18				21		Beck, dkk. (1980)
15.	Venezuela	110		<20			<20		

Sumber: Vlado

Sedangkan dalam Tabel 3 juga terlihat bahwa radionuklida K-40 merupakan radionuklida dominan yang dihasilkan. Besarnya konsentrasi unsur-unsur radioaktif alam dari pembakaran batubara sangat tergantung pada kondisi ekstra teresterial, iklim, geologi dan geografi asal-usul dari batubara tersebut.

Kandungan Uranium dan Thorium dari sampel batubara asal Illinois dan Kentucky Barat, berkisar antara 1.7 sampai 3.3 ppm Uranium dan 2,4 sampai 3,0 ppm Thorium. Sedangkan konsentrasi radionuklida dari batubara untuk pembangkit *Widow Creek* (dekat Bridgeport, Alabama), kandungan Uraniumnya diperkirakan antara 0.4 sampai 2.5 ppm dan Thorium diperkirakan antara 0.3 sampai 3.6 ppm. Kandungan Uranium dan Thorium dari *fly ash* yang terkumpul di pembangkit Allen adalah 30 dan 26 ppm, berturut-turut, dimana kuantitas *fly ash* diasumsikan 10 % dari total abu yang dihasilkan.



Tabel 3. Konsentrasi Aktivitas Radionuklida dalam Sampel Abu Batubara (Bq kg<sup>-1</sup>)

No.	Tipe dan Asal Abu Batubara	Deret <sup>238</sup> U			Deret <sup>232</sup> Th			Referensi
		<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>228</sup> Th	
<b>Bottom Ash (slag)</b>								
1.	Australia			250				Bayliss dkk. (1966)
2.	Jerman (1) (2)	520		130 170			96 140	Jordan dan Schikarski (1973) Jordan dan Schikarski (1973)
3.	Jepang Bagian Tengah Bagian Selatan Bagian Utara		4 37 20	740 300 3.900			560 90 250	Nisikwaki, dkk. (1971) Nisikwaki, dkk. (1971) Nisikwaki, dkk. (1971)
4.	Polandia I II	500 280 - 1.200 370	48 17 - 100			44 15 - 120 70		Tomezynska, dkk. (1981) Tomezynska, dkk. (1981) Lisachenko and Obuhova (1981)
5.	Rusia			78	7,4			
6.	Amerika Serikat Bagian Barat Illinois dan Kentucky Pennsylvania Wyoming 1 Wyoming 2	240 480 480	81 180 67 93	81 59 20	30 37 210	67 59 52		Coles, dkk. (1978) Klein, dkk. (1975) Beck, dkk. (1980) Styron (1980)
<b>Abu Layang (terkumpul)</b>								
7.	Jerman Bituminus Coklat		300 70	200 40 100	2.000 60	100 30		Jacobi (1981)
8.	India						130	Mishra, dkk. (1980)
9.	Italia Bagian Tengah Sardinia	80 - 100 1.000	40 - 70	44 - 330	44 - 330	300		Mestinu (1980)

No.	Tipe dan Asal Abu Batubara	Deret $^{238}\text{U}$				Deret $^{232}\text{Th}$			Referensi
		$^{40}\text{K}$	$^{235}\text{U}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$	$^{212}\text{Th}$	$^{228}\text{Th}$	
10.	Polandia	730	97				74		Tomezynska, dkk. (1981)
	I	180 - 1.500	44 - 170				33 - 130		
11.	Amerika Serikat								
	Appalachia 1	780		140			96	89	Eisenbud & Petrow (1964)
	Appalachia 2	410		70			52	44	Bedrosian dkk. (1970)
	Appalachia 3	700		100			44		Goldstein dkk. (1971)
	Appalachia 4	590		90			89		Beck dkk. (1980)
	Illinois dan Kentucky	700		130			81		Klein, dkk. (1975)
	Pennsylvania	700		85			78		Beck dkk. (1980)
	Wyoming 1			30					Kakinen dkk. (1975)
	Wyoming 2			160					Slyron (1980)
	Bagian Barat	260	110	100	370	480	81		Coles dkk. (1978)
	Appalachia & Timur	480	89		210	200	170	81	Furr dkk. (1977)
					78				
Abu Layang (terlepas)									
12.	Australia			520					Bayliss dkk. (1966)
13.	Jerman								
	Bituminus		300	300	3.000	5.500	100		Jacobi (1981)
	Coklat		100	70	200	300	40		
14.	Hungaria			20 - 560					
15.	USA								
	Bagian Barat	260 - 270		15	160 - 630	700	100 - 120	100 - 160	Coles dkk. (1978)
	Wyoming 1		200		630	250			Kakinen dkk. (1975)
	Wyoming 2				410				Slyron (1980)

Di dalam penelitian ACARP (*Australian Coal Association Research Program*) dilaporkan berbagai tingkat konsentrasi radionuklida alam hasil pembakaran batubara dari berbagai perdagangan batubara internasional seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Konsentrasi Radionuklida Alam dari Produk Pembakaran Batubara Perdagangan Internasional

Deskripsi Batubara	U	Th	Th-230	Po-210	Rn-222	Total Radioaktivitas
	mg kg <sup>-1</sup>		Bq kg <sup>-1</sup>			
USA 1	1,3	2,6	28	23	25	714
USA 2	1,2	3,2	32	48	33	1105
USA3	1,3	3,0	27	23	23	850
Afrika Selatan 1A	1,7	7,3	46	42	42	986
Afrika Selatan 1B	2,3	6,7				
Afrika Selatan 2A	1,8	5,4	19	16	18	740
Afrika Selatan 2B	2,0	6,6				
Afrika Selatan 3	1,8	6,6	62	55	56	1325
Afrika Selatan 4	2,1	7,7				
Indonesia A	0,2	0,67	19	19	21	560
Indonesia B	0,1		0,5			
Colombia A	0,45	0,9	19	16	16	447
Colombia B	0,34	0,85				
China A	3,1	12,2	37	37	35	977
China B	2,4	10,6				
Venezuela 1	0,64	1,8	15	20	12	436
Polandia A	2,2	2,8	18	15	16	573
Polandia B	1,8	2,5				
Australia 1	1,0	2,9	43	54	39	1015
Australia 2	1,1	4,1	33	41	34	785
Australia 3	0,47	2,0	35	27	40	870
Australia 4	1,5	3,5	38	31	40	795
Australia 5	1,1	3,0	15	13	16	432
Australia 6	1,7	6,0	45	42	50	1025
Australia 7	1,4	2,6	26	27	29	1010
Australia 8	2,1	5,6	36	38	40	974
Australia 9	1,0	2,8				
Australia 10	1,0	2,8				

Sumber: ACARP

Dari Tabel 4 tersebut jelas menunjukkan bahwa konsentrasi masing-masing radionuklida dari hasil pembakaran batubara sangat tergantung pada kandungan mineral batubara yang juga sangat bergantung pada lokasi penambangannya dan daerah asal batubara tersebut. Dari tabel tersebut juga terlihat bahwa batubara asal negara Afrika Selatan 3 merupakan batubara dengan total radioaktivitas terbesar dibanding dengan batubara asal negara lain, sedangkan batubara asal Australia merupakan batubara dengan total radioaktivitas yang terendah<sup>[7,8]</sup>.

Alex Gabbard<sup>[4]</sup> melaporkan bahwa pembakaran batubara dunia menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan sejak tahun 1937 dan diperkirakan terus meningkat sampai tahun 2040. Sehingga total zat radioaktif Uranium dan Thorium yang akan dihasilkan juga menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan pula. Konsumsi batubara untuk energi di dunia industri menghasilkan zat radioaktif alam yang membutuhkan penanganan khusus dalam pembuangannya karena masalah tersebut mempunyai potensi memberikan paparan radiasi.

Polutan zat radioaktif alam dari pembakaran batubara baik untuk industri listrik maupun industri lainnya akan dihasilkan baik dalam bentuk partikulat maupun gas yang mengandung radioaktif alam. Partikulat yang dihasilkan akan berupa fly ash (abu terbang) yaitu partikulat yang ikut terbawa keluar melalui stack sebagai abu terbang dan partikulat yang mampu mengendap (*settleable*). Polutan yang diemisikan melalui stack power plant batubara akan menyebar ke udara ambien sehingga akan terjadi penurunan kualitas udara ambien. Badan Lingkungan, Departemen Energi, Amerika<sup>[9,10]</sup> melaporkan bahwa pembakaran batubara yang mengandung radioaktif alam uranium, thorium, radium, dan produk anak luruhnya akan menghasilkan konsentrasi radionuklida tersebut seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Konsentrasi radionuklida dari limbah pembakaran batubara

Jenis Radionuklida	Konsentrasi (pCi/g)	
	Fly Ash	Bottom ash dan slag
<sup>238</sup> U	2,6	0,7
<sup>235</sup> U	0,13	0,03
<sup>234</sup> U	2,6	0,7
<sup>231</sup> Pa	0,13	0,03
<sup>232</sup> Th	1,7	0,4
<sup>230</sup> Th	1,8	0,5
<sup>228</sup> Th	2,6	0,6
<sup>227</sup> Ac	0,13	0,03
<sup>228</sup> Ra	1,4	0,4
<sup>226</sup> Ra	3,0	0,7
<sup>210</sup> Po	5,6	1,4
<sup>210</sup> Pb	5,4	1,4
Total	27,1	6,9

Menurut penelitian Alex Gabbard<sup>[4]</sup>, kandungan Uranium di dalam batubara berkisar antara 1 hingga 10 ppm, sedangkan kandungan Thoriumnya rata-rata 2,5 kali dari kandungan Uranium. Badan Perlindungan Lingkungan (EPA) Amerika Serikat menyatakan bahwa kandungan rata-rata Uranium dalam batubara adalah 1,3 ppm, sedangkan Thorium 3,2 ppm. Artinya di dalam 1 ton batubara terdapat sekitar 1,3 gram Uranium, dan 3,2 gram

Thorium. Jika dihitung untuk seluruh batubara yang dibakar oleh seluruh PLT Batubara, maka akan didapatkan nilai 28 ton Uranium dan 70 ton Thorium pertahun. Jika PLTN dengan kapasitas 1.000 MW membutuhkan 9 ton Uranium selama satu tahun, maka PLT Batubara membakar atau menghamburkan Uranium tiga kali jumlah yang dibutuhkan PLTN untuk beroperasi selama satu tahun.

Badan Nasional Amerika untuk Proteksi dan Pengukuran Radiasi (NCRP) menghitung bahwa radioaktivitas batubara rata-rata sebesar 4,27 mikrocurie/ton. Menurut laporan NCRP no 29 dan 95, populasi yang tinggal di sekitar PLT Batubara menerima radiasi sebesar 490 orang-rem/ tahun, sedangkan di sekitar PLTN sebesar 4,8 orang-rem/ tahun. Jadi dosis efektif populasi di sekitar PLT Batubara lebih besar 100 kali dari pada PLTN. Jika dihitung radiasi orang-perorang, radiasi yang diterima oleh orang yang berada di sekitar PLT Batubara menerima dosis tiga kali lebih besar daripada yang dikeluarkan PLTN<sup>[4,9]</sup>.

Sehubungan dengan akan beroperasinya PLTU Tanjungjati dan rencana dibangunnya PLTN Semenanjung Muria, maka kondisi kualitas lingkungan perlu dievaluasi sebelum kedua pembangkit tersebut mulai beroperasi. Dengan tersedianya data awal radioaktivitas lingkungan dapat diketahui atau diperkirakan apabila terjadi peningkatan khususnya konsentrasi radioaktivitas alam di daerah tersebut. Data kualitas udara untuk intensitas radioaktivitas dalam contoh udara yang disampling di daerah tersebut menunjukkan besarnya tingkat radioaktivitas dalam udara baik yang berasal dari radionuklida alam maupun radionuklida buatan sebagai data awal sebelum beroperasinya PLTU Tanjung Jati dan PLTN Ujung Lemahabang. PLTU menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya, dimana batubara adalah bahan galian yang berasal dari dalam kulit bumi dan mengandung radionuklida alam Uranium dan Thorium beserta anak-anak luruhnya. Pengoperasian PLTU Batubara dapat menyebabkan terlepasnya unsur-unsur tersebut ke lingkungan. Sedangkan pengoperasian PLTN perlu diwaspadai terlepasnya radionuklida hasil fisi dan hasil aktivasi ke lingkungan.

Pada kajian ini juga dievaluasi kondisi radioaktif alam untuk saat ini di daerah Semenanjung Muria, dimana konsentrasi radionuklida alam dalam udara di daerah Ujung Lemahabang dan sekitarnya berkisar antara 0,28 – 1,10 Bq/m<sup>3</sup> untuk <sup>228</sup>Th, 8,79 – 30,32 Bq/m<sup>3</sup> untuk <sup>226</sup>Ra dan 0 - 8,96 Bq/m<sup>3</sup> untuk <sup>40</sup>K. Ra-228, <sup>90</sup>Sr dan <sup>137</sup>Cs tidak terdeteksi untuk semua titik sampling<sup>[9]</sup>. Nilai konsentrasi radioaktivitas dalam udara yang ditemukan pada penelitian tersebut masih tergolong rendah dan sama dengan lingkungan yang masih belum tercemar. Dengan demikian data yang diperoleh dapat dijadikan sebagai data awal untuk mengontrol terjadinya pencemaran di masa yang akan datang<sup>[11]</sup>. Data ini merupakan data sebelum PLTU Batubara Tanjungjati beroperasi dan data tersebut sangat berguna sebagai data base untuk acuan dalam evaluasi kondisi radioekologi di daerah tersebut

selanjutnya yang berkaitan dengan keselamatan lingkungan. Apabila melihat data-data konsentrasi dari radionuklida alam hasil pembakaran batubara yang telah dibahas sebelumnya yang merupakan berbagai hasil penelitian dan dilaporkan bahwa radioaktivitas alam dari produk pembakaran batubara yang dapat memberikan kontribusi kenaikan radioaktif alam di lingkungan, tentunya kondisi radioekologi di sekitar calon tapak PLTN di Ujung Lemahabang akan mempunyai potensi terjadi peningkatan terhadap konsentrasi radioaktivitas lingkungannya akibat adanya operasional dari PLTU Tanjungjati. Potensi ini sejak awal sudah harus dikenali dan dipetakan sebagai data rona awal radioaktivitas lingkungan di Semenanjung Muria berkaitan dengan akan dioperasikan PLTU Batubara Tanjungjati yang berdekatan dengan lokasi calon tapak PLTN. Hal tersebut dimaksudkan agar tidak terjadi kesalahpahaman apabila terjadi kenaikan tingkat radiasi lingkungan di daerah tersebut.

Adanya kondisi rona awal radioaktivitas alam di daerah Semenanjung Muria tersebut maka dengan akan beroperasinya PLTU Batubara Tanjungjati tentunya kondisi rona awal di daerah tersebut dimungkinkan akan berubah, sehingga kondisi tersebut perlu diantisipasi sedini mungkin walaupun kemungkinan emisi polutan radioaktif alam yang akan dilepaskan oleh PLTU Batubara masih di bawah batas ambang yang diijinkan untuk paparan radioaktivitas alam.

#### **IV. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengumpulan data dan informasi yang berkaitan dengan pembakaran batubara, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa banyak bahaya lingkungan potensial sehubungan dengan pembakaran batubara yang akan menghasilkan polutan zat radioaktif alam.
2. Pembakaran batubara akan menghasilkan radionuklida alam seperti Uranium, Thorium, dan Kalium dimana besarnya konsentrasi tergantung jenis dan asal batubara tersebut dipergunakan.
3. Konsentrasi radioaktif alam dalam udara di daerah Ujung Lemahabang ini masih tergolong rendah dan sama dengan lingkungan yang masih belum tercemar. Dengan demikian data yang diperoleh dapat dijadikan sebagai data awal untuk mengontrol terjadinya pencemaran dimasa yang akan datang.
4. Adanya kegiatan dari PLTU Batubara dimungkinkan akan meningkatkan radioaktivitas alam di daerah tersebut dan sekitarnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

1. WISNU ARYA W., Polutan Radioaktif dari Batubara, Elektro Indonesia, Edisi ke 5, 1998.
2. Comparative Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia, Energy Demand and Supply Analysis, Report Prepared by A Team of Experts from Indonesia with Guidance of the IAEA, May, 2000.
3. NEWJEC Inc., Environmental Impact Assessment Report, Feasibility Study at the First Nuclear Power Plants at Muria Peninsula Region, Central Java, INPB – REP – 6, Osaka – Japan, 1995.
4. ALEX GABBARD, Coal Combustion: Nuclear Resource or Danger, [http://www.ornl.gov/info/ornl\\_review/](http://www.ornl.gov/info/ornl_review/)
5. HEATON, B. and LAMBLEY, J., Tenorm in the Oil, Gas, and Mineral Mining Industry, J. appl. Radiation and Isotop, 1995.
6. VLADO VALKOVIC, Radioactivity in The Environment, Elsevier, Amsterdam, First Edition, 2000.
7. JOHN, R. COOPER, KEITH, R., dan RANJEET, S., Radioactive Releases in The Environment: Impact and Assessment, John Wiley, 2003.
8. ROBERT G., COCHRAN, The Nuclear Fuel Cycle: Analysis and Management, American Nuclear Society, LA. Grange Park, USA, 1992.
9. BELLER, DENIS, and RICHARD, R., The Need for Nuclear Power, Foreign Affairs, 2000.
10. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation and Indoor Air, Diffuse NORM Wastes-Waste Characterization and Preliminary Risk Assessment, Draft, RAE-9232/1-2, SC&A, Inc., and Rogers & Associates Engineering Corporation, Salt Lake City, Utah, May 1993.
11. SYARBAINI, Pengukuran Rona Awal Radioaktivitas Udara di Semenanjung Muria, Laporan Teknis P2EN, No. 4.54.01, 2003.