ISSN : 2540-8062

PROSIDING

SENPATEN

SEMINAR NASIONAL PENDAYAGUNAAN TEKNOLOGI NUKLIR

National Seminar on Nuclear Technology Utilization in conjunction with FNCA Workshop on Research Reactor Utilization

PUSPIPTEK - Serpong, 21 - 23 November 2017

Nuclear Technology Utilization
in the fields of Food, Health, Industry and Environment
through strengthening regional collaboration

batan

FNCA
Forum for Nuclear Cooperation in Asia

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas petunjuk dan karunia-Nya **Prosiding Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir (SENPATEN) 2017** dapat diterbitkan. Prosiding ini merupakan dokumentasi yang memuat karya tulis ilmiah para peserta SENPATEN 2017 yang diselenggarakan bersamaan dengan *FY2017 FNCA Workshop on Research Reactor Utilization Project*. Kegiatan tersebut diselenggarakan di Gedung 720 Auditorium Pusat Inovasi dan Bisnis Teknologi, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, pada tanggal 21-23 November 2017, dengan mengambil tema "*Pendayagunaan teknologi nuklir di bidang pangan, kesehatan, industri dan lingkungan melalui penguatan kerjasama regional*".

Pada Seminar Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2017 panitia menerima sebanyak 81 makalah dari BAPETEN, BATAN, BPFK-Jakarta, ITB, STIKES Guna Bangsa Yogyakarta, Universitas Indonesia, Universitas Nasional, Universitas Pamulang, dan setelah dilakukan seleksi serta evaluasi, diputuskan 30 makalah dipresentasikan secara *oral,* dan sisanya disajikan dalam bentuk poster.

Setelah melalui proses penyuntingan, dalam Prosiding Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2017 ini, sebanyak 77 makalah dicantumkan sebagai makalah lengkap yang diklasifikasikan kedalam beberapa bidang yaitu pangan, kesehatan, industri, lingkungan, energi, keselamatan dan keamanan, metrologi serta bidang lainnya yang terkait dengan pedayagunaan teknologi nuklir. Semoga prosiding ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi untuk memacu kegiatan penelitian, pengembangan serta pendayagunaan teknologi nuklir di Indonesia. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penerbitan Prosiding ini.

Serpong, Maret 2018

Dewan Editor

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	.....	i
Sambutan Deputi Pendayagunaan Teknologi Nuklir	.....	ii
SK Kepala BATAN No. 232/KA/X/2017 Tentang Penyelenggaraan Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir – Workshop FNCA, dan Pembentukan Panitia	.....	iii
Daftar Isi	.....	Ix
Daftar Pemakalah	.....	x
Bidang Pangan	.....	1 – 13
Bidang Kesehatan	.....	15 – 181
Bidang Industri	.....	183 – 301
Bidang Lingkungan	.....	303 – 336
Bidang Energi	.....	337 – 434
Bidang Keselamatan dan Keamanan	.....	435 – 497
Bidang Metrologi	.....	499 – 514
Bidang Lainnya	.....	515 – 519

RADIOAKTIVITAS ALFA DAN BETA TOTALPADA SAMPEL TANAH PERMUKAAN

Leons Rixson, Megy Stefanus, Niken Hayudanti, dan Taufik Hud

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – Badan tenaga Nuklir Nasional
Jalan raya Pasar Jumat No.49, Jakarta Selatan – Indonesia

leons@batan.go.id

ABSTRAK

Evaluasi radioaktivitas lingkungan Kawasan Nuklir Pasar Jumat (KNPJ) pada sampel tanah merupakan kegiatan pemantauan yang penting dan rutin dilakukan guna melindungi lingkungan dari lepasan material radioaktif hasil kegiatan manusia.Muturadioaktivitas pada tanah ditetapkan dengan mengukur konsentrasi alfa dan beta total dengan "low background counter".Sebanyak 65 sampel tanah dari 17 lokasi sekitar KNPJ yang diukur selama 5 tahun memberikan hasil konsentrasi radioaktivitas alfa dan beta total berturut-turut berada pada rentang 0,015±0,008 bq/g sampaidengan 0,068±0,014 bq/g dan 0,134±0,014 bq/g sampaidengan 0,439±0,035 bq/g. Nilai rata-rata "minimum detectable activity" (MDA) alfa dan beta total yang didapat berturut-turut adalah 0,018±0,009 Bq/g dan 0,035 ± 0,006 Bq/g. Tingkat radioaktivitas lingkungan dalam tanah secara statistik memperlihatkan bahwa mutu radioaktivitas alfa total sampel tanah pada tahun periode 2012 s.d. 2016 berbeda nyata antara alfa total tahun 2012 terhadap tahun 2015 tetapi tidak ada perubahan radioaktivitas yang nyata dari tahun 2013 s.d. 2016, sedangkan untuk radioaktivitas beta total tidak nyata dalam 5 tahun periode pemantauan.

Kata Kunci: tanah, radioaktivitas, alfa dan beta total

ABSTRACT

GROSS ALPHA/BETA RADIOACTIVITY ON SURFACE SOIL SAMPLES. *Evaluation on environmental radioactivity in soil samples in Kawasan Nuklir Pasar Jumat (KNPJ) is an important and routine monitoring activity to protect the environment from the release of radioactive material produced by man-made activities. The quality of radioactivity in soil was determined by measuring the total alpha/beta concentration with low background counter, A total of 65 soil samples from 17 locations around the KNPJ measured over 5 years resulted thatthe total alpha/beta radioactivity concentrations ranging from 0.015 ± 0.008 Bq/g to 0.068 ± 0.014 Bq/g and 0.134 ± 0.014 Bq/g up to 0.439 ± 0.035 Bq/g, respectively. The minimummean of alpha and beta total detectable activity (MDA) value is 0.018 ± 0.009 Bq/ g and 0.035 ± 0.006 Bq/g, respectively. Statistically, the quality of gross alpha radioactivity in soil from 2012 to 2016 is significantly different in 2012 as compared to 2015 but not significantly different in 2013 until 2016. Meanwhile, the gross beta radioactivity is not significantly changed for the 5-year monitoring period.*

Keywords: soil, radioactivity, gross alpha/beta

PENDAHULUAN

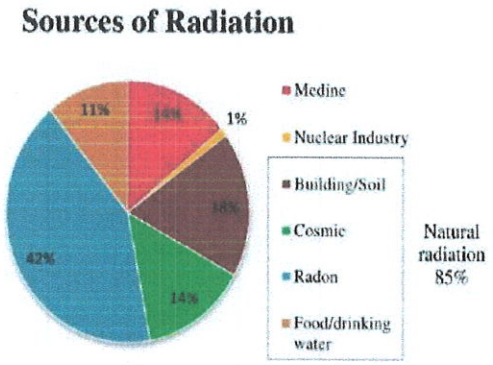
Pemantauan tingkat radioaktivitas lingkungan sangat diperlukan bagi setiap kegiatanyang memproduksi, mengelola, menggunakan, mengembangkan atau memanfaatkan tenaga nuklir [1]. Pemantauan radioaktivitas lingkungan di fasilitas nuklir bertujuan mengetahui ada atau tidaknya perubahan kondisi atau keadaan mutu radioaktivitas alami akibat dari kegiatan di fasilitas tersebut. Sumber radioaktivitas alam terbagi menjadi dua bagian, yaitu radionuklida kosmik dan radionuklida primordial. Radionuklida kosmik terbentuk akibat interaksi antara sinar kosmik berenergi dan nuklida atom di lapisan atmosfer. Radionuklida yang terbentuk akibat interaksi tersebut antara lain H-3, Be-7, C-14, dan Na-22. Radionuklida primordial, atau biasa disebut radionuklida terestrial, terjadi akibat proses nukleosintesis bintang besar pada saat pembentukan bumi [2]. Radionuklida

terestrial mempunyai waktu paruh yang panjang dan berhubungan dengan perkiraan umur bumi. Radionuklida itu misalnya deret U-238, Th-232, dan K-40. Sebagian besar anak luruh dari radionuklida terestrial merupakan pemancar alfa sehingga apabila masuk kedalam tubuh manusia (radiasi internal) melalui rantai makanan memberi dampak buruk bagi kesehatan. Selain itu, radiasi gamma yang dipancarkan radionuklida-radionuklida menjadi sumber radiasi *background* (latar) yang memberi paparan eksternal bagi tubuh manusia yang berdampak pada dosis serap.

Sumber radioaktivitas alfa dan beta total dalam sampel tanah sebagian besar berasal dari radionuklida alam deret U-238 dan Th-232 serta radionuklida non-deret K-40. Deret radionuklida U-238 dan Th-232 melalui anak luruh radium Ra-226 dan Th-228 mengalami perubahan fase padat menjadi gas radon (Rn-222) dan thoron (Rn-220). Gas radon selanjutnya menghasilkan 4 buah unsur radionuklida dengan orde waktu yang sangat cepat, berkisar milidetik sampai dengan 27 menit yang diantaranya adalah Pb-214 (26,8 menit), Bi-214 (19,9 menit). Seperti halnya radon, gas thoron menghasilkan anak luruh Pb-212 dan Bi-212 dengan orde waktu paruh 10,64 jam dan 60,55 menit. Deret U-238 dan Th-232 memancarkan radiasi alfa, beta, dan gamma untuk sampai pada isotop stabilnya Pb-206 dan Pb-208

K-40 adalah adalah radionuklida yang mempunyai kelimpahan isotopik 0,012% dengan waktu paruh $1{,}248\times10^{9}$ tahun. Kalium merupakan unsur sangat penting bagi tumbuhan dan hewan. Keberadaan kalium di bumi tersebar 0,1% di batuan kapur, 4% di batuan granit [5], dibatuan kerak bumi rata-rata aktivitasnya 0,62 Bq/g dengan 50% dari aktivitas tersebut merupakan batuan basal, sedangkan radioaktivitas di tanah memiliki konsentrasi rata-rata minimum 0,44 Bq/g [6]. K-40 meluruh dengan memancarkan radiasi beta menjadi unsur stabil Ca-40 pada energi beta maksimum 1331,09 (89,33%) KeV dan radiasi gamma menjadi Ar-40 pada energi 1460 Kev dengan probabilitas 10,67%.

Paparan radiasi eksternal berasal dari radiasi sinar kosmik dan radionuklida terestrial. Laporan United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) tahun 2000 menyatakan bahwa radiasi latar di luar ruangan yang berasal dari sinar kosmik adalah 30 nGy/h di belahan bumi bagian selatan [3]. Radiasi latar yang berasal dari radiasi radionuklida terestrial berhubungan erat dengan tipe batuan yang terbentuk dari asal tanah itu, sehingga akan berbeda diseluruh belahan dunia, bergantung pada geologi dan letak geografinya. Penelitian di tahun 2012 menyatakan bahwa konsentrasi deret uranium dan torium tanah di India memiliki level dosis tertinggi [4]. Publikasi UNSCEARpada 2000 menyatakan bahwa 85% dosis radiasi yang diterima oleh manusia berasal dari radionuklida alam (Gambar1) [3]. Konsentrasi radioaktivitas radionuklida terestrial dari anak luruh U-238 (radon) memengaruhi 42% kontribusi sumber paparan radiasi.



Gambar 1 Faktor kontribusi sumber paparan radiasi terhadap dosis efektif. Sumber: [*NRPB, 1998; UNSCEAR, 2000]*

Kegiatan penelitian, pemanfaatan, dan pengembangan tenaga nuklir di KNPJ memungkinkan untuk melepas material radioaktif ke lingkungan, sehingga diperlukan pemantauan radioaktivitas lingkungan yang berkelanjutan selama aktivitas kegiatan tersebut dilakukan.Makalah ini bertujuan mengevaluasi mutu radioaktivitas alfa dan beta total pada sampel tanah yang antara lain dapat memberikan informasi secara ilmiah mengenai ada atau tidaknya perubahan radioaktivitas lingkungan pada tanah permukaan berdasarkan fungsi waktu, efektivitas penentuan lokasi pemantauan, sebagai informasi perubahan radioaktivitas alam dalam tanah, sebagai data informasi keterbukaan publik dan sebagai data acuan untuk penanganan kontaminasi *existing* pada lingkungan apabila melebihi nilai baku mutunya.

METODOLOGI

Evaluasi data radioaktivitas alam dalam sampel tanah selama kurun waktu 5 tahun merupakan bagian dari program pemantauan mutu lingkungan KNPJ. Radioaktivitas alfa dan beta total pada sampel tanah telah ditelitidan

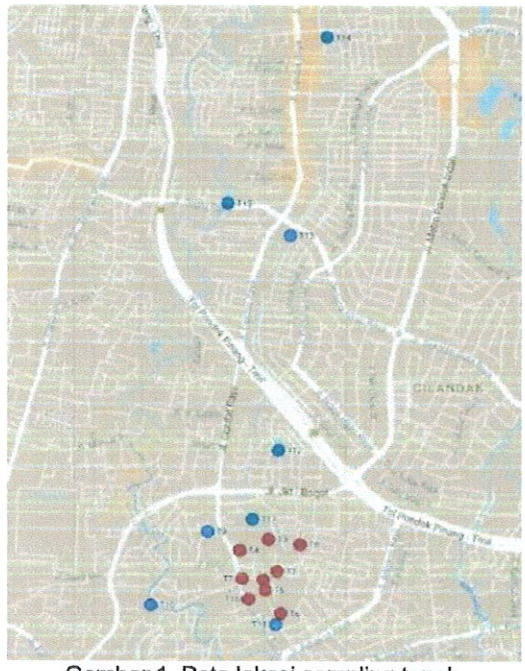
dipublikasikanoleh para peneliti daribeberapa negara belahan dunia seperti yang terlihat pada Tabel 1. Namun, untuk negara Indonesia, data serta publikasi mengenai radioaktivitas alfa dan beta total dalam tanah masih terbilang sedikit jumlahnya. Kajian mengenai radioaktivitas alfa dan beta total merupakan hal penting dan mutlak untuk dilakukan karena analisis radioaktivitas yang mudah dan cepat untuk menduga kandungan radionuklida yang terdapat didalam sampel tanah dapat dikerjakan dengan segera.Hal ini berbeda dengan analisis kualitatif untuk mengetahui pancaran radiasi gamma oleh radionuklida deret U-238 dan Th-232 yang proses preparasinya hingga pengukurannya memerlukan waktu kesetimbangan peluruhan hingga 21 hari.

Tabel 1. Radioaktivitas alfa dan beta total dari beberapa negara di dunia.

Kota / Negara (Tahun)	Radioaktivitas			
	alfa total	rata-rata	beta total	rata-rata
Dhaka / Bangladesh (2015) [7]	1.13 s.d 5.66 Bq/kg	2.78 ± 0.16 Bq/kg	30.74 to 132 Bq/kg	71.85±1.99 Bq/kg
Dražljevo landfill / Serbia (2012) [8]	66.7 s/d 102.4 Bq/kg	tidak dinyatakan	285.7 to 607.4 Bq/kg	tidak dinyatakan
Perak / Malaysia (2013) [9]	15 s/d 9634 Bq kg21	1558 ± 121 Bq/kg	142 s/d 6173 Bq/kg	1112 ± 32 Bq/kg
Bendimahi River / Turki (2007) [10]	0.686 s/d 4.713 Bq/g	tidak dinyatakan	0.073 s/d 9.524 Bq/g	tidak dinyatakan
Johor / Malaysia (2009) [11]	140 s/d 2.010 Bq/kg	796 ± 70 Bq/kg	40 to 2,300 Bq/kg	837 ± 30 Bq/kg
Dindigul / India (2016) [12]	0.25 s/d 1.20 mBq/g	tidak dinyatakan	1.28 to 6.17 mBq/g	tidak dinyatakan
Yogyakarta / Indonesia (2011) [13]	tidak dinyatakan	tidak dinyatakan	0,24 ± 0,15 s/d 0,87 ± 0,16 Bq/g	tidak dinyatakan
Kavadarci / Macedonia (2010) [14]	tidak dinyatakan	tidak dinyatakan	438 ± 21 s/d 1052 ± 36 Bq/kg	681 ± 146 Bq/kg

LOKASI DAN WAKTU

Sampel air diambil dari 2area berbeda, yaitu area di dalam (8 lokasi) dan di luar (9 lokasi) KNPJ. Keseluruhan ada 65 sampel selama kurun waktu 2012 s.d. 2016 (Gambar 1). Studi evaluasi lingkungan (SEL) dilakukan pada bulan Oktober sampai Desember bulan berjalan. Lokasi sampling untuk luar KNPJ mengikuti aliran air buangan KNPJ, aliran Kali Pesanggrahan dan Kali Grogol. Lokasi samplingtanah pada tahun 2014 s.d. 2016 lebih sedikit dibandingkan tahun 2012 (Tabel 1)karena beberapa lokasi sampling sudah berubah fungsi lahannya akibat kegiatan pembangunan (Tabel 2).



Gambar 1. Peta lokasi sampling tanah
(warna biru lokasi luar KNPJ, merahdalam KNPJ)

ALAT DAN BAHAN

Kegiatan penelitian ini menggunakan peralatan dan bahan yang terdiri atas*soil grab, global positioning system* (GPS), *plastik wadah sampel, crusher, mortar, shiever 200 mesh, oven,* neraca analitik dengan ketelitian 4 digit, dan sistem pencacah *low background counting* (LBC) *iMAtic.*

Tabel 2. Daftar lokasi sampling berdasarkan tahun

Kode	Lokasi	Tahun				
		2012	2013	2014	2015	2016
T1	Halaman Proses Industri	√	√	X	X	X
T2	Menara air	√	√	√	√	√
T3	Hal samping TU dan Bid IL PAIR	√	√	√	√	√
T4	Hal. Gardu Listrik PAIR	√	√	√	√	√
T5	Hal. Antara Ged. MBE-PTBGN	√	√	√	√	√
T6	Pertanian	√	√	√	√	√
T7	Hal Bid KPL - PTBGN	√	√	√	√	√
T8	Hal perumahan lebak lestari	√	√	X	X	X
T9	Komp. Perumahan PAIR	√	√	√	√	√
T10	Pesanggrahan, pratama hills	√	√	X	X	X
T11	Pak marzuki	√	√	X	X	X
T12	Kolam PU	√	√	√	X	X
T13	Jembatan PI-1, pintu PI-PPC	√	√	√	√	√
T14	Jembatan PI-2, pintu PI-SMEA	√	√	√	X	X
T15	Kali Pesanggrahan Deplu	√	√	√	√	√
T16	Hal. Lab. Pengolahan PTBGN	X	√	√	√	√
T17	Kebun samping STM Grafika	X	X	√	X	X

PREPARASI dan PENGUKURAN

Sampel yang dicuplik dari tiap lokasi dikeringkan dengan oven dengan suhu 70°C selama 24 jam untuk menghilangkan uap air. Tanah yang telah kering diusahakan untuk bersih dari pengotor (akar, rumput, kerikil), kemudian digerus dan diayak dengan ayakan ukuran 200 mesh. Hasil ayak ditimbang dengan massa 0.5g lalu dimasukkan ke plancet untuk diukur dengan sistem pencacah LBC.

Radioaktivitas alfa dan beta total diawali dengan mengukur efisiensi sistem pencacah LBC selama 1 jam. Efisiensi merupakan hasil bagi cacahan sumber standar Am-90 dan Sr-90/Y-90 terhadap nilai aktivitasnya (Persamaan 1). Rata-rata efisiensi alfa dan beta total selama kurun 5 tahun pada sistem pencacah yang dihasilkan berturut-turut adalah 31.24 ± 0.94% dan 28.34 ± 0.85%

$$\varepsilon = \frac{R_{st} - R_b}{A_s} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

dengan:
ε = Efisiensi
R_{st} = cacahan perdetik sumber standar (cps)
R_b= cacah perdetik latar (cps)
A_{st}= Aktivitas sumber standar (beckquerel)

Laju cacah latar diukurguna menentukan nilai limit *deteksi* (LD)(Persamaan 2):

$$Ld = 2.71 + 4.65\ x\ \sqrt{R_b} \ldots\ldots (2)$$

Ld = limit deteksi (cps)

Limit deteksi menghasilkan nilai *minimum detectable activity* (MDA)yang dihitung dengan Persamaan 3. Sistem pencacah LBC iMatic™ memiliki MDA alfa dan beta total rata-rata 0.018 dan 0.037 Bq.

$$MDA = \frac{L_d}{\varepsilon} \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Aktivitas sampel tanah diukur selama 1 jam dan dihitung menggunakan Persamaan 4. Data yang dihasilkan selanjutnya dianalisis dalam ringkasan statistik (*mean*, median, modus, standar deviasi, dll) serta divisualisasikan dalam wujud grafik, tabel, histogram, dan diagram *boxplot*. Analisis uji statistik berupa analisis satu arah *ANOVA*, uji keragaman, dan analisis regresi-korelasi menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS

$$A_{sp} = \frac{R_{sp} - R_b}{m\ x\ \varepsilon} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

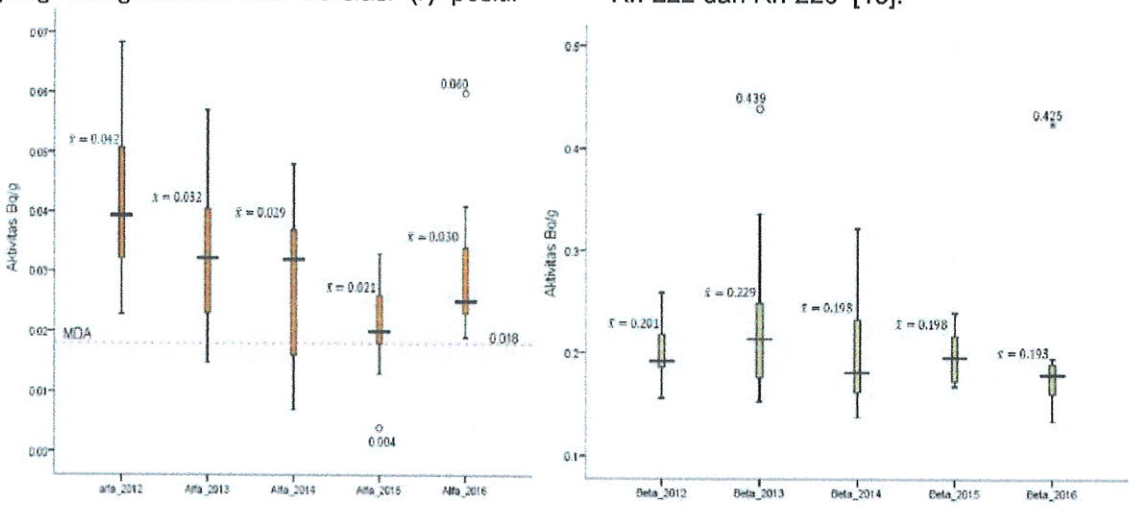
dengan:
A_{sp} = aktivitas sampel (Bq/g)
R_{sp} = cacahan perdetik sampel (cps)
m = massa bersih residu dalam cawan (g)

HASIL DAN PEMBAHASAN

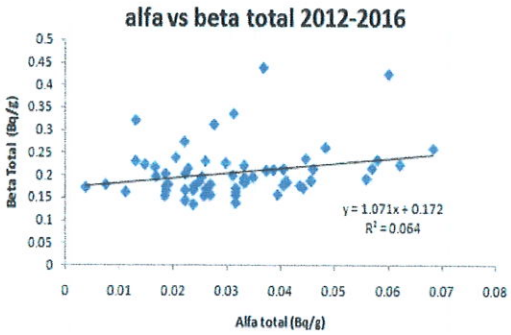
Informasi konsentrasi radioaktivitasalfa dan beta total selama kurun waktu 5 tahun tersaji pada Gambar 3. Konsentrasi radioaktivtas alfa dan beta total selama 5 tahun berturut-turut berada dalam rentang 0,004 ±0,006Bq/g sampai 0,068 ± 0,014 Bq/g dan 0,134 ± 0,014 Bq/g sampai 0,439 ± 0,035 Bq/g. Radioaktivtas rata-rata alfa dan beta total terendah berturut-turut adalah 0,021Bq/g ditahun 2015 dan 0,193Bq/g tahun 2016, sedangkan untuk alfa dan beta total tertingginya adalah 0,042Bq/gtahun 2012 dan 0,229Bq/g pada 2013. Terlihat pada tahun 2012 s.d. 2015 data radioaktivitas alfa total terdapat di beberapa lokasi tingkat radioaktivitasnya dibawah nilai MDA. Konsentrasi radioaktivitas alfa dan beta total KNPJ selama kurun 5 tahun adalah 0,035 dan 0,210 Bq/g atau setara dengan 35 s.d. 210 Bq/kg. Nilai alfa total tersebut lebih apabila dibandingkan dengan kajian yang sudah dilakukan (Tabel 1). Ini memberikan nilai konsentrasi lebih tinggi daripada hasil kajian rata-rata alfa total di Perak dan Johor di Malaysia, Dhaka-Bangladesh, Dindigul-India, dan Turki [10], sedangkan radioaktivitas beta total lebih tinggi daripada kajian di Dhaka-Bangladesh, lebih rendah daripada di Malaysia (Perak dan Johor) dan

Macedonia. Namun, nilai radioaktivitas beta total KNPJ masih dalam rentang pengukuran yang dilakukan di Malaysia dan Yogyakarta, Indonesia. Perbedaan konsentrasi alfa total tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan struktur sampel tanah antarnegara, mutu sistem pencacah, teknik sampling, dan preparasi sampelnya.

Korelasi antara alfa total dan beta total (Gambar 4) ditunjukkan dengan kurva linear variabel alfa total terhadap beta total dengan nilai determinasi (R^2) 0.064, sedangkan koefisien korelasinya adalah persamaan yang menghasilkan nilai korelasi (r) positif sebesar 25,3%. Nilai korelasi yang sangat lemah ini mengindikasikan bahwa radionuklida dalam sampel tanah tidak hanya berasal dari pancaran radiasi alfa dan beta saja tetapi mungkin berasal dari radionuklida K-40 yang terkonsentrasi di dalam tanah dengan memancarkan radiasi beta gamma. Nilai korelasi alfa dan beta total dalam tanah berbeda dengan nilai korelasi alfa total terhadap beta total pada sampel udara KNPJ yang dinyatakan dengan nilai koefisien korelasi alfa total yang sangat kuat (99.7%), yang diindikasikan berasal dari anak luruh Rn-222 dan Rn-220 [15].



Gambar 3. *Box plot* alfa dan betatotal selama kurun waktu 5 tahun



Gambar 4. Korelasi alfa total terhadap beta total

Data radioaktivitas alfa dan beta total pada Gambar 3 memiliki distribusi yang berbeda satu sama lain, selain itu juga terlihat 3 nilai pencilan (*outlier*) dan 1 nilai ekstrem diluar badan *boxplot*. Berdasarkan hal tersebut, data konsentrasi radioaktivitas alfa dan beta total diuji secara statistik *anova* searah guna memberikan informasi tentang keragaman data serta mengevaluasi beda nyata nilai rata-rata dari 2 tahun pengamatan atau lebih. Keragaman diuji untuk mendapatkan informasi apakah kumpulan data bersifat homogen atau tidak. Selain itu, juga merupakan prasyaratan untuk melakukan uji *anova* apabila asumsi kesamaan ragam terpenuhi.Hipotesis nol (H_0) menyatakan nilai konsentrasi radioaktifitas alfa dan beta total kurun 5 tahun adalah homogen. Hasil uji keragaman pada Tabel 3 memperlihatkan nilai F_{hitung} alfa dan betatotal 1,091 dan 2,008< dari nilai F_{tabel} dengan Df1 (4) dan Df2 (60) sebesar 2,53 pada tingkat signifikansi 95%. Dapat disimpulkan hipotesis nol (Ho) diterima, yang artinya bahwa data radioaktivitas alfa dan beta total adalah homogen, sehingga uji *anova* dapat dilakukan.

Tabel 3. Uji homogenitas

Variabel	*Levene Statistic*	df1	df2	Sig.
Gross_alfa_5thn	1.091	4	60	0.369
Gross_beta_5thn	2.008	4	60	0.105

Uji anova (Tabel 4)menunjukkan bahwa nilai F_{hitung} (4,919) > dari nilai F_{tabel}

(2,530). Artinya, terdapat sedikitnya 1 perbedaan rata-rata radioaktivitas alfa total selama kurun 5 tahun. Hal tersebut berkebalikan dengan konsentrasi beta total yang memberikan hasil radioaktivitas dalam kurun 5 tahun tidak berbeda nyata. Perbedaan nyata radioaktivitas alfa total ditunjukkan oleh Tabel 5 melalui uji banding *Tukey* HSD. Terlihat bahwa konsentrasi rata-rata alfa total tahun 2012 berbeda nyata pada tahun 2015 sebesar 0,021 Bq/g, tetapi dalam kurun 2013 s.d. 2015 perbedaan rata-rata alfa total tidak berubah nyata.

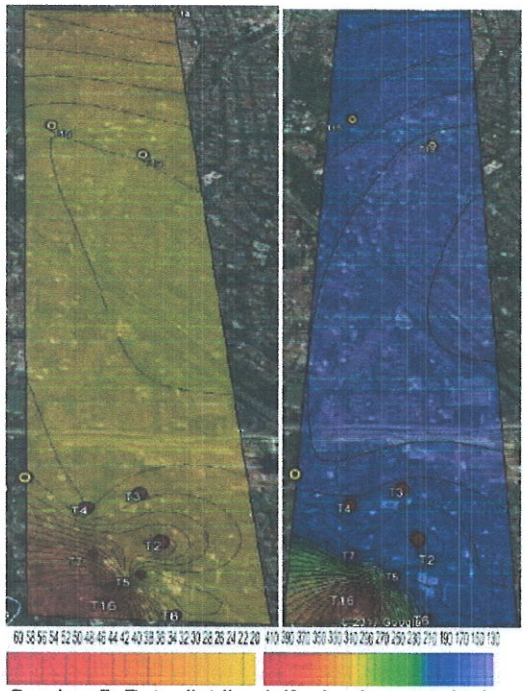
Tabel 4. Uji Anova

Variabel		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Gross_alfa_5thn	Between Groups	0.003	4	0.001	4.919	0.002
	Within Groups	0.009	60	0.000		
	Total	0.012	64			
Gross_beta_5thn	Between Groups	0.012	4	0.003	0.938	0.448
	Within Groups	0.200	60	0.003		
	Total	0.212	64			

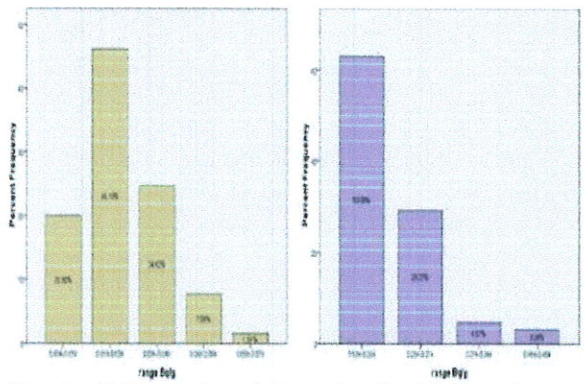
Tabel 5. Uji Tukey-HSD

Dependent Variable		(I) Kode_tahun	(J) Kode_tahun	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Gross_alfa_5thn	Tukey HSD	Alfa total 2012	Alfa total 2013	0.010	0.004	0.204
			Alfa total 2014	0.013	0.005	0.052
			Alfa total 2015	.0208*	0.005	0.001
			Alfa total 2016	0.012	0.005	0.130
		Alfa total 2013	Alfa total 2012	-0.010	0.004	0.204
			Alfa total 2014	0.004	0.005	0.933
			Alfa total 2015	0.011	0.005	0.143
			Alfa total 2016	0.002	0.005	0.992
		Alfa total 2014	Alfa total 2012	-0.013	0.005	0.052
			Alfa total 2013	-0.004	0.005	0.933
			Alfa total 2015	0.008	0.005	0.575
			Alfa total 2016	-0.002	0.005	0.998
		Alfa total 2015	Alfa total 2012	-.0208*	0.005	0.001
			Alfa total 2013	-0.011	0.005	0.143
			Alfa total 2014	-0.008	0.005	0.575
			Alfa total 2016	-0.009	0.005	0.405
		Alfa total 2016	Alfa total 2012	-0.012	0.005	0.130
			Alfa total 2013	-0.002	0.005	0.992
			Alfa total 2014	0.002	0.005	0.998
			Alfa total 2015	0.009	0.005	0.405

Peta distribusi alfa dan beta total pada tahun 2016 menginformasikan bahwa radioaktivitas alfa dan beta total tahun 2016 tertingi di T16 halaman Lab Pengelolaan Limbah PTBGN. Secara visual tingkat radioaktivitas alfa/neta total dalam tanah di T16 tidak berkontribusi pada lokasi sampling lainnya. Pada gambar 6 terlihat frekuensi radioaktivitas alfa dan beta total kurun waktu 5 tahun untuk alfa total tertinggi berada pada rentang 0,014 s.d 0,034 Bq/g sebesar 46,15%, untuk beta total 0,134 s.d 0,204 (63,08%). Evaluasi konsentrasi radioaktivitas alfa dan beta total pada Gambar 3 selama kurun 5 tahun apabila dibandingkan dengan masih PERKA BAPETEN No.7 Tahun 2013 masih dibawah baku mutu yang ditentukan, yaitu 1 Bq/g. Namun, perlu dilakukan kajian mengenai radionuklida alam yang terdapat dalam tanah serta estimasi penerimaan dosis efektif yang diterima oleh manusia.



Gambar 5. Peta distribusialfa dan beta total tahun 2016



Gambar 6. Persentase frekuensi radioaktivitas alfa dan beta total dalam 5 tahun terakhir

KESIMPULAN

Evaluasi radioaktivitas alfa dan beta total kurun waktu 5 tahun di KNPJ memperlihatkan bahwa pengaruh perubahan variabel radioaktivitas alfa total terhadap beta total memiliki hubungan yang sangat lemah dengan nilai koefisien korelasi 25.3%. Nilai korelasi ini mengindikasikan bahwa radionuklida dalam sampel tanah tidak hanya berasal dari pancaran radiasi alfa dan beta yang banyak berasal dari radionuklida deret U-238 dan Th-232. Namun, radiasi tersebut mungkin berasal dari radionuklida K-40 yang

terkonsentrasi di dalam tanah dengan memancarkan radiasi beta dan gamma.

Terdapat perbedaan rata-rata alfa total pada tahun 2012 dengan tahun 2015. Namun, radioaktivitas rata-rata alfa total 4 tahun terakhir (2013 s.d. 2016) tidak berubah nyata, dan radioaktivitas beta total selama periode kurun 5 tahun juga tidak berubah nyata.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Peraturan Kepala Badan Pengawas Nuklir (2013).** "Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan", Jakarta
2. **Xhixha G (2012),** *"Advanced Gamma-ray Spectrometry for Environmental Radioactivity Monitoring"*, Disertasi University of Ferrara, Ferrara Italy.
3. **UNSCEAR (2000),** "Sources and Effects of Ionizing Radiation", Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York.
4. **Derin MT *etal.*, (2012),** "Radionuclides and Radiation Indices of High Background Radiation Area in Chavara-Neendakara Placer Deposits (Kerala, India)", PLoS ONE 7(11): 450-468.
5. **Kathren RL (1998),** "NORM Sources and Their Origins" Applied Radiation and Isotopes, *49*(3):149-168.
6. **Eisenbud J, Merril D and Thomas F. Gesell (1997),** "Environmental Radioactivity: From Natural, Industrial and Military Sources",Ed. ke-4, California, USA: Academic Press.
7. **Biswas SJ, Ferdous A, Begum, Ferdous N (2015),** *"Study of Gross Alpha and Gross Beta Radioactivities in Environmental Samples"*, Journal of Scientific Research, Res. 7 (1-2), 35-44.
8. **Natasa Sarap, Vesna Kraisnik, Marija Jankovic (2012),** "Determination of Gross α and β Activities in Soil Samples from Drazljevo Landfill (Power Plant Gacko)", Third International Scientific Symposium "Agrosym Jahorina 2012", 316-320
9. **Siak Kuan Lee, HusinWagiran, Ahmad Termizi Ramli (2013),** A Survey of Gross alpha and Gross Beta Activity in Soil Samples in Kinta District, Perak, Malaysia",Radiation Protection Dosimetry,. 162(3): 345–350
10. **Özlem Selçuk Zorer & Hasan Ceylan (2007),** "Gross Alpha and Beta Radioactivity Concentration in Water, Soil and Sediment of the Bendimahi River andVan Lake (Turkey)",Environ Monit Assess 148:39–46
11. **Noor Zati Hani Abu Hanifah, Ahmad Termizi Ramli, Nor Afifah Basri (2014),**" Correlation between Gross Alpha and Beta Activity Concentration in Soil Samples With Dose Rate in Iskandar Malaysia, Johor, Malaysia" Proceedings of 2nd International Science Postgraduate Conference
12. **Periyasamy M, Christopher S, Syed Mohamed HE, Sadiq Bukhari A, Mohamed Shamsudin (2016),** "Gross Alpha and Beta radioactivity studies in Dindigul and Erode Districts, Tamilnadu", International Journal of Advanced Science and Research, 1(2):22-26
13. **Sri Wahyuningsih, Siswanti, Sri Artiningsih (2011),** "Pengukuran RadioaktivitasBeta Total pada Sampel Tanah di Kawasan Reaktor Kartini Tahun 2010"
14. **Snežana Dimovska1, Trajče Stafilov2, Robert Šajn3 (2010),** "Determination of Activity Concentration of 40K and Gross Beta Activity in Soil From Kavadarci and Its Environs", Geologica Macedonica, 24(1): 53–62
15. **Rixson L, Stefanus M, (2017)** "Konsentrasi Radioaktivitas Lingkungan dalam Partikulat Udara (PM10) di Kawasan Nuklir Pasar Jumat (KNPJ)", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV, Depok – Indonesia.