

**ISSN : 1978-9971**

**PROSIDING  
PERTEMUAN DAN PRESENTASI ILMIAH  
FUNGSIONAL PENGEMBANGAN TEKNOLOGI NUKLIR IX**

**Jakarta, 5 Nopember 2014**



**PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI  
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**

JL. LEBAK BULUS RAYA No. 49, KOTAK POS 7043 JKSKL – JAKARTA SELATAN 12070

Telp. (021) 7513906 (Hunting) Fax. : (021) 7657950

E-mail : [ptkmr@batan.go.id](mailto:ptkmr@batan.go.id)

**Diterbitkan pada  
Januari 2015**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia yang diberikan kepada Panitia Penyelenggara, sehingga Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir IX dengan tema “**Keselamatan dalam Pemanfaatan IPTEK Nuklir di Bidang Metrologi Radiasi, Kesehatan dan Lingkungan**” yang dilaksanakan pada tanggal 5 Nopember 2014, telah selesai disusun pada bulan Januari 2015.

Presentasi Ilmiah kali ini menghadirkan pembicara utama **Dr. Ross A. Jeffree dari University of Technology, Sydney** dengan judul **Exploratory Radioecology, in Practice, Theory and Applications**. Makalah yang masuk dan dipresentasikan dalam kegiatan ini sebanyak 45 buah berasal dari Universitas Pakuan 3 makalah, Institut Teknologi Bandung (ITB) 1 makalah, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah 1 makalah, PRFN 3 makalah, PTRR 1 makalah, PSTA 4 makalah, STTN 2 makalah, PSTNT 3 makalah, PRSG 1 makalah, PKSEN 1 makalah, PSTBM 1 makalah, PAIR 1 makalah, dan PTKMR 23 makalah

Semoga penerbitan Prosiding ini bermanfaat sebagai media untuk menyebarkan hasil-hasil penelitian, pengembangan, dan pengelolaan perangkat nuklir dalam bidang keselamatan, kesehatan, lingkungan dan metrologi radiasi serta sebagai bahan acuan dan informasi dalam melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan.

Panitia penyelenggara berharap semoga Prosiding ini dapat menjadi sumber informasi dan acuan yang berguna bagi semua pihak yang memerlukannya. Sebagai penutup, Panitia Penyelenggara menyampaikan mohon maaf atas segala kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan Prosiding ini dan menyampaikan penghargaan dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah ikut mensukseskan serta membantu terselenggaranya Pertemuan dan Presentasi Ilmiah ini.

Jakarta, 7 Januari 2015

Tim Editor dan Panitia Penyelenggara

---

**SAMBUTAN**  
**KEPALA PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI**

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Salam sejahtera bagi kita semua.

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, saya menyambut gembira atas penerbitan Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir IX oleh Tim Editor dan Panitia Penyelenggara.

Melalui penerbitan ini, saya berharap Prosiding ini dapat dengan mudah dipahami oleh para pemerhati iptek nuklir di bidang teknologi keselamatan dan metrologi radiasi. Selain itu, saya juga berharap agar tulisan dan kajian ilmiah dalam Prosiding ini, yang merupakan output (luaran) dari para pejabat fungsional Batan, bisa menjadi acuan bagi para mahasiswa, pengajar (guru, dosen, dan pembimbing), dan ilmuwan di luar Batan, sehingga output kegiatan BATAN ini dapat dimanfaatkan dan dirasakan oleh masyarakat.

Akhirnya, saya berharap bahwa keberadaan Prosiding ini tidak sebatas memperkaya khasanah pengetahuan kita, namun juga dapat menjadi pedoman bagi PTKMR untuk mewujudkan visi BATAN, Unggul di Tingkat Regional. Untuk itu, saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Tim Editor dan Panitia Penyelenggara yang telah mencurahkan tenaga dan pikirannya, serta kepada seluruh pihak yang telah mendukung penerbitan Prosiding ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Jakarta, 09 Januari 2015

Kepala PTKMR,



Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc.

---

**SUSUNAN PENGARAH, TIM EDITOR, DAN  
PANITIA PENYELENGGARA  
PERTEMUAN DAN PRESENTASI ILMIAH  
FUNGSIONAL PENGEMBANGAN TEKNOLOGI NUKLIR - IX**

**PENGARAH**

**Ketua :**

Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc.  
(Kepala PTKMR-BATAN)

**Anggota :**

Drs. Bunawas, APU.  
Prof. Drs. Eri Hiswara, M.Sc.

**EDITOR DAN PENILAI MAKALAH**

**Ketua :**

Drs. Nurman Rajagukguk

**Wakil Ketua :**

Dr. Mukh Syaifudin

**Anggota :**

Drs. Mukhlis Akhadi, APU.  
Dra. C. Tuti Budiantari  
Drs. Gatot Wurdianto, M.Eng.  
Dr. Eko Pudjadi  
dr. Fadil Nasir, Sp.KN.  
Dra. Rini Heroe Oetami, MT. (PSTNT-BATAN)  
Dr. Megga Ratnasari Pikoli (UIN Syarif Hidayatullah)  
Prof. Fatma Lestari, Ph.D (FKM-UI)  
Dr. Rer. Nat. Freddy Haryanto (ITB-Bandung)

**PENYELENGGARA**

**Ketua :** Teja Kisananto, A.Md., **Wakil Ketua :** Fendinugroho, S.ST., **Sekretaris :** Dian Puji Raharti, A.Md., **Bendahara :** Kristina Dwi Purwanti, **Seksi Persidangan :** Wahyudi, S.ST., Setyo Rini, SE., Viria Agesti Suvifan, Egnés Ekaranti, A.Md., **Seksi Dokumentasi :** Yahya Mustofa, A.MR., **Seksi Perlengkapan :** Prasetya Widodo, A.Md., Rojalih., **Seksi Konsumsi :** Siti Ruwiyati, Indri Trisianti. (SK No. 53/KMR/VI/2014)

---

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Sambutan Kepala PTKMR	ii
Susunan Pengarah, Tim Editor, dan Panitia Penyelenggara	iii
Daftar Isi	iv
<b>Makalah Utama</b>	
Exploratory Radioecology, in Practice, Theory and Applications	A-1
<i>Dr. Ross A. Jeffree</i> <i>University of Technology, Sydney</i>	
<b>Makalah Seminar</b>	
1. Perhitungan Ketebalan Kontainer untuk Menjamin Keselamatan dari Paparan Radiasi pada Perangkat Brakiterapi	1
<i>Kristiyanti dan Tri Harjanto</i>	
2. Pengujian Modul SCA untuk Perekayasa Scintigrafi	8
<i>Leli Yuniarsari, Sukandar, Joko Sumanto, dan Wiranto Budi Santoso</i>	
3. Pemantauan dan Evaluasi Radioaktivitas Gross $\beta$ Air Pendingin Primer Reaktor Kartini PSTA-BATAN	18
<i>Atok Suhartanto dan Suparno</i>	
4. Penerapan Program Optimisasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Bidang Kedokteran Nuklir	25
<i>Suhaedi Muhammad dan Rr.Djarwanti, RPS</i>	
5. Penentuan Efisiensi Detektor Geiger Muller pada Sistem Pencacah Integral terhadap Sumber Beta dan Gamma Menggunakan Tl-204 dan Cs-137	37
<i>Wijono dan Eko Pramono</i>	
6. Kalibrasi Dosimeter CaSO <sub>4</sub> :Dy Terhadap Sinar-X untuk Menghitung Dosis Radiologi Diagnostik	44
<i>Rofiq Syaifudin, Nina Herlina, dan Assef Firmendo Firmansyah</i>	
7. Pemantauan Dosis Paparan Kerja di PSTNT-BATAN	52
<i>Rini Heroe Oetami</i>	

- 
- |     |   |     |
|-----|---|-----|
| 8.  | Pembuatan Perunut KIT RIA/IRMA di PTRR Tahun 2013<br><i>Gina Mondrida, Sutari, Triningsih, Sri Setyowati, Agus Ariyanto, V. Yulianti S, Puji Widayati, Wening Lestari</i>   | 65  |
| 9.  | Analisis Propagasi Ketidakpastian pada Penentuan Radioaktivitas Lingkungan<br><i>Juni Chussetijowati dan Suhulman</i>   | 80  |
| 10. | Daya Infektif Campuran <i>Plasmodium berghei</i> Iradiasi dan Non-Iradiasi pada Mencit ( <i>Mus musculus</i> )<br><i>Teja Kisananto, Mukh Syaifudin, Siti Nurhayati, dan Gorga Agustinus</i>  | 94  |
| 11. | Diferensial Leukosit Mencit ( <i>Mus musculus</i> ) Pasca Imunisasi Berulang dan Uji Tantang dengan <i>Plasmodium berghei</i> Iradiasi Gamma Stadium Eritrositik<br><i>Tur Rahardjo, Siti Nurhayati, Mukh Syaifudin, dan Teja Kisananto</i> | 103 |
| 12. | Pemantauan Pekerja Radiasi Dengan <i>Whole Body Counter</i> Sebagai Data Dasar Dosis Radiasi Internal<br><i>Sugiyana</i>  | 114 |
| 13. | Kajian Keselamatan dan Keamanan Sumber di Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder BATAN<br><i>B.Y. Eko Budi Jumpeno dan Egnas Ekaranti</i>  | 121 |
| 14. | Profil Protein <i>Escherichia coli</i> Hasil Inaktivasi Dengan Iradiasi Gamma pada Dosis 600-800 Gy<br><i>Ario Putra Pamungkas dan Irawan Sugoro</i>  | 135 |
| 15. | Perencanaan Keselamatan dan Perlindungan Radiasi pada Ruang Operasi Brakiterapi MDR-IB-10<br><i>Tri Harjanto</i>  | 143 |
| 16. | Pemetaan Radioaktivitas $^{40}\text{K}$ , $^{226}\text{Ra}$ dan $^{232}\text{Th}$ dalam Sampel Tanah dari Pulau Bangka<br><i>Wahyudi, Syarbaini dan Kusdiana</i>  | 154 |
| 17. | Faktor Transfer $^{137}\text{Cs}$ dari Tanah ke Daun Singkong<br><i>Leli Nirwani</i>  | 166 |
| 18. | Optimasi Pencucian dan Pengeringan Bahan Baku Pembuatan Sintesis ZOC-2 untuk Meminimalkan Limbah<br><i>Tundjung Indrati Y, Sajima, dan Sudaryadi</i>  | 176 |
-

---

19.	Kandungan Radionuklida $^{226}\text{Ra}$ dalam Sampel Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Menggunakan Spektrometer Alfa <i>Nurul Karim, Sutanto dan Asep Setiawan</i>	188
20.	Konsentrasi Stronsium-90 Dalam Biota Laut dan Susu Sapi <i>Nur Arini Azizah, Asep Setiawan dan Sutanto</i>	197
21.	Distribusi Butiran Partikel dan Kontribusi Sumber Sedimen Dengan Pendekatan Model Matematis Sederhana <i>Tommy Hutabarat</i>	202
22.	Perbandingan Persentase Metafase Pertama (M1) dan Kedua (M2) Sel Limfosit Darah Tepi Yang Diiradiasi Sinar Gamma Dengan Variasi Waktu Pengkulturan <i>Masnelli Lubis dan Viria Agesti Suvifan</i>	212
23.	Sistem Akuntansi Limbah Radioaktif Terpadu di PTKMR <i>Suhaedi Muhammad, Rr.Djarwanti, RPS, dan Farida Tusafariah</i>	220
24.	Proliferasi Limfosit pada Organ Limpa dan Thymus Mencit Paska Inokulasi <i>P.Bergei</i> Radiasi <i>Darlina, Enbun Ma'rufah, dan Warsih</i>	231
25.	Persentase Parasit pada Mencit ( <i>Mus musculus</i> ) Pasca Imunisasi Berulang dan Uji Tantang dengan <i>Plasmodium berghei</i> Iradiasi Gamma dengan <i>Adjuvant Alhidroyel</i> <i>Tur Rahardjo</i>	240
26.	Analisis Peluruhan Samarium-153 menggunakan Sistem Pencacah Kamar Pengion Capintec CRC-7BT <i>Eko Pramono dan Wijono</i>	248
27.	Analisis Statistik Ketidakpastian Faktor Konversi pada Sistem Gamma Counter Manual Abbot RE-0785 Menggunakan Sumber Standar I-129 <i>Sarjono dan Wijono</i>	257
28.	Penentuan Radionuklida Pemancar Gamma Dalam Sampel Air Uji Profisiensi 2012 <i>Wahyudi, Eko Pujadi dan Muji Wiyono</i>	262
29.	Rancang Bangun Pengendali pH dan Temperatur pada Koagulator dengan Metode ON-OFF <i>Nugroho Trisanyoto, Dwi Handoko, dan Joko Sunardi</i>	273

---

30.	Analisis Panas Lebih pada Modul Panel Listrik Motor Pompa JE01 AP003 Sistem Pendingin Primer RSG-GAS <i>Teguh Sulisty, M. Taufiq, Adin Sudirman, dan Yuyut Suraniyanto</i>	285
31.	Kalibrasi Dosimeter CaSO <sub>4</sub> :Dy Terhadap Sr-90 Untuk Menghitung Dosis Beta <i>Rofiq Syaifudin, Sri Subandini L, dan Fendinugroho</i>	298
32.	Penentuan Konsentrasi <i>Sitochalasin B</i> Dalam Pembentukan Sel Binukleat pada Uji Mikronuklei <i>Sofiaty Purnami, Masnelli Lubis dan Yanti Lusiyanti</i>	305
33.	Variasi Suplemen Serum dalam Kultur <i>In Vitro Plasmodium falciparum</i> untuk Pengembangan Vaksin Malaria Irradiasi <i>Siti Nurhayati dan Teja Kisananto</i>	314
34.	Pengukuran Reaktivitas Batang Kendali Reaktor Kartini Pasca Perbaikan <i>Reactivity Computer</i> Type R-20A <i>Dewita dan Marsudi</i>	323
35.	<i>Benchmarking</i> Program Pemantauan Radiasi Lingkungan di Beberapa Negara terhadap Pedoman IAEA <i>Nurlaila dan Yuliasuti</i>	331
36.	Pengolahan Limbah <i>Methylen Blue</i> dengan TiO <sub>2</sub> dimodifikasi Cu dan N <i>Agus Salim Afrozi, Auring R, Sulistioso GS, dan Joko Nurchamid</i>	343
37.	Pengujian <i>Automatic Exposure Control (AEC)</i> pada Pesawat Sinar-X Mamografi <i>Dewi Kartikasari, Helfi Yuliati, Dyah Dwi Kusumawati dan Suyati</i>	353
38.	Penentuan Laju Dosis Serap Air Berkas Elektron Pesawat <i>Linac Electa Sinergy Platform</i> Menggunakan Fantom Air PTW dan 1D Scanner <i>Sun Nuclear</i> <i>Sri Inang Sunaryati dan Nurman Rajagukguk</i>	359
39.	Benefisasi Pasir Zirkon untuk Umpan Pembuatan Zirkon <i>Opacifier</i> <i>Sajima</i>	367
40.	Upaya Peningkatan Derajat Keselamatan dan Kesehatan Pekerja Radiasi <i>Farida Tusafariah, Rr.Djarwanti, RPS, dan Suhaedi Muhammad</i>	377
41.	Uji Kontrol Kualitas Kamera Gamma Mediso AnyScan S di Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi <i>Prasetya Widodo dan Nur Rahmah Hidayati</i>	386

- 
- |     |   |     |
|-----|---|-----|
| 42. | Identifikasi dan Penentuan Konsentrasi $^{210}\text{Po}$ dalam Lumpur ( <i>Sludge</i> ) Hasil Industri Menggunakan Spektrometer Alfa<br><i>Mastika Kartika Chandra, Sutanto, dan Asep Setiawan</i>  | 395 |
| 43. | Simulasi MCNPX untuk Efisiensi Pencacah Alfa-Beta dalam Pengukuran Radioaktivitas Tanah<br><i>Rasito, Zulfakhri, Juni Chussetijowati, dan Putu Sukmabuana</i>   | 405 |
| 44. | Rancang Bangun Monitor Kebisingan di Tempat Kerja Berbasis Mikrokontroler Atmega 8<br><i>Muhammad Khoiri, Joko Sunardi, dan Jauhani Setiyawan</i>   | 415 |
| 45. | Studi Awal Evaluasi Perbandingan Performa Algoritma Berbasis <i>Gradient-descent</i> , <i>Simulated Annealing</i> , dan <i>Hybrid</i> pada Kasus Optimasi <i>Segmented-weight</i> untuk Prism TPS<br><i>Yati Hardiyanti, Mohammad Haekal, Abdul Waris dan Freddy Haryanto</i> | 426 |

## PEMETAAN RADIOAKTIVITAS $^{40}\text{K}$ , $^{226}\text{Ra}$ DAN $^{232}\text{Th}$ DALAM SAMPEL TANAH DARI PULAU BANGKA

Wahyudi, Syarbaini dan Kusdiana

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN  
Email : wah\_yudi@batan.go.id

### ABSTRAK

**PEMETAAN RADIOAKTIVITAS  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  DAN  $^{232}\text{Th}$  DALAM SAMPEL TANAH DARI PULAU BANGKA.** Telah dilakukan pemetaan konsentrasi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , dan  $^{232}\text{Th}$  dalam sampel tanah dari Pulau Bangka. Sampel tanah dikumpulkan dari 29 lokasi di Pulau Bangka kemudian dikirimkan ke PTKMR-BATAN melalui jasa pos. Sampel dipreparasi dengan cara dikeringkan dalam oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam, kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Setelah itu sampel ditempatkan dalam marinelli 1 liter kemudian dilem dan didiamkan sampai terjadi kesetimbangan radioaktif antara thorium dan radium dengan anak luruhnya kurang lebih selama 4 minggu. Sampel selanjutnya diukur menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe. Hasil analisis memperlihatkan konsentrasi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , dan  $^{232}\text{Th}$  berturut-turut berkisar antara  $(10,71 \pm 3,37)$  Bq/kg sampai dengan  $(191,25 \pm 13,49)$  Bq/kg,  $(21,87 \pm 2,24)$  Bq/kg sampai dengan  $(543,81 \pm 36,33)$  Bq/kg, dan  $(21,26 \pm 1,59)$  Bq/kg sampai dengan  $(2170,34 \pm 65,18)$  Bq/kg. Konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  pada lokasi Bangka-13 cukup tinggi sehingga perlu dilakukan pengkajian lebih jauh untuk keselamatan masyarakat. Data konsentrasi radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , dan  $^{232}\text{Th}$  di Pulau Bangka ini sebagai inputan dalam pembuatan peta radioaktivitas tanah permukaan untuk Pulau Bangka yang merupakan bagian dari peta radioaktivitas lingkungan Indonesia.

Kata kunci : soil; radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$ ; Pulau Bangka.

### ABSTRACT

**RADIOACTIVITY OF  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  AND  $^{232}\text{Th}$  MAPPING IN THE SOIL SAMPLES COLLECTED FROM BANGKA ISLAND.** Radioactivity of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  mapping in the soil samples from Bangka island have been carried out. The soil samples were collected in 29 locations from Bangka island then the soil samples were sent to environmental laboratory of CTRSM-NAEA by post services. In the laboratory, samples were dried in oven at  $105^{\circ}\text{C}$  for 24 hours and then were sieved to 100 mesh sieves. After preparation, samples were placed in marinelli of 1 liter volume, sealed and aged for 4 weeks to reach the radioactivity equilibrium of thorium and radium with its progenies. After that, the samples were measured by using gamma spectrometer with HPGe detector. The result of samples analysis showed that the concentrations of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  were ranged from  $(10.71 \pm 3.37)$  Bq/kg to  $(191.25 \pm 13.49)$  Bq/kg,  $(21.87 \pm 2.24)$  Bq/kg to  $(543.81 \pm 36.33)$  Bq/kg and  $(21.26 \pm 1.59)$  Bq/kg to  $(2170.34 \pm 65.18)$  Bq/kg respectively. Concentration of  $^{232}\text{Th}$  in Bangka-13 location high relatively so that it is suggested to assess further for public safety. The data of gamma dose rate and concentration of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  would be used as baseline data of radionuclides in Bangka island for the environmental radioactivity mapping of Indonesia.

Key words : soil,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  radionuclides; Bangka island.

### I. PENDAHULUAN

Pemantauan radioaktivitas lingkungan secara nasional telah dilakukan oleh PTKMR tiap tahun secara terus-menerus sejak tahun 2005 disesuaikan dengan Landmark dan

Program BATAN. Mengingat sangat luasnya wilayah Indonesia, maka pada kegiatan ini dilaporkan hasil pemetaan radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , dan  $^{232}\text{Th}$  dalam tanah di Pulau Bangka. Radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , dan  $^{232}\text{Th}$

merupakan radionuklida alam yang keberadaannya bersamaan dengan terbentuknya alam sehingga sering juga disebut radionuklida primordial. Konsentrasi radionuklida tersebut bervariasi bergantung dari struktur geologi daerah lokasi pengukuran. Secara umum Pulau Bangka memiliki struktur geologi dari formasi tanjung genting yang sebagian besar penyusunnya adalah batuan pasir dan sejenis tanah liat, sedangkan pada sebagian kecil terdapat batuan granit [1].

Faktor lain yang mempengaruhi tingkat radioaktivitas radionuklida alam tersebut adalah kegiatan pengolahan hasil bumi seperti tambang minyak, gas, batubara, emas, timah dan lain-lain. Kegiatan ini dapat meningkatkan konsentrasi radioaktivitas  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  di lingkungan sekitar. Untuk wilayah Pulau Bangka kegiatan penambangan yang dominan adalah penambangan timah sehingga konsentrasi radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , dan  $^{232}\text{Th}$  dipengaruhi oleh faktor geologi dan kegiatan penambangan timah.

Tujuan kegiatan ini adalah untuk mendapatkan data tingkat radioaktivitas lingkungan di Pulau Bangka yang akan dipakai sebagai data dasar dalam pembuatan peta radioaktivitas lingkungan di Indonesia. Data dasar tersebut dapat juga dipakai untuk mengevaluasi distribusi zat radioaktif jika terjadi peningkatan konsentrasi zat radioaktif di daerah tersebut.

## II. DASAR TEORI

Untuk menganalisis radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  dalam sampel tanah biasanya digunakan sistem spektrometer gamma dengan detektor HPGe (germanium kemurnian tinggi). Untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat maka diperlukan prosedur yang baku, lingkungan yang terkendali, peralatan yang stabil dan terkalibrasi, serta didukung oleh sumbu daya manusia yang terampil. Kalibrasi efisiensi spektrometer gamma dilakukan dengan membandingkan respon sistem terhadap sumber standar yang telah diketahui aktivitasnya. Untuk melakukan kalibrasi efisiensi digunakan persamaan berikut [2-5] :

$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{(N_s / t_s - N_{BG} / t_{BG})}{A_t \cdot p_{\gamma}} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- $\varepsilon_{\gamma}$  : efisiensi pencacahan (%)
- $N_s$  : cacah standar (cacah)
- $N_{BG}$  : cacah latar (cacah)
- $t_s$  : waktu cacah standar (detik)
- $t_{BG}$  : waktu cacah latar (detik)
- $A_t$  : aktivitas sumber standar pada saat pencacahan (Bq)
- $p_{\gamma}$  : kelimpahan energi gamma (%)

Sampel padatan yang dianalisis mempunyai kerapatan yang berbeda dengan kerapatan sumber yang digunakan, sehingga untuk kerapatan sampel yang lebih besar dari kerapatan sumber standar perlu ada koreksi faktor serapan diri. Untuk menentukan

koreksi faktor serapan diri digunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$F_k = \frac{\mu t}{1 - e^{-\mu t}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\mu = \mu_m \rho \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\mu_m = 1,287 E_\gamma^{-0,435} \quad \dots\dots\dots (4)$$

dengan:

- $F_k$  : faktor koreksi serapan diri
- $\mu$  : koefisien serapan linier ( $\text{cm}^{-1}$ )
- $t$  : tebal sampel (cm)
- $\mu_m$  : koefisien serapan massa pada energi gamma ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
- $\rho$  : kerapatan sampel ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
- $E_\gamma$  : energi gamma (keV)

Pada Persamaan 4, angka-angka tersebut diambil dari persamaan yang ada pada Technical Report No.295, tahun 1989 dan telah diadopsi oleh BATAN pada buku Prosedur Analisis Radioaktivitas Lingkungan yang diterbitkan pada tahun 1998. Besarnya nilai koefisien serapan linier untuk masing-masing energi dalam variasi densitas curah sampel disajikan pada Tabel 1.

Radionuklida  $^{40}\text{K}$  ditentukan secara langsung pada puncak energi 1460,83 keV dengan  $p_\gamma = 0,1067 \pm 0,0006$ . Radionuklida  $^{226}\text{Ra}$  ditentukan dari anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma, yaitu  $^{214}\text{Bi}$  pada puncak energi 609,32 keV dengan  $p_\gamma = 0,446 \pm 0,005$  atau  $^{212}\text{Pb}$  pada puncak energi 351,92 keV dengan  $p_\gamma = 0,351 \pm 0,004$ . Radionuklida  $^{232}\text{Th}$  ditentukan dari anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma, yaitu  $^{228}\text{Ac}$  pada puncak energi 911,16 keV dengan  $p_\gamma = 0,266 \pm 0,007$ . Untuk menghitung konsentrasi radionuklida yang terkandung dalam sampel tanah ( $C_{Sp}$ ) digunakan Persamaan-5 [4].

$$C_{Sp} = C_{avg} \pm U_T \quad \dots\dots\dots (5)$$

dengan :

- $C_{Sp}$  : konsentrasi zat radioaktif dalam sampel (Bq/kg)
- $C_{avg}$  : konsentrasi rata-rata zat radioaktif dalam sampel (Bq/kg)
- $U_T$  : ketidakpastian pengukuran (Bq/kg)

Tabel 1. Koefisien atenuasi linier foton pada wadah Marinelli untuk variasi densitas sampel.

Nuklida	Energi (keV)	Koefisien atenuasi linier ( $\text{cm}^{-1}$ ) pada variasi densitas sampel				
		1,1 gr/cm <sup>3</sup>	1,2 gr/cm <sup>3</sup>	1,3 gr/cm <sup>3</sup>	1,4 gr/cm <sup>3</sup>	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
Pb-212	238,63	0,131	0,143	0,155	0,166	0,178
Pb-214	351,92	0,110	0,121	0,131	0,141	0,151
Tl-208	583,19	0,089	0,097	0,105	0,113	0,121
Bi-214	609,32	0,087	0,095	0,103	0,111	0,119
Ac-228	911,16	0,073	0,080	0,086	0,093	0,100
K-40	1460,83	0,059	0,065	0,070	0,076	0,081
Tl-208	2614,53	0,046	0,050	0,055	0,059	0,063

$$C_{Sp} = C_{avg} \pm U_T \quad \dots\dots\dots (5)$$

dengan :

$C_{Sp}$  : konsentrasi zat radioaktif dalam sampel (Bq/kg)

$C_{avg}$  : konsentrasi rata-rata zat radioaktif dalam sampel (Bq/kg)

$U_T$  : ketidakpastian pengukuran (Bq/kg)

$$C_{avg} = \frac{N_{Sp} - N_{BG}}{\epsilon_\gamma \cdot p_\gamma \cdot W_{Sp}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

$N_{Sp}$  : laju cacah sampel (cps)

$N_{BG}$  : laju cacah latar (cps)

$\epsilon_\gamma$  : efisiensi pada energi gamma (%)

$p_\gamma$  : *yield* dari energi gamma (%)

$W_{Sp}$  : berat sampel (kg)

$$U_T = C_{avg} \cdot x \sqrt{u_N^2 + u_B^2 + u_\epsilon^2 + u_p^2 + u_w^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

$u_N$  : ketidakpastian pencacahan sampel (%)

$u_B$  : ketidakpastian pencacahan latar (%)

$u_\epsilon$  : ketidakpastian efisiensi energi- $\gamma$  (%)

$u_p$  : ketidakpastian *yield* (%)

$u_w$  : ketidakpastian berat sampel (%).

Untuk memudahkan perhitungan ketidakpastian pengukuran, maka satuan ketidakpastian dinyatakan dalam prosen, sedangkan untuk penulisan dalam data dinyatakan sesuai dengan satuan nilai rata-rata.

Kemampuan suatu alat untuk melakukan pengukuran berbeda-beda tergantung pada spesifikasi dan kinerja alat

tersebut. Besarnya konsentrasi minimum yang dapat dideteksi (MDC, *Minimum Detectable Concentration*) untuk suatu sistem spektrometer gamma dipengaruhi oleh efisiensi pencacahan, cacah latar dan berat sampel. Untuk menghitung MDC dengan tingkat kepercayaan 95% ditentukan dengan persamaan berikut [4]:

$$MDC = 4,66 \cdot \frac{\sqrt{\frac{N_{BG}}{t_{BG}^2}}}{\epsilon_\gamma \cdot p_\gamma \cdot F_k \cdot w} \quad \dots\dots\dots (8)$$

dengan:

MDC : konsentrasi minimum terdeteksi (Bq/kg)

$N_B$  : laju cacah latar (cps)

$t_B$  : waktu cacah latar (detik)

$\epsilon_\gamma$  : efisiensi pencacahan (%)

$p_\gamma$  : kelimpahan energi gamma (%)

$F_k$  : faktor koreksi serapan diri

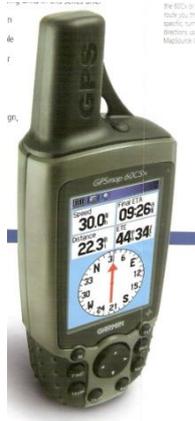
$w$  : berat sampel (kg)

### III. TATA KERJA

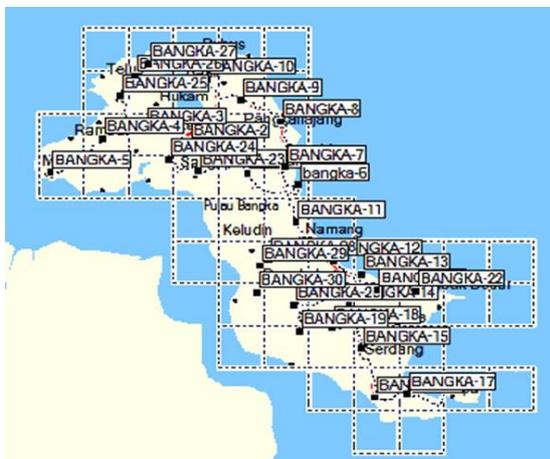
#### Lokasi Sampling

Daerah penelitian dibagi-bagi dalam grid yang berukuran 30 km  $\times$  30 km yang mengacu pada *systematic random sampling* yaitu pada setiap grid dilakukan sampling [8]. Lokasi penelitian ditandai dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) model 60CSx buatan Garmin (Gambar 1), untuk menunjukkan posisi garis lintang dan garis bujur pada peta geografi [7]. Pengambilan sampel tanah di Pulau Bangka dilakukan sebanyak 29 lokasi sampling

dengan titik lokasi sampling disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. GPS (Global Positioning System) buatan Garmin Model GPS 60CSx.



Gambar 2. Peta lokasi pengambilan sampel tanah di Pulau Bangka

### Alat ukur dan Standar

Peralatan utama untuk mengukur konsentrasi radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  dalam tanah adalah spektrometer gamma dengan detektor HPGe buatan Ortec model GEM-25185 dengan efisiensi relatif 27%. Sistem tersebut terdiri dari detektor HPGe, *pre-amplifier* model 257P, *amplifier* model 679, sumber tegangan tinggi model 659,

penganalisis salur ganda (MCA) 916, dan dioperasikan dengan perangkat lunak *Maestro for Windows 98* buatan Ortec, serta dilengkapi dengan sistem *shielding* Pb tebal 10 cm dan Cu tebal 1 cm sebagai ruang sampel.

Spektrometer gamma dikalibrasi dengan sumber standar campuran yang terdiri dari radionuklida  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , dan  $^{241}\text{Am}$  yang tertelusur ke IAEA kode GM-014MR dan sumber standar  $^{60}\text{Co}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  buatan Amersham kode EW-679. Peralatan lain adalah neraca analitis buatan Shimadzu dengan kemampuan sampai 4200 gram dan tabung Marinelli yang dirancang khusus untuk pengukuran sampel lingkungan dengan aktivitas rendah.



Gambar 3. Spektrometer gamma dengan detektor HPGe model GEM-25185 buatan Ortec

### Bahan

Bahan berupa sampel tanah yang dikumpulkan dari 29 lokasi di Pulau Bangka. Sampel dicuplik dari masing-masing lokasi pada kedalaman 0-5 cm dan 5-20 cm. Variasi kedalaman sampling ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *leaching* dari air hujan. Sampel tanah kemudian dikirimkan ke

PTKMR-BATAN melalui jasa pos. Di laboratorium sampel dilakukan preparasi kemudian dilakukan pengukuran menggunakan spektrometer gamma. Faktor koreksi hasil pengukuran dari latar digunakan *Aquadest* yang ditempatkan dalam *Marinelli*. Bahan lain adalah lem araldit yang digunakan untuk mengisolasi sampel supaya terjadi kesetimbangan radioaktif antara radium dan thorium dengan anak luruhnya.

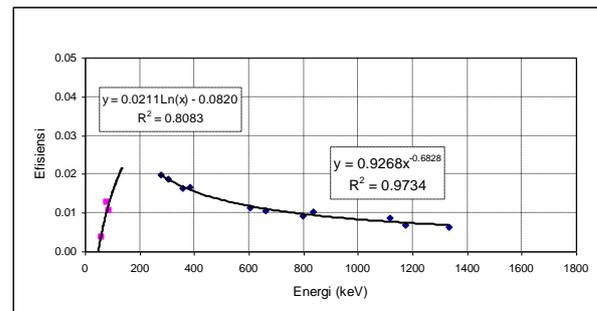
#### Preparasi dan Pengukuran Sampel

Sampel tanah dipreparasi di laboratorium dengan cara dipanaskan pada suhu 105°C selama 24 jam, kemudian diayak dengan ayakan 100 *mesh*. Sampel sebanyak 1 liter volume ditempatkan dalam *marinelli*, kemudian ditimbang, diberi nomor kode, dilem dan didiamkan selama 4 minggu atau lebih sampai terjadi kesetimbangan radioaktif antara radium dan thorium dengan anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma. Konsentrasi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  dalam sampel diukur dengan menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe yang telah dikalibrasi energi dan efisiensinya dengan sumber standar.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kalibrasi efisiensi yang dilakukan terhadap spektrometer gamma dengan detektor HPGe model GEM-25185 disajikan dalam Gambar 4. Terlihat bahwa koefisien korelasi ( $R^2$ ) dari kurva efisiensi adalah 0,8083 untuk energi rendah dan 0,9734 untuk

energi tinggi, hal ini menunjukkan bahwa titik-titik efisiensi berada pada kurva efisiensi sehingga kurva ini cukup baik digunakan untuk melakukan perhitungan sampel. Untuk perhitungan sampel hanya digunakan persamaan kurva pada energi tinggi atau energi di atas 200 keV.



Gambar 4. Kurva kalibrasi efisiensi pencacahan sebagai fungsi energi (keV)

Hasil pengukuran konsentrasi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  dalam sampel tanah yang diambil dari beberapa lokasi di Pulau Bangka disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan data hasil pengukuran ini diperoleh hasil bahwa konsentrasi  $^{40}\text{K}$  berkisar dari (  $10,71 \pm 3,37$  ) Bq/kg sampai dengan (  $191,25 \pm 13,49$  ) Bq/kg. Konsentrasi K-40 relatif rendah dibandingkan dengan daerah lain seperti Bali [8], Jawa Timur [9], Tual [10] dan Karimun [11] namun hampir sama dengan data dari Pulau Madura [12]. Tanah di Pulau Bangka yang berupa pasir menyebabkan konsentrasi radionuklida K-40 cukup rendah.

Konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$  berkisar dari (  $21,87 \pm 2,24$  ) Bq/kg sampai dengan (  $543,81 \pm 36,33$  ) Bq/kg. Konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$  ini lebih pada umumnya cukup rendah yaitu di bawah

100 Bq/kg hanya di beberapa lokasi cukup tinggi terutama di lokasi Bangka-13 sebesar 543,81 Bq/kg dan di lokasi Bangka-4, Bangka-5, Bangka-8 dan Bangka-22 dan Bangka-27 sekitar 150 Bq/kg. Lokasi tersebut kemungkinan bekas penimbunan sementara pasir monasit dari penambangan timah atau bekas tailing dari penambangan timah sehingga konsentrasi Ra-226 relatif lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi lainnya. Konsentrasi Ra-226 masih di bawah nilai yang direkomendasikan oleh BAPETEN yaitu sebesar 1 Bq/gr atau 1000 Bq/kg [13].

Konsentrasi  $^{228}\text{Th}$  berkisar dari (21,26  $\pm$  1,59 ) Bq/kg sampai dengan ( 2170,34  $\pm$  65,18 ) Bq/kg. Konsentrasi Th-232 rata-rata di atas 100 Bq/kg, kecuali di lokasi tertentu ada yang di bawah 100 Bq/kg. Konsentrasi ini merupakan tipikal untuk daerah tambang timah yang kandungan thoriumnya cukup tinggi sehingga radionuklida Th-232 cukup tinggi. Bahkan ada di satu lokasi yaitu

Bangka-13 konsentrasinya sekitar 2000 Bq/kg hal ini sudah melampaui nilai yang direkomendasikan oleh BAPETEN yaitu 1000 Bq/kg. Khusus di lokasi Bangka-13 perlu ada kajian lebih lanjut dengan melakukan survei lanjutan untuk menentukan seberapa luas lokasi yang kandungan Th-232 di tanah cukup tinggi sehingga dapat diantisipasi dampaknya terhadap masyarakat sekitarnya. Apabila luas area cemarannya sempit maka cukup dilakukan *clean-up* atau masyarakat diminta tidak terlalu lama di daerah tersebut.

Konsentrasi radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  di Pulau Bangka dominan dipengaruhi oleh faktor geologi serta kegiatan yang dilakukan di atas tanah tersebut. Kegiatan penambangan timah yang telah dilakukan sejak lama kemungkinan yang cukup meningkatkan konsentrasi Th-232 di tanah permukaan. Hal ini terlihat pada Tabel 2 bahwa konsentrasi Th-232 cukup tinggi terutama di lokasi Bangka-13 daerah Koba.

Tabel 2. Konsentrasi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  dalam sampel tanah dari Pulau Bangka

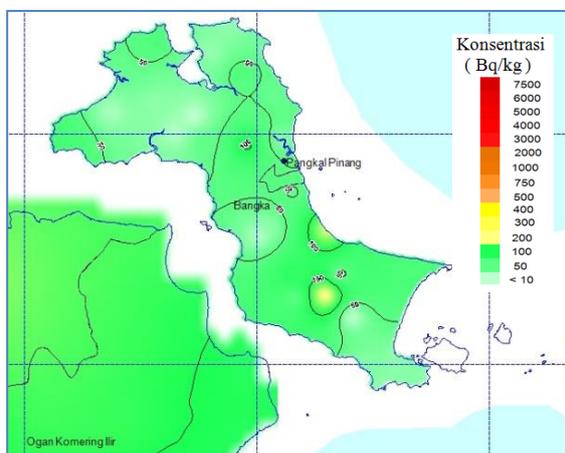
Lokasi dan Kode sampel	Konsentrasi Radionuklida Bq/kg		
	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$
Bangka-1A	103,76 $\pm$ 6,42	39,07 $\pm$ 2,62	75,65 $\pm$ 2,10
Bangka-1B	122,75 $\pm$ 8,35	46,19 $\pm$ 3,43	96,72 $\pm$ 5,77
Bangka-2A	14,40 $\pm$ 2,44	26,20 $\pm$ 1,95	21,26 $\pm$ 1,59
Bangka-2B	10,71 $\pm$ 3,37	24,44 $\pm$ 2,20	23,43 $\pm$ 1,80
Bangka-3A	31,87 $\pm$ 2,29	16,81 $\pm$ 1,25	27,99 $\pm$ 0,85
Bangka-3B	37,90 $\pm$ 4,83	21,87 $\pm$ 2,24	40,92 $\pm$ 2,78
Bangka-4A	23,15 $\pm$ 2,74	116,26 $\pm$ 7,15	219,66 $\pm$ 5,91
Bangka-4B	24,38 $\pm$ 3,08	149,64 $\pm$ 9,22	375,19 $\pm$ 21,99
Bangka-5A	67,59 $\pm$ 7,15	136,39 $\pm$ 8,54	601,19 $\pm$ 33,33

Bangka-5B	47,30±5,06	106,57±6,84	525,02±13,96
Bangka-6A	38,67±2,93	46,20±3,10	97,10±2,98
Bangka-6B	40,37±4,17	44,60±3,08	98,08±5,59
Bangka-7A	47,98±3,28	29,46±2,10	62,51±1,80
Bangka-7B	44,11±3,21	34,44±2,48	62,50±1,80
Bangka-8A	34,35±3,30	143,66±8,99	377,41±10,23
Bangka-8B	27,88±2,89	142,88±8,98	399,68±10,69
Bangka-9A	45,69±3,54	80,61±5,09	252,62±6,77
Bangka-9B	40,12±3,74	98,55±6,27	267,64±7,32
Bangka-10A	57,39±4,08	76,74±5,08	230,97±6,58
Bangka-10B	35,54±4,01	109,08±7,09	362,37±9,77
Bangka-11A	29,35±2,57	62,95±4,10	151,69±4,15
Bangka-11B	76,64±5,12	54,76±3,68	153,66±9,40
Bangka-12A	48,78±3,26	22,95±1,63	44,32±1,28
Bangka-12B	45,48 ± 5,80	26,24 ± 2,69	49,10 ± 3,34
Bangka-13A	169,08±11,62	543,81±36,33	2170,34±65,18
Bangka-13B	126,85±8,45	522,59±35,27	1930,75±57,85
Bangka-14A	46,70±4,04	118,37±7,39	510,85±13,61
Bangka-14B	35,99±4,00	110,66±6,97	421,87±11,26
Bangka-15A	17,07±3,38	91,21±5,86	109,02±6,36
Bangka-15B	16,83±5,63	101,17±7,03	128,36±7,79
Bangka-16A	34,70±4,02	54,50±3,63	114,96±0,52
Bangka-16B	21,75±2,49	70,60±4,64	140,46±4,31
Bangka-17A	30,73±2,67	64,38±4,26	154,97±4,30
Bangka-17B	35,85±3,11	78,53±5,10	159,87±4,39
Bangka-18A	191,25±13,49	43,23±3,75	77,82±5,24
Bangka-18B	122,36±8,24	34,58±2,78	54,05±1,69
Bangka-19A	54,13±3,71	45,98±3,08	97,38±2,73
Bangka-19B	74,79±4,86	47,45±3,15	99,74±2,78
Bangka-20A	80,47±5,28	72,29±4,66	193,81±5,29
Bangka-20B	81,81±5,34	75,70±4,91	207,25±5,57
Bangka-21A	70,98±6,17	99,61±6,87	158,89±4,60
Bangka-21B	57,49±4,99	83,30±5,76	126,73±3,73
Bangka-22A	63,09±6,41	115,20±7,28	206,81±11,55
Bangka-22B	80,29±9,45	143,80±9,70	291,93±16,42
Bangka-23A	48,25±3,32	25,41±1,86	81,44±2,25
Bangka-23B	58,81±4,70	28,12±2,20	92,77±5,54
Bangka-24A	16,25±1,66	29,79±2,08	70,32±2,00
Bangka-24B	14,29±1,65	28,70±2,06	67,59±1,92
Bangka-25A	45,74±3,14	22,87±1,67	33,25±1,00

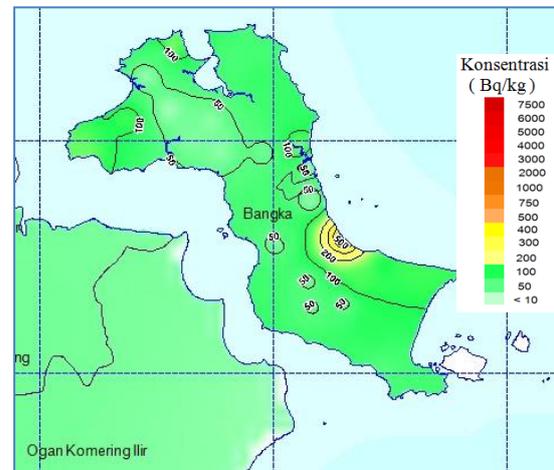
Bangka-25B	54,36±3,71	20,32±1,55	50,53±3,27
Bangka-26A	53,42±4,21	61,57±4,10	230,59±13,79
Bangka-26B	25,18±3,05	99,00±6,36	178,21±4,94
Bangka-27A	59,55±4,57	139,60±8,54	412,72±10,75
Bangka-27B	55,17±5,04	161,54±9,91	593,58±34,37
Bangka-28A	30,90±2,69	66,25±4,28	159,67±4,34
Bangka-28B	23,83±3,71	89,23±6,05	130,28±8,23
Bangka-29A	19,05±1,81	32,01±2,20	73,16±2,05
Bangka-29B	19,25±2,24	41,43±2,88	144,02±8,89

- Cacatan : - MDC 68% untuk  $^{40}\text{K}$  adalah 1,35 Bq/kg  
 - MDC 68% untuk  $^{226}\text{Ra}$  adalah 0,16 Bq/kg  
 - MDC 68% untuk  $^{228}\text{Ra}$  adalah 0,22 Bq/kg  
 - MDC 68% untuk  $^{228}\text{Th}$  adalah 0,25 Bq/kg

Data hasil pengukuran setelah diintegrasikan dengan posisi GPS dapat dibuat gambaran umum konsentrasi radioaktivitas masing-masing radionuklida dalam bentuk peta radionuklida. Peta radionuklida K-40 di Pulau Bangka dapat dilihat pada Gambar 5. Konsentrasi K-40 di Pulau Bangka termasuk rendah dibandingkan dengan nilai yang direkomendasikan oleh BAPETEN yaitu 10.000 Bq/kg.

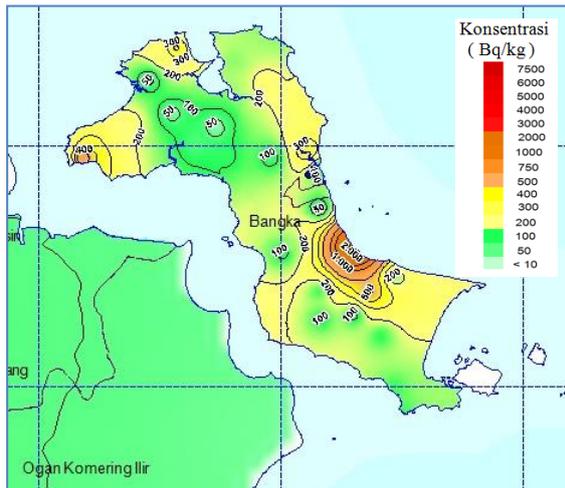


Gambar 5. Peta radioaktivitas K-40 di Pulau Bangka



Gambar 6. Peta radioaktivitas Ra-226 di Pulau Bangka

Untuk peta radioaktivitas Ra-226 di Pulau Bangka masih dalam kisaran 100 Bq/kg kecuali di daerah Koba Bangka Tengah (Bangka-13) konsentrasinya sekitar 500 Bq/kg. Untuk daerah lain masih dalam kisaran 50-100 Bq/kg seperti terlihat pada Gambar 6. Tingginya konsentrasi Ra-226 di lokasi tersebut kemungkinan disebabkan oleh adanya pengolahan pasir monasit menjadi timah atau kemungkinan adanya kegiatan *smelter*.



Gambar 6. Peta radioaktivitas Th-232 di Pulau Bangka

Kalau di bandingkan dengan daerah lain di Indonesia maka konsentrasi radionuklida K-40 termasuk aktivitas rendah.

Sedangkan untuk Ra-226 konsentrasi tertingginya masih di bawah Tual namun di atas daerah lainnya. Konsentrasi tertinggi Th-232 di Pulau Bangka termasuk yang paling tinggi dibandingkan daerah penelitian lainnya di Indonesia. Untuk lebih memudahkan dalam melihat besarnya konsentrasi radionuklida maka pembuatan peta ini sangat membantu untuk melihat penyebarannya. Peta konsentrasi radioaktivitas K-40, Ra-226 dan Th-232 ini menjadi bagian dari peta radioaktivitas untuk Indonesia.

Tabel 3. Konsentrasi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  dalam sampel tanah dari berbagai lokasi di Indonesia.

Asal sampel tanah	Konsentrasi Radionuklida Bq/kg		
	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$
Pulau Bali [8]	91,13 ± 5,66 sampai 369,25 ± 22,04	7,75 ± 0,73 sampai 23,98 ± 2,12	9,23 ± 0,97 sampai 27,86 ± 2,49
Jawa bagian timur[9]	69,46 ± 4,85 sampai 428,95 ± 26,27	6,25 ± 0,60 sampai 48,91 ± 3,15	4,01 ± 0,60 sampai 30,50 ± 2,02
Tual – Maluku Tenggara [10]	2,07 ± 0,70 sampai 33,32 ± 5,70	7,50 ± 0,72 sampai ( 3170,50 ± 189,83	( 0,99 ± 0,13 sampai 93,55 ± 6,42
Pulau Karimun [11]	19,46 ± 2,61 sampai 871,00 ± 82,26	23,63 ± 2,52 sampai 139,45 ± 13,30	24,88 ± 2,58 sampai 404,01 ± 10,50
Pulau Madura [12]	18,75±2,45 sampai 152,62±0,26	21,16 ± 0,04 sampai 100,80 ± 9,74	11,18 ± 0,02 sampai 55,88 ± 0,06
Pulau Bangka (Penelitian ini)	10,71 ± 3,37 sampai 191,25 ± 13,49	21,87 ± 2,24 sampai 543,81 ± 36,33	21,26 ± 1,59 sampai 2170,34 ± 65,18

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis memperlihatkan konsentrasi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , dan  $^{232}\text{Th}$  berturut-turut berkisar antara  $(10,71 \pm 3,37)$  Bq/kg sampai dengan  $(191,25 \pm 13,49)$  Bq/kg,  $(21,87 \pm 2,24)$  Bq/kg sampai dengan  $(543,81 \pm 36,33)$  Bq/kg, dan  $(21,26 \pm 1,59)$  Bq/kg sampai dengan  $(2170,34 \pm 65,18)$  Bq/kg. Konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{232}\text{Th}$  pada lokasi Bangka-13 cukup tinggi sehingga perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut untuk melindungi masyarakat dari bahaya kontaminasi. Data konsentrasi radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , dan  $^{232}\text{Th}$  di Pulau Bangka ini sebagai inputan dalam pembuatan peta radioaktivitas tanah permukaan untuk Pulau Bangka yang merupakan bagian dari peta radioaktivitas lingkungan Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

1. PUSAT PENELITIAN PENGEMBANGAN GEOLOGI, Peta Digital., Peta Geologi Pulau Sumatera, PPPG, Bandung, 1995.
2. DEBERTIN K., and HELMER, R.G., Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, North Holland, 1988.
3. WISNU SUSETYO, Spektrometer Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron, Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 1988.
4. BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL, Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan, BATAN, Jakarta, 1998.
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - A Guidebook., Tech. Rep. Ser. No.295, IAEA, Vienna, 1989.
6. GARMIN. GPS III Plus Owner's Manual & Reference, Garmin Corporation, Taiwan January, 2001.
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Soil sampling for environmental contaminations, IAEA-TECDOC-1415, IAEA, Vienna, October 2004.
8. WAHYUDI dan KUSDIANA, Distribusi konsentrasi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , dan  $^{228}\text{Th}$  dalam sampel tanah dari Pulau Bali, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir V, Jakarta 14 Desember 2010, PTKMR-BATAN, Jakarta, 2011, hal. 9-17.
9. WAHYUDI, SYARBAINI, dan KUSDIANA, Konsentrasi radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , dan  $^{228}\text{Th}$  dalam sampel tanah dari Wilayah Jawa Timur, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir VI, PTKMR-BATAN Jakarta, 11 Oktober 2011, hal. 99-108.
10. WAHYUDI, SYARBAINI, dan KUSDIANA, Laju dosis dan tingkat radioaktivitas  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  dan  $^{228}\text{Th}$  dalam sampel tanah di Pulau Kei Dullah dan Kei Kecil – Tual, Prosiding SNKKL-VII, Jakarta, 6-7 Juli 2011, PTKMR-BATAN, Jakarta, 2011, hal. 207-217.
11. WAHYUDI, DADONG ISKANDAR, dan KUSDIANA, Laju Dosis dan Tingkat Radioaktivitas K-40, Ra-226, Th-228, Th-232 dalam Sampel Tanah di Pulau Karimun Provinsi Kepulauan Riau, SNKKL-VIII, PTKMR-BATAN, Universitas Indonesia, KEMENKES-RI, Jakarta, 10 Juli 2012, hal. 89-102
12. WAHYUDI dan KUSDIANA, Laju dosis lingkungan dan tingkat radioaktivitas

$^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , dan  $^{232}\text{Th}$  dalam sampel tanah di Pulau Madura, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir VIII, PTKMR-BATAN, Jakarta, 13 Nopember 2013, hal. 91-100.

13. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Perka No.9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material, Jakarta, 2009.

Jawaban :

- Data ini menjadi dasar rujukan dalam melakukan kajian dan untuk melakukan tindakan yang perlu dilakukan oleh pemangku kepentingan.

## TANYA JAWAB

1. Penanya : Sri Subandini L.

Pertanyaan :

Konsentrasi K-40, Ra-226 dan Th-232 pada lokasi Bangka-13 cukup tinggi sehingga perlu dilakukan pengkajian lebih jauh untuk keselamatan masyarakat

- Berapa besar batas konsentrasi yang diijinkan untuk keselamatan masyarakat?
- Apakah sudah dilakukan pengkajian untuk keselamatan masyarakat mengingat perlunya keselamatan masyarakat

Jawaban :

- Batas konsentrasi K-40 adalah 10.000 Bq/kg sedangkan untuk Ra-226 dan Th-232 =1000 Bq/kg
- Belum dilakukan.

2. Penanya : Pujadi

Pertanyaan :

- Pada lokasi Bangka-13A dan B telah melampaui batas yang direkomendasikan BAPETEN, apakah yang harus ditindak lanjuti selain hanya mengkaji saja ?