

PEMANTAUAN RADIOAKTIVITAS DI SEKITAR REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG

Juni Chussetijowati

Pusat Sains Dan Teknologi Nuklir Terapan, Jl. Tamansari 71 Bandung Jawa Barat 40132

Email : junic@batan.go.id

ABSTRAK

PEMANTAUAN RADIOAKTIVITAS DI SEKITAR REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG. Pemantauan radioaktivitas di sekitar reaktor TRIGA 2000 Bandung telah dilakukan. Pemantauan bertujuan untuk memperoleh data radioaktivitas dalam tanaman rumput dan tanah yang berada di sekitar reaktor TRIGA 2000 Bandung. Data yang diperoleh digunakan sebagai *baseline* data dan evaluasi radioaktivitas spesifik tapak reaktor TRIGA 2000 Bandung. Pemantauan dilakukan setiap bulan, di tahun 2016, dengan cara mengambil sampel rumput dan tanah di beberapa lokasi sekitar reaktor TRIGA 2000 Bandung. Selanjutnya sampel rumput dicuci, ditiriskan, dan diabukan. Sementara itu, sampel tanah dibersihkan dari pengotor yang tidak diinginkan, dikeringkan, dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan ukuran 200 *mesh*. Masing-masing sampel ditimbang sebanyak 1 g dan dilakukan pengukuran kuantitatif radioaktivitas gross Beta yang terkandung di dalam sampel menggunakan alat cacah Alpha-Beta. Evaluasi dilakukan terhadap data radioaktivitas yang diperoleh dengan melakukan uji homogenitas dan uji t. Dari hasil pemantauan, diperoleh nilai radioaktivitas gross Beta dalam rumput berkisar antara 1,47 – 4,40 Bq/g abu dengan rata-rata $2,80 \pm 0,51$ Bq/g abu; dalam tanah berkisar antara 0,10 – 0,18 Bq/g dengan rata-rata $0,13 \pm 0,01$ Bq/g. Belum ada nilai baku mutu radioaktivitas dalam rumput dan tanah yang diperbolehkan berada di lingkungan. Dengan melakukan uji homogenitas dan uji t terhadap data nilai radioaktivitas yang diperoleh, serta dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95 % diperoleh hasil uji bahwa data hasil pemantauan radioaktivitas dalam rumput dan tanah pada beberapa lokasi dan waktu pemantauan adalah homogen serta tidak berbeda secara signifikan antara sebelum dan setelah reaktor beroperasi di tahun 2016.

Kata Kunci : reaktor TRIGA, pemantauan, radioaktivitas

ABSTRACT

MONITORING OF RADIOACTIVITY AROUND THE TRIGA 2000 REACTOR BANDUNG. Monitoring of radioactivity around the TRIGA 2000 reactor Bandung has been carried out. The monitoring objectives are to obtain data on radioactivity in the grass and soil around the TRIGA 2000 reactor Bandung. The data obtained were used for baseline data and evaluation of the specific radioactivity of TRIGA 2000 reactor Bandung. Monitoring is done monthly, in 2016, by taking samples of grass and soil in several locations around the TRIGA 2000 reactor Bandung. Furthermore the grass sample were washed, dried, and ashed. Meanwhile, the soil samples were cleaned of unwanted impurities, dried, mashed and sieved using a 200 mesh sieve. Each sample was weighed as much as 1 g and a quantitative measurement of gross Beta radioactivity contained in the samples using the Alpha-Beta counter. Evaluation was done on radioactivity data obtained by conducting homogeneity test and t test. The results of monitoring, obtained result of radioactivity gross Beta in grass ranged between 1.47 to 4.40 Bq/g of ash with an average of 2.80 ± 0.51 Bq/g ash; in the soils ranged between 0.10 to 0.18 Bq/g with an average of 0.13 ± 0.01 Bq/g. There is no standard value of radioactivity in the grass and soil that is allowed in the environment. By conducting homogeneity test and t test on data of radioactivity value obtained, by using 95% confidence level, it is obtained that the result data of radioactivity monitoring in the grass and soil at some location and time of monitoring is homogeneous and does not differ significantly between before and after reactor operate in 2016.

Keywords : TRIGA reactor, monitoring, radioactivity

PENDAHULUAN

Ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir memberikan manfaat bagi manusia. Namun dalam pemanfaatannya, teknologi nuklir bisa berpotensi menimbulkan dampak negatif apabila ketentuan Keselamatan Nuklir tidak dilaksanakan dengan benar. Salah satu dampak negatif yang terjadi adalah terlepasnya zat radioaktif (radionuklida) ke lingkungan sehingga menyebabkan pencemaran radioaktivitas di lingkungan, seperti di udara, tanah, air atau komponen lingkungan lainnya. Radionuklida yang telah berada di lingkungan pada akhirnya sampai ke manusia melalui pencernaan

(konsumsi tanaman, daging, susu atau telur), melalui penghirupan, melalui kulit atau luka yang terbuka. Hal ini menyebabkan terpaparnya tubuh manusia oleh radiasi eksternal maupun internal.

Di Kotamadya Bandung – Propinsi Jawa Barat, terdapat reaktor nuklir TRIGA 2000 Bandung. Pada tahun 2000, reaktor TRIGA 2000 Bandung selesai di *up grade* daya operasinya dari desain daya operasi reaktor 1 mega Watt menjadi 2 mega Watt. Dalam perkembangan selanjutnya, pada tahun 2017 desain daya operasi reaktor TRIGA 2000 Bandung diturunkan menjadi 1 mega Watt kembali. Dalam operasi

reaktor TRIGA 2000 Bandung ini juga mempunyai potensi untuk melepaskan zat radioaktif atau radionuklida. Dalam keadaan reaktor beroperasi secara normal, tidak ada radioaktivitas buatan keluar ke lingkungan. Hal ini dikarenakan pada saat operasi normal, udara dari dalam gedung reaktor sebelum keluar ke lingkungan telah melalui proses penyaringan menggunakan filter beberapa lapis, serta limbah radioaktif padat, semi cair dan cair dikumpulkan di dalam gedung limbah. Namun demikian, sesuai dengan Peraturan Kepala BAPETEN, pemantauan terhadap radioaktivitas di lingkungan tetap harus dilaksanakan

BAPETEN sebagai Badan Pengawas Tenaga Nuklir di Indonesia telah membuat Peraturan-Peraturan. Diantara Peraturan-Peraturan yang telah dibuat oleh BAPETEN adalah Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1]. Dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 pasal 25 intinya berbunyi untuk memastikan Nilai Batas Dosis (NBD) yang ditetapkan oleh BAPETEN agar tidak terlampaui maka Pemegang Ijin reaktor wajib melakukan pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi. Masih dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, di pasal 33 dikatakan bahwa pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau Instalasi paling sedikit meliputi: udara; air; tanah; dan biota. [1]. Untuk memenuhi ketentuan dalam Peraturan BAPETEN tersebut, PSTNT sebagai lembaga yang mempunyai reaktor TRIGA 2000 Bandung telah melakukan pemantauan radioaktivitas dalam komponen di lingkungan secara rutin, baik reaktor beroperasi normal maupun tidak beroperasi (*shut down*).

Dalam makalah di sini dibahas hasil pemantauan radioaktivitas di sekitar reaktor TRIGA 2000 Bandung tahun 2016, pada komponen rumput dan tanah. Data nilai radioaktivitas yang diperoleh dari hasil pemantauan digunakan sebagai *baseline* data dan evaluasi radioaktivitas spesifik tapak reaktor TRIGA 2000 Bandung. Evaluasi dilakukan dengan cara melakukan uji Homogenitas dan uji t pada masing-masing komponen, dengan tujuan untuk melihat apakah data hasil pemantauan berasal dari populasi sampel yang homogen atau tidak serta untuk melihat apakah data hasil pemantauan antara bulan yang satu dengan bulan yang lain, atau antara radius yang satu dengan yang lain berbeda nyata atau tidak.

METODOLOGI

Alat dan bahan:

Alat untuk memotong sampel rumput, *Kruss* porselin, *Furnace*, alat untuk mengambil sampel tanah (*sekop*), kantong plastik untuk wadah sampel, baki plastik untuk wadah mengeringkan sampel tanah, lampu pemanas 250 watt, *mortar* dan alu, ayakan ukuran 200 *mesh*, *spatula*, *planset* berukuran diameter 5 cm dan tinggi 0,5 cm, timbangan analitis, air destilasi, alat cacah Alpha-Beta, sarung tangan karet dan ATK.

Tata Kerja [2, 3, 4]:

Daerah pengambilan sampel rumput dan tanah diusahakan merupakan daerah yang datar, terbuka dan tidak terlindung pohon. Pemantauan dilakukan pada radius 100 m, 200 m, 500 m, 1000 m, dan 2000 m dari cerobong reaktor TRIGA 2000 Bandung. Radius 100 m, 200 m dan 500 m masing-masing mempunyai 4 lokasi pemantauan yang berbeda, sedangkan radius 1000 m dan 2000 m masing-masing mempunyai 5 lokasi pemantauan yang berbeda.

Sampel rumput diambil ± 2 cm di atas permukaan tanah (tanpa akar). Sementara itu, sampel tanah dapat diambil di bawah lokasi sampel rumput yang telah diambil sebelumnya. Masing-masing sampel diambil sebanyak ± 2 kg. Pengambilan sampel dilakukan secara acak pada daerah dengan luasan sekitar 1 m². Masing-masing sampel dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label sesuai dengan lokasi pengambilan sampel.

Sampel rumput dibersihkan dari pengotor yang terbawa saat pengambilan sampel, kemudian dicuci dan ditiriskan. Selanjutnya sampel rumput dimasukkan ke dalam *Kruss* porselin dan diabukan di dalam *furnace* pada suhu hingga 450 °C selama ± 24 jam. Sementara itu, sampel tanah dibersihkan dari pengotor (misal tanaman, pecahan kaca) yang terbawa saat pengambilan sampel. Kemudian dikeringkan di bawah lampu pemanas atau di bawah terik matahari hingga kering. Selanjutnya sampel tanah digerus (ditumbuk) menggunakan mortal dan alu, serta diayak.

Masing-masing abu sampel rumput dan tanah yang sudah diayak ditimbang sebanyak 1 g, diletakkan dalam *planset* serta diberi air destilasi. Kemudian sampel dalam *planset* dikeringkan kembali. Radioaktivitas *gross beta* yang terkandung dalam sampel dicacah menggunakan alat cacah Alpha-Beta. Masing-masing sampel dalam *planset* dicacah selama 3 menit dengan perulangan cacahan sebanyak 5 kali.

Data radioaktivitas yang diperoleh dari komponen rumput atau tanah dievaluasi menggunakan uji statistik, yaitu menggunakan uji Homogenitas dan uji t. Uji homogenitas dilakukan untuk melihat apakah data hasil pemantauan radioaktivitas suatu komponen berasal dari populasi yang homogen atau tidak, sedangkan uji t digunakan untuk melihat apakah data hasil pemantauan radioaktivitas dalam suatu komponen antara bulan yang satu dengan bulan yang lain, atau antara radius yang satu dengan yang lain berbeda nyata (signifikan) atau tidak. Uji homogenitas dan uji t dapat dilakukan dengan mengambil tingkat kepercayaan 95 % (atau tingkat kesalahan 5 %) atau tingkat kepercayaan 99 %. Tahapan uji homogenitas dan uji t sebagai berikut:

a. Langkah-langkah Melakukan Uji Homogenitas [5]

Uji homogenitas adalah pengujian mengenai sama tidaknya variansi-variansi 2 (dua) buah distribusi data atau lebih. Langkah-langkah melakukan uji homogenitas:

- 1) Menghitung Varians / Standar deviasi variabel *X* dan *Y*, dengan rumus :

$$S_x = \sqrt{\frac{n\sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)}} \quad (1)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{n\sum Y^2 - (\sum Y)^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

dengan :

- X* : data kelompok *X*
- Y* : data kelompok *Y*
- S_x* : varians data kelompok *X*
- S_y* : varians data kelompok *Y*
- n* : jumlah data

- 2) Menghitung *F_{hitung}* dari varians *X* dan *Y*, dengan rumus :

$$F_{hitung} = \frac{S_{besa}}{S_{kecil}} \quad (3)$$

dengan :

- Pembilang : *S_{besa}* artinya varians dari kelompok dengan nilai varians terbesar
- Penyebut : *S_{keci}* artinya varians dari kelompok dengan nilai varians terkecil

Jika varians sama pada kedua kelompok, maka bebas menentukan pembilang dan penyebut

- 3) Membandingkan *F_{hitung}* dengan *F_{Tabe}* pada tabel distribusi F [6], pada tingkat kepercayaan 95 % (atau tingkat kesalahan 5 %) dengan :
 - dk pembilang = *n*-1
 - dk penyebut = *n*-1
 - Jika *F_{hitung}* < *F_{Tabe}* berarti homogen
 - Jika *F_{hitung}* > *F_{Tabe}* berarti tidak homogen

b. Langkah-langkah Melakukan Uji t [7]

Uji t adalah uji komparasi antar dua nilai pengamatan berpasangan, misalnya: sebelum dan sesudah. Langkah-langkah melakukan uji t :

- 1) Menentukan hipotesis yang digunakan (Tetapkan *H₀* dan *H₁*)

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

- 2) Tetapkan titik kritis (tingkat kepercayaan 95 % atau tingkat kepercayaan 99 %) yang terdapat pada Tabel t [8]
- 3) Tentukan daerah kritis, dengan db = *n* - 1
- 4) Tentukan t hitung dengan menggunakan rumus

$$D = x_{1i} - x_{2i} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \left\{ \sum D^2 - \frac{(\sum D)^2}{n} \right\}} \quad (5)$$

$$t_{hitung} = \frac{\left(\frac{\sum D}{n} \right)}{\left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right)} \quad (6)$$

dengan :

- x_{1i}* : data kelompok 1
- x_{2i}* : data kelompok 2
- S* : varians data
- i* : 1, ..., *n*
- n* : jumlah data kelompok 1 atau kelompok 2

5) Lakukan uji signifikansi dengan membandingkan besarnya t_{hitung} dengan t_{Tabe}
 Kalau $|t_{hitung}| > t_{Tabe}$ maka H_0 ditolak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama tahun 2016, reaktor TRIGA 2000 Bandung beroperasi sebanyak 3 kali, dengan tiap kali beroperasi selama 3 hari. Reaktor beroperasi pada daya 700 kilo Watt. Jadwal operasi reaktor TRIGA 2000 Bandung pada tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Jadwal operasi reaktor TRIGA 2000 Bandung tahun 2016

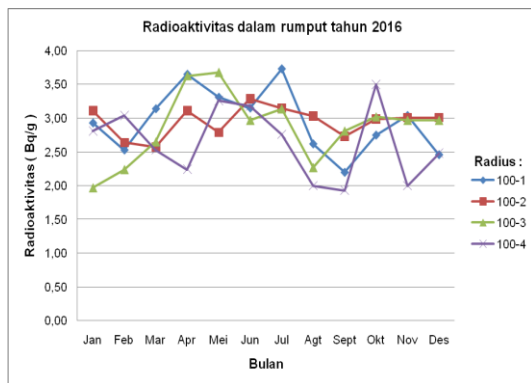
No.	Jadwal operasi reaktor TRIGA 2000 Bandung
1	20 – 22 April 2016
2	1 – 3 Juni 2016
3	1 – 3 Desember 2016

Data nilai radioaktivitas hasil pemantauan dalam sampel rumput dapat dilihat pada Grafik 1, 2, 3, 4, 5 dan 6; sedangkan untuk sampel tanah dapat dilihat pada Grafik 7, 8, 9, 10, 11 dan 12.

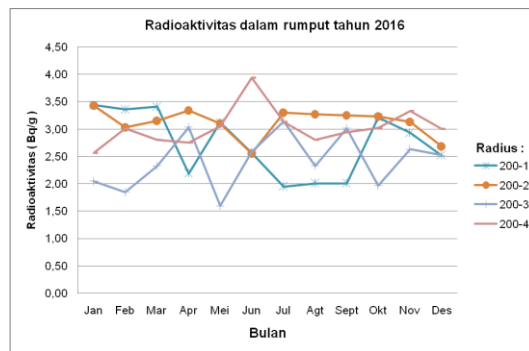
RUMPUT

Data yang diperoleh dari hasil pemantauan berfluktuasi. Pada radius 100 m (di dalam Kawasan Nuklir Bandung), diperoleh nilai radioaktivitas abu sampel rumput bervariasi dari 1,93 – 3,73 Bq/g dengan rata-rata $2,85 \pm 0,46$

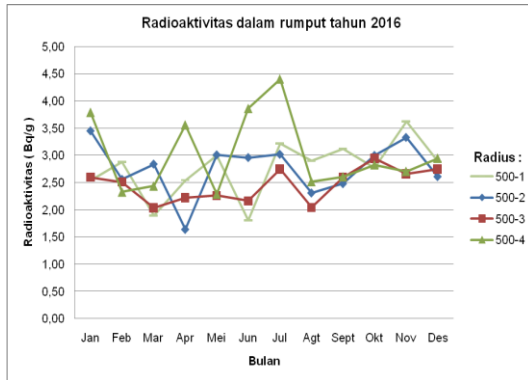
Bq/g; pada radius 200 m (di luar Kawasan Nuklir Bandung), nilai radioaktivitas bervariasi dari 1,60 – 3,94 Bq/g dengan rata-rata $2,82 \pm 0,51$ Bq/g; pada radius 500 m, nilai radioaktivitas bervariasi dari 1,64 – 4,40 Bq/g dengan rata-rata $2,75 \pm 0,54$ Bq/g; pada radius 1000 m, nilai radioaktivitas bervariasi dari 1,54 – 3,80 Bq/g dengan rata-rata $2,81 \pm 0,48$ Bq/g; pada radius 2000 m, nilai radioaktivitas bervariasi dari 1,47 – 3,96 Bq/g dengan rata-rata $2,77 \pm 0,56$ Bq/g.



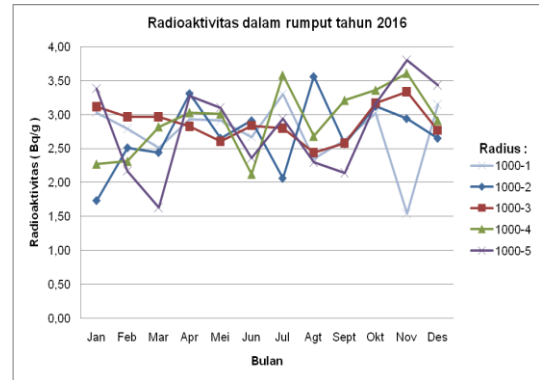
Gambar 1. Radioaktivitas sampel rumput dalam radius 100 m



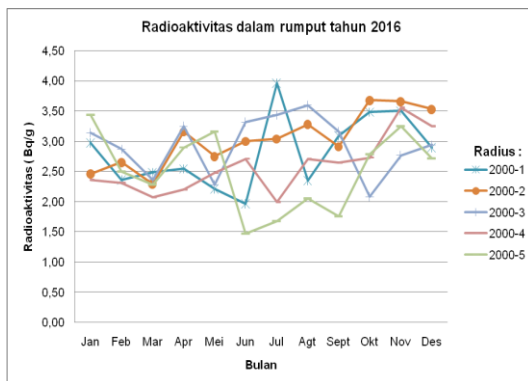
Gambar 2. Radioaktivitas sampel rumput dalam radius 200 m



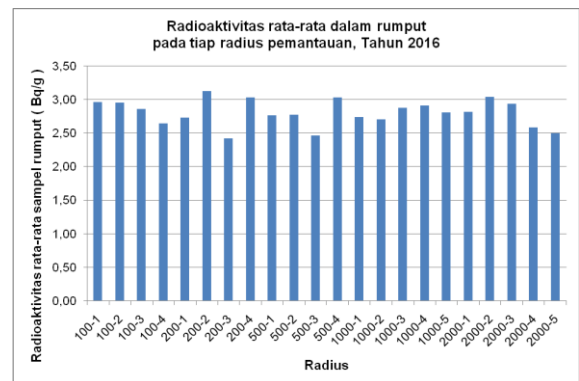
Gambar 3. Radioaktivitas sampel rumput dalam radius 500 m



Gambar 4. Radioaktivitas sampel rumput dalam radius 1000m



Gambar 5. Radioaktivitas sampel rumput dalam radius 2000 m



Gambar 6. Radioaktivitas rata-rata sampel rumput dalam tiap radius pemantauan tahun 2016

Selama tahun 2016, diperoleh nilai radioaktivitas dalam rumput minimum sebesar 1,47 Bq/g abu; maksimum sebesar 4,40 Bq/g abu; dan rata-rata sebesar 2,80 ±

0,51 Bq/g abu. Belum ada nilai baku mutu radioaktivitas dalam rumput yang diperbolehkan berada di lingkungan.

Tabel 2. Data minimum, maksimum dan rata-rata radioaktivitas sampel Rumput di sekitar reaktor TRIGA 2000 Bandung Tahun 2016

No	Pemantauan bulan	Radioaktivitas sampel Rumput (Bq/g abu)		
		Minimum	Maksimum	Rata-rata
1	Januari	1,73	3,79	2,84 ± 0,56
2	Februari	1,85	3,36	2,61 ± 0,36
3	Maret	1,63	3,41	2,53 ± 0,43
4	April	1,64	3,65	2,88 ± 0,54
5	Mei	1,60	3,68	2,80 ± 0,47
6	Juni	1,47	3,94	2,74 ± 0,62
7	Juli	1,68	4,40	3,02 ± 0,66
8	Agustus	2,00	3,60	2,61 ± 0,49
9	September	1,76	3,25	2,65 ± 0,43
10	Oktober	1,97	3,68	2,99 ± 0,40
11	November	1,54	3,80	3,06 ± 0,55
12	Desember	2,46	3,53	2,87 ± 0,29

Dalam tahun 2016, reaktor TRIGA 2000 Bandung beroperasi pada bulan April,

Juni dan Desember. Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai radioaktivitas minimum,

maksimum dan rata-rata dalam sampel rumput sebelum dan setelah reaktor beroperasi menunjukkan hampir tidak ada perbedaan yang signifikan. Beroperasinya reaktor TRIGA 2000 Bandung tidak mengubah radioaktivitas yang sudah ada di lingkungan. Untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan tersebut maka di sini akan dilakukan uji homogenitas dan uji t.

Hasil uji homogenitas untuk data sampel Rumput

Hasil uji homogenitas terhadap data hasil pemantauan radioaktivitas dalam rumput sebagai berikut :

1) Uji homogen untuk data tiap bulanan

Pada tahun 2016, setiap bulan diperoleh 22 data pemantauan. Jadi dk pembilang = dk penyebut = 21. Sehingga berdasarkan Tabel F dengan tingkat kepercayaan 95 % diperoleh nilai $F_{Tab\epsilon} = 2,08$

Selanjutnya data bulan Januari diuji homogenitasnya dengan data bulan Februari, dengan cara mencari nilai F_{hitung} (persamaan 3). Diperoleh nilai $F_{hitung} = 1,56$.

Jadi nilai $F_{hitung} < F_{Tab\epsilon}$ ini artinya data bulan Januari dan Februari homogen.

Dengan cara uji yang sama, kemudian data bulan Januari diuji homogenitasnya dengan masing-masing data bulan Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November, dan Desember. Masing-masing hasil ujinya adalah homogen.

Uji yang sama dilakukan terhadap data bulan-bulan yang lain di tahun 2016. Secara keseluruhan, dari 66 pengujian diperoleh 64 pengujian hasilnya homogen dan 2 pengujian hasilnya tidak homogen (uji antara bulan Juni dengan Desember; uji antara bulan Juli dengan Desember). Ini berarti bahwa data radioaktivitas yang diperoleh antara bulan yang satu dengan bulan yang lainnya berasal dari populasi yang homogen (kondisi sampel homogen). Beroperasinya reaktor TRIGA 2000 Bandung (pada bulan April, Juni dan Desember 2016) tidak

mempengaruhi radioaktivitas yang sudah ada di lingkungan.

2) Uji homogen untuk data tiap radius

Dari bulan Januari hingga Desember tahun 2016, dari tiap lokasi pemantauan diperoleh 12 data pemantauan. Radius 100 m, 200 m dan 500 m masing-masing mempunyai 4 lokasi pemantauan yang berbeda, sedangkan radius 1000 m dan 2000 m masing-masing mempunyai 5 lokasi pemantauan yang berbeda. Jadi dk pembilang = dk penyebut = 11. Sehingga berdasarkan Tabel F dengan tingkat kepercayaan 95 % diperoleh nilai $F_{Tab\epsilon} = 2,82$

Selanjutnya data radius 100–1 diuji homogenitasnya dengan data radius 100–2, dengan cara mencari nilai F_{hitung} Diperoleh $F_{hitung} = 2,13$.

Jadi nilai $F_{hitung} < F_{Tab\epsilon}$ ini artinya data radius 100–1 dan 100–2 homogen.

Dengan cara uji yang sama, kemudian data radius 100–1 diuji homogenitasnya dengan masing-masing data radius 100–3, 100–4, 200–1, 200–2, 200–3, 200–4, 500–1, 500–2, 500–3, 500–4, 1000–1, 1000–2, 1000–3, 1000–4, 1000–5, 2000–1, 2000–2, 2000–3, 2000–4, 2000–5. Masing-masing hasil ujinya adalah homogen.

Selanjutnya data radius 100–2 diuji homogenitasnya dengan masing-masing data radius 100–3, 100–4, 200–1, 200–2, 200–3, 200–4, 500–1, 500–2, 500–3, 500–4, 1000–1, 1000–2, 1000–3, 1000–4, 1000–5, 2000–1, 2000–2, 2000–3, 2000–4, 2000–5.

Uji yang sama dilakukan terhadap data radius-radius yang lain di tahun 2016. Secara keseluruhan, dari 231 pengujian diperoleh 228 pengujian hasilnya homogen dan 3 pengujian hasilnya tidak homogen (uji antara radius 100–2 dengan 500–4; antara radius 100–2 dengan 1000–5; antara radius 100–2 dengan 2000–5). Ini berarti bahwa data radioaktivitas yang diperoleh antara radius yang satu dengan radius yang lainnya berasal dari populasi yang homogen (kondisi sampel

homogen walaupun jarak/radius pengambilan sampel berbeda).

Hasil uji t untuk data sampel Rumput

Hasil uji t terhadap data hasil pemantauan radioaktivitas dalam rumput dengan tingkat kepercayaan 95 % adalah sebagai berikut :

1) Uji t untuk data tiap bulanan

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

H_0 : tidak ada perbedaan yang signifikan antara data bulan 1 dengan bulan 2

H_1 : ada perbedaan yang signifikan antara data bulan 1 dengan bulan 2

Pada tahun 2016, setiap bulan diperoleh 22 data pemantauan. Jadi db = 21. Sehingga berdasarkan Tabel t dengan tingkat kepercayaan 95 % diperoleh nilai $t_{Tabe} = 2,08$. Selanjutnya data bulan Januari diuji t dengan data bulan Februari, dengan cara mencari nilai $|t_{hitung}|$ (persamaan 6). Diperoleh $|t_{hitung}| = 2,01$.

Jadi nilai $|t_{hitung}| < t_{Tabe}$ ini artinya H_0 diterima atau tidak ada perbedaan antara data bulan Januari dan Februari. Dengan cara uji t yang sama, kemudian data bulan Januari diuji t dengan masing-masing data bulan Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November, dan Desember.

Uji t yang sama dilakukan terhadap data bulan-bulan yang lain di tahun 2016. Secara keseluruhan, dari 66 pengujian t diperoleh 46 hasilnya H_0 diterima dan 20 hasilnya H_0 tidak diterima. Secara umum ini berarti bahwa data radioaktivitas yang diperoleh antara bulan yang satu dengan bulan yang lainnya tidak berbeda secara signifikan. Atau dapat dikatakan bahwa data radioaktivitas yang diperoleh antara sebelum dan sesudah reaktor TRIGA 2000 Bandung beroperasi menunjukkan tidak berbeda secara signifikan.

2) Uji t untuk data tiap radius

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

H_0 : tidak ada perbedaan yang signifikan antara data radius 1 dengan radius 2

H_1 : ada perbedaan yang signifikan antara data radius 1 dengan radius 2

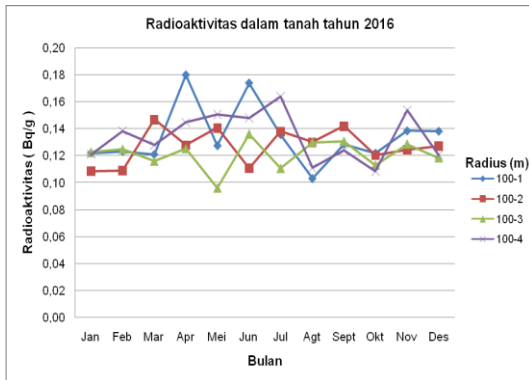
Dari Tabel 2, selama 1 tahun dalam tiap-tiap radius diperoleh 12 data pemantauan. Jadi db = 11. Sehingga berdasarkan Tabel t dengan tingkat kepercayaan 95 % diperoleh nilai $t_{Tabe} = 2,20$. Selanjutnya data radius 100-1 diuji t dengan data radius 100-2, dengan cara menghitung $|t_{hitung}|$. Diperoleh $|t_{hitung}| = 0,05$.

Jadi nilai $|t_{hitung}| < t_{Tabe}$ ini artinya H_0 diterima atau tidak ada perbedaan antara data radius 100-1 dan radius 100-2. Dengan cara uji yang sama, kemudian data radius 100-1 diuji t dengan masing-masing data radius 100-3, 100-4, 200-1, 200-2, 200-3, 200-4, 500-1, 500-2, 500-3, 500-4, 1000-1, 1000-2, 1000-3, 1000-4, 1000-5, 2000-1, 2000-2, 2000-3, 2000-4, 2000-5.

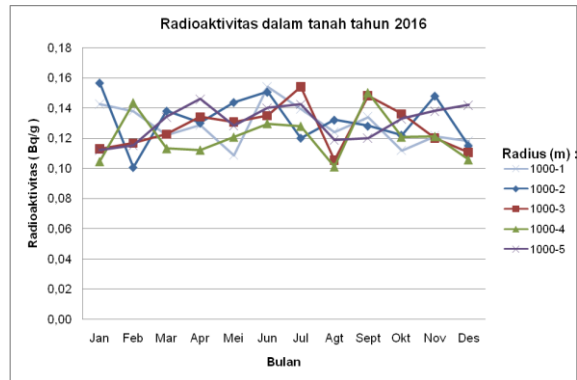
Selanjutnya data radius 100-2 diuji t dengan masing-masing data radius 100-3, 100-4, 200-1, 200-2, 200-3, 200-4, 500-1, 500-2, 500-3, 500-4, 1000-1, 1000-2, 1000-3, 1000-4, 1000-5, 2000-1, 2000-2, 2000-3, 2000-4, 2000-5.

Uji yang sama dilakukan terhadap data radius-radius yang lain di tahun 2016. Secara keseluruhan, dari 231 pengujian t diperoleh 192 hasilnya H_0 diterima dan 39 hasilnya H_0 tidak diterima. Secara umum ini berarti bahwa data radioaktivitas yang diperoleh antara radius yang satu dengan radius yang lainnya tidak berbeda secara signifikan (walaupun jarak/radius pengambilan sampel berbeda).

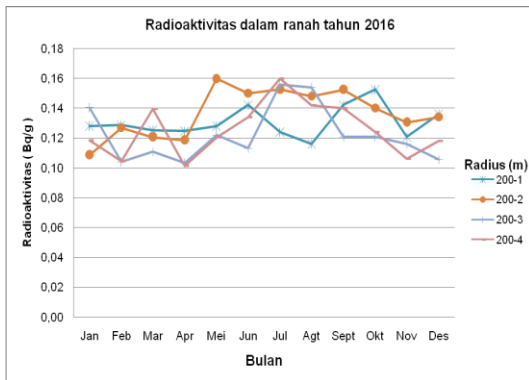
TANAH



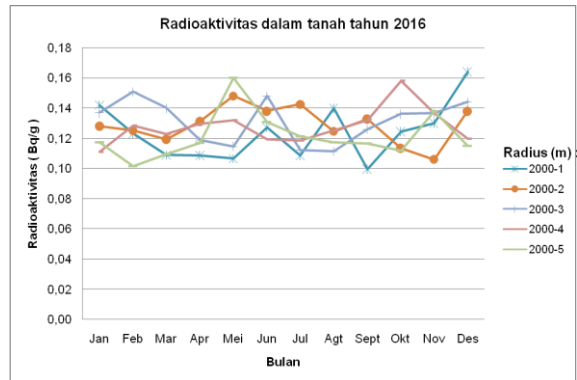
Gambar 7. Radioaktivitas sampel tanah dalam radius 100 m



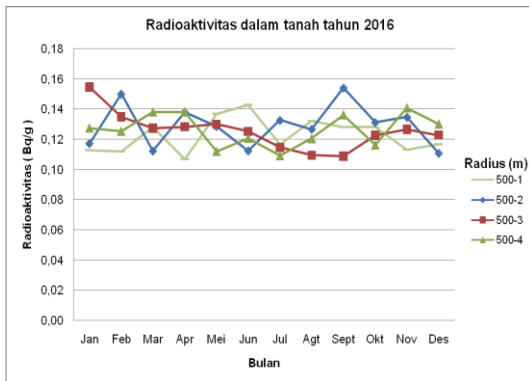
Gambar 10. Radioaktivitas sampel tanah dalam radius 1000 m



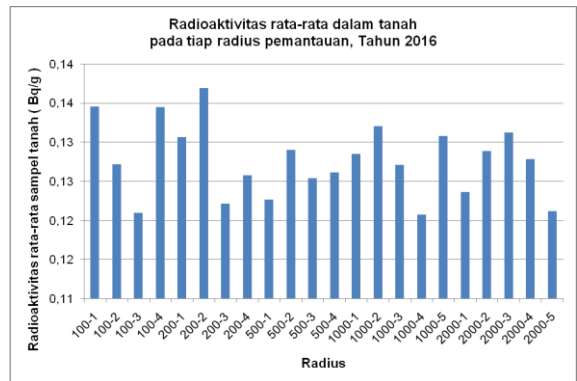
Gambar 8. Radioaktivitas sampel tanah dalam radius 200 m



Gambar 11. Radioaktivitas sampel tanah dalam radius 2000 m



Gambar 9. Radioaktivitas sampel tanah dalam radius 500 m



Gambar 12. Radioaktivitas rata-rata sampel tanah dalam tiap radius pemantauan tahun 2016

Pada radius 100 m (di dalam kawasan nuklir Bandung), diperoleh nilai radioaktivitas sampel tanah bervariasi dari 0,10 – 0,18 Bq/g dengan rata-rata $0,13 \pm 0,02$ Bq/g; pada radius 200 m (di luar kawasan nuklir Bandung), nilai radioaktivitas bervariasi dari 0,10–0,16 Bq/g dengan rata-rata $0,13 \pm 0,02$ Bq/g; pada radius

500 m, nilai radioaktivitas bervariasi dari 0,11 – 0,15 Bq/g dengan rata-rata $0,13 \pm 0,01$ Bq/g; pada radius 1000 m, nilai radioaktivitas bervariasi dari 0,10 – 0,16 Bq/g dengan rata-rata $0,13 \pm 0,01$ Bq/g; pada radius 2000 m, nilai radioaktivitas bervariasi dari 0,10 – 0,16 Bq/g dengan rata-rata $0,13 \pm 0,01$ Bq/g.

Tabel 3. Data minimum, maksimum dan rata-rata radioaktivitas dalam sampel Tanah di sekitar reaktor TRIGA 2000 Bandung Tahun 2016

No	Pemantauan bulan	Radioaktivitas sampel Tanah (Bq/g)		
		Minimum	Maksimum	Rata-rata
1	Januari	0,10	0,16	0,12 ± 0,01
2	Februari	0,10	0,15	0,12 ± 0,01
3	Maret	0,11	0,15	0,12 ± 0,01
4	April	0,10	0,18	0,13 ± 0,02
5	Mei	0,10	0,16	0,13 ± 0,02
6	Juni	0,11	0,17	0,14 ± 0,02
7	Juli	0,11	0,16	0,13 ± 0,02
8	Agustus	0,10	0,15	0,12 ± 0,01
9	September	0,10	0,15	0,13 ± 0,01
10	Oktober	0,11	0,16	0,13 ± 0,01
11	November	0,11	0,15	0,13 ± 0,01
12	Desember	0,11	0,16	0,12 ± 0,01

Selama tahun 2016 diperoleh nilai radioaktivitas dalam tanah minimum sebesar 0,10 Bq/g; maksimum sebesar 0,18 Bq/g dengan rata-rata sebesar 0,13 ± 0,01 Bq/g. Belum ada nilai baku mutu radioaktivitas dalam tanah yang diperbolehkan berada di lingkungan. Dari Tabel 3 terlihat bahwa nilai radioaktivitas dalam tanah sebelum dan setelah reaktor beroperasi menunjukkan hampir tidak ada perbedaan yang signifikan. Untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan tersebut maka di sini akan dilakukan uji homogenitas dan uji t.

Hasil uji homogenitas dan uji t untuk data sampel Tanah

Dengan cara uji yang sama dengan yang dilakukan pada komponen Rumput sebelumnya, maka diperoleh hasil uji homogenitas dan uji t terhadap data hasil pemantauan radioaktivitas dalam tanah sebagai berikut :

1) Uji homogen untuk data tiap bulanan

Secara keseluruhan, dari 66 pengujian diperoleh hasil pengujian homogen semua. Ini berarti bahwa data radioaktivitas Tanah yang diperoleh antara bulan yang satu dengan bulan yang lainnya berasal dari populasi yang homogen.

2) Uji homogen untuk data tiap radius

Secara keseluruhan, dari 231 pengujian diperoleh hasil pengujian

homogen semua. Ini berarti bahwa data radioaktivitas Tanah yang diperoleh antara radius yang satu dengan radius yang lainnya berasal dari populasi yang homogen.

3) Uji t untuk data tiap bulanan

Secara keseluruhan, dari 66 pengujian diperoleh 59 hasilnya H_0 diterima dan 7 hasilnya H_0 tidak diterima. Secara umum ini berarti bahwa data radioaktivitas Tanah yang diperoleh antara bulan yang satu dengan bulan yang lainnya tidak berbeda secara signifikan.

4) Uji t untuk data tiap radius

Secara keseluruhan, dari 231 pengujian diperoleh 216 hasilnya H_0 diterima dan 15 hasilnya H_0 tidak diterima. Secara umum ini berarti bahwa data radioaktivitas Tanah yang diperoleh antara radius yang satu dengan radius yang lainnya tidak berbeda secara signifikan.

KESIMPULAN

Pemantauan radioaktivitas gross Beta dalam rumput dan tanah di sekitar reaktor TRIGA 2000 Bandung tahun 2016, dengan lokasi pemantauan mulai dari radius 100 m hingga radius 2000 m dari cerobong reaktor telah dilakukan. Nilai radioaktivitas gross Beta hasil pemantauan dalam sampel rumput berfluktuasi antara 1,47 – 4,40 Bq/g abu dengan rata-rata 2,80 ± 0,51 Bq/g abu;

sementara dalam tanah berkisar antara 0,10 – 0,18 Bq/g dengan rata-rata $0,13 \pm 0,01$ Bq/g. Belum ada nilai baku mutu radioaktivitas dalam rumput dan tanah yang diperbolehkan berada di lingkungan. Dengan melakukan uji homogenitas dan uji t terhadap data nilai radioaktivitas yang diperoleh selama tahun 2016 serta dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95 % dapat dikatakan bahwa data hasil pemantauan radioaktivitas dalam rumput atau tanah yang berasal dari beberapa lokasi dan waktu pemantauan adalah homogen (dari populasi yang homogen) serta tidak berbeda secara signifikan antara sebelum dan setelah reaktor beroperasi di tahun 2016.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sains Dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) yang telah memberikan dukungan dana dan fasilitas lainnya sehingga pemantauan radioaktivitas di sekitar reaktor TRIGA 2000 Bandung terlaksana dengan lancar dan baik. Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan Staf Sub Bidang KKPR PSTNT yang telah membantu pelaksanaan pemantauan ini terutama dalam pengambilan sampel di lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

1. Perka BAPETEN, “Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir”, Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, BAPETEN (2013)
2. IAEA-TECDOC 1415, “Soil Sampling For Environmental Contaminants”, IAEA, Vienna (2004)
3. IAEA, “Programmes and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring”, Safety Report Series No.64, Vienna (2010)
4. SB 014-BATAN, “Pedoman Tentang Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan”, BATAN, Jakarta (2013)
5. <https://www.statistikian.com/2013/01/uji-homogenitas.html>, diunduh 24 Februari 2017
6. <http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/tabel-f-0-05.pdf>, diunduh 24 Februari 2017
7. <http://statistikceria.blogspot.co.id/2013/12/Pengujian-Perbedaan-data-rata-Dua-kelompok-berpasangan-dependent-parametrik.html>, diunduh 24 Februari 2017
8. <http://ledhyane.lecture.ub.ac.id/files/2013/04/tabel-t.pdf>, diunduh 24 Februari 2017