

## KAJIAN SEBARAN RADIOAKTIF GAMMA DALAM LINGKUNGAN AIRTANAH DI SISI SELATAN GUNUNGAPI MERAPI, DESA WUKIRSARI, KECAMATAN CANGKRINGAN, KABUPATEN SLEMAN

Andreas R. P. Lakafi<sup>1</sup>, Tjahyo Nugroho Adjie<sup>2</sup>, dan Langgeng Wahyu Santoso<sup>3</sup>

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia<sup>1,2,3</sup>  
andreas\_lakafin@hotmail.com

Diterima : September 2013 ; Direvisi : Maret 2014; Dipublikasikan: 30 September 2014

**ABSTRAK** Penelitian ini dilakukan di Desa Wukirsari Kecamatan Cangkringan Kabupaten Sleman. Radioaktif alam adalah radioaktif yang berasal dari radiasi yang ada di bumi. Radionuklida alam penyumbang terbesar terhadap besarnya paparan gamma ke manusia adalah anak luruh Uranium-238 (U-238). Radionuklida tersebut akan sangat berbahaya bagi manusia jika mencemari airtanah yang akan digunakan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji persebaran radioaktivitas gamma dalam airtanah bebasdi daerah penelitian akibat erupsi Gunungapi Merapi 2010 dan merumuskan upaya strategik pengelolaan lingkungan untuk menangani permasalahan potensi terkontaminasinya airtanah oleh radioaktif. Penelitian ini menggunakan metode survey. Metode sistematis berdasarkan grid untuk menentukan titik sampel dan pola aliran airtanah. Untuk memperoleh data kualitas airtanah menggunakan metode purposif dengan mempertimbangkan titik sampel yang diambil harus berada pada satu jalur aliran airtanah yang ditunjukkan dalam pola aliran airtanah. Data yang diperoleh berupa data aktivitas radioaktif dan dosis efektif. Tujuan kedua dicapai dengan metode deskriptif kualitatif dengan menggunakan data sebaran dosis efektif sebagai acuan alternatif strategi pengelolaan lingkungan yang diberikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, aktivitas radioaktif gamma U-238 pada airtanah dilokasi penelitian masih aman karena masih di bawah baku mutu berdasarkan Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor: 02/Ka-BAPETEN/V-99 tentang baku tingkat radioaktivitas lingkungan yaitu  $1 \times 10^3$  Bq/liter untuk syarat aktivitas U-238 di air. Dari hasil pengujian didapati bahwa, aktivitas U-238 rentang yaitu  $0,123 \pm 0,04$  Bq/liter sampai  $0,283 \pm 0,011$  Bq/liter. Untuk dosis efektif didapati bahwa sebaran dosis efektif di daerah penelitian juga masih sangat rendah dan aman yaitu berada pada  $4,00 \mu\text{Sv}/\text{tahun}$  hingga  $8,14 \mu\text{Sv}/\text{tahun}$ . Dosis efektif di daerah penelitian masih jauh di bawah batas ambang yang ditentukan WHO yaitu  $0,1 \text{ mSv}/\text{tahun}$  untuk besarnya dosis efektif pada air minum. Dengan demikian dosis efektif pada daerah penelitian masih aman dan tidak menimbulkan dampak stokastik maupun non stokastik (deterministik). Alternatif strategi pengelolaan lingkungan dilakukan melalui strategi yang bersifat preventif yang meliputi persyaratan manajemen, teknik, proteksi radiasi dan keselamatan yang diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif, dan UU No. 32 Tahun 2009 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

**Kata kunci** : aktivitas, airtanah, dosis efektif, radioaktif

**ABSTRACT** This research was conducted in the village of Wukirsari Cangkringan sub-district of Sleman Regency. Nature radioactive is a radioactive which come from radiation on earth. The largest contributor of natural radionuclides against the magnitude of gamma exposure to human is Uranium daughter U-238 (Uranium-238). That radionuclides is very dangerous to human if it pollutes into groundwaters which will be used by human. This research aims to assess the distribution of gamma radioactive because of Merapi Volcano eruption on 2010 in free groundwaters at study area and to formulate environmental management strategies to handle the problem of groundwaters contamination potency by radioactive. This research was used survey method. Systematic method based on grid to determine sample point and groundwaters flow pattern. To obtain the data of groundwaters quality use purposive method which consider that sample point must be on one track at groundwaters flow that showed in flownet. The data obtained is activity data of radioactive and effective dose. The second objective is achieved by qualitative descriptive method which use the data of effective dose distribute as a alternative reference to formulate environmental management strategies. This result showed that gamma radioactive activity from U-238 on groundwaters at study area is still safe because it is still below the quality standards that based on the decision by the Head of the Nuclear Energy Regulatory Agency number: 02/Ka-BAPETEN/V-99 about standard level of radioactivity in the environment that is  $1 \times 10^3$  Bq/litre in terms of U-238 activity in water. From the test results it was found that range of U-238 activity that is  $0,123 \pm 0,04$  Bq/litre until  $0,283 \pm 0,011$  Bq/litre. For the effective



*dose was found that effective dose distribution in the study area is still very low and safe that is 4,00  $\mu$ Sv/year until 8,14  $\mu$ Sv/year. The effective dose in the study area is still far below the WHO threshold specified that is 0,1 mSv/year for the magnitude of the effective dose in drinking water. Thus the effective dose in the study area is still safe and do not impact stochastic and non-stochastic effects (deterministic). Environmental management strategies conducted through preventive strategies which includes requirements management, engineering, radiation protection and safety stipulated in Government Regulation Number 33 of 2007 about ionizing radiation safety and security of radioactive sources, and Act number 32 / 2009 on environmental protection and management.*

**Key words:** activity, groundwater, effective dose, nature radioactive

## PENDAHULUAN

Radioaktivitas lingkungan menurut asalnya ada dua macam yaitu radioaktivitas buatan dan radioaktivitas alam: Radioaktivitas buatan adalah zat radioaktif yang secara sengaja digunakan sebagai bahan baku dalam suatu proses, dan sebagai produk dan limbah hasil produksi. Contohnya hasil irradiasi untuk obat, pengawetan makanan, pemuliaan bibit, dan untuk menghasilkan energi. Zat radioaktif pencemar yang masuk ke ekosistem akan mengikuti lintas rantai makanan makhluk hidup dalam biosfer dan berakhir pada jaringan tubuh manusia (Udiyani, 2007). Radioaktivitas alam adalah radioaktif yang ada di sekitar lingkungan kita yang berasal dari radiasi yang ada di bumi (radiasi primordial) dan radiasi yang berasal dari luar bumi (radiasi kosmogenis). Kedua macam radiasi tersebut sudah ada sejak terbentuknya bumi (Wardhana, 1995). Radionuklida alam penyumbang terbesar terhadap besarnya paparan gamma ke manusia adalah anak luruh U-238, Th-232, dan K-40 (UNSCEAR, 2000).

Pada umumnya kandungan uranium dalam batuan sekitar satu gram per ton batuan. Batuan yang mengandung unsur silika ( $\text{SiO}_2$ ) memiliki kandungan uranium yang relatif lebih tinggi. Beberapa jenis batuan yang mengandung uranium dalam jumlah yang tinggi antara lain, *alum shale, granite, pegmatite, uraninite, pitchblende, coffinite, brannerite, carnotite, tyuyamunite* dan *aplite*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2. Selain itu ada beberapa batuan yang memiliki kandungan uranium dalam jumlah yang kecil antara lain, *limestone, sandstone, quartzite, gabbro, diabas, diorit, basic volcanic rocks* Pedersen (2004) dalam Ardianto (2009). Dengan demikian maka batuan beku di sekitar lereng Gunungapi Merapi diperkirakan memiliki kandungan unsur radioaktif yaitu uranium dalam jumlah yang relatif tinggi karena sekitar 48,84–55,71 % mineral yang ada di lereng Gunungapi Merapi terdiri dari unsur silika yang berasal dari lava.

Uranium merupakan unsur radioaktif yang pertama dikenal manusia. Unsur ini bukan merupakan logam jarang dan keberadaan di alam mencapai 50 kali

lebih banyak dibandingkan dengan air raksa yang sudah sejak lama dikenal orang. Unsur uranium di alam terdapat sebagai mineral dalam kerak bumi, juga dalam air laut, air sungai, minyak bumi, batu bara, dan lain sebagainya. Mineral uranium terdapat dalam kerak bumi pada hampir semua jenis batuan, terutama pada batuan asam seperti granit, dengan kadar 3-4 gram dalam satu ton batuan (Akhadi, 2003). Unsur uranium yang paling banyak terdapat di alam adalah uranium-238. Radionuklida U-238 dan anak luruhnya dapat memancarkan radiasi berupa radiasi alfa, beta, dan gamma. Radiasi gamma adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan dari inti atom tereksitasi yang mengikuti proses peluruhan radioaktif, sebagai suatu cara membuang energi eksitasi untuk membuang energi eksitasi ke tingkat dasarnya (Wiryoimin, 1995 ; Udiyani, 2007).

Radiasi gamma memiliki panjang gelombang sangat pendek dan energi tinggi. Selain itu, karena sinar gamma tidak bermuatan, sinar ini tak dapat mudah dihalangi oleh bahan pelindung, tidak seperti partikel alfa dan beta. Radiasi gamma dapat berinteraksi dengan materi yang dilaluinya, dalam berinteraksi umumnya radiasi memindahkan energinya kepada bahan atau materi yang terlibat dan akan menyebabkan pengkontaminasian pada materi yang berinteraksi. Sifat radioaktif dari unsur uranium tersebut apabila mengkontaminasi dan mengionisasi airtanah di lereng selatan Gunungapi Merapi akan membahayakan manusia yang tinggal disekitarnya yaitu Desa Wukirsari. Penerimaan dosis efektif dari radiasi alami oleh penduduk bumi telah diestimasi oleh *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR), dengan rerata sebesar 2,4 mSv per tahun, sedangkan terimanan terproyeksi dari sumber alamiah sekitar 76,58% dari terimanan total oleh manusia yang berasal dari segala jenis radiasi. Sementara itu ambang batas penerimaan dosis efektif rata-rata radiasi gamma di permukaan tanah adalah 0,4 mSv/tahun atau pada interval 0,3-0,6 mSv/tahun (UNSCEAR, 2000). Sedangkan menurut WHO, baku

mutu dosis efektif pada airminum adalah 0,1 mSv/tahun.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji persebaran radioaktivitas gamma akibat erupsi Gunungapi Merapi dalam airtanah bebas;
2. Merumuskan upaya strategik pengelolaan lingkungan untuk menangani permasalahan potensi terkontaminasinya airtanah oleh radioaktif

Desa Wukirsari terletak pada sisi selatan Gunungapi Merapi. Secara umum batuan dari gunungapi memiliki kadar radionuklida yang lebih tinggi dari pada batuan endapan. Kerapatan radionuklida berbeda-beda bergantung kepada jenis tanah dan unsur pembentuknya, dan ini adalah penyebab utama adanya perbedaan dosis radiasi dari suatu tempat dengan lainnya. Erupsi Gunungapi Merapi diperkirakan akan memberi dampak meningkatnya tingkat radioaktivitas alam di sekitarnya.

Radioaktivitas alam adalah radioaktif yang ada di sekitar lingkungan kita berasal dari radiasi yang ada di bumi (radiasi primordial) dan radiasi yang berasal dari luar bumi (radiasi kosmogenis). Kedua macam radiasi tersebut sudah ada sejak terbentuknya bumi. Sumber radiasi alam dapat berasal dari material kerak bumi yang terdiri dari uranium-238 (U-238), kalium-40 (K-40) dan thorium-232 (Th-232).

Nuklida uranium di alam adalah nuklida hasil peluruhan U-238. Pemasukan ke tubuh melalui lintas makanan dan pernafasan. Di dalam tulang uranium terdistribusikan secara merata, dengan kadar yang lebih tinggi pada permukaan tulang. Unsur kelompok uranium yang penting dan berbahaya bagi lingkungan dan manusia adalah Ra-226. Waktu paruh uranium di alam mencapai  $4,51 \times 10^9$  tahun sehingga masih tersisa hingga sekarang sejak terbentuknya bumi. Radionuklida U-238 dapat memancarkan radiasi berupa radiasi alfa, beta, dan gamma. Radiasi gamma adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan dari inti atom tereksitasi yang mengikuti proses peluruhan radioaktif, sebagai suatu cara membuang energi eksitasi untuk membuang energi eksitasi ke tingkat dasarnya.

Radiasi gamma dapat berinteraksi dengan materi yang dilaluinya, dalam berinteraksi umumnya radiasi

memindahkan energinya kepada bahan atau materi yang terlibat dan akan menyebabkan pengkontaminasian pada materi yang berinteraksi. Hal ini dapat membahayakan manusia apabila radiasi gamma mengkontaminasi airtanah di Desa Wukirsari yang selanjutnya dikonsumsi manusia untuk kebutuhan sehari-hari.

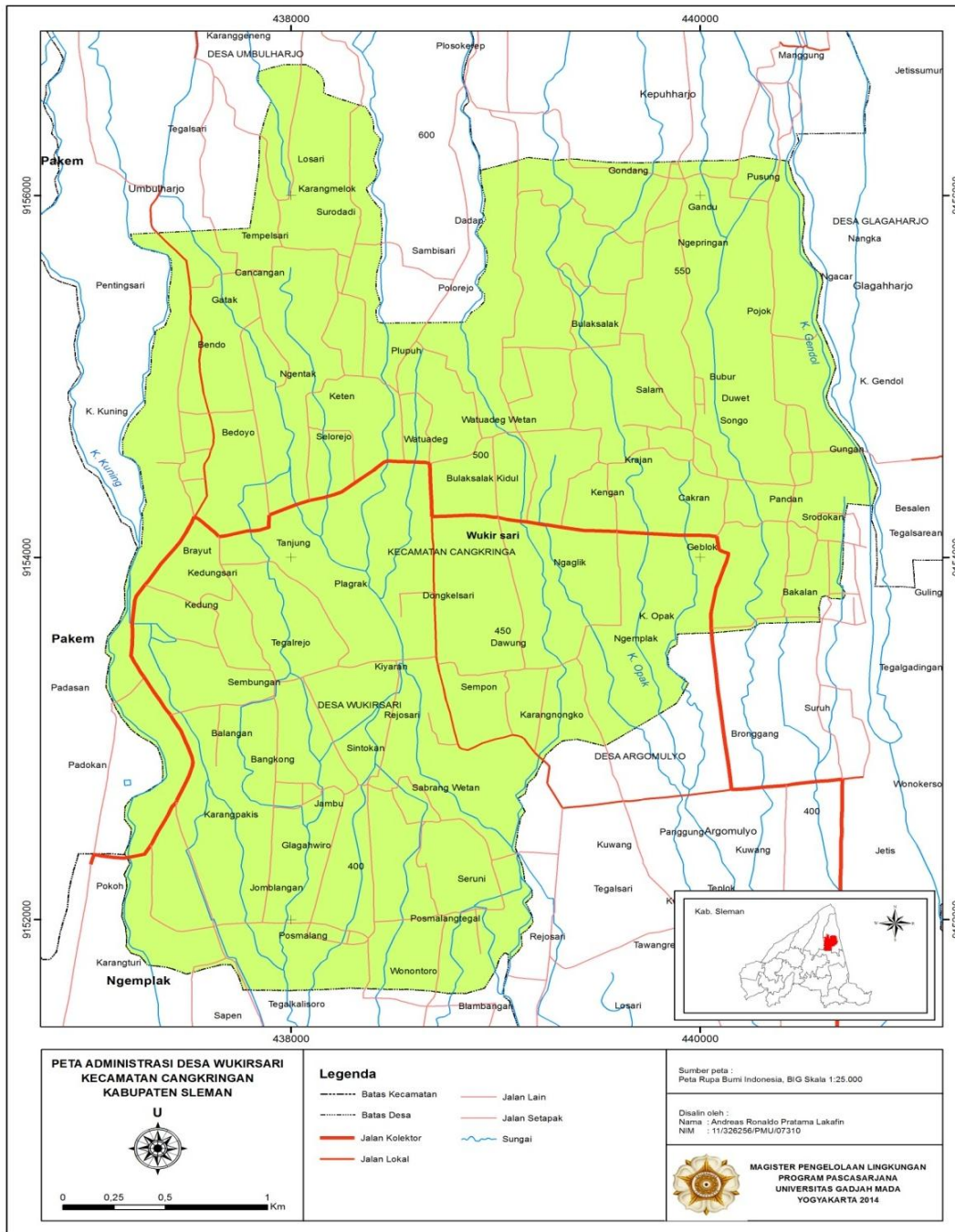
Sebaran radiasi alam yang ada di lereng Gunungapi Merapi berdasarkan pola aliran airtanah dan material penyusunnya dapat dijadikan informasi spasial dalam peta sebaran radiasi radioaktivitas alam di Desa Wukirsari, serta memperkirakan dampak radiasi terhadap kesehatan manusia.

#### METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian terletak di Desa Wukirsari Kecamatan Cangkringan Kabupaten Sleman yang merupakan desa yang terletak di lereng selatan Gunungapi Merapi. Secara administrasi lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1. Untuk mencapai tujuan pertama, maka dilakukan pengumpulan data berupa sampel airtanah yang diambil dengan metode sistematis berdasarkan grid. Proses penentuan sampel dengan membuat grid atau kotak-kotak persegi imajiner dengan ukuran/interval tertentu. Pembuatan kotak-kotak tersebut merupakan bagian penentuan secara sistematis. Setelah grid terbentuk, lokasi sampel yang berupa kedalaman muka airtanah dan elevasi

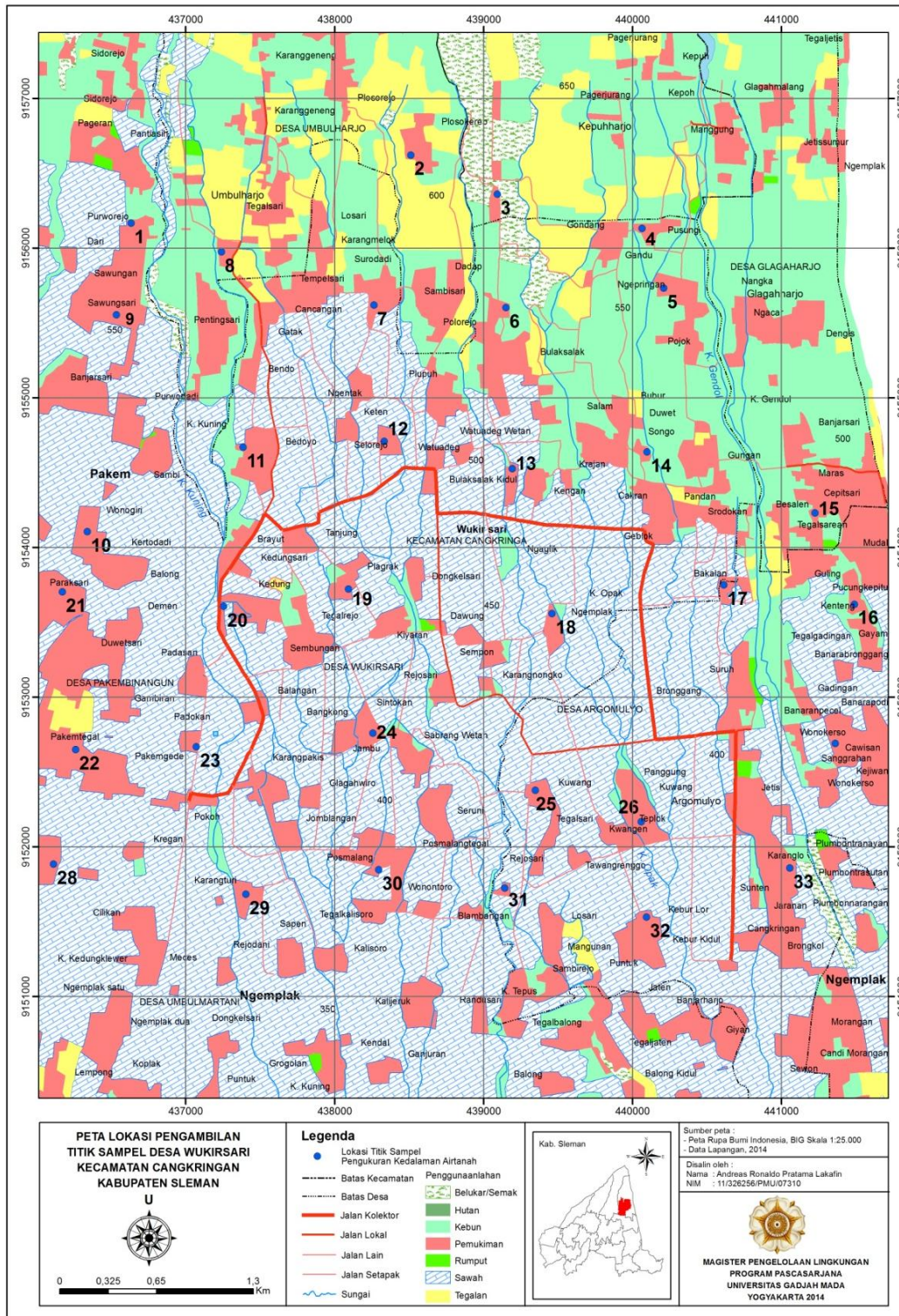
ditentukan secara acak di dalam setiap kotak seperti yang disajikan pada Gambar 2.

Teknik penentuan sampel berikutnya adalah purposif (*purposive sampling*). Penentuan sampel secara purposif adalah penentuan dimana anggota sampel yang akan diambil sudah dipertimbangkan secara mendalam dan dianggap atau diyakini dapat mewakili karakter populasi (Yunus, 2010., dalam Sejati, 2012). Penentuan secara purposif dalam hal ini bertujuan untuk memperoleh data kualitas airtanah dengan mempertimbangkan titik sampel yang diambil harus berada pada satu jalur aliran airtanah yang ditunjukkan dalam *flownet*.



Gambar 1. Peta Wilayah Penelitian





Gambar 2. Skema Pengambilan Sampel Sistematis Berdasarkan Grid

Sampel airtanah yang didapat nantinya akan di analisis untuk mendapatkan data aktivitas radioaktif yang dipancarkan Uranium-238 dari sampel airtanah, kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang dipersyaratkan sesuai dengan Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor: 02/Ka-BAPETEN/V-99 tentang baku tingkat radioaktivitas lingkungan yaitu

$1 \times 10^3$  Bq/liter untuk syarat Uranium 238 di air. Besarnya aktivitas disajikan dalam tabel dan grafik untuk memudahkan dalam analisis. Data aktivitas airtanah dijadikan acuan untuk menghitung besarnya dosis efektif dengan menggunakan persamaan berikut:

$$DE = A_U \cdot I_f \cdot E_D \dots \dots \dots (3.1)$$

DE adalah dosis efektif (Sv),  $A_u$  aktivitas konsentrasi U-238 (Bq/liter),  $I_f$  adalah faktor konversi dosis yang dikonsumsi dari U-238 ( $4.5 \times 10^{-8}$  Sv/Bq),  $E_D$  adalah banyaknya konsumsi air (2 liter/hari) (WHO, 2004 dalam [Bronzovic, 2006](#)). Untuk perhitungan dosis efektif, konsumsi air minum 2 liter/hari dan 730 liter/tahun dengan asumsi untuk standar orang dewasa minum air yang sama dari sumber yang sama ([UNSCEAR, 1993](#); Galan Lopez, 2004 dalam [Bronzovic, 2006](#)).

Data dosis efektif akan dianalisis untuk mengetahui dampak radiasi terhadap kesehatan manusia, kemudian di interpolasi untuk mendapatkan pola sebarannya pada lokasi penelitian. Analisis dampak radioaktif terhadap kesehatan masyarakat diawali dengan studi pustaka digunakan untuk mengetahui pengaruh kesehatan yang terjadi akibat paparan radioaktivitas gamma yaitu, efek stokastik dan efek deterministik. Hasil perhitungan dosis efektif (DE) kemudian dikomparasi dengan hasil studi pustaka untuk mengetahui indikasi terjadinya paparan radiasi gamma yang melebihi ambang batas yang diijinkan. Jika hasil perhitungan dosis menunjukkan masih di bawah nilai ambang batas yang diijinkan maka tidak terjadi efek stokastik maupun efek deterministik akibat paparan radiasi gamma maka dapat dikatakan bahwa paparan radiasi gamma tidak berpengaruh terhadap kesehatan manusia.

Analisis strategi pengelolaan lingkungan mengenai radioaktivitas gamma dimaksudkan untuk mencapai tujuan dari penelitian. Upaya strategi pengelolaan yang diberikan adalah strategi pengelolaan terhadap sumber dan dampak dari radioaktif. Setelah sebelumnya didapatkan hasil radioaktivitas dan dihitung nilai dosis efektifnya, serta diperkirakan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat maka akan disusun strategi pengelolaan lingkungan dari hasil tersebut.

Strategi pengelolaan lingkungan pada penelitian ini ada dua kondisi yang akan menjadi acuan, yaitu apabila dosis efektif yang didapatkan melebihi baku mutu dan apabila dosis efektif masih dibawah baku mutu yang ada yang kedua kondisi ini mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif.

Keselamatan radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi.

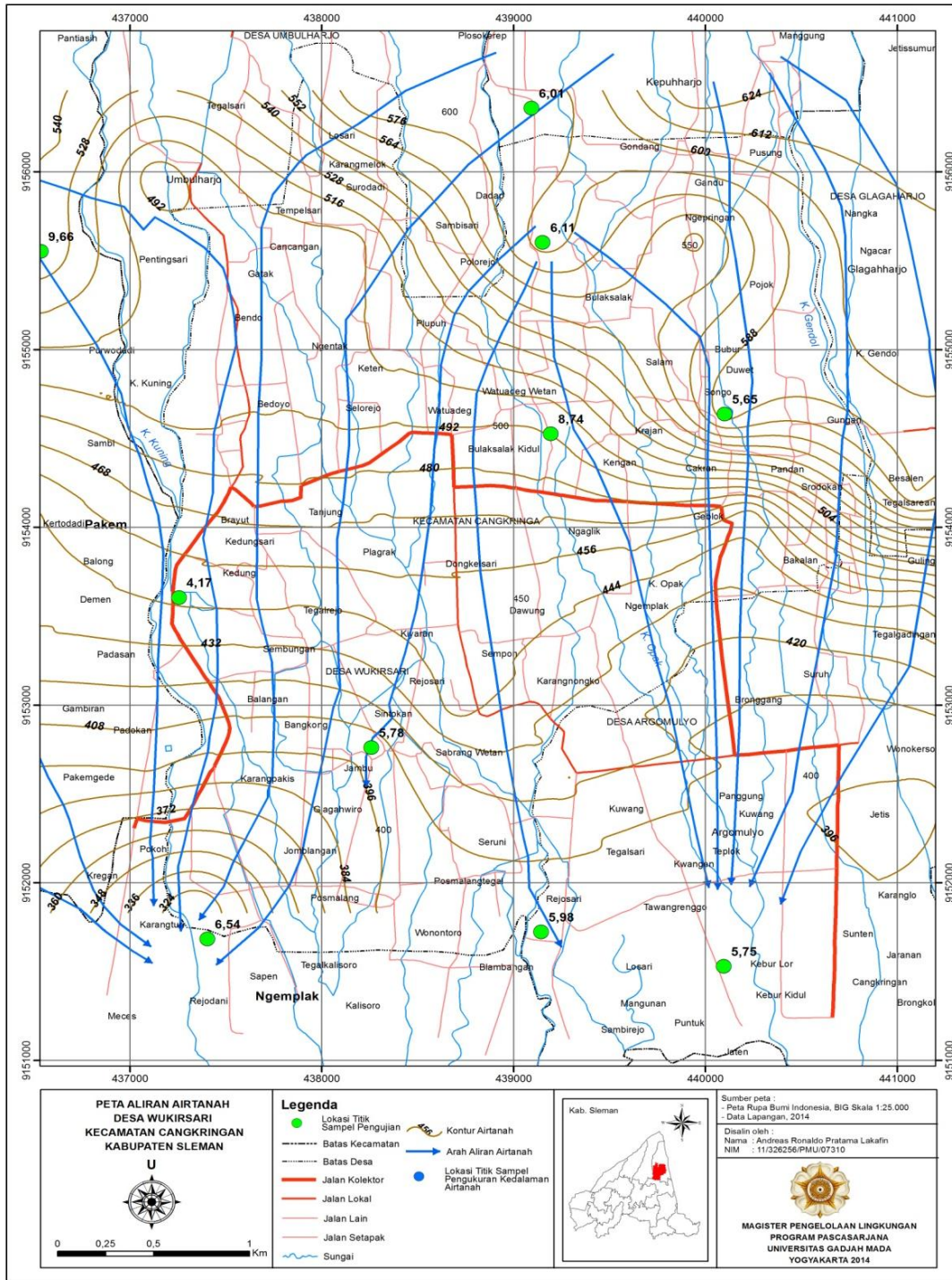
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola aliran airtanah di daerah penelitian dibuat dengan metode sistematis grid seperti yang disajikan pada Gambar 2. Kemudian dilakukan pengukuran kedalaman muka airtanah. Hasil pengukuran tersebut adalah pola aliran airtanah seperti yang disajikan dalam Gambar 3. Dari gambar tersebut didapati bahwa pola aliran airtanah di daerah penelitian mengalir ke arah selatan dengan topografi yang semakin rendah dari utara ke selatan. Dusun Karangturi merupakan daerah *discharge* yang memiliki potensi airtanah yang paling baik, hal ini ditunjukkan dengan arah *flownet* yang banyak mengarah ke Dusun Karangturi.

Sebaran radioaktivitas Gamma dalam airtanah didasari oleh hasil pengujian sampel airtanah yang diuji di Laboratorium Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - Badan Teknologi Nuklir Nasional (PTAPB-BATAN) Yogyakarta. Hasil pengujian tersebut adalah nilai aktivitas radioaktif yang dipancarkan oleh sampel. Penentuan titik pengambilan sampel dilakukan dengan metode purposif, dengan mempertimbangkan titik pengambilan sampel berada pada satu aliran airtanah. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tingkat radioaktivitas di daerah penelitian masih aman karena masih di bawah baku mutu yang dipersyaratkan sesuai dengan Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor: 02/Ka-BAPETEN/V-99 tentang baku tingkat radioaktivitas lingkungan yaitu  $1 \times 10^3$  Bq/liter untuk syarat besarnya aktivitas Uranium 238 di dalam kandungan air, disajikan pada Gambar 4. Dari hasil pengujian didapati bahwa aktivitas U-238 yang terbesar adalah  $0,283 \pm 0,011$  Bq/liter berada di titik sampel yang merupakan Dusun Sawungsari, sedangkan aktivitas terendahnya didapati pada dusun Kedung yaitu  $0,123 \pm 0,004$  Bq/liter. Dengan demikian aktivitas U-238 di Desa Wukirsari dalam airtanahnya masih sangat aman.





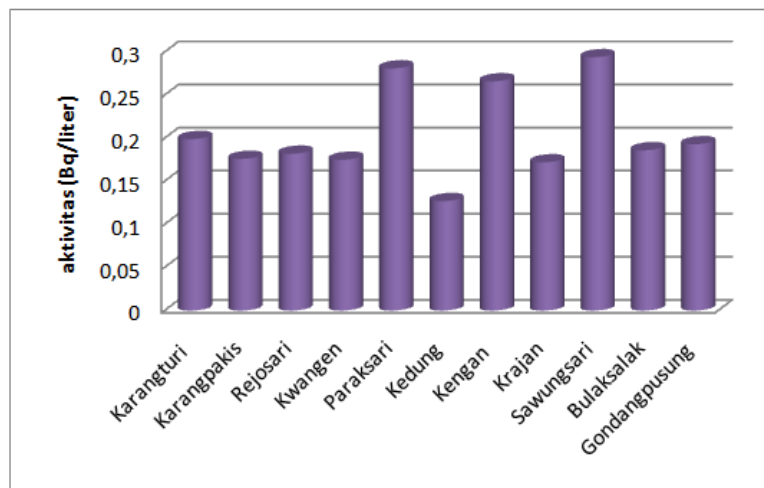
Gambar 3. Aliran Airtanah di Desa Wukirsari  
Sumber: Hasil Analisis



Tabel 1. Hasil Analisis Aktivitas Radioaktif Gamma di Desa Wukirsari

Nama Contoh	Label	Lokasi dusun	Hasil Uji	
			U-238	Satuan
Airtanah	1.	Karangturi	0,191±0,008	Bq/liter
	2.	Karangpakis	0,143±0,033	Bq/liter
	3.	Rejosari	0,174±0,008	Bq/liter
	4.	Kwangen	0,165±0,010	Bq/liter
	5.	Paraksari	0,278±0,003	Bq/liter
	6.	Kedung	0,123±0,004	Bq/liter
	7.	Kengan	0,244±0,022	Bq/liter
	8.	Krajan	0,169±0,003	Bq/liter
	9.	Sawungsari	0,283±0,011	Bq/liter
	10.	Bulaksalak	0,174±0,012	Bq/liter
	11.	Gondangpusung	0,174±0,019	Bq/liter

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. Tingkat radioaktivitas gamma di Desa Wukirsari

Sumber: Hasil Analisis

Ketinggian muka airtanah pada lokasi pengambilan sampel berdasarkan Gambar 4. menunjukkan bahwa, semakin ke selatan maka ketinggian muka airtanahnya semakin rendah. Gambar 5 menunjukkan bahwa, nilai radioaktivitas yang didapat tidak dipengaruhi oleh ketinggian muka airtanah, hal ini dapat dilihat dari titik pada grafik cenderung menyebar atau acak, dengan nilai penyimpangannya sebesar 25,13 %. Nilai persebaran radiasi gamma yang ditunjukkan dengan nilai aktivitasnya pada daerah penelitian yang cenderung acak dipengaruhi konsentrasi aktivitas uranium dalam airtanah tergantung pada, konsentrasi aktivitas di batuan dasar dan tanah, kedekatan batuan kaya uranium dan air, jumlah tingkat oksidasi uranium, konsentrasi karbonat, fluorida, fosfat dan spesies lain dalam air yang dapat membentuk uranium kompleks atau mineral larut. Kehadiran bahan yang mudah menyerap, seperti bahan organik, besi dan

hidroksida mangan mempengaruhi konsentrasi aktivitas uranium dalam airtanah (Langmuir, 1978 dalam [Vesterbacka, 2005](#)).

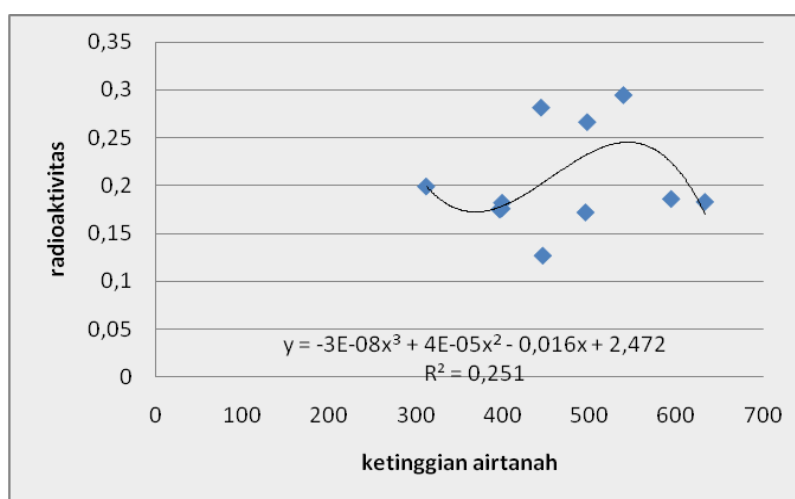
Persebaran konsentrasi uranium dalam airtanah akan mempengaruhi radioaktivitasnya. Nilai aktivitas tersebut nantinya dapat digunakan untuk menentukan besarnya dosis efektif dan dampaknya pada kesehatan manusia. Dampak radiasi pada kesehatan manusia dapat ditentukan dengan mengetahui terlebih dahulu dosis efektif dari radiasi yang dipancarkan. Nilai dari dosis efektif dapat digunakan untuk mengidentifikasi dampak pada kesehatan manusia di daerah penelitian. Dosis efektif yang diterima dari air minum kurang dari 5 % (0,1 mSv) dari total efektif dosis yang diterima dari radiasi alam (2,4 mSv). Di bawah referensi tingkat dosis ini air minum diterima untuk konsumsi manusia ([Bronzovic, 2006](#)). Dosis efektif tahunan (mSv/tahun) dihitung dengan berdasarkan konsentrasi aktivitas

uranium (Bq/l), koefisien dosis (Sv/Bq) dan konsumsi air tahunan (liter/tahun) yang ditunjukkan dalam persamaan 1 maka akan didapatkan dosis efektif di daerah penelitian yang disajikan pada Tabel 2.

Hasil perhitungan dosis efektif yang ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Gambar 6 dosis efektif di daerah penelitian masih jauh di bawah batas ambang yang ditentukan WHO yaitu 0,1 mSv/tahun untuk besarnya dosis efektif pada air minum. Hasil yang didapatkan semuanya masih sangat kecil dengan rata-rata 6,69 µSv/tahun, adapun hasil terbesar dalam penelitian adalah pada Dusun Sawungsari yaitu dengan dosis efektif sebesar 9,66 µSv/tahun. Data dosis efektif kemudian diinterpolasi untuk mendapatkan pola sebarannya di daerah penelitian seperti yang

ditunjukkan dalam Gambar 7 Sebaran dosis efektif di daerah penelitian dapat dibagi seperti pada Tabel 3.

Berdasarkan Gambar 7 dan Tabel 3 didapatkan bahwa pola persebaran dosis efektif radiasi di daerah penelitian juga acak. Hampir sebagian besar dusun di daerah penelitian memiliki dosis efektif antara 5,38 µSv/tahun sampai 6,76 µSv/tahun. Dosis efektif dalam penelitian ini masuk dalam rentang dosis lemah yaitu 0-25 mSv/tahun dengan tidak ada efek klinik yang dapat dideteksi, kemungkinan juga tidak ada efek yang tertunda. Dengan demikian dosis efektif pada daerah penelitian masih aman dan tidak menimbulkan dampak stokastik maupun non stokastik (deterministik).



Gambar 5. Hubungan Ketinggian Muka Airtanah dengan Radioaktivitas

Sumber: Hasil Analisis

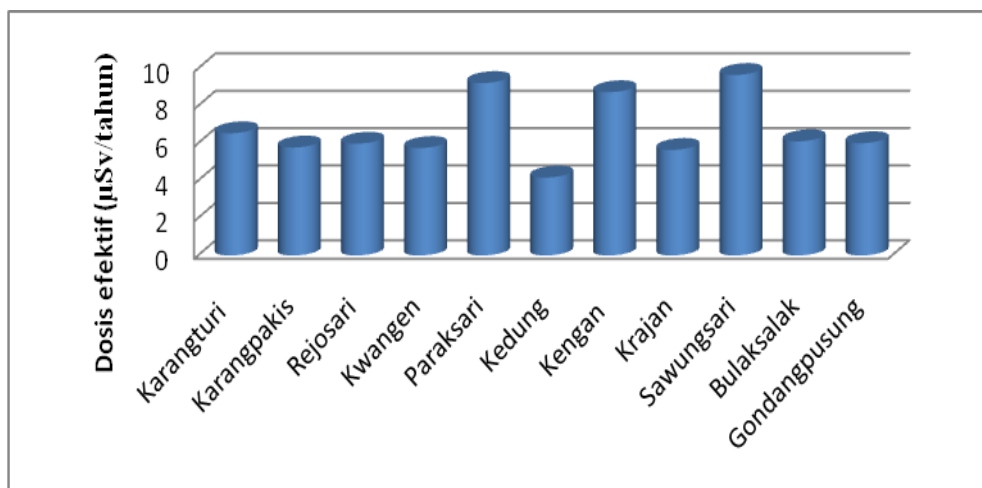
Tabel 2. Dosis Efektif di Desa Wukirsari

No	Radionuklida	Faktor konversi dosis yang dikonsumsi (Sv/Bq)	Aktivitas konsentrasi (Bq/liter)	Konsumsi air pertahun (liter/tahun)	Dosis efektif (µSv/tahun)	Baku Mutu Dosis Efektif pada Air minum (mSv/tahun)
1.	U-238	4.5x10 <sup>-8</sup>	0,199	730	6,54	0,1
2.			0,176		5,78	
3.			0,182		5,98	
4.			0,175		5,75	
5.			0,281		9,23	
6.			0,127		4,17	
7.			0,266		8,74	
8.			0,172		5,65	
9.			0,294		9,66	
10.			0,186		6,11	
11.			0,183		6,01	
	Rata-rata		0,203		6,69	

Sumber: Hasil Analisis.

Rendahnya tingkat radioaktivitas di daerah penelitian dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yang diuraikan berikut ini:

- (1) Faktor bahansampel, jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ardianto (2009) tentang “paparan radioaktivitas alam gamma dan perkiraan pengaruhnya terhadap kesehatan manusia di lereng Gunung Merapi”. Dosis efektif rata-rata yang didapat adalah 0,157 mSv/tahun. Pada penelitian ini menggunakan batu sebagai sampel yang diuji. Dengan baku mutu 0,3-0,6 mSv/tahun. Baku mutu ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan baku mutu yang digunakan dalam penelitian yang menggunakan sampel air sumur, yaitu 0,1 mSv/tahun, hal ini dikarenakan air sumur dianggap akan dikonsumsi sebagai air minum sehingga akan lebih rentan terhadap kesehatan manusia. Hasil penelitian yang didapat dengan airtanah sebagai sampel rata-rata dosis efektifnya adalah 6,69  $\mu$ Sv/tahun, sangat kecil jika dibandingkan dengan hasil penelitian [Ardianto \(2009\)](#), yaitu 0,157 mSv/tahun dengan lokasi penelitiannya hampir sama yaitu di lereng selatan Gunung Merapi. Perbedaan ini dapat disebabkan karena perbedaan sumber sampel dan radionuklida yang diukur. Pada penelitian dengan menggunakan batu sebagai sampel didapati bahwa dosis efektifnya lebih tinggi dibandingkan menggunakan sampel airtanah, hal ini dikarenakan batuan memiliki kandungan kadar radionuklida yang lebih tinggi dibandingkan airtanah;
- (2) Faktor pemanfaatan teknologi nuklir, ada dan tidaknya pemanfaatan teknologi nuklir di suatu daerah akan mempengaruhi tingkat radioaktivitas pada lingkungan. Pemanfaatan teknologi nuklir yang meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Industri (Pertambangan emasan mineral lainnya), Instalasi Kedokteran Nuklir, Reaktor Nuklir. Hal ini dapat dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh [Giyatmi \(2003\)](#), tentang “efektivitas pengolahan limbah cair rumah sakit dokter Sardjito Yogyakarta terhadap pencemaran radioaktif” dengan hasil radioaktivitas yang didapati adalah sebesar 0,768 Bq/l. Nilai tersebut jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti yaitu, sebesar 0,203 Bq/l. Dengan demikian faktor ada atau tidaknya pemanfaatan teknologi nuklir juga mempengaruhi tingkat radioaktivitas lingkungan di suatu daerah; dan
- (3) Faktor konsentrasi aktivitas uranium dalam airtanah tergantung pada konsentrasi aktivitas di batuan dasar dan tanah, kedekatan batuan kaya uranium dan air, jumlah tingkat oksidasi uranium, konsentrasi karbonat, fluorida, fosfat dan spesies lain dalam air yang dapat membentuk uranium kompleks atau mineral larut. Kehadiran bahan yang mudah menyerap, seperti bahan organik, besi dan hidroksida mangan mempengaruhi konsentrasi aktivitas uranium dalam air tanah (Langmuir, 1978 dalam [Vesterbacka, 2005](#)).



Gambar 6. Tingkat Dosis Efektif di Desa Wukirsari

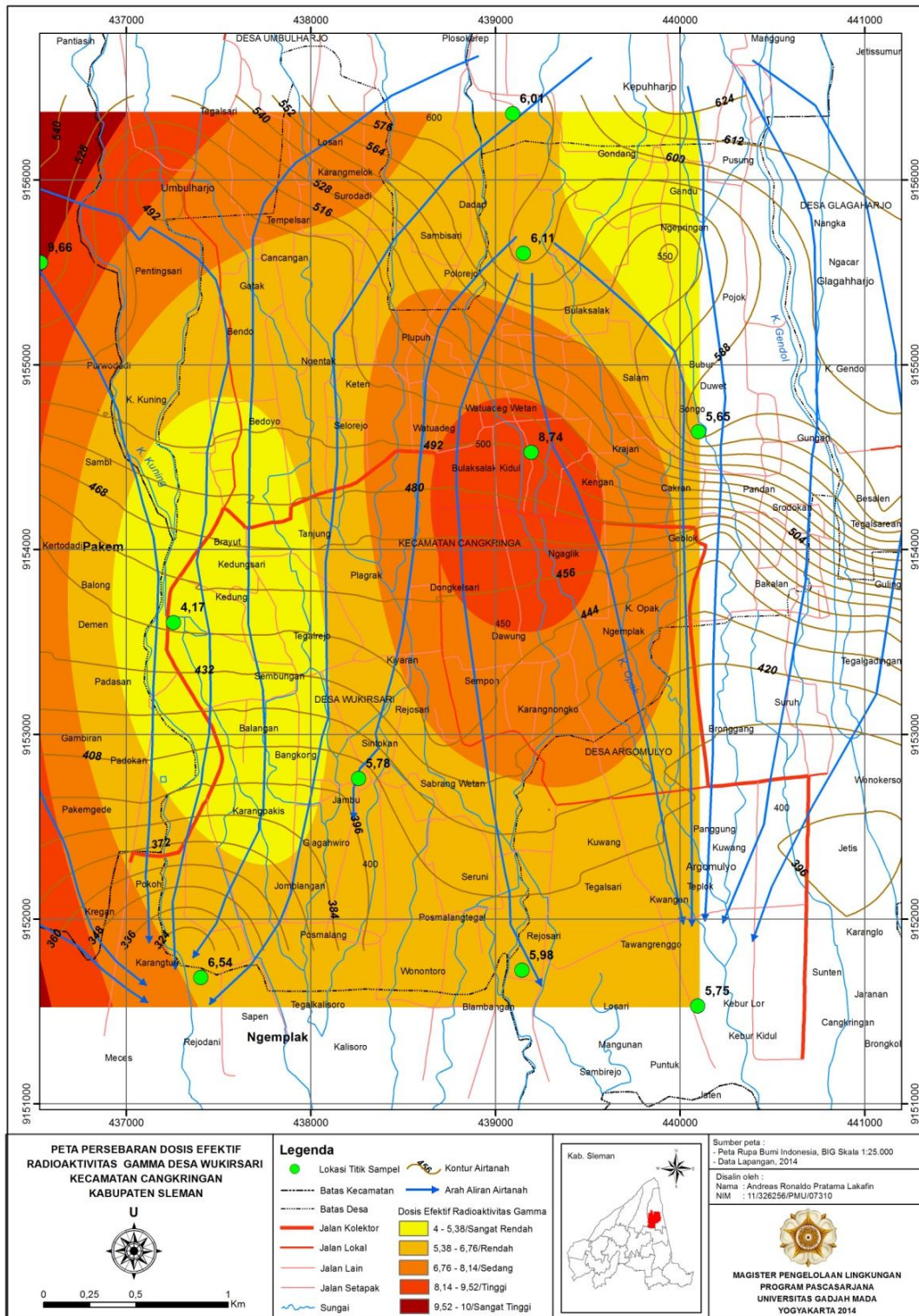
Sumber: Hasil Analisis



Tabel 3. Persebaran Dosis Efektif di Desa Wukirsari

No.	Dosis Efektif ( $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ )	Kelas Dosis Efektif	Dusun
1	4,00-5,38	Sangat rendah	Ngepringan, Gondang, Gandu, Brayut, Kadungsari, Kedung, Kedungsari, Sembungan, Balangan, Bangkong, Karangpakis, Bedoyo.
2	5,38-6,76	Rendah	Cakran, Geblok, Salam, Bulaksalak, Polorejo, Sambisari, Dadap, Umbulharjo, Cancangan, Gatak, Bendo, Ngentak, Keten, Selorejo, Tanjung, Plagrak, Rejosari, Sintokan, Jambu, Glagahwiro, Jomblangan, Posmalang, Tegalkalisoro, Padokan, Padasan, Demen, Balong, Kertodadi, Sambi, Gambiran, Sabrang Wetan, Seruni, Posmalangtegal, Wonontoro, Rejosari, Tegalsari, Kuwang, Kwangen, Tawangrenggo.
c	6,76 - 8,14	Sedang	Plupuh, Krajan, Kengan, Ngemplak, Karangnongko, Sempon, Dawung, Watuadeg, Losari, Karangmelok, Surodadi, Tempelsari, Pentingsari, Purwodadi, Wonigiri, Duwetsari, Pakemgede, Kregan, Karangturi.
4	8,14 - 9,52	Tinggi	Bulaksalak Kidul, Watuadeg Wetan, Ngaglik, Dongkelsari, Tegalsari.
5	9,52-10	Sangat tinggi	Cakran, Geblok, Salam, Bulaksalak, Polorejo, Sambisari, Dadap, Umbulharjo, Cancangan, Gatak, Bendo, Ngentak, Keten, Selorejo, Tanjung, Plagrak, Rejosari, Sintokan, Jambu, Glagahwiro, Jomblangan, Posmalang, Tegalkalisoro, Padokan, Padasan, Demen, Balong,

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 7. Peta Persebaran Dosis Efektif di Desa Wukirsari

Berdasarkan hasil penelitian, maka upaya alternatif strategi pengelolaan lingkungan yang diberikan adalah strategi yang bersifat preventif. Alternatif strategi pengelolaan lingkungan yang diberikan didasari dari Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif. Keselamatan radiasi

adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Alternatif strategi pengelolaan lingkungan tentang keselamatan radiasi sebagaimana dimaksud memiliki syarat:

- (a) Persyaratan manajemen: penanggungjawab keselamatan radiasi, budaya keselamatan,

- pemantauan kesehatan, personil keselamatan radiasi, pendidikan dan pelatihan, serta rekaman atau pendataan;
- (b) Persyaratan proteksi radiasi: justifikasi, limitasi, dan optimasi;
- (c) Persyaratan teknik: mempertimbangkan persyaratan, standar, dan instrumen terdokumentasi lainnya yang telah ditetapkan;
- (d) Verifikasi keselamatan: pengkajian keselamatan sumber; pemantauan dan pengukuran parameter keselamatan dan rekaman verifikasi keselamatan; dan
- (e) Sosialisasi dan pembelajaran secara berkesinambungan kepada masyarakat lokal tentang sistem atau manajemen keselamatan radiasi, pengetahuan tentang kenukliran, dan menjaga kebersihan sumur.

## KESIMPULAN

1. Aktivitas radioaktif yang berasal dari Uranium-238 pada airtanah di Desa Wukursari, yaitu  $0,123 \pm 0,04$  Bq/liter -  $0,283 \pm 0,011$  Bq/liter. Hasil perhitungan dosis efektif di Desa Wukirsari adalah pada rentang  $4,00 \mu\text{Sv}/\text{tahun}$  -  $9,52 \mu\text{Sv}/\text{tahun}$ . Hal ini masih sangat aman bagi manusia, karena masih jauh di bawah atas ambangnya yang ditentukan WHO yaitu  $0,1 \text{ mSv}/\text{tahun}$  untuk besarnya dosis efektif pada air minum. Dengan demikian dosis efektif pada daerah penelitian masih aman dan tidak menimbulkan dampak stokastik maupun non stokastik (deterministik) bagi manusia. Sebaran aktivitas dan dosis efektif radiasi di Desa Wukirsari tidak memiliki pola atau acak. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi aktivitas uranium dalam air tanah tergantung pada konsentrasi aktivitas di batuan dasar dan tanah, kedekatan batu kaya uranium dan air, jumlah tingkat oksidasi uranium, konsentrasi karbonat, fluorida, fosfat dan spesies lain dalam air yang dapat membentuk uranium kompleks atau mineral larut. Kehadiran bahan yang mudah menyerap, seperti bahan organik, besi dan hidroksida mangan mempengaruhi konsentrasi aktivitas uranium dalam air tanah.
2. Alternatif strategi pengelolaan lingkungan yang diberikan bertujuan sebagai pengetahuan dalam menghadapi secara preventif. Alternatif strategi pengelolaan lingkungan yang diberikan didasari dari Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang keselamatan radiasi pengan dan keamanan sumber radioaktif. Keselamatan radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Alternatif strategi pengelolaan lingkungan tentang keselamatan radiasi meliputi hal berikut:
  - (a) Persyaratan manajemen;
  - (b) Persyaratan proteksi radiasi;
  - (c) Persyaratan teknik;
  - (d) Verifikasi keselamatan; dan
  - (e) Sosialisasi dan pembelajaran secara berkesinambungan kepada masyarakat lokal tentang sistem atau manajemen keselamatan radiasi, pengetahuan tentang kenukliran, dan menjaga kebersihan sumur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, Mukhlis. (2003). *Pengantar Teknologi Nuklir*. Jakarta. Rineka Cipta.
- Ardianto, E.T. (2009). Paparan Radioaktivitas Alam Gamma dan Perkiraan Pengaruhnya Terhadap Kesehatan Manusia di Lereng Gunungapi Merapi. *Tesis*. Yogyakarta. Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Gadjah Mada.
- Aryuni, V.T. (2010). Kajian Kerentanan Pencemaran Airtanah Bebas (Studi Kasus di Daerah Resapan Air Potensi Sedang pada Lereng Merapi Bagian Selatan). *Tesis*. Yogyakarta. Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.
- Bronzovic, M., Marovic, G., dan Vrtar, M. (2006). Public Exposure Ra-226 In Drinking Water. *Original Scientific Paper*. Kroasia. Croatian Radiation Protection Association Arh Hig Rada Toksikol. 57:39-44.
- Giyatmi. (2003). Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit Dokter Sardjito Yogyakarta Terhadap Pencemaran Radioaktif. *Tesis*. Yogyakarta. Magister pengelolaan Lingkungan. Universitas Gadjah Mada.
- Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 02/Ka- BAPETEN/V-99 tentang Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan.
- Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pengan dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- Sejati, S. P. (2012). Kajian Potensi Airtanah di Lereng Selatan Gunungapi Merapi untuk Mencukupi Kebutuhan Air Domestik Pada Hunian Sementara. *Tesis*. Yogyakarta. Program Studi Geografi Universitas Gadjah Mada.



- UNSCEAR. (2000). Sources, effects and risks of ionization radiation. *Report to the General assembly, with Annexes*. New York.
- Vesterbacka, P. (2005). U-238 Series Radionuclides In Finish Groundwater-Based Drinking Water Effective Doses. *Disertasi*. Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam. Helsinki. Universitas Helsinki.
- Wardhana, W.A. 1995. *Radioekologi*. Yogyakarta: ANDI.
- Wirjosimin, S. 1995. *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*. Bandung. Institut Teknologi Bandung.