

ZONA PERMEABEL DI KAWAH GUNUNG PAPANDAYAN BERDASARKAN GAS RADON DAN THORON

Permeable Zone at Papandayan Crater Based on Radon and Thoron

Heri Nurohman, Hendra Bakti, Sri Indarto, Anita Yuliyanti, Andrie Al Kausar Abdulah, Haryadi Permana, dan Eddy Z. Gaffar

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

ABSTRAK Salah satu metode yang digunakan dalam kegiatan eksplorasi panasbumi adalah dengan memanfaatkan keberadaan gas radon alam. Dalam penelitian dilakukan pengukuran gas radon dan thoron di lokasi Gunung Papandayan karena daerah ini diduga memiliki potensi panas bumi yang tinggi. Kegiatan pengukuran dilakukan di sekitar kawah Gunung Papandayan dengan menggunakan alat Rad7 pada media tanah dan air. Lama pengukuran per titik adalah 15 menit pada kedalaman 75 cm dengan mode sniff. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi gas radon yang relatif tinggi, yang dapat diinterpretasikan sebagai keberadaan zona permeabel, berkaitan dengan adanya zona rekahan atau patahan. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi gas radon yang relatif tinggi di sekitar tebing kawah timur dan barat. Konsentrasi tersebut mencerminkan keberadaan zona permeabel, yang mungkin berasosiasi dengan patahan berarah baratdaya – timurlaut, dan juga keberadaan batas kaldera. Kemenerusan zona permeabel sampai ke bawah permukaan dianalisa berdasarkan rasio thoron/radon ($^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$). Rasio tinggi ditemukan (menunjukkan sumber radon dangkal) dipinggungan utara kawah Papandayan.

Kata kunci: Radon, Thoron, zona permeabel, panasbumi, Gunung Papandayan.

ABSTRACT One of the methods used in geothermal exploration is to take advantage of the presence of radon in nature. In this study, we measured radon and thoron in Papandayan Volcano area, which was assumed to have a high geothermal potential. Measurements were carried out in around the crater of the volcano by using Rad7 on soil and water. The duration of measurement in each point is 15 minutes at a depth of 75 cm with a sniff mode. The result indicated that the concentration of radon gas is relatively high. The high concentration might be interpreted as the permeable zone, which associated with the zone of faults or fractures. The results also showed relatively high concentrations of radon gas around the east and the west of the crater. This concentration reflects the presence of permeable zones that may be associated with the southwest trending fault - northeast and also the presence of the caldera boundary. The continuity of permeable zone below the surface was interpreted based on the thoron- radon ratio ($^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$). A high ratio (indicating the source of radon shallow) found in the northern ridge of the Papandayan crater.

Keywords: Radon, Thoron, permeable zone, geothermal, Papandayan Volcano.

PENDAHULUAN

Potensi panasbumi dapat diidentifikasi dari adanya manifestasi panasbumi yang muncul di permukaan. Salah satu pengontrol munculnya manifestasi tersebut adalah keberadaan media keluarnya atau zona permeabel (Hochstein dan Browne, 2000). Struktur geologi berupa patahan atau zona rekahan adalah salah satu indikasi zona permeabel yang merupakan aspek penting untuk eksplorasi panasbumi. Keberadaannya merupakan jalur untuk proses migrasi fluida panasbumi (Soengkono, 1999). Keberadaan zona permeabel tersebut dapat dideteksi dengan memanfaatkan

Naskah masuk : 12 Februari 2016
Naskah direvisi : 08 April 2016
Naskah diterima : 01 September 2016

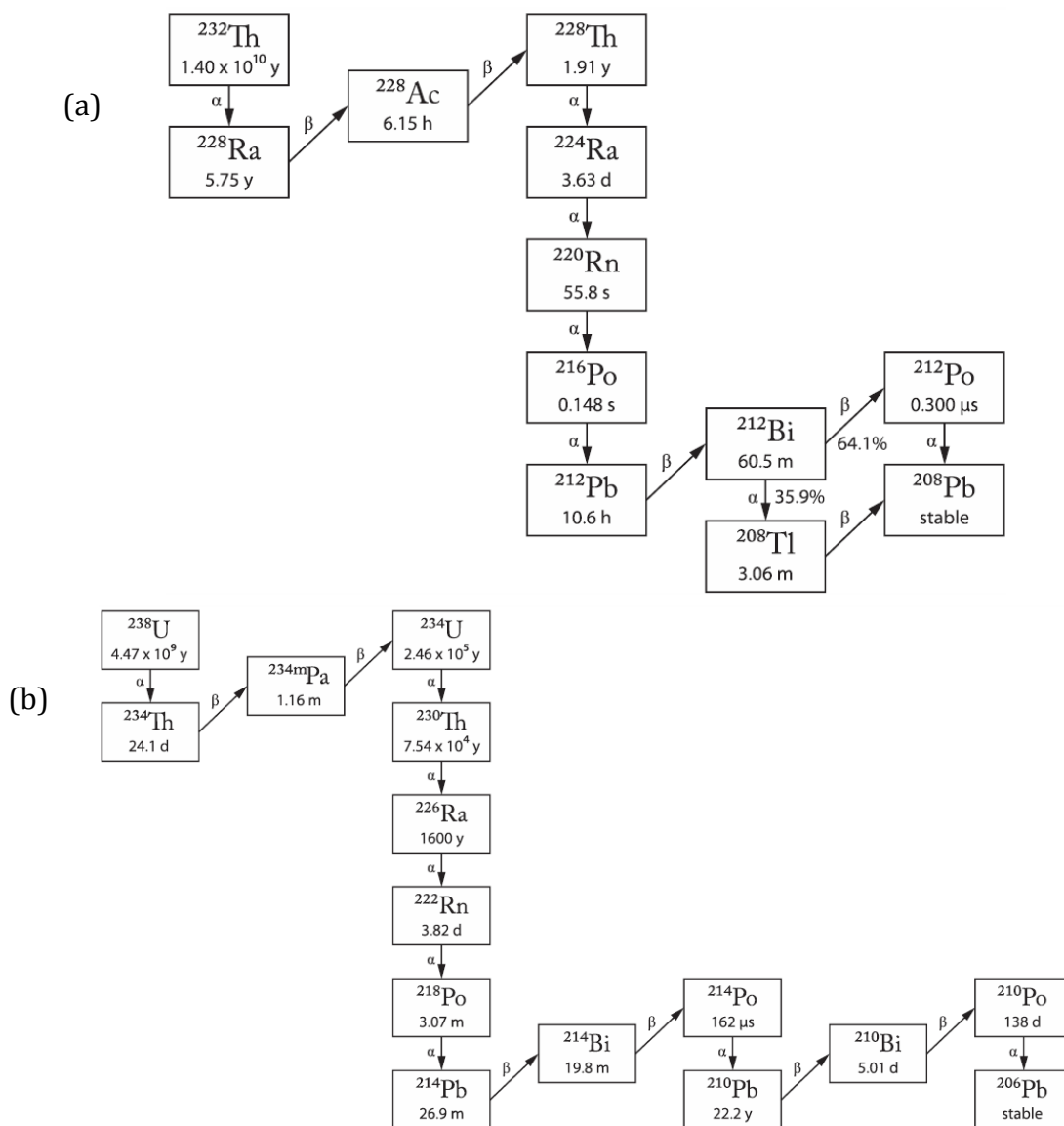
Heri Nurohman
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI Gd. 70, Jl Sangkuriang Bandung 40135
Email : heri.nurohman@yahoo.com

©2016 Pusat Penelitian Geoteknologi
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

keberadaan gas radon di alam. Radon merupakan salah satu gas radiogenik yang termasuk dalam golongan gas mulia (VIIIA) pada tabel sistem periodik unsur, memiliki nomor atom 86 dan massa relatif atom 222 dengan waktu paruh 3,82 hari. Sedangkan thoron (^{220}Rn) memiliki waktu paruh yang lebih sedikit yaitu 55,6 detik (Gambar 1).

Penelitian gas radon untuk bidang panasbumi atau vulkanologi telah banyak dilakukan. Belin (1959) melakukan pengukuran gas radon di lapangan

panasbumi di New Zealand pada media air. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa konsentrasi gas radon pada media air dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain pH dan temperatur air, kekuatan paparan radiasi dari batuan, perbedaan tingkat pelarutan batuan oleh air, perbedaan tingkat peresapan elemen radioaktif, luas permukaan yang terbuka oleh munculnya kolam air, dan kecepatan pemisahan gas radon dengan gas lainnya. Menurut Lombardi *et al.* (1993), fluktuasi nilai radon juga dipengaruhi oleh faktor-



Gambar 1. (a) Rantai peluruhan thorium-232, gas thoron (^{220}Rn) menjadi bagian dalam rangkaian tersebut. (b) Rantai peluruhan uranium-238, gas radon (^{222}Rn) menjadi bagian dalam rangkaian tersebut (Ishimori *et al.*, 2013).

faktor meteorologi seperti hujan, yang dapat mempengaruhi nilai konsentrasi radon terukur. Konsentrasi radon tinggi juga dapat memberikan informasi keberadaan patahan atau rekahan yang berhubungan dengan zona permeabel (Cox, 1980; Whitehead, 1984; Roba *et al.*, 2012; Balcazar *et al.*, 2014; Jolie *et al.*, 2015).

Pengukuran gas thoron biasa dilakukan bersamaan dengan pengukuran gas radon. Menurut Giammanco *et al.* (2007) dan Haerudin *et al.* (2013), pengukuran tersebut dapat digunakan untuk membandingkan konsentrasi gas thoron dan gas radon terukur berdasarkan perbedaan waktu paruh (thoron 55,6 detik, radon 3,82 hari). Waktu paruh yang lebih singkat memungkinkan thoron untuk terukur dalam konsentrasi yang lebih sedikit dari konsentrasi radon. Namun, kedalaman sumber gas radon dan thoron tersebut belum bisa dihitung secara pasti berdasarkan konsentrasi tersebut. Rasio tersebut dapat digunakan untuk interpretasi kedalaman sumber radon.

Beberapa manifestasi panasbumi muncul di sekitar kawah Gunung Papandayan berupa batuan alterasi hidrotermal, fumarol, dan mata air panas. Menurut Mazot *et al.* (2008), mata air panas di sekitar kawah Papandayan termasuk tipe air sulfat-klorida dan air sulfat. Berdasarkan peta geologi (Alzwar *et al.*, 1992), terdapat dua struktur geologi yang memotong kawah Gunung Papandayan dengan arah baratdaya – timurlaut (Gambar 2). Keberadaan struktur geologi ini menjadi salah satu faktor pendorong dilakukannya penelitian di sekitar kawah Gunung Papandayan.

Keberadaan struktur geologi tersebut dapat diidentifikasi dengan memetakan sebaran gas radon. Nilai radon yang lebih tinggi dimungkinkan berasosiasi dengan struktur geologi yang ada (Cox, 1959; Whitehead, 1984; Roba *et al.*, 2012; Balcazar *et al.*, 2014; dan Jolie *et al.*, 2015). Sedangkan untuk mengidentifikasi kemenerusan struktur geologi ke bawah permukaan dilakukan dengan menghitung rasio thoron/radon (Giammanco *et al.*, 2007; Haerudin *et al.*, 2013).

LOKASI PENELITIAN

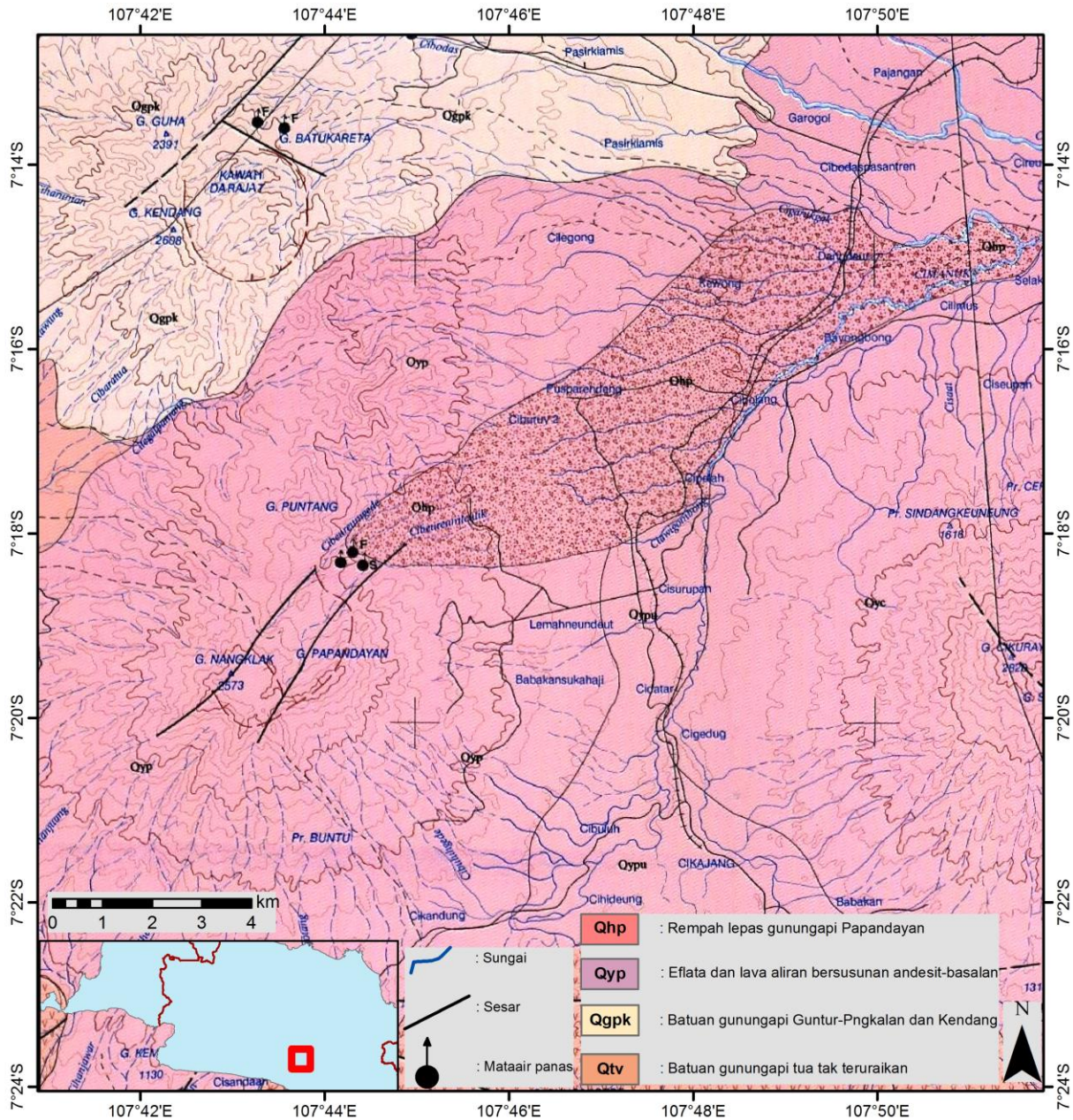
Gunung Papandayan merupakan salah satu gunungapi aktif yang terletak di Jawa Barat (Kabupaten Bandung dan Garut). Koordinat lokasi

penelitian adalah $107^{\circ}43' - 107^{\circ}45'$ dan $7^{\circ}18'00''$ LS – $7^{\circ}19'50''$ LS (Gambar 2).

Dari data Citra Landsat 8, DEM SRTM, dan peta geologi lembar Garut-Pamengpeuk (Alzwar *et al.*, 1992) terdapat kenampakan pola melingkar (*circular feature*) dengan diameter 0,63 km yang diinterpretasikan sebagai kawah kecil dan bentuk setengah lingkaran sebagai batas kawah besar Gunung Papandayan. Struktur geologi di sekitar kawah Gunung Papandayan ditunjukkan dengan dua garis putih berarah baratdaya – timurlaut. Jarak antara kedua struktur geologi tersebut $\pm 0,807$ km. Keduanya memotong kawah besar Gunung Papandayan dan searah endapan hasil letusan gunung tersebut. Di bagian utara struktur geologi yang memotong kawah Gunung Papandayan terdapat kenampakan punggungan yang memanjang sejajar struktur geologi dengan panjang $\pm 3,96$ km.

METODE

Penelitian dilakukan di sekitar kawah Gunung Papandayan dengan luas area ± 1 km². Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra penginderaan jauh dan data pengukuran langsung di lapangan. Data citra yang digunakan adalah citra landsat 8 *path/row* 122/065 (USGS, 2014) dan *Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission (DEM SRTM) S08-E107* (USGS, 2013) yang diolah menggunakan software ArcGIS. Data landsat memberikan informasi tutupan lahan dan difokuskan pada lokasi yang terdapat indikasi alterasi hidrotermal. Sedangkan data DEM SRTM memberikan informasi kondisi geomorfologi secara lebih tegas. Informasi dari kedua data citra tersebut digunakan sebagai acuan penentuan sebaran titik pengukuran gas radon. Pengukuran gas radon dilakukan di beberapa lokasi yang memiliki indikasi sesar, di sekitar lokasi munculnya mata air panas dan fumarol, dan di bagian luar kawah sebagai lokasi pembanding. Lokasi dengan indikasi patahan adalah target untuk konsentrasi radon tinggi, sedangkan lokasi dengan tutupan zona alterasi hidrotermal adalah target sebaliknya. Pengukuran gas radon dan thoron secara insitu dilakukan sebanyak 36 titik pada media tanah. Lima (5) titik diantaranya dilakukan pengukuran gas radon pada media air panas. Pengambilan sampel air panas dilakukan dengan menggunakan botol gelas ukuran 40 ml dan 250 ml.



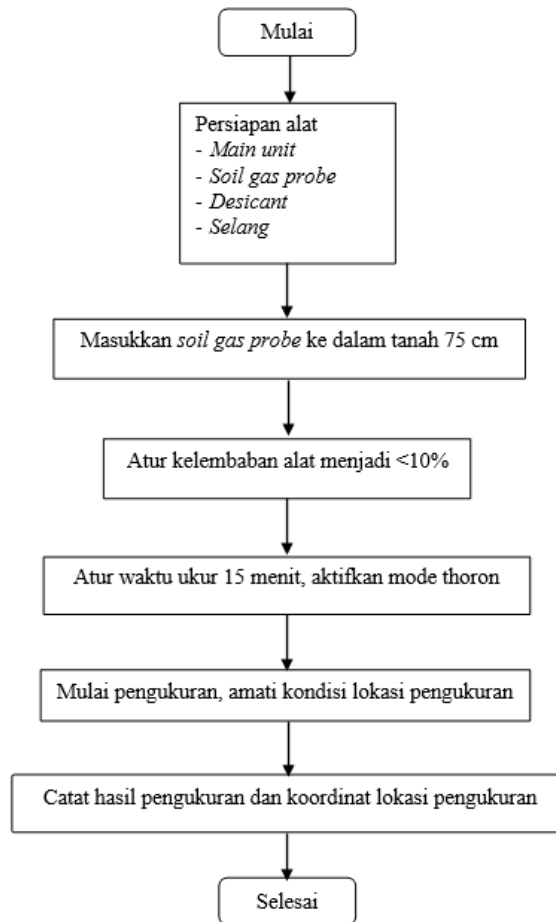
Gambar 2. Peta geologi lokasi penelitian menurut Alzwar *et al.* (1992).

Pengukuran gas radon dan thoron secara insitu dilakukan dengan menggunakan alat *Rad7 radon detector*. Rangkaian alat ukur radon terdiri dari tongkat besi (*soil gas probe*) – selang silikon – *desicant* (berisi silika ukuran kerikil) dan langsung tersambung pada alat pembaca konsentrasi radon (*main unit*). Sebelum pengukuran radon dilakukan, kelembaban alat diatur sampai < 10%. Pengukuran gas radon secara insitu pertitik dilakukan dengan durasi 15 menit, pada kedalaman 75 cm. Diagram alir pengukuran gas radon dapat dilihat pada Gambar 3. Analisis

statistik deskriptif dilakukan dengan perangkat lunak Microsoft Excel untuk pengolahan data hasil pengukuran radon dan thoron.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan sebaran titik ukur gas radon di sekitar kawah Gunung Papandayan. Warna abu-abu pada Gambar 4a menunjukkan adanya alterasi di sekitar kawah Gunung Papandayan yang didominasi oleh mineral lempung (argilik). Beberapa fumarol muncul di sekitar zona alterasi tersebut.



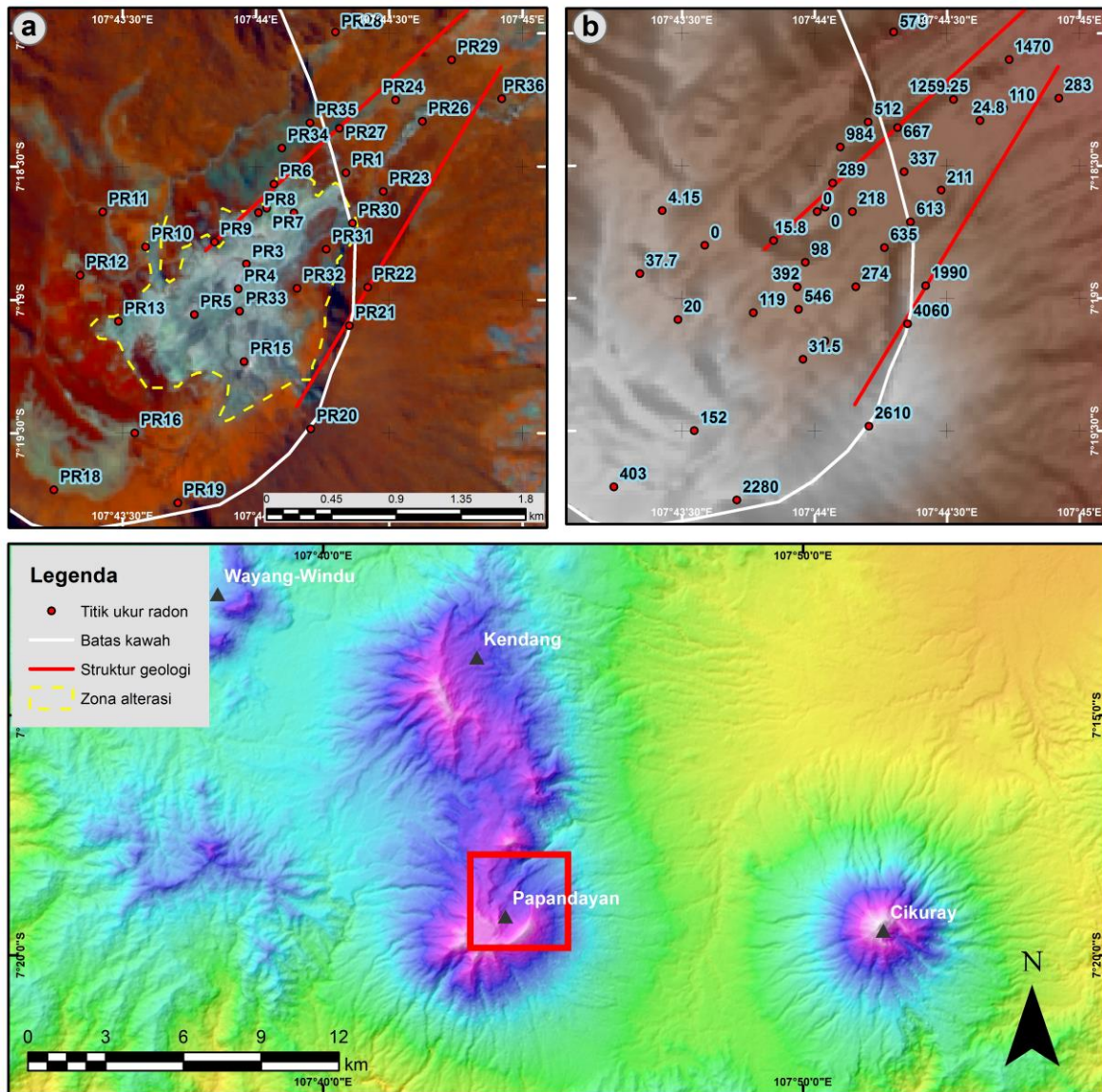
Gambar 3. Diagram alir pengukuran gas radon di lapangan

Hasil pengamatan di lapangan juga menunjukkan adanya tanda-tanda struktur geologi (sesar) di bagian timur kawah Gunung Papandayan, punggungan yang memanjang dengan arah baratdaya-timurlaut dan pola melingkar di bagian baratnya (Gambar 4b).

Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi gas radon sebesar 0 – 4060 Bq/m³. Variasi data konsentrasi radon Gunung Papandayan dapat dilihat pada Gambar 5 dalam bentuk grafik. Nilai radon rendah (<879,29 Bq/m³) mendominasi bagian kawah Gunung Papandayan (Gambar 5).

Sedangkan nilai radon tinggi (879,29 – 1449,12 Bq/m³) mendominasi bagian tebing Papandayan yang terindikasi sesar dan batas kawah (Gambar 6). Beberapa lokasi menunjukkan nilai yang lebih besar yang disebut sebagai anomali.

Pengukuran gas thoron dilakukan bersamaan dengan pengukuran gas radon pada media tanah secara insitu. Hasil pengukuran menunjukkan variasi nilai dari 0 – 2210 Bq/m³. Rasio thoron dan radon dihitung pada setiap titik ukur kemudian dibuat peta konturnya. Gambar 7 menunjukkan peta rasio thoron/radon yang dikombinasi dengan data citra Landsat 8. Terdapat dua lokasi dengan rasio thoron/radon tinggi (153-225,41). Lokasi tersebut digambarkan dengan kontur rapat dan simbol warna kuning-merah. Rasio rendah tersebut mengindikasikan gas radon berasal dari sumber dangkal (Giammanco *et al.*, 2007; Haerudin *et al.*, 2013). Lokasi lainnya memiliki rasio relatif rendah (0-10,48) dibandingkan rasio pada kedua lokasi tersebut yang menggambarkan gas radon berasal dari sumber relatif dalam (Giammanco *et al.*, 2007; Haerudin *et al.*, 2013).



Gambar 4. Hasil pengolahan citra landsat dan DEM yang menunjukkan a) adanya zona alterasi (warna abu-abu yang dibatasi garis kuning putus-putus) dan b) kondisi geomorfologi kawah Gunung Papandayan.

Nilai konsentrasi radon dan thoron di sekitar Gunung Papandayan menunjukkan variasi cukup besar dengan interval nilai 4059 Bq/m³ untuk radon dan 2210 Bq/m³ untuk thoron. Konsentrasi Radon tinggi digunakan untuk indikasi adanya rekahan atau struktur geologi di sekitarnya (Cox, 1980; Whitehead, 1984; Rodriguez *et al.*, 2008; Szabo *et al.*, 2013, dan Jolie *et al.*, 2015).

Hasil identifikasi berdasarkan data Landsat 8, DEM SRTM dan peta geologi regional menunjukkan pola rekahan dari struktur geologi dan kawah besar dengan bentuk setengah lingkaran di sekitar Gunung Papandayan (Gambar

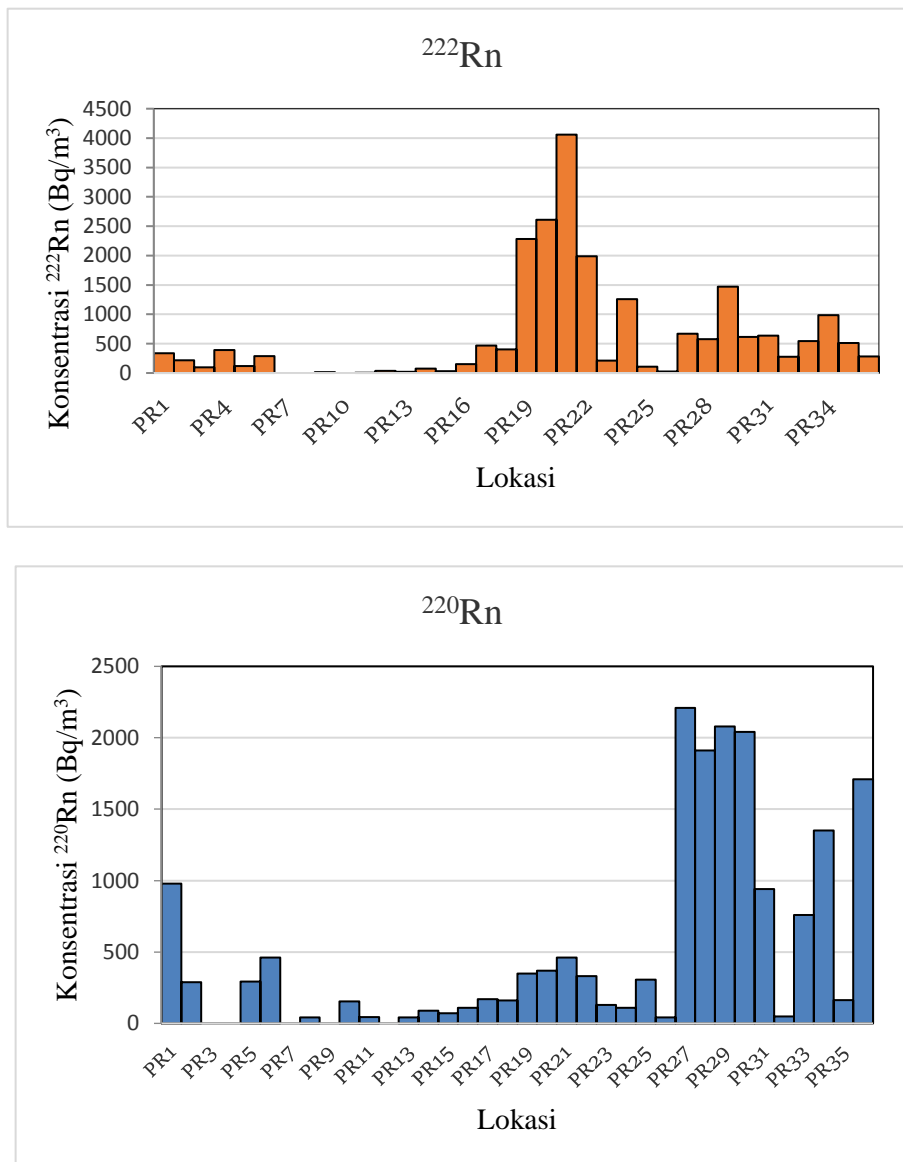
6). Terdapat 2 (dua) kemungkinan struktur geologi yang sejajar dengan arah baratdaya – timur laut. Struktur geologi di tebing timur menunjukkan nilai radon yang lebih tinggi dari struktur geologi di bagian barat. Hal itu dimungkinkan oleh adanya punggungan yang menutup struktur geologi di bagian barat sehingga media keluarnya radon menjadi lebih rapat daripada rekahan/struktur geologi di tebing timur (Gambar 6). Beberapa lokasi disekitar kawah Papandayan menunjukkan konsentrasi radon rendah <879,29 Bq/m³ (Gambar 5). Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh adanya zona alterasi argilik yang didominasi oleh mineral lempung seperti yang terlihat pada Gambar 8.

Keberadaan mineral lempung tersebut menutup media-media keluarnya gas radon sehingga konsentrasi gas yang terukur menjadi kecil. Menurut Voltatorni *et al.* (2010), mineral lempung bisa menjadi penghalang dalam mobilisasi gas ke permukaan.

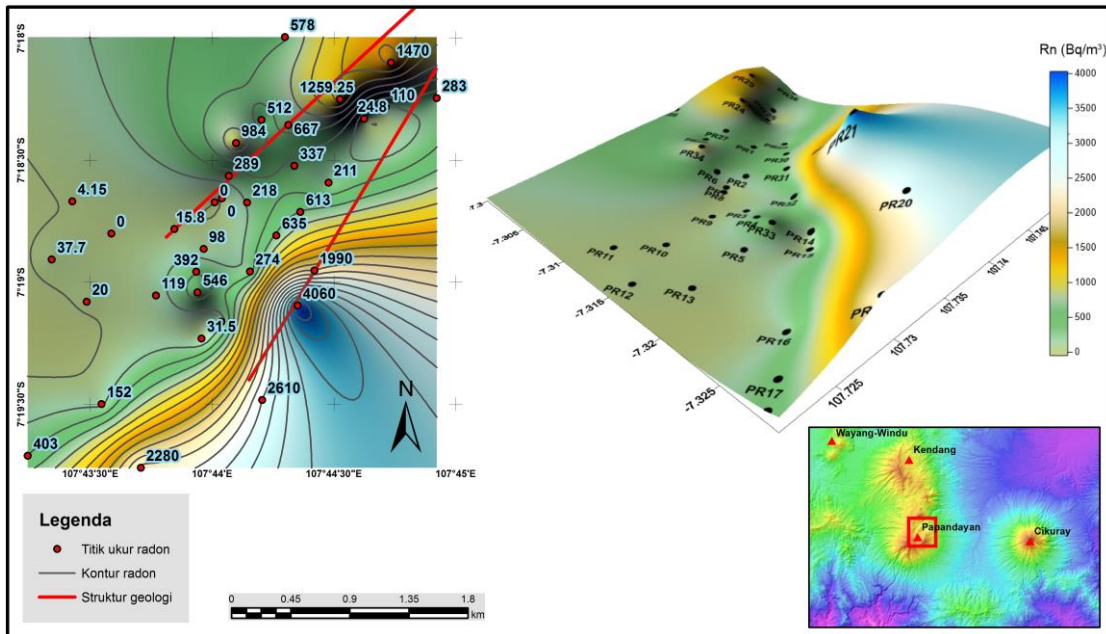
Anomali radon juga telah dilaporkan di beberapa lapangan panasbumi. Setiap lokasi menunjukkan nilai anomali yang berbeda-beda. Anomali gas radon di sekitar Gunung Papandayan >1449,12 Bq/m³. *The Leyte Geothermal Production Field,*

Philippines (Mismanos dan Vasquez, 2015) menunjukkan nilai anomali > 3098 Bq/m³ di area produksi, dan > 8224 Bq/m³ di area injeksi.

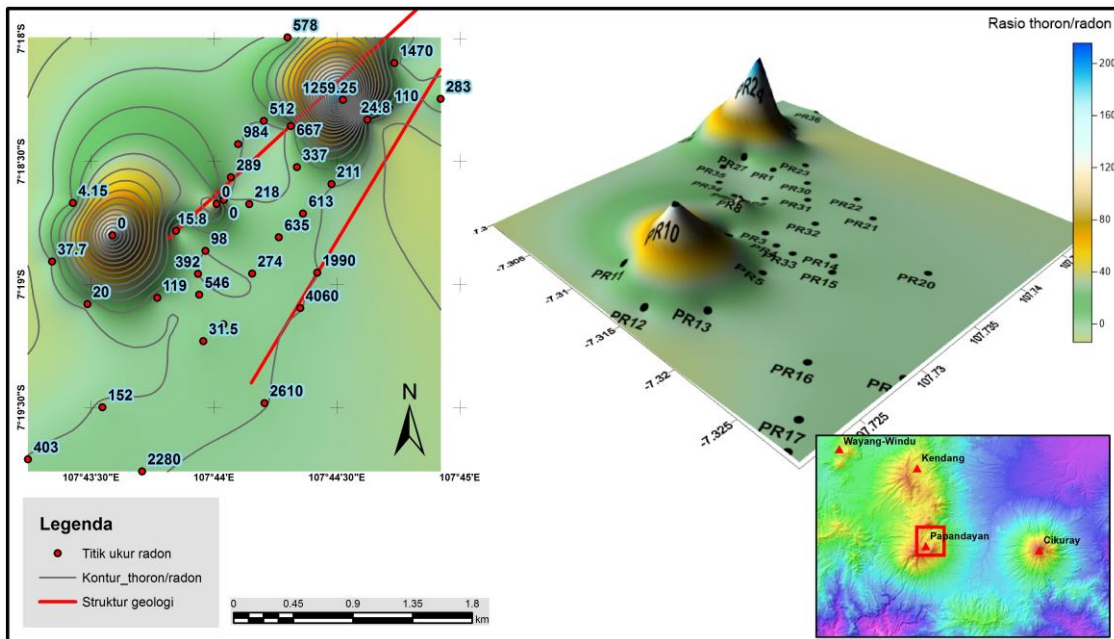
Anomali tersebut umumnya dijumpai pada perpotongan struktur geologi atau segmen yang memiliki permeabilitas tinggi berdasarkan laporan pemboran sebelumnya. Balcazar *et al.*, 2014, melaporkan bahwa *Los Azufres Geothermal Field* memiliki nilai radon yang sangat tinggi yaitu di atas 34730 Bq/m³.



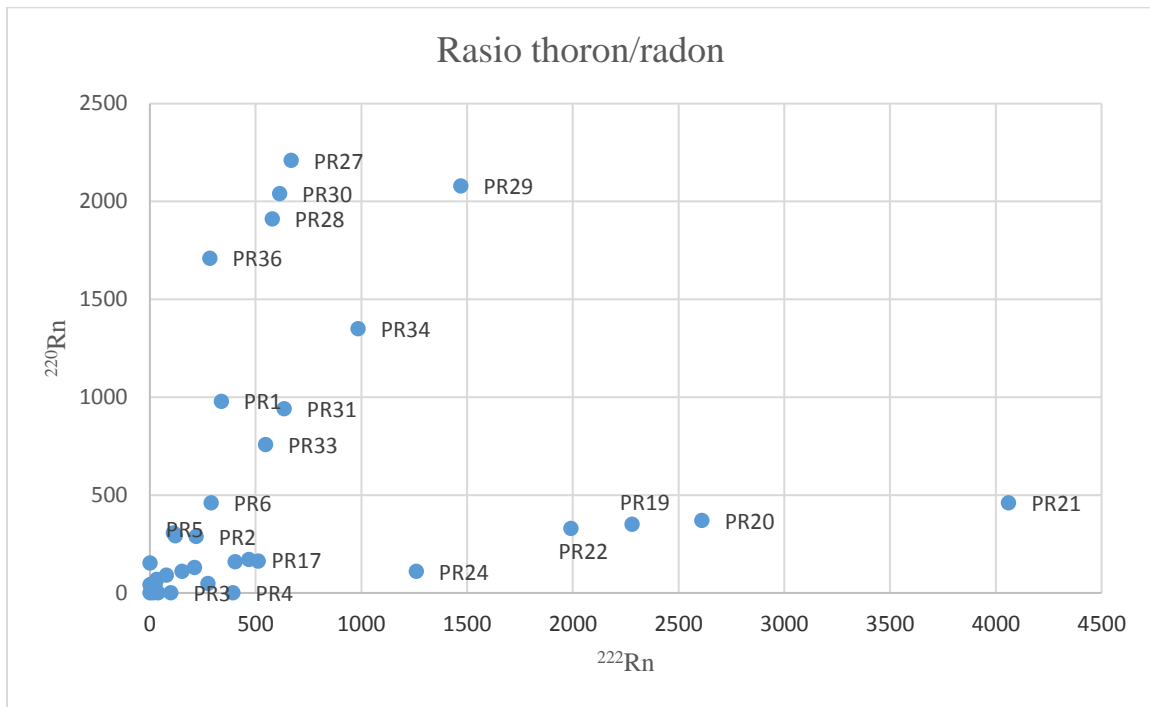
Gambar 5. Grafik variasi konsentrasi radon (²²²Rn) dan thoron (²²⁰Rn) di sekitar kawah Gunung Papandayan. PR19-PR22 menunjukkan nilai radon relatif lebih tinggi dari lokasi lainnya yang kemungkinan disebabkan oleh patahan yang berada di sekitar lokasi tersebut. Sedangkan konsentrasi thoron di PR27-PR30 relatif lebih tinggi dari lokasi lainnya yang kemungkinan disebabkan oleh keberadaan sumber gas yang relatif dangkal.



Gambar 6. Peta konsentrasi radon di Papandayan. Indikasi struktur geologi ditandai dengan garis merah (kiri) dan lingkaran merah (kanan). Konsentrasi radon rendah – tinggi ditunjukkan dengan gradasi warna hijau – biru.



Gambar 7. Rasio thoron dan radon di sekitar Gunung Papandayan. Gradasi hijau – biru menunjukkan rasio thoron/radon rendah – tinggi.



Gambar 8. Grafik rasio thoron/radon di sekitar kawah Gunung Papandayan.

Hasil penelitiannya telah dikomparasi dengan studi resistivitas dan menunjukkan adanya korelasi positif antara radon tinggi dengan aktivitas panasbumi. Anomali konsentrasi gas radon yang muncul di sekitar kawah Gunung Papandayan kemungkinan memberikan gambaran yang mirip dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya di lokasi lain (*The Leyte Geothermal Production Field, Philippines* dan *Los Azufres Geothermal Field*). Anomali tersebut umumnya berhubungan dengan zona permeabel yang memungkinkan gas radon untuk muncul ke permukaan dalam konsentrasi tinggi (>1449,12 Bq/m³ di sekitar kawah Gunung Papandayan).

KESIMPULAN

Pengukuran gas radon di sekitar kawah Papandayan memberikan gambaran zona permeabel yang ditunjukkan oleh nilai konsentrasi radon tinggi (>1449,12 Bq/m³). Zona permeabel di sekitar kawah Papandayan berhubungan dengan keberadaan batas kawah dan sesar. Nilai radon rendah (<879,29 Bq/m³) di sekitar kawah Papandayan kemungkinan dipengaruhi oleh adanya alterasi argilik permukaan yang didominasi oleh mineral lempung. Berdasarkan rasio thoron/radon yang relatif tinggi (153-225,41), terdapat indikasi sumber radon dangkal

di sekitar punggung utara kawah Papandayan. Sumber dangkal tersebut kemungkinan berimplikasi kepada kemenerusan struktur geologi yang tidak terlalu dalam ke bawah permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pengukuran gas radon di sekitar Gunung Papandayan merupakan bagian dari kegiatan penelitian kompetensi inti dengan sumber dana DIPA 2015 Puslit Geoteknologi LIPI. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kuasa Pengguna Anggaran Puslit Geoteknologi LIPI. Terima kasih kami ucapkan kepada Sri Yudawati Cahyarini atas sumbangan saran dan masukan dalam tulisan ini. Terima kasih kami ucapkan kepada Hapid, Tarman, dan Irwan atas bantuan selama kegiatan penelitian di lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pengelola objek wisata alam Gunung Papandayan atas izin yang diberikan selama kegiatan penelitian, dan juga kepada pihak-pihak yang telah memberikan saran dan masukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alzwar, M., Akbar, N., dan Bachri, S., 1992. Peta Geologi Lembar Garut dan Pamengpeuk, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.

- Balcazar, M., Lopez, A., Flores, M., dan Huerta, M. 2014. Natural Radiation Contribution to Renewable Energy Searching. 14 International Symposium on Solid State Dosimetry, Mexico: Sociedad Mexicana de Irradiacion y Dosimetria.
- Belin, R.E., 1959. Radon in The New Zealand Geothermal Region. *Geochimica et cosmochimica*, 16, 181 - 191.
- Cox, M.E. 1980. Ground Radon Survey of A Geothermal Area In Hawaii. *Geophysical Research Letters*, 7(4), 283-286.
- Giammanco, S., Sims, K.W.W., dan Neri, M. 2007. Measurements of ^{220}Rn and ^{222}Rn and CO_2 emissions in soil and fumarole gases on Mt. Etna volcano (Italy): Implications for gas transport and shallow ground fracture. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 8, Q10001. DOI: 10.1029/2007GC001644.
- Haerudin, N. Wahyudi, dan Suryanto, W. 2013. Radon and thoron analysis of soil gas survey case study of Rajabasa geothermal field. *AIP Conf. Proc.* 1554, 218. DOI: 10.1063/1.4820324.
- Hochstein, M.P., dan Browne, P.R.L. 2000. Surface Manifestations of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources. *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press A Harcourt Science and Technology Company.
- Ishimori, Y., Lange, K., Martin, P., Mayya, Y.S., Phaneuf, M. 2013. Measurement and Calculation of Radon Release from Norm Residues. *International Atomic Energy Agency, Viena*. STI/DOC/010/474
- Jolie, E., Klinkmueller, M., dan Moeck, I., 2015. Diffuse surface emanations as indicator of structural permeability in fault-controlled geothermal systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 290, 97–113.
- Lombardi, S., Pinti, D.L., Rossi, U., dan Fiordelisi, A. 1993. ^{222}Rn In Soil Gases at Latera Geothermal Field: A Preliminary Case History. *Geologica Romana*, 29, 391-399.
- Mazot, A., Bernard, A., Fischer, T., Inguaggiato, S., dan Sutawijaya, I.S. 2008. Chemical Evolution Of Thermal Waters and Changes In The Hydrothermal System of Papandayan Volcano (West Java, Indonesia) After the November 2002 Eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178, 276–286.
- Mismanos, J.W. dan Vasquez, A. A., 2015. Scouting for Permeable Structures in Geothermal Systems Using Soil Gas Radon. *Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia*
- Roba, C.A., Nita, D., Cosma, C., Codrea, V., dan Olah, S. 2012. Correlations between radium and radon occurrence and hydrogeochemical features for various geothermal aquifers in Northwestern Romania. *Geothermics* 42, 32–46.
- Rodriguez, A., Torres, Y., Chavarria, L., Molina, F. 2008. Soil Gas Radon Measurements as A Tool to Identify Permeable Zones at Las Pailas Geothermal Area, Costa Rica. 30th Anniversary Workshop August 26-27, 2008, United Nations University
- Soengkono, S. 1999. Te Kopia geothermal system (New Zealand) - the relationship between its structure and Extent. *Geothermics* 28, 767-784.
- Szabo, K. Z., Jordan, G., Horvath, A., Szabo, C. 2013. Dynamics of soil gas radon concentration in a highly permeable soil based on a long-term high temporal resolution observation series. *Journal of Environmental Radioactivity* 124, 74-83
- United State Geological Survey. 2013. Citra Landsat LC81220652013221LGN00. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov>. US Department of Interior (download 25 Agustus 2014).
- United State Geological Survey. 2014. DEM STRM 1 Arch second Jawa Barat bagian selatan. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov>. US Department of Interior (download 30 Januari 2015).
- Whitehead, N. E. 1984. Geothermal Prospecting by Ground Radon Measurements. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 20, 213-229.