

Identifikasi Gerakan Partikel Air Panas Berdasarkan Analisis Mikrotremor di Mata Air Panas Bukit Kili dan Garara, Kabupaten Solok

Muhammad Khaikal Marbun, Ahmad Fauzi Pohan*

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163

Info Artikel	ABSTRAK
<p>Histori Artikel: Diajukan: 21 Januari 2023 Direvisi: 15 Mei 2023 Diterima: 19 Februari 2024</p>	<p>Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode mikrotremor di mata air panas Bukit Kili dan Garara, Kabupaten Solok, Sumatera Barat untuk mengetahui nilai frekuensi dominan, pola aliran fluida panas, kandungan fluida manifestasi, dan temperatur reservoir. Untuk mengetahui nilai frekuensi dominan dari getaran tanah, digunakan metode mikrotremor dengan melakukan pengukuran getaran mikro pada tanah di sekitar sumber mata air panas dengan sensor <i>geophone</i>. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) di mata air panas Bukit Kili dan Garara berturut-turut yaitu 0,65 Hz dan 0,75 Hz. Gerakan partikel fluida panas di mata air panas Bukit Kili terpusat atau tidak ada arah gerak dominan. Sedangkan di mata air panas Garara, gerak dari partikel tegak lurus ke arah permukaan tanah. Berdasarkan data kandungan mineral fluida panas didapatkan bahwa kedua daerah mata air panas merupakan zona <i>outflow</i>.</p>
<p>Kata kunci: Fluida Frekuensi dominan Mikrotremor Panas bumi</p>	<p><i>Research has been carried out using the microtremor method in the Bukit Kili and Garara hot springs, Solok Regency, West Sumatra, to determine the dominant frequency value, hot fluid flow pattern, manifest fluid content, and reservoir temperature. To find out the chief frequency value of ground vibrations, the microtremor method is used by measuring micro-vibrations in the soil around hot springs with a geophone sensor. Based on the research that has been done, the dominant frequency (f_0) value in the Bukit Kili and Garara hot springs is 0.65 Hz and 0.75 Hz, respectively. The movement of hot fluid particles in the Bukit Kili hot springs is concentrated or there is no dominant direction of motion. Meanwhile, in the Garara hot springs, the motion of the particles is perpendicular to the ground surface. Based on the mineral content data of the hot fluid, it was found that the two hot spring areas are outflow zones.</i></p>
<p>Keywords: Fluid Dominant frequency Microtremor Geothermal</p>	
<p>Penulis Korespondensi: Muhammad Khaikal Marbun Email: ahmadfauzipohan@sci.unand.ac.id</p>	

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Pulau Sumatera merupakan bagian dari Kepulauan Indonesia yang terletak pada zona subduksi antara dua lempeng, yaitu Lempeng Indo-Australia di sebelah selatan dan Lempeng Eurasia di sebelah utara. Subduksi dari kedua lempeng ini mengakibatkan Pulau Sumatra menjadi salah satu lokasi yang memiliki aktivitas seismik dan vulkanik paling aktif. Dampak dari aktivitas seismik adalah terbentuknya patahan yang memanjang dari ujung utara Sumatra (Aceh) hingga ke ujung Selatan Sumatra (Lampung) yang disebut dengan Patahan Semangko dan terbentuknya 19 segmen, 7 diantaranya berada di Sumatera Barat. Sedangkan dampak dari aktivitas vulkanik menjadikan Pulau Sumatera memiliki 15 gunung api, 3 diantaranya berada di Sumatera Barat yaitu Gunung Talang, Gunung Marapi, Gunung Tandikat. Aktivitas vulkanik ini menimbulkan adanya manifestasi panas bumi berupa tanah hangat, tanah beruap, mata air panas atau hangat, kolam air panas, danau air panas, fumarol, geysir, kolam lumpur panas, silika senter dan batuan alterasi (Aulia *et al.*, 2022). Salah satu dari manifestasi permukaan berada di Kabupaten Solok yaitu sumber mata air panas. Adanya sistem hidrotermal disebabkan oleh larutan hidrotermal bersirkulasi secara lateral dan vertikal pada suhu dan tekanan yang berbeda memunculkan manifestasi permukaan (Qodri dan Putra, 2018). Manifestasi permukaan menunjukkan keberadaan energi panas bumi di bawah permukaan bumi. Untuk mengetahui keberadaan energi panas bumi di suatu tempat, terlebih dahulu dilakukan eksplorasi.

Eksplorasi panas bumi merupakan rangkaian kegiatan yang meliputi penyelidikan geologi, geofisika, geokimia, pengeboran uji, dan pengeboran sumur eksplorasi (Gupta dan Roy, 2006). Eksplorasi bertujuan untuk memperoleh dan menambah informasi kondisi geologi bawah permukaan guna menemukan dan mendapatkan perkiraan potensi panas bumi. Untuk mengetahui kondisi aliran fluida bawah permukaan digunakan metode geofisika (Shofa *et al.*, 2014) seperti metode mikrotremor, metode gravitasi, metode magnetik, dan metode elektrik. Pada penelitian ini, metode yang digunakan berupa mikrotremor.

Mikrotremor adalah getaran tanah yang sangat minim dengan intensitas yang terus menerus dan ditimbulkan dari berbagai macam sumber getaran, diantaranya berasal dari aktivitas mesin pabrik, lalu lintas kendaraan, pembangunan konstruksi, dan sebagainya (Widyawarman dan Fauzi, 2020). Mikrotremor memiliki frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempabumi. Penggunaan metode mikrotremor dalam eksplorasi bawah permukaan dilakukan untuk mendapatkan gambaran kondisi bawah permukaan dengan memanfaatkan sumber getaran alami. Pada daerah penelitian, getaran alami bersumber dari gempa mikro dari dalam tanah. Getaran dari gempa mikro tersebut dapat menyebabkan tanah disekitarnya beresonansi. Perekaman mikrotremor yakni *array based (f-k methods, SPAC/Spacial Auto Correlation dan Refraction Microtremor)* dan *HVSR/Nakamura Methods* (Arinalofa *et al.*, 2020). Metode yang digunakan dalam analisis mikrotremor adalah metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)*.

Metode HVSR merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menghitung rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor (Iswanto *et al.*, 2019). Penelitian analisis mikrotremor dengan metode HVSR pernah dilakukan di kawasan Gunung Slamet, Jawa Tengah oleh Lumbanraja dan Sri Brotopuspito (2017) dengan hasil yaitu frekuensi dominan rata-rata 2,0 Hz dan 3,1 Hz pada rentang bulan Juli-Oktober. Sedangkan pola gerak partikel (*particle motion*) dominan dari aliran magma bergerak dengan sudut 0° hingga sekitar 30° . Penelitian dengan metode yang sama juga pernah dilakukan oleh (Arinalofa *et al.*, 2020) di kawasan Panas Bumi Diwak dan Derekan dengan hasil yaitu frekuensi dominan berkisar antara 0,08 Hz sampai dengan 9,29 Hz dan di daerah penelitian terdapat zona *outflow*.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data terletak di sekitar sumber mata air panas Bukit Kili, Nagari Koto Baru, Kecamatan Kubung dan di sekitar mata air panas Garara, Nagari Cupak, Kecamatan Gunung Talang, Kabupaten Solok yang terletak pada koordinat $00^{\circ} 32' 14'' - 01^{\circ} 46' 45''$ LS dan $100^{\circ} 25' 00'' - 101^{\circ} 41' 41''$ BT. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini *geophone* untuk menerima gelombang seismik dari tanah, data logger untuk mengubah data analog menjadi data digital, kabel penghubung untuk menghubungkan *geophone* dengan data logger, dan laptop untuk menyimpan hasil rekaman

gelombang seismik. Perangkat lunak yang digunakan yaitu DataQ untuk akuisisi data, Microsoft Excel untuk pengolahan data, Geopsy digunakan untuk menganalisis sinyal mikrotremor (*ambient noise*) dilakukan berdasarkan *cutting* data atau memilih sinyal tanpa *noise* sehingga diperoleh kurva *H/V*, termometer sebagai pengukur suhu dari sampel mata air panas, dan *Google Earth* digunakan untuk memperkirakan kondisi lokasi terutama topografi daerah penelitian dan menentukan titik pengambilan data sekaligus membuat desain survei.

Pengambilan data dilakukan sekitar 2 jam di kawasan mata air panas Bukit Kili dan Garara dengan *software* DataQ. Pengukuran nilai frekuensi dari sinyal mikrotremor menggunakan sensor *geophone* berjumlah 3 buah yang masing-masing mengukur sinyal getar pada komponen vertikal, komponen horizontal arah barat-timur, dan komponen horizontal arah utara-selatan.

2.2 Pengolahan Data

Data yang didapatkan dari lapangan belumlah berupa data yang menunjukkan nilai frekuensi. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu konversi terhadap data lapangan tersebut dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Data tersebut harus melewati beberapa proses, antara lain mengkonversi data domain waktu ke domain frekuensi menggunakan Geopsy. Kemudian dilakukan proses *cutting* yang bertujuan untuk memotong data *noise*. Setelah proses *cutting*, data tersebut diolah dengan Geopsy untuk pemodelan/inversi kurva HVSR.

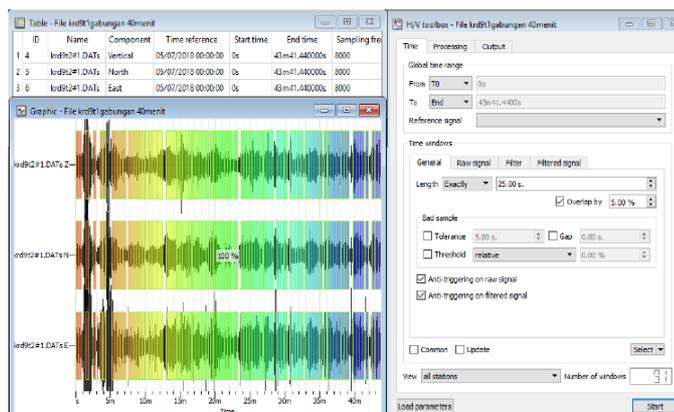
2.3 Analisis Data

Setelah dilakukan tahapan pengolahan data, maka akan diperoleh hasil berupa nilai frekuensi dominan dari inversi kurva HVSR serta pola gerakan aliran fluida panas bawah permukaan. Dalam penelitian ini akan dianalisis juga temperatur dan kandungan kimia dari air panas guna memvalidasi apakah daerah dari fluida panas tersebut merupakan zona *upflow* atau *outflow*.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Frekuensi Dominan

Perekaman getaran pada air panas bertujuan untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan arah gerak keluarnya air panas ke permukaan, dengan menggunakan 3 buah *geophone* sebagai perekam sinyal hasil getaran air panas. Nilai yang dihasilkan berupa waktu dan amplitudo pada sumbu x , sedangkan pada sumbu y menunjukkan gambaran bawah permukaan dari respon gelombang yang terekam. Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode HVSR. Untuk memperoleh grafik kurva HVSR maka proses yang dilakukan selanjutnya adalah *windowing* (pemilihan gelombang mikrotremor) dalam pembagian waktu tertentu melalui menu *H/V toolbox* seperti pada Gambar 1.

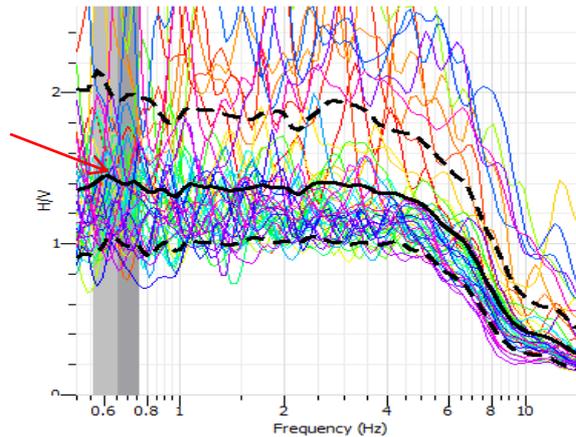


Gambar 1 Proses *Windowing* dengan *Software* Geopsy

Untuk menentukan nilai frekuensi dominan (f_0) adalah dengan mengamati puncak amplitudo pada kurva *H/V*. Frekuensi pada puncak amplitudo kurva *H/V* adalah frekuensi dominan atau frekuensi resonansi di suatu titik pengukuran.

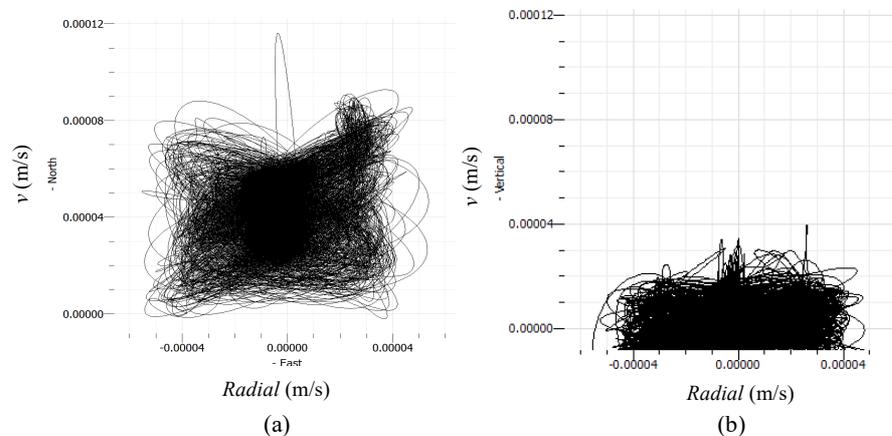
3.1.1 Hasil Perekaman Getaran Air Panas Bukit Kili

Hasil dari perekaman sinyal tersebut didapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) sebesar 0,65 Hz yang diperoleh dari kurva H/V seperti pada Gambar 2. Kurva H/V yang diperoleh dari pengolahan menggunakan *software* GEOPSY, selanjutnya di analisis dari dua kriteria kurva H/V . Analisis yang digunakan berdasarkan kriteria kurva HVSR yang *reliable* dan berdasarkan kriteria kurva H/V dengan puncak yang jelas (*clear peak*) (Widyawarman dan Fauzi, 2020). Berdasarkan analisis kurva H/V diperoleh 2 titik pengukuran yang menghasilkan kurva HVSR yang *reliable* dengan puncak yang jelas.



Gambar 2 Kurva H/V mata air panas Bukit Kili

Pada penelitian ini, juga digunakan analisis gerakan partikel untuk mendeteksi sumber getar yang kontinu pada daerah yang nantinya akan diinterpretasikan sebagai aliran fluida bawah permukaan.



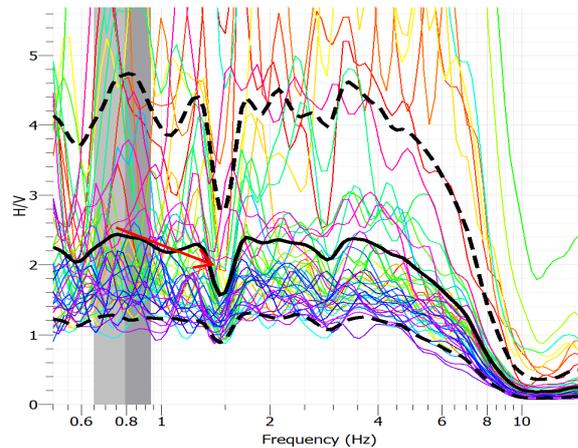
Gambar 3 Gerakan Partikel pada (a) Bidang Horizontal dan (b) Bidang Vertikal di Mata Air Panas Bukit Kili

Gambar 3 menunjukkan resultan gerak partikel diinterpretasikan dengan garis hitam yang merupakan getaran yang muncul selama rentang waktu pengukuran dengan membentuk pola bulatan. Penelitian yang sama pernah dilakukan oleh Wiranata *et al.* (2020), pergerakan partikel arah horizontal tidak memiliki arah tertentu atau dengan kata lain ke segala arah dengan amplitudo yang relatif kecil. Hal ini disebabkan titik kalibrasi sumber getaran yang berasal dari aliran fluida bawah tanah berada tepat di bawah titik pengukuran sehingga arah gerak partikel tidak memiliki arah yang dominan (Bahri *et al.*, 2021).

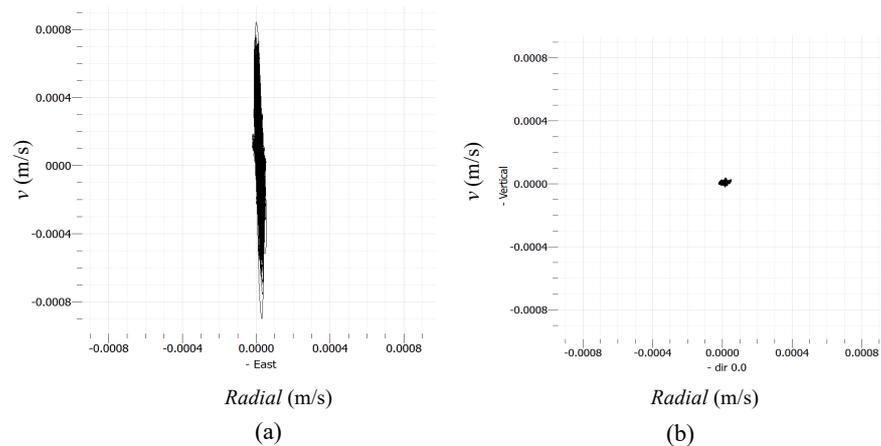
3.1.2 Hasil Perekaman Getaran Air Panas Garara

Hasil dari perekaman getaran di air panas Garara didapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) yaitu sebesar 0,75 Hz. Namun, pada penelitian ini terjadi penurunan amplitudo atau sinyal kehilangan daya saat frekuensinya 1,5 Hz, ditunjukkan dengan nilai amplitudo dari sinyal getar menurun secara signifikan (Gambar 4). Terjadinya perubahan daya frekuensi ini dapat diinterpretasikan dengan

dinamika aliran fluida panas, seperti adanya fluktuasi fluida, naiknya fluida melalui saluran cabang dari kedalaman tertentu. Pada kasus ini, diasumsikan frekuensi 0,75 Hz dominan, dominasi ini memberikan gambaran bahwa frekuensi 0,75 Hz berada di saluran fluida (*conduit*) utama dan frekuensi 1,5 Hz di saluran cabang. Kondisi ini menjadikan frekuensi dominan memiliki daya dan tekanan lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi 1,5 Hz mengakibatkan terbukanya saluran fluida baru.



Gambar 4 Hasil Perhitungan Kurva H/V mata air panas Garara



Gambar 5 Gerakan Partikel pada (a) Bidang Horizontal dan (b) Bidang Vertikal di Mata Air Panas Garara

Gambar 5 menunjukkan respon gerak partikel di mata air panas Garara. Resultan gerak partikel menunjukkan aliran fluida panas mengarah ke atas (vertikal dari dalam tanah) dengan posisi tegak lurus (Gambar 5) dan selama perekaman, gerakan partikel relatif konstan.

Mata air panas Bukit Kili dan Garara bertemperatur masing-masing bernilai 50,5 °C dan 54,9 °C. Temperatur kedua mata air panas tersebut termasuk ke dalam air panas bersuhu rendah. Air panas bersuhu rendah memiliki karakteristik yaitu mengandung unsur bikarbonat yang tinggi. Merujuk dari penelitian yang dilakukan oleh Burhan dan Putra (2015), unsur bikarbonat yang terdapat di air panas Bukit Kili dan Garara masing-masing bernilai 338,330 ppm dan 470,830 ppm. Dari analisis nilai unsur bikarbonat pada kedua mata air panas, maka daerah sekitar kawasan penelitian merupakan zona *outflow*. Zona *outflow* merupakan zona potensi panas bumi yang memiliki gradien suhu bawah permukaan rendah jika dibandingkan dengan zona *upflow* (Syabi *et al.*, 2019).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode HVSR dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik gerakan partikel dari fluida panas. Nilai frekuensi dominan (f_0) sekitar kawasan mata air panas Bukit Kili yaitu 0,65 Hz dan gerakan partikel di mata air panas

Bukit Kili menunjukkan bahwa gerak aliran fluida terpusat. Untuk kawasan sekitar mata air panas Garara rentang nilai frekuensi dominannya (f_0) bernilai 0,75 Hz dan terjadi penurunan amplitudo/kehilangan daya saat frekuensi 1,5 Hz. Arah gerak partikel mengarah tegak lurus ke atas permukaan tanah. Secara keseluruhan daerah penelitian dikategorikan ke dalam zona *outflow* berdasarkan dari analisis kandungan karbonat dan gradien temperatur.

DAFTAR PUSTAKA

- Arintalofa, V., Yulianto, G. dan Harmoko, U. (2020), “Analisa Mikrotremor Menggunakan Metode HVSR untuk Mengetahui Karakteristik Bawah Permukaan Manifestasi Panas Bumi Diwak dan Derekan Berdasarkan Nilai V_p ”, *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, Vol. 1 No. 2, hal. 54–61.
- Aulia, R.N., Nur, I. dan Ilyas, A. (2022), “Geothermal Fluid Characteristics based on Geochemical Analysis of Hot Water in The Wawolesea Area, North Konawe Regency Southeast Sulawesi Province”, *Jurnal Geoelebes*, Vol. 6 No. 1, hal. 64–71.
- Bahri, A.S., Abdullah, M.I.U.S., Aliyan, S.A., Purwanto, M.S., Widodo, A., Hilyah, A., Fajar, M.H.M., *et al.* (2021), “Identification of underground river with microtremor method in Dersono karst area, Pacitan”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 649 No. 1.
- Burhan, D. dan Putra, A. (2015), *Pemetaan Tipe Mata Air Panas di Sumatera Barat, Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Andalas (SNFUA) 2015*, Universitas Andalas.
- Gupta, H. dan Roy, S. (2006), *Geothermal Energy: An Alternative Resource For The 21st Century*, First., Elsevier Science, Netherlands.
- Iswanto, E.R., Indrawati, Y. dan Riyanto, T.A. (2019), “Studi Mikrotremor dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) di Tapak RDE, Serpong”, *Eksplorium*, Vol. 40 No. 2, hal. 105.
- Lumbanraja, W. dan Sri Brotopuspito, K. (2017), “Identifikasi Dinamika Magma Berdasarkan Analisis Tremor Vulkanik di Gunungapi Slamet Jawa Tengah”, *Jurnal Fisika Indonesia*, Vol. 19 No. 57, hal. 55–61.
- Qodri, R.R. dan Putra, A. (2018), “Studi Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi Batuan di Sekitar Mata Air Panas Garara Bukit Kili, Kabupaten Solok, Sumatera Barat”, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 7 No. 3, hal. 246–252.
- Shofa, M., Harmoko, U. dan Widada, S. (2014), “Interpretasi Pola Aliran Fluida Panas Bumi dengan Metode Spontaneous-Potential (Sp) dan Suhu Permukaan Dangkal di Lereng Utara Gunung Telomoyo Kabupaten Semarang”, *Youngster Physics Journal*, Vol. 3 No. 2, hal. 119–128.
- Syabi, H.F., Haryanto, A.D., Cssa, B.Y., Cibeber, K., Lebak, K. dan Banten, P. (2019), “Deliniasi Zona Upflow / Outflow Panas Bumi Daerah Cibeber, Banten Menggunakan Analisis Densitas Kelurusan dan Geoindikator”, *Padjadjaran Geoscience Journal*, Vol. 3 No. 1, hal. 51–57.
- Widyawarman, D. dan Fauzi, E.R. (2020), “Aplikasi Mikrotremor Untuk Mikrozonasi Tingkat Potensi Bencana Gempa Bumi Di Kampus I Universitas Pgrri Yogyakarta”, *Jurnal Geosaintek*, Vol. 6 No. 2, hal. 87.
- Wiranata, F.E., Prabowo, U.N. dan Anggoro, P.W. (2020), “Analisis Kerentanan Longsor pada Lereng Berbasis Grafik Particle Motion”, *Journal of Industrial & Quality Engineering*, Vol. 8 No. 1, hal. 1–23.