

Analisa Mikrotremor Menggunakan Metode HVSR untuk Mengetahui Karakteristik Bawah Permukaan Manifestasi Panas Bumi Diwak dan Derekan Berdasarkan Nilai VP

Vithya Arintalofa¹, Gatot Yuliyanto² and Udi Harmoko²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

²Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro;

Email : vithya.migas@gmail.com (V.A), gatotyuliyanto@lecturer.undip.ac.id (G.Y),
udiharmoko@fisika.fsm.undip.ac.id (U.H);

Abstrak : Pengukuran Mikrotremor merupakan pengukuran seismik pasif untuk merekam getaran yang dihasilkan oleh aktivitas bumi ataupun aktivitas manusia, biasanya metode ini digunakan untuk memperkirakan tingkat kerusakan yang timbul akibat gempa bumi dan juga dapat digunakan untuk mengetahui kondisi struktur bawah permukaan berdasarkan frekuensi dominannya dan faktor amplifikasinya. Dalam analisis mikrotremor spektrum komponen horizontal dibandingkan terhadap komponen vertikal atau dikenal dengan metode HVSR. Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR yaitu frekuensi natural dan amplifikasi. Dari hasil penelitian didapatkan P -persebaran nilai frekuensi dominan (f_0) yang didapatkan dari hasil pengolahan data mikrotremor pada area manifestasi panas bumi Diwak dan Derekan berkisar antara 0,08 Hz sampai dengan 9,29 Hz, persebaran nilai faktor amplifikasi (A_0) bernilai antara 0,03 hingga dengan 7,07, sedangkan inversi kurva H/V menghasilkan nilai kecepatan gelombang P (V_P) dan gelombang S (V_S) dimana nilai V_P berkisar antara 390 m/s sampai dengan 4.993 m/s dan nilai V_S berada pada kisaran 190 m/s hingga 3.054 m/s.

Kata Kunci : Amplifikasi, Metode HVSR, Mikrotremor, V_P , V_S , Frekuensi dominan

1. Pendahuluan

Energi panas bumi (*Geothermal*) merupakan sumber energi terbarukan berupa energi panas (*thermal*) yang dihasilkan dan disimpan di dalam inti bumi. Meningkatnya kebutuhan akan energi serta semakin langkanya sumber energi fosil telah memacu negara-negara lain untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dengan cara memanfaatkan energi panas bumi untuk menghasilkan energi listrik. Energi panas bumi merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan (*clean energy*) dibandingkan dengan sumber energi fosil, namun pemanfaatan energi panas bumi di Indonesia secara umum belum maksimal. Berdasarkan undang-undang Nomor 21 tahun 2014, pemanfaatan panas bumi digolongkan menjadi dua jenis yaitu pemanfaatan langsung dan tidak langsung. Provinsi Jawa Tengah sendiri memiliki potensi panas bumi yang cukup besar, berbanding lurus dengan banyaknya gunung berapi yang masih aktif di daerah Jawa Tengah. Daerah Diwak dan Derekan yang berada di kaki Gunung Ungaran memiliki potensi panas bumi dengan

adanya manifestasi yang berupa mata air panas. Berbagai metode eksplorasi digunakan untuk mengidentifikasi potensi sumber energi di bawah permukaan, metode geofisik adalah metode yang paling efektif untuk proses eksplorasi sumber energi panas bumi. Penelitian ini menggunakan metode seismik pengukuran mikrotremor dan diolah dengan metode HVSR (*Horizontal Vertical Spectre Ratio*). Pengukuran Mikrotremor merupakan pengukuran seismik pasif untuk merekam getaran yang dihasilkan oleh aktivitas bumi ataupun aktivitas manusia, metode ini digunakan untuk mengetahui kondisi struktur bawah permukaan berdasarkan frekuensi dominannya dan faktor amplifikasinya. Metode HVSR pertama kali diperkenalkan oleh Nogoshi dan Iragashi yang menyatakan adanya hubungan antara perbandingan komponen horisontal dan vertikal terhadap kurva eliptisitas pada gelombang *Rayleigh* yang kemudian disempurnakan oleh Nakamura (1989).

2. Dasar Teori

Menurut Toth & Bobok (2017) Energi Panas Bumi adalah energi panas yang berasal dari kerak, mantel, dan inti bumi dengan suhu yang tinggi, ketika komponen bumi berada dalam kondisi yang lebih panas daripada kondisi di permukaan maka energi panas akan terus berpindah dari kondisi bawah permukaan yang lebih panas menuju ke permukaan melalui *impermeable rock*. Keberadaan suatu sistem energi panas bumi biasanya ditandai oleh adanya manifestasi permukaan. Beberapa manifestasi permukaan menunjukkan gejala yaitu seperti fumarol dan solfatara, mata air panas, lumpur panas, uap tanah, *geyser*, kawah, dan batuan alterasi. Komponen-komponen penting dari sistem *geothermal* menurut Suharno (2010) adalah :

- 1) Sumber panas (*heat source*).
- 2) *Reservoir* atau batuan berpori tempat uap panas terjebak di dalamnya.
- 3) *Caprock* atau lapisan penutup berupa claycap (*impermeable rock*).
- 4) Struktur geologi (patahan, rekahan, dan ketidakselarasan).
- 5) Daerah resapan air atau aliran air bawah permukaan (*recharge area*).

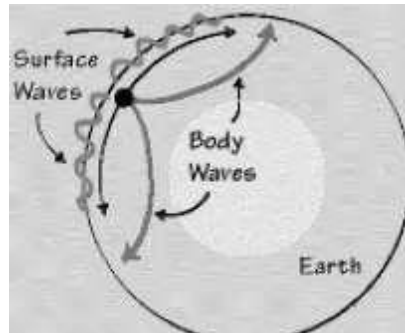
2.1. Metode Geofisika

Metode geofisika merupakan salah satu cabang ilmu fisika yang mempelajari bidang bumi khususnya perut bumi berdasarkan konsep fisika. Secara umum metode geofisika dibagi menjadi dua kategori yaitu metode pasif dan aktif. Survei geofisika yang sering dilakukan yaitu metode gravity, magnetik, seismik, geolistrik dan elektromagnetik. Dalam penelitian ini survei geofisika yang dipakai adalah survei dari metode pasif yaitu mikroseismik pengukuran mikrotremor dengan menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertikal Spektral Ratio*).

2.1.1. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi, sehingga pada penjarannya gelombang seismik memerlukan medium untuk merambat (Young dan Freedman, 2003). Gelombang seismik biasanya disebabkan karena adanya deformasi struktur di bawah bumi akibat adanya tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisan kerak bumi. Proses tersebut biasanya berupa aktivitas vulkanik, ledakan buatan maupun gempa bumi. Gelombang seismik disebut juga gelombang elastik yang membawa energi kemudian menjalar ke segala arah di seluruh bagian bumi. Disebut gelombang elastik karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat dari interaksi antara gradien stress melawan gaya-gaya elastik. Gelombang seismik dibedakan

menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, gelombang badan menjalar di dalam bumi sedangkan gelombang permukaan menjalar di permukaan bumi.



Gambar 1. Gelombang Badan dan Gelombang Permukaan (Ammon, 2005)

2.1.2. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya, gelombang ini dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S.

1) Gelombang Primer (P)

Gelombang P seperti ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan gelombang longitudinal, karena simpangannya sejajar dengan arah penjarannya. Gelombang P dapat melewati semua medium dengan arah getarnya ke depan dan ke belakang sehingga materi yang dilaluinya mengalami tekanan dan peregangan. Gelombang P dapat menjalar pada semua medium baik padat, cair, maupun gas. Kecepatan penjaran gelombang P dapat dikemukakan dengan persamaan (Elnashai dan Sarno, 2008):

$$V_P = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

Dimana :

V_P = kecepatan gelombang P (m/s)

k = modulus Bulk (Pa)

μ = rigiditas atau modulus geser (N/m²)

ρ = densitas (kg/m³)

2) Gelombang Sekunder (S)

Gelombang S atau gelombang transversal (*shear wave*) adalah salah satu gelombang badan (*body wave*) yang memiliki simpangan tegak lurus terhadap arah rambatnya seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Gelombang ini waktu tibanya setelah gelombang P, sehingga gelombang tercatat setelah gelombang P pada *seismograph*. Gelombang ini hanya merambat pada medium padat dan tidak dapat merambat pada fluida sehingga pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bagian dalam mampu dilewati.

2.2. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 1983). Penelitian dengan menggunakan mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi). Mikrotremor memiliki frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempabumi. Perekaman mikrotremor yakni *array based (f-k methods, SPAC/Spacial Auto Correlation dan Refraction Mikrotremor)* dan *HVSR/Nakamura Methods*.

2.3. Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Analisis dengan HVSR dikenalkan oleh Nogoshi dan Igarashi (1971) yang selanjutnya di kembangkan oleh Nakamura (1989). Konsep dasar metode HVSR adalah adanya kesamaan antara rasio spektra horizontal ke vertikal dengan transfer gelombang dari batuan dasar ke permukaan (Nakamura, 1989). Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR ialah frekuensi dominan dan amplifikasi tanah yang merupakan nilai puncak kurva HVSR, berkaitan dengan geologi setempat dan parameter fisik bawah permukaan. (Sungkono dan Santosa, 2011). Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga dianggap sebagai nilai frekuensi dari suatu lapisan batuan yang tersusun di suatu area, dengan kata lain frekuensi dominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan di satu area. Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika merambat pada suatu medium yang lebih lunak dibandingkan medium awal yang dilaluinya. Nakamura (1989) menghitung rasio antara spektrum horizontal dan vertikal pada getaran ambient yang direkam dengan sensor seismik stasiun tunggal tiga komponen dengan persamaan sebagai berikut (Hobiger dkk., 2009):

$$H/V (f) = \frac{\sqrt{|E(f)|^2 + |N(f)|^2}}{\sqrt{2}|Z(f)|^2} \quad (2)$$

Dimana :

E(f) = spektrum pada horizontal *East-West*

N(f) = spektrum pada *North-South*

Z(f) = spektrum vertikal.

3. HASIL DAN ANALISIS

Perekaman data mikrotremor dilakukan pada 52 titik pengukuran yang membentuk grid 15 × 20 m dengan daerah penelitian seluas ± 50,75 ha yang berada dia daerah manifestasi panas bumi Diwak dan Derekan. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menggunakan mikrotremor pengukuran dengan seismograf portabel Graptch type GL-240 dengan geophone merk SUNFULL, untuk mengetahui keadaan bawah permukaan lokasi penelitian yang dituangkan kedalam beberapa peta kontur 2D dan 3D. Hasil penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.1. Nilai Frekuensi Dominan (f_0)

Frekuensi dominan merupakan parameter yang merefleksikan suatu kondisi tanah. Nilai frekuensi dominan juga berkaitan dengan kedalaman bidang pantul suatu gelombang di bawah permukaan daerah penelitian. Bidang pantul tersebut dapat dikatakan merupakan batas antara sedimen dengan batuan keras. Nilai frekuensi dominan (f_0) pada daerah penelitian ini persebarannya berkisar antara 0,08 Hz sampai dengan 9,29 Hz. Sebaran nilai frekuensi dominan di area penelitian terdapat perbedaan nilai yang kontras, nilai frekuensi dominan yang relatif rendah berada di hampir sebagian besar area penelitian yaitu berkisar antara 0,08 Hz – 4,5 Hz, sedangkan nilai yang relatif tinggi 4,6 Hz – 9,29 Hz berada di bagian bawah sebelah selatan dan timur. Nilai frekuensi dominan yang diperoleh menunjukkan bahwa batuan yang tersusun di bawah permukaan tanah di dominasi batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, *sandy-gravel*, *sandy hard clay*, *top soil*, dan *loam* dengan ketebalan >5 m.

3.2. Nilai Amplifikasi (A_0)

Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh beberapa macam formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisik lapisan tanah dan batuan, yaitu batuan yang mengalami deformasi seperti pelapukan, perlipatan dan juga pergeseran yang dapat mengubah sifat fisik batuan, sehingga patahan atau sesar dianggap dapat mempengaruhi nilai amplifikasi (Partono et al., 2013).

Sebaran nilai faktor amplifikasi memiliki rentang nilai faktor amplifikasi di area penelitian berkisar antara 0,03 sampai 7,07, Nilai faktor amplifikasi yang relatif rendah sebagian besar berada di bagian utara, selatan dan timur area penelitian dan nilai yang relatif tinggi berada tengah di bagian barat, timur dan sebagian kecil di selatan area penelitian. Nilai faktor amplifikasi berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya.

3.3. Analisis Kondisi Struktur Bawah Permukaan

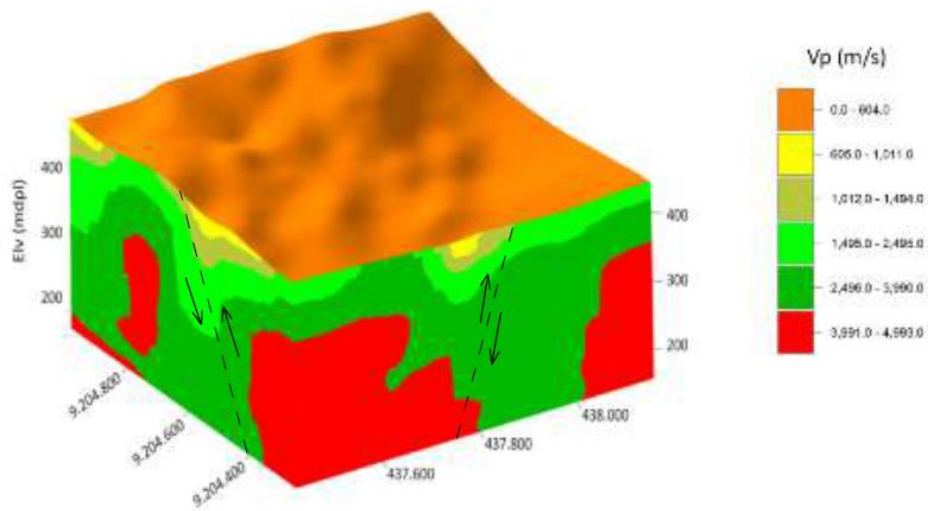
Analisis pada penelitian ini menggunakan *Ellipticity curve* yang merupakan metode inversi untuk mengetahui struktur bawah permukaan berdasarkan pada kurva H/V. Interpretasi bawah permukaan didasarkan pada penentuan karakterisasi kecepatan gelombang seismik yang berada di daerah penelitian, kemudian dilakukan pendekatan terhadap hasil dari pemetaan geologi permukaan dan diselaraskan dengan Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1996).

Tabel 1.

Klasifikasi Site Berdasarkan Nilai V_s Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium SNI 1726 (Badan Standarisasi Nasional, 2010)

Klasifikasi Site	Kecepatan Gelombang Geser V_s (m/s)
Batuan Keras	$V_s \geq 1.500$
Batuan	$750 < V_s \leq 1.500$
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$
Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$
Tanah Lunak	$V_s \leq 175$

Berdasarkan dari tabel 1, klasifikasi site berdasarkan nilai Vs hasil penyelidikan tanah dan laboratorium SNI 1726 (Badan Standarisasi Nasional, 2010), jenis litologi bawah permukaan area manifestasi panas bumi Diwak dan Derekan dikelompokkan menjadi klasifikasi site berupa tanah sedang yang memiliki nilai Vs berkisar antara 190 – 347 m/s, tanah sangat padat dan batuan lunak dengan nilai Vs yaitu 367 – 744 m/s, Vs bernilai antara 762 – 1500 m/s yang berupa batuan, dan nilai Vs antara 1.529 – 3.054 m/s berupa batuan keras.



Gambar 2. Hasil Pemodelan Konseptual 3D Bawah Permukaan Area Penelitian

Pemodelan konseptual 3 (tiga) dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 2 menunjukkan keterkaitan kondisi bawah permukaan area penelitian dan adanya kemunculan mata air panas yang mana memiliki lapisan batuan *soil* yang ditunjukkan nilai V_P berkisar antara 0 – 604 m/s, nilai V_P antara 605 – 1.011 m/s mengindikasikan material berupa *alluvium*, nilai V_P berkisar antara 1.495 – 2.495 m/s menunjukkan lapisan berupa *clay*, nilai V_P bernilai antara 2.495 – 3.990 m/s berupa lapisan *sandstone*, dan lapisan yang berupa material Basalt diindikasikan oleh V_P yang bernilai 3.991 – 4.993 m/s. Lapisan *clay* diindikasikan sebagai *clay cap* yang bersifat *impermeable* sehingga mampu menahan aliran fluida panas bumi agar tidak keluar menuju permukaan, sedangkan lapisan *sand* diduga sebagai lapisan permeabel yang mana merupakan tempat tersimpannya fluida (*reservoir*) yang selanjutnya melalui zona rekahan/patahan akan bermigrasi keluar menuju ke permukaan dikarenakan adanya sesar/patahan.

3.4. Pemanfaatan dan Penerapan Energi Panas bumi

Panas bumi dianggap sebagai salah satu sumber energi yang terbarukan dan merupakan energi alternatif yang dianggap ramah lingkungan dan *clean energy*, karena gas buang yang dihasilkan sebagian besar merupakan kandungan karbon dioksida (CO_2), begitu juga dengan air kondensat yang telah diproduksi dapat diinjeksikan kembali ke reservoir agar sekiranya kontinuitas tetap terjaga di reservoir. Berdasarkan karakteristik yang dimiliki, energi panas bumi merupakan energi yang dapat dimanfaatkan baik secara langsung ataupun tidak langsung, namun bergantung terhadap kuantitas temperaturnya. Penggunaan energi panas bumi bersuhu rendah yaitu $<100^\circ C$ biasanya dimanfaatkan

sebagai pemandian air panas yang biasanya tergolong ke sektor pariwisata dimana temperatur air panas yang muncul pada sumber mata air panas sekitar 30,77°C (Nikmah, 2014), sebagai pemanas ruangan, dan dimanfaatkan untuk pengeringan produk pertanian yang dihasilkan oleh para petani di sekitar area manifestasi panas bumi yang dianggap prospek.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang ditinjau dari kajian geologi, geofisik dan beberapa referensi yang mengacu untuk kajian geokimia pada area manifestasi panas bumi dengan mengolah data mikrotremor yang telah diukur menggunakan metode *Horizontal Vertical Spectral Ratio* (HVSr) didapatkan kesimpulan yaitu Area manifestasi panas bumi Diwak dan Derekan berada dalam suatu sistem panas bumi yang terdapat di zona *outflow*, kemunculannya manifestasi yang berupa mata air panas di area penelitian Diwak dan Derekan dikarenakan adanya patahan berupa sesar normal yang dianggap sebagai *weak zone* (zona lemah) dan menjadi penyebab keluarnya fluida panas bumi ke permukaan.

Daftar Pustaka

- Direktur Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2016). Buku Statistik Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Tahun 2016. Jakarta. <http://ebtke.esdm.go.id/post/2016/02/02/1105/statistik.ebtke.2016>
- Elders, W. A., & Moore, J. N. (2016). Geology of geothermal resources. In R. DiPippo (Ed.), *Geothermal Power Generation: Developments and Innovation* (pp. 7–32). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100337-4.00002-4>
- Gupta, H., & Roy, S. (2007). *Geothermal Energy: An alternative resource for the 21st century*. Elsevier B.V.
- Hobiger, M., & Bard, P. (2011). Polarization of Surface Waves: Characterization, inversion and application to seismic hazard assessment. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00577887>
- Ilmi, S., Harmoko, U., dan Widada, S. (2014). Interpretasi Bawah Permukaan Sistem Panas Bumi Diwak dan Derekan Berdasarkan Data Gravitasi. *Youngster Physics Journal* Vol. 3 No.2, Hal 165-170
- Kanai, K. (1983). *Engineering Seismology*. University of Tokyo Press. Tokyo, Japan.
- Kasbani. (2009). Tipe Sistem Panas Bumi Di Indonesia Dan Estimasi Potensi Energinya, 64–73.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute.
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Nikmah, I., dan Harmoko, U. (2014). Studi Distribusi Temperatur Permukaan Dangkal, Emisi Gas Karbondioksida dan Pola Aliran Fluida untuk Mengklarifikasi Sistem Panas Bumi di Daerah Manifestasi Diwak-Derekan, Jawa Tengah. *Youngster Physics Journal*. vol. 2. no. 1. hal. 49-54. Semarang.
- Partono, Windu., Manshyur, I., Sri Prabandiyani, R.W., Syamsul, M., 2013. Aplikasi Metode HVSr pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang. Semarang: Universitas Diponegoro.

SESAME Project, "Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation", December., 2004.

Sudarmawan, D. (2019). 'Pemodelan 3D Area Manifestasi Panas Bumi Sangubanyu, Berdasarkan Data Mikrotremor', Tesis, Magister Energi, Universitas Diponegoro, Semarang.

Sungkono, dan Santosa, B. J. (2011). Karakterisasi kurva horizontal-to-vertical spectral ratio: kajian literatur dan permodelan. *Jurnal Neutrino*, 4(1), 1–15.

Thanden, R. E., Sumadirdja, H., Richards, P. W., Sutisna, K., Amin, T. C. (1996). Direktorat Geologi Bandung. Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa. Skala 1:100.000. Bandung.

Tian, B., Xu, P., Ling, S., Xu, X., Du, J., & Pang, Z. (2016). Application of the initial model feature of microtremor to investigate a part of the geothermal field of Jiangsu region in China. *Environmental Earth Sciences*, 75(18), 1– 12.

Toth, A., & Bobok, E. (2017). What Is Geothermal Energy? In *Flow and Heat Transfer in Geothermal Systems* (1st ed., pp. 1–19). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800277-3.00001-3>

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2014, Tentang Panas Bumi, 17 September 2014. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 217. Jakarta.

Van Bemmelen, R. W. (1949). *Fisiografi Jawa Tengah* (1A ed.). Netherlands: Government Printing Office.