



## Analisis Temperatur Reservoir Panas Bumi Dengan Menggunakan Metode Silika Geotermometer Di PIT Araren Desa Pinenek Kabupaten Minahasa Utara

Jeremy Rompis<sup>#a</sup>, Hendra Riogilang<sup>#b</sup>, Oktovian B. A. Sompie<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia  
<sup>a</sup>jeremyrompis24@gmail.com, <sup>b</sup>riogilanghendra@gmail.com, <sup>c</sup>bsompie@yahoo.com

### Abstrak

Kegiatan eksplorasi dan pengembangan lapangan panas bumi dilakukan dalam upaya mencari sumber daya panas bumi, membuktikan keberadaan sumber daya tersebut serta menghasilkan dan memanfaatkan fluida yang dimilikinya. Panas bumi adalah sumber daya alam berupa air panas atau uap yang terbentuk di reservoir bumi melalui pemanasan air bawah permukaan oleh batuan panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui temperature reservoir di Desa Pinenek Kabupaten Minahasa Utara. Daerah yang memiliki potensi panas bumi ditandai dengan ditemukannya beberapa manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Dengan menggunakan metode silika geotermometer di wilayah Desa Pinenek Kabupaten Minahasa Utara diketahui temperatur reservoir agar bias digunakan menjadi energi listrik. Memiliki nilai temperature 143.29 °C sehingga bisa digunakan menjadi pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan teknologi binary cycle.

*Kata kunci: reservoir panas bumi, silika geotermoeter, binary cycle*

### 1. Pendahuluan

Di era modern dan milenial ini kebutuhan akan energi listrik sangat banyak di kalangan masyarakat bahkan permintaan melebihi persediaan yang ada sehingga timbul keresahan dan kekhawatiran akan terjadinya pemadaman listrik secara berkala. Untuk memenuhi dan memperlengkapi kebutuhan manusia yang semakin meningkat maka energi panas bumi sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai energi alternative. Energi panas bumi lebih efisien dan efektif di dibandingkan energi lain dan lebih ramah lingkungan serta bisa diperbaharui. Energi panas bumi merupakan energi yang ramah lingkungan karena fluida panas bumi setelah diubah menjadi energi listrik akan kembali ke permukaan (reservoir) melalui sumur injeksi (Sukhyar, 2010).

Indonesia sebagai Negara yang paling banyak memiliki Gunung api dan berada pada kawasan Ring of Fire, berdasarkan penelitian awal merupakan negara yang yang paling banyak menyimpan energi panas bumi yaitu, 40% energi panas bumi dunia. Dengan banyaknya potensi energi panas bumi yang dimiliki Indonesia, penyelidikan potensi/prospek panas bumi yang muncul di berbagai wilayah sangat penting untuk mendapatkan gambaran kuantitatif dan kualitatif potensi energi panasbumi. Sehingga nantinya Indonesia diharapkan menjadi mandiri dalam bidang energi, karena kebutuhan energi fosil mulai dapat dikurangi dengan berkembangnya energi non-fosil, seperti energi panas bumi ini.

Kemunculan manifestasi di permukaan, khususnya di Sulawesi Utara sendiri lebih tepatnya di kabupaten minahasa, kecamatan likupang timur di desa pinenek. Terdapat potensi panas bumi yang suhunya berkisar 1000C – 1800C (Low Enthalpy) di beberapa titik dan dari sampel yang diambil kemudian di analisa apakah layak untuk dikelola menjadi listrik dengan menggunakan teknologi Binary cycle Geothermal. Teknologi ini bekerja untuk menyalurkan panas dari reservoir

ke Binary cycle Geothermal Power Plant hydrocarbon, untuk menaikkan suhu dan tekanan menjadi lebih besar untuk menggerakkan turbin menjadi listrik. Peneliti berniat untuk mengetahui berapa suhu temperatur reservoir di desa pinenek dengan menggunakan metode silika geotermometer.

### 1.1. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah hasil estimasi temperature reservoir panas bumi yang ada di sekitar daerah Desa Pinenek dengan metode silika geotermometer?
2. Perlunya perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi dengan teknologi Binary Cycle.

### 1.2. Tujuan penelitian

1. Menganalisis temperatur reservoir di Desa Pinenek, Kabupaten Minahasa Utara dengan menggunakan metode Silika Geotermometer.
2. Menganalisis hasil pengukuran temperatur reservoir untuk digunakan dalam teknologi binary cycle.

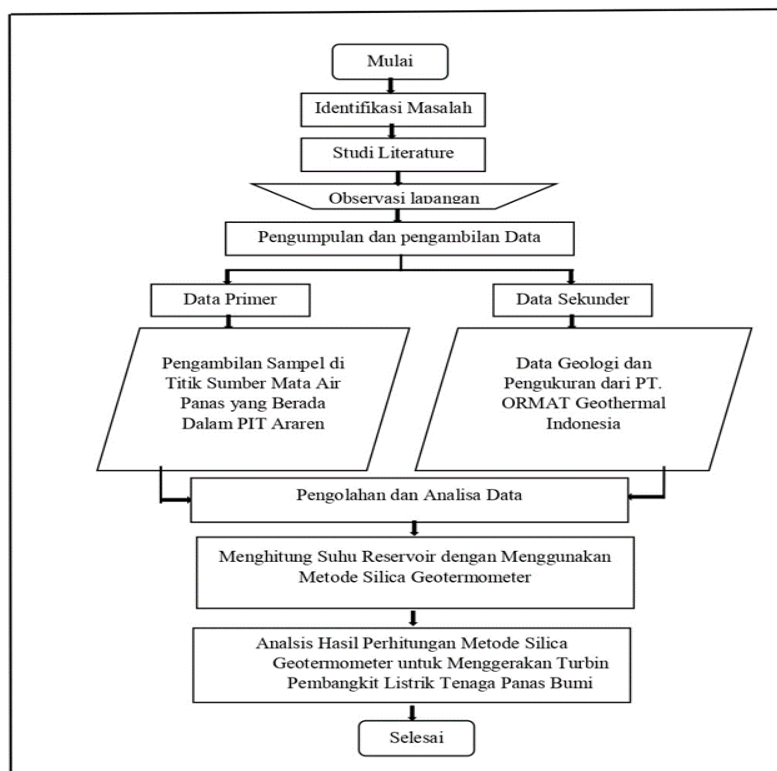
### 1.3. Manfaat Penelitian

1. Mangetahui temperatur reservoir di Desa Pinenek, Kecamatan Lembean Timur, agar dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik.
2. Pengukuran temperature reservoir ini merupakan analisis untuk perencanaan pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan menggunakan teknolgi binary cycle.

## 2. Metode

### 2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan prosedur yang ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Prosedur Penelitian

## 2.2 Metoda Pengolahan Data

Metoda Perhitungan yang digunakan adalah metode perhitungan Silika Geotermometer. Silika Geotermometer adalah metode yang paling banyak digunakan dan persamaannya paling akurat untuk diformulasikan dan dibandingkan dengan metode lainnya. Hal ini disebabkan telah banyak penelitian yang dilakukan untuk memformulasikan *geothermometer* ini, diantaranya Mahon (1966), Fournier dan Rowe (1966), Fournier (1983), Fournier dan Marsall (1983), Fournier dan Potter (1982). Silika geotermometer sangat dipengaruhi oleh proses-proses fisik seperti pendidihan (*boiling*) dan pelarutan (*dilution*) karena metode ini dihitung berdasarkan konsentrasi absolut silika dalam fluida, bukan berdasarkan rasio dari konsentrasi tersebut. *Silica geothermometer* juga dipengaruhi oleh kelarutan silika dalam air dan jumlah uap air (*steam*) yang terbentuk pada tekanan uap (*vapour*). Melakukan analisis temperatur reservoir menggunakan geotermometer Silika yang kemudian diuji di Water Laboraturium Nusantara (WLN).

### 1. Waktu dan Tempat Pengukuran

Penelitian ini dilakukan mulai pada bulan April – Juni tahun 2023, Lokasi penelitian adalah di Desa Pinenek Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara dengan titik koordinat GPS (N 01°25'34.7") & (E 124°54'58.2").



**Gambar 2.** Lokasi Penelitian  
(Sumber : Google Maps)

### 2. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, penulis membutuhkan Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian adalah GPS, termometer, pH meter digital, ICP, sampel air panas, botol sampel, alat filtrasi, ember, gayung, *cool box*, *gayung*, *safety shoes*, *safety hemlet*, *wearpack*.



**Gambar 3.** Botol Polypropylene Sampel

### 3. Hasil dan Pembahasan

**Tabel 1.** Pengukuran di Lapangan

Titik	Koordinat		Temperatur	pH
<b>MAPP-01</b>	1°34'00.3"N	125°06'46.6"E	SM : 93°C SU : 33°C	6,89
<b>MAPP-02</b>	1°33'56.8"N	125°06'50.2"E	SM : 90°C SU : 30.3°C	6,89
<b>MAPP-03</b>	1°33'52.6"N	125°06'39.3"E	SM : 91°C SU : 30.8°C	6,89
<b>MAPP-04</b>	1°33'44.0"N	125°06'53.4"E	SM : 89°C SU : 30°C	6,89

\*MAPP : Mata Air Panas Pinenek, SM : Suhu Manifestasi, SU : Suhu Udara

Mata air panas ini memiliki suhu manifestasi tertinggi 93°C dengan suhu udara 33°C. Nilai pH fluida pada mata air panas ini adalah 6,89. Memiliki ciri fisik berupa air bergelembung, berbau belerang, dan warna air kebiru-biruan, terdapat endapan sinter travertine dengan pH 6,89 atau netral. Dengan hasil tersebut serta nilai pH yang ditemukan bernilai 6,89 yang mana ada dikeadaan netral.

**Tabel 2.** Kandungan Kimia Fluda Hasil Laboratorium (WLN)

Manifestasi	Na	K Mg/Kg	Ca	SiO2
Mata Air Panas	707	49	283	91
	694	51	267	93
	911	58	398	98
	959	65	421	111

Dalam menentukan tipe fluida mata air panas berdasarkan analisa laboratorium seperti yang tertera pada Tabel 2 selanjutnya digunakan untuk menghitung suhu reservoir panas bumi yang berada di sekitar daerah Desa Pinenek, penulis memilih menggunakan metode silika geotermometer karena metode ini yang paling sering digunakan dan persamaannya paling akurat untuk diformulasikan dan dibandingkan dengan metode lainnya. Ada empat rumus geotermometer silika yang akan digunakan yaitu *Quartz no steam loss*, *Quartz maximum steam loss*, *Chalcedony* dan  *$\alpha$ -Cristobalite*.

$$a \quad \textit{Quartz no steam loss}$$

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1309}{5.19 - \log\text{SiO}_2} - 273$$

$$b \quad \textit{Quartz maximum steam loss}$$

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1522}{5.75 - \log\text{SiO}_2} - 273$$

$$c \quad \textit{Chalcedony}$$

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1032}{4.69 - \log\text{SiO}_2} - 273$$

$$d \quad \textit{\alpha-Cristobalite}$$

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1000}{4.78 - \log\text{SiO}_2} - 273$$

Estimasi temperature daerah penelitian memiliki estimasi temperatur reservoir sebesar 143.259°C, yang termasuk pada sistem reservoir bertemperatur sedang. Diambil hasil perhitungan yang *quartz no steam loss* karena silika mengendap dalam bentuk kuarsa, bukan amorf, kalsedon, maupun kristobalit. Fluida panas bumi yang tergolong bertemperatur sedang karena berada di temperatur antara 125°C hingga 225°C. Fluida panas bumi yang tergolong bertemperatur sedang juga dikarenakan telah mengalami banyak pengenceran menuju permukaan bumi tetap membuat sistem panas bumi di daerah penelitian masih bisa digunakan sebagai pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi. Menurut Saptadji (2009) sistem panas bumi bertemperatur tinggi dan sedang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi. Akan tetapi, masih dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memutuskan kelayakan daerah penelitian sebagai daerah

pengembangan pembangkit listrik panas bumi seperti besarnya potensi dan cadangan panas bumi, kedalaman reservoir, dan lainnya.

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Prediksi Temperatur Reservoir

Sampel	Quartz no steam loss	Quartz maximum steam loss	Chalcedony	$\alpha$ -Cristobalite
	°C			
MAPP-01	132.143	128.482	104.889	81.489
MAPP-02	133.330	129.484	105.547	82.680
MAPP-03	136.219	131.919	109.396	85.581
MAPP-04	143.259	137.832	117.218	92.674



**Gambar 4.** Grafik Hasil Perhitungan Prediksi Temperatur Reservoir

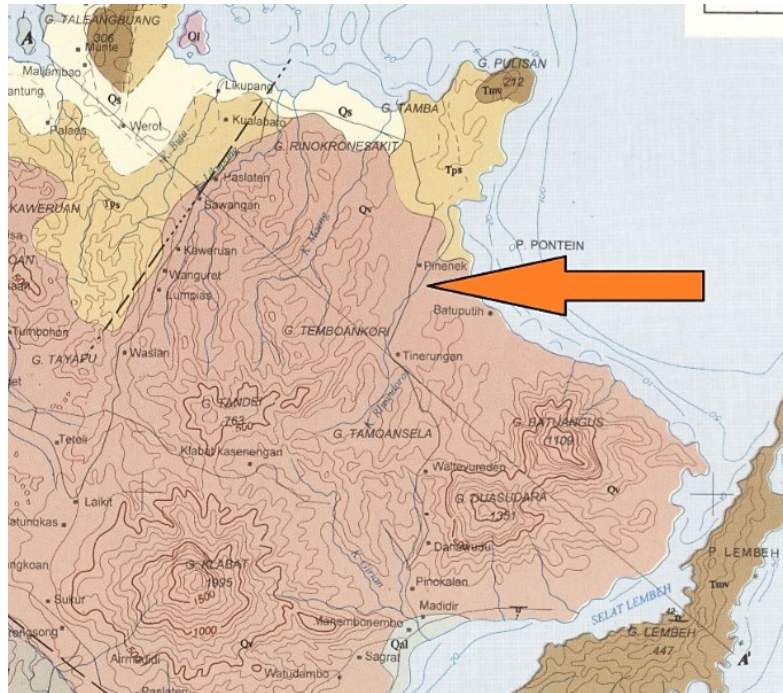
➤ Studi Geologi Daerah Penelitian

Berikut ini merupakan studi geologi yang ada di daerah lokasi penelitian :

- Diduga adanya sesar-sesar kecil yang berada di daerah penelitian sehingga menyebabkan pemunculan mata air panas di lokasi tersebut.
- Lokasi penelitian berada di potongan AA dan terdapat 4 jenis batuan yaitu Qs, Tps, Qv, dan Tmv.
  - a (Qs) Endapan Danau dan Sungai: Pasir, lanau, konglomerat dan lempung napalan. Perselingan lapisan pasir lepas dan lanau, lapisan berangsur, setempat silang siur; konglomerat tersusun dari pecahan batuan kasar menyudut tanggung, lempung napalan hitam mengandung muluska di Kayuragi (Koperberg, 1928) mungkin termasuk satuan ini. Satuan ini membentuk undak dengan permukaan menggelombang.
  - b (Qv) Batuan Gunung Api Muda: Lava, bom, lapili dan abu; membentuk gunungapi strato muda antara lain: G. Sopotan, G. Mahawu, G. Lokon, G. Klabat, G. Tongkoko; lava yang dikeluarkan oleh G. Sopotan dan G. Lokon terutama berkomporsi basal, sedangkan G.

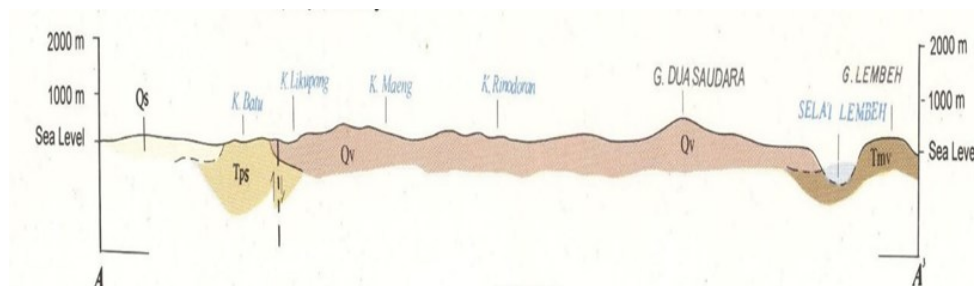
Mahawu dan G. Tongkoko berkomporsi andesit; di Kp. Tataaran dan Kp. Kiawa terdapat aliran obsidian, yang mungkin masing-masing berasal dari G. Tompuu dan G. Lengkoan.

- c (Tps) Breksi dan Batu Pasir: Terutama breksi-konglomerat kasar, berselingan dengan batupasir halus hingga kasar (grewak), batulanau dan lempung berwarna kelabu kecoklatan. Breksi berkomporsi andesit piroksen terdapat di P. Naeng Besar, P. Naeng Kecil dan P. Talisei (Koperberg, 1928); di P. Bangka terdapat batuan klastika yang sangat lapuk, yang oleh Koperberg (1928) disebut "batupasir berbesi" Menurut Koperberg (1928) batuan sedimen ini berumur Pliosen.



**Gambar 5.** Peta Geologi Lokasi Penelitian.

(Sumber : A.C. Effendi, 1976. Peta Geologi Lembar Manado 2416,2417)



**Gambar 6.** Potongan AA dan Jenis Batuan Lokasi Penelitian

(Sumber : A.C. Effendi, 1976. Peta Geologi Lembar Manado 2416,2417)

#### ➤ Binary Cycle Teknologi Masa Depan

*Binary cycle* adalah sebuah proses termodinamika dimana sumber utamanya adalah fluida panas yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja. Fluida kerja yang digunakan adalah *isopentane* (i-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>), *pentane* (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>), dan *isobutane* (i-C<sub>4</sub>H<sub>12</sub>). Proses penguapan fluida kerja, biasanya disebut siklus tertutup, tersambung langsung dengan turbin sebagai pembangkit tenaga listrik.

Teknologi *binary cycle* telah dikembangkan untuk mengeksploitasi sumber panas bumi terutama pada kondisi reservoir bertemperatur *low-to-medium* dengan *range* 70°C – 150°C. Fluida panas bumi bertemperatur ≤ 150°C, tidak ekonomis untuk dikembangkan dengan menggunakan teknologi sistem konvensional namun dengan memanfaatkan fluida panas bumi bertemperatur rendah sebagai sumber panas untuk memanaskan fluida kerja dengan titik didih

lebih rendah pada *binary cycle*, akan lebih banyak energi yang dihasilkan dan pada akhirnya reservoir tersebut menjadi ekonomis untuk dikembangkan.

Energi listrik yang didapatkan dengan memanfaatkan energi *geothermal* ini menggunakan turbin sebagai mesin penggerak. Energi fluida digunakan langsung untuk memutar roda/poros turbin. Pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi, melainkan gerakan rotasi. Bagian turbin yang tidak berputar dinamai dengan istilah *stator*. Roda turbin terletak didalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang digerakkannya atau memutar bebannya (generator listrik, pompa, kompresor, baling-baling, dll). Di dalam turbin fluida kerja mengalami ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan dan mengalir kontinyu. Penamaan turbin didasarkan pada jenis fluida yang mengalir di dalamnya, apabila fluida yang mengalir di dalamnya berupa uap maka turbin disebut turbin uap.

Namun, dalam realisasinya tidak semua panasbumi menghasilkan uap yang dapat mendorong turbin. Sistem *geothermal* sendiri digolongkan menjadi *water domination* ( $185^{\circ}\text{C} < T < 235^{\circ}\text{C}$ ), dan *vapour domination* ( $235^{\circ}\text{C}$ ). *Vapour domination* fluidanya didominasi oleh fasa uap dibanding fasa airnya, jenis ini lebih menguntungkan karena yang terpakai untuk menggerakkan turbin adalah fasa uap. Sedangkan, sumur *geothermal* dengan sistem *water domination*, fasa airnya lebih dominan, hanya dapat digunakan uapnya saja dan airnya tidak digunakan sehingga menjadi permasalahan sendiri, apalagi sistem ini lebih dominan dibanding dengan *vapour domination*. Namun, sekarang ini *binary cycle* muncul sehingga dapat mengatasi hal tersebut.

#### 4. Kesimpulan

1. Temperatur yang ada di sekitar Desa Pinenek dengan menggunakan silika geotermometer quartz yang dikembangkan oleh Fournier menghasilkan estimasi temperature  $143.29^{\circ}\text{C}$  yang berada pada temperature sedang. Hal tersebut menandakan sistem panas bumi di daerah Pinenek dapat digunakan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi.
2. Sistem panas bumi di sekitar Desa Pinenek dengan temperatur  $143.29^{\circ}\text{C}$  dapat menggerakkan turbin pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan menggunakan teknologi *Binary Cycle Hydrocarbon* sehingga menghasilkan suhu dan tekanan menjadi maksimal untuk menggerakkan turbin menjadi energy listrik.

#### Referensi

- Akito Koga. (2000). Hydrothermal Geochemistry, The First Group Training Course on Geothermal Energy and Environmental Sciences Kyushu University.
- Damar Romadhani, R., Noor, D., Denny, D., & Kadarisman, S. (2019). Geologi Daerah Bukit Bual dan Sekitarnya Kecamatan Koto VII Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat dan Potensi Sumber Daya Panas Bumi Daerah Talago Biru Kecamatan Padang Ganting Kabupaten Tanah Datar Sumatera Barat.
- Demak, Z. C. K., Riogilang, H., & Riogilang, H. (2022). Rancangan Ide Dan Teknologi Konsep Hijau Untuk Strategi Penerapan Di Kabupaten Bolaang Moongondow. TEKNO, 20(82), 1217-1225.
- Denny, A., Raharjo, U., Prasetyo, N., Nugroho, P., & Resesiyanto, D. H. (2017). Potensi Panas Bumi di Kabupaten Manokwari Selatan Provinsi Papua Barat Berdasarkan Analisa Geokimia. In Oktober (Vol. 6, Issue 2). El
- Goff, F.E. dan Janik, C.J., 2000, Encyclopedia of Volcanoes: Geothermal Systems, Academic Press: A Harcourt Science and Technology Company.
- Gupta, H. dan Ray, S., 2007, An Outline of the Geology of Indonesia, IAGA, Jakarta, hal 11-36.
- Hadi, A.U. (2008), "Potensi dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi di Indonesia", MTG, Vol.1, No.2. Diambil dari: <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/mtg/article/view/177>.
- Hochstein, M.P. dan Browne, P.R.L., 2000, Surface Manifestation of Geothermal System with Volcanic Heat Source In Encyclopedia of Volcanoes, H. Sigurdson, B.F. Houghton, S.R. Mc Nutt, H. Rymer dan J. Stix (eds.), Academic Press.
- Ilmi, I., Syafri, I., Didit Haryanto, A., & Ahmad Zarkasyi, dan. (2020). Makalah Ilmiah Pemodelan Inversi 2-D Menggunakan Data Magnetotellurik Daerah Panas Bumi Way Selabung, Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan 2-D Inversion Modeling Using Magnetotellurik Data AT Way Selabung Geothermal Area, South Ogan Komering Ulu Regency, South Sumatera Province (Vol. 15).
- Juliarka, B. R., & Niasari, S. W. (2016). Geological Engineering Department, Faculty of Engineering. Geothermal Exploration Using Geochemical Data; Study Case: Parang Wedang Geothermal Field, Indonesia.
- Marzani, Y. (2013). Seminar Nasional ke 8 Tahun 2013: Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi

- Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, 14 Desember 2013 S 37 Kimia Mata Air Panas Bumi Untuk Pengembangan Pariwisata di Daerah Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur.
- Mongan, S. (2020). Hilang Panas Alamiah Manifestasi Panas Bumi di Daerah Minahasa Sulawesi Utara (Vol. 1).
- Prasetio, R., Laksmeningpuri, N., & Pratikno, B. (2017). Karakterisasi Isotop dan Geokimia Area Panas Bumi Danau Toba, Sumatera Utara Isotopes and Geochemical Characterization of Toba Lake Geothermal Area, North Sumatera.
- Raharjo, A. D. U. (n.d.). Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Panas Bumi Suhu Rendah di Kabupaten Pegunungan Arfak Provinsi Papua Barat.
- Raivel, R., & Firman, F. (2020). Geologi dan Panas Bumi Daerah Permandian Air Panas Mangolo Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara.
- Ramadhan, R. F., & Saputra, R. A. (2021). Identifikasi Area Prospek Panas Bumi Menggunakan Integrasi Citra Landsat 8 OLI/TIRS dan DEM: Studi Kasus Batu Bini, Kalimantan Selatan. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 11(2), 37–50. <https://doi.org/10.37525/sp/2021-2/294>
- Ravael Ratumbuang, Armstrong Sompotan, Jeferson Polii “Analisis Karakteristik Fluida dan Temperatur Reservoir dengan Menggunakan Diagram Ternary Cl-Li-B pada Manifestasi Panas Bumi di Desa Kaleosan, Minahasa Utara” *Jurnal FisTa : Fisika dan Terapannya* E-ISSN 2747-1691 Vol. 3, No. 1, April 2022: 24-27
- Rezky, Y., Zarkasyi, A., & Risdianto, D. (2012). MAKALAH ILMIAH.
- Richard W. Asplund, *Profiting from Clean Energy: a Complete Guide to Trading Green in Solar, Wind, Ethanol, Fuel Cell, Power Efficiency, Carbon Credit Industries, and More*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2008.
- Riogilang, H., Riogilang, H., Sompie, O. B. A., & Jansen, T. (2022). Analisis Adaptasi Dan Mitigasi Perubahan Iklim Provinsi Sulawesi Utara. *TEKNO*, 20(82), 1259-1269.
- Riogilang, H., Itoi, R., & Taguchi, S. (2012). Origin of hot spring water in the Kotamobagu geothermal field, northern Sulawesi, Indonesia. *Journal of the Geothermal Research Society of Japan*, 34(3), 151-159.
- Riogilang, H. (2019). Penyuluhan Kegiatan Pengembangan Panas Bumi Cluster A di Desa Toure 1 Kecamatan Tompasso Kabupaten Minahasa Propinsi Sulut. *Media Matrasain*, 16(2), 28-32.
- Riogilang, H. (2018). Implementasi Manado Kota Hijau. *Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi*, 4(1), 8-22.
- Riogilang, H., Itoi, R., & Taguchi, S. (2013). Conceptual Model of Hydrothermal System at Kotamobagu Geothermal Field, North Sulawesi, Indonesia. *Procedia Earth and Planetary Science*, 6, 83-90.
- Riogilang, H., Itoi, R., & Taguchi, S. (2012). Recharge elevation of hot spring study in the Mt. Muayat at the Kotamobagu geothermal field, North Sulawesi, Indonesia using the stable isotope  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$ . In *Proceedings 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, California*.
- Risdianto, D., Hermawan, D., Kusnadi, D., Kholid, M., & Yuano Rezky Pusat Sumber Daya Geologi Jalan Soekarno-Hatta No, dan. (2013). Simulasi Numerik Sistem Panas Bumi Bittuang Kabupaten Tanatoraja, Sulawesi Selatan. In *Buletin Sumber Daya Geologi (Vol. 8)*.
- Sachrul Iswahyudi, Laskarul Wildan Attabik, Rachmad Setijadi, Sukmaji Anom Raharjo “Perhitungan Temperatur Reservoir Panas Bumi Daerah Bantarkawung Menggunakan Metode Geotermometer Na-K dan Entalpi-Silika” *Jurnal Geosaintek*, Vol. 5 No. 1 Tahun 2019. 7-12. p-ISSN: 2460-9072, e-ISSN: 2502-3659.
- Subekti, R. A., & Harmoko, U. (2020). Overview dan Analisis Potensi Pemanfaatan Langsung (Direct Use) Panas Bumi pada Wilayah Kerja Panas Bumi Dieng Jawa Tengah. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 133–141. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10047>
- Umar, E. P., Nawir, A., Husain, J. R., Tamar, K. R., . M., . J., & Wakila, M. H. (2020). Analisis Fluida dan Pemanfaatan Mata Air Panas Daerah Sulili Kabupaten Pinrang Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Geosaintek*, 6(3), 161. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v6i3.8108>