

Pola Gradien Temperatur Bawah Permukaan Dangkal Manifestasi Panas Bumi Desa Noongan Tiga Kabupaten Minahasa

^{*)} Bethrany F. Landung, Donny R. Wenas, Jeilen G. N. Nusa, dan Cyrke A. N. Bujung

Prodi Fisika FMIPA, Universitas Negeri Manado, Tondano, 95619, Indonesia

*e-mail: bethranylandung@gmail.com

Diterima 3 Oktober 2022; Disetujui 17 Oktober 2022

ABSTRAK

Panas bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai salah satu energi terbarukan. Adanya sumber panas bumi di permukaan tercermin dari munculnya manifestasi panas bumi. Penelitian ini dilakukan untuk memetakan sebaran temperatur bawah permukaan dangkal dan mengetahui pola gradien temperatur di sekitar manifestasi panas bumi Desa Noongan Tiga Kabupaten Minahasa. Penelitian ini menggunakan metode observasi dengan mengukur temperatur pada kedalaman 3 cm, 9 cm, dan 15 cm pada waktu pagi, siang, dan sore hari di 10 titik yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di pagi hari rata-rata temperaturnya mencapai 42,03°C pada kedalaman 3 cm, 50,09°C pada kedalaman 9 cm, dan 60,26°C pada kedalaman 15 cm. Di siang hari, rata-rata temperaturnya naik mencapai 59,20 °C pada kedalaman 3 cm, 66,01°C pada kedalaman 9 cm, dan 76,16°C pada kedalaman 15 cm. Sedangkan pada sore hari rata-rata temperaturnya mencapai 41,28 °C pada kedalaman 3 cm, 49,46 °C pada kedalaman 9 cm, dan 59,38 °C pada kedalaman 15 cm. Gradien suhu yang diperoleh menunjukkan adanya peningkatan suhu dimana semakin ke dalam, suhu mengalami kenaikan, dengan gradien suhu linier ke arah timur laut.

Kata kunci: Panas Bumi, Gradien Temperatur, Desa Noongan Tiga

ABSTRACT

Geothermal is one of the natural resources that has great potential to be used as a renewable energy. The existence of geothermal resource on the surface is reflected by the presence of the geothermal manifestations on earth surface. This research was conducted to map the shallow subsurface temperature and determine the temperature gradient pattern of the geothermal manifestation in Noongan Tiga Village, Minahasa. This research uses observation method by measuring the temperature at the depth of 3 cm, 9 cm, and 15 cm in the morning, daytime, and the afternoon at 10 different points. The results showed that in that in the morning the temperature average reached 42,03 °C at the depth of 3 cm, 50,09 °C at the depth of 9 cm, and 60,26 °C at the depth of 15 cm. In the daytime, the temperature average rises to 59,2 °C at the depth of 3 cm, 66,01 °C at the depth of 9 cm, and 76,16 °C at the depth of 15 cm. While in the afternoon the temperature average reaching 41,28 °C at the depth of 3 cm, 49,46 °C at the depth of 9 cm, and 59,38 °C at the depth of 15 cm. The temperature gradient obtained shows an increase in temperature where the deeper you go, the temperature increases, with a linear temperature gradient pattern to the northeast.

Keywords: Geothermal, Temperature Gradient, Noongan Tiga Village

1. PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai salah satu energi terbarukan. Energi panas bumi ini berasal dari aktivitas tektonik di dalam bumi. Panas bumi merupakan energi yang bukan saja alternatif yang baik untuk dikembangkan, tetapi juga sumber energi yang ramah lingkungan dan terbarukan untuk bisa dikembangkan lebih optimal (Hadi, 2013).

Secara umum lapangan panas bumi terdapat di daerah jalur gunung berapi, karena sebagai sumber panas dari Panas bumi adalah magma. Magma sebagai sumber panas akan memanasi bahan-bahan pada kerak bumi termasuk juga cairan yang ada di dalamnya.

Reservoir Panas bumi biasanya terdapat di daerah gunung api purba (*post volcanic*). Karena proses *post volcanic* tersebut menyebabkan dinginnya cairan magma yang kemudian akan menjadikannya sebagai salah satu komponen reservoir Panas bumi yang disebut sumber panas. Akibat dari proses gunung api terbentuklah sistem Panas bumi yang dipengaruhi oleh proses-proses geologi baik yang sedang berlangsung atau yang telah berlangsung di daerah *post volcanic*, sehingga memungkinkan terbentuknya suatu lapangan Panas bumi yang potensial untuk diproduksi (Anur, 2017).

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya panas bumi terbesar di dunia yang berbanding lurus dengan jumlah

gunung berapi. Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di tiga pertemuan lempeng gunung aktif, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Dimana Indonesia juga terletak pada cincin api aktif yang berasosiasi dengan gunung berapi aktif di Indonesia. Sulawesi Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki beberapa gunung berapi aktif, yang artinya memiliki potensi energi panas bumi yang besar. Salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi yaitu Desa Noongan Tiga, Kec. Langowan Barat, Kab. Minahasa.

Adanya sumber daya panas bumi di bawah permukaan sering kali ditunjukkan oleh adanya manifestasi panas bumi di permukaan (geothermal surface manifestation). Manifestasi panas bumi di bawah permukaan diperkirakan terjadi karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi yang muncul di Lapangan Panas Bumi Lahendong berupa tanah beruap, mata air panas, fumarole, solfatara dan batuan teralterasi.

Gradien suhu adalah perubahan suhu terhadap jarak atau kedalaman. Secara umum, tiap kenaikan 1 km kedalaman perut bumi suhu naik sebesar 25-30°C atau setiap kedalaman bertambah 100 meter suhu naik sekitar 2,5-3°C. Jadi semakin jauh ke dalam perut bumi suhunya akan semakin tinggi. Untuk beberapa tempat tertentu di sekitar daerah vulkanik atau aktivitas panas bumi gradien panas bumi dapat lebih besar lagi (Bilondatu dkk, 2021).

Berdasarkan latar belakang tersebut peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul berikut : Pola Gradien Temperatur Bawah Permukaan Dangkal Manifestasi Panas Bumi Desa Noongan Tiga Kabupaten Minahasa. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi. Penelitian ini bertujuan untuk (1) memetakan sebaran temperatur pada kedalaman 3 cm, 9 cm, dan 15 cm di sekitar manifestasi panas bumi Desa Noongan Tiga Kecamatan Langowan Barat pada pukul pagi, siang, dan sore hari; (2) mengetahui pola gradien temperatur di sekitar manifestasi panas bumi Desa Noongan Tiga Kecamatan Langowan Barat.

2. KAJIAN TEORI

Energi Panas Bumi

Energi panas bumi adalah energi panas yang berasal dari bawah permukaan bumi. Panas bumi adalah sumber energi panas yang

terkandung di dalam air panas, uap air, batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetika semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan (Saputri, 2014). Itu terkandung dalam batuan dan fluida di bawah kerak bumi dan dapat ditemukan hingga ke batuan cair panas bumi, magma. Panas bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki potensi sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi terbarukan. Energi panas bumi telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik di Italia sejak tahun 1913 dan di Selandia Baru sejak tahun 1958. Pemanfaatan energi panas bumi untuk sektor non-listrik (direct-use) telah berlangsung di Islandia sekitar 70 tahun (Hidayat, 2013).

Saat ini energi panas bumi telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik di 24 negara, termasuk Indonesia. Sementara pemanfaatan panas bumi untuk sektor non-listrik seperti pemanasan dan pengeringan telah digunakan di 72 negara (Zakaria, 2020).

Hampir seluruh permukaan bumi merupakan fluks (aliran) panas yang melalui kerak dan naik ke permukaan tanah. Panas ini dipindahkan ke permukaan dengan cara konduksi melalui kerak batuan. Rata-rata gradien geothermal pada bagian terdangkal dari kerak bumi sekitar 30°C/km. Namun karena aliran panas yang beragam dari suatu tempat ke tempat lain di permukaan bumi, serta konduktivitas termal yang beragam pula pada tiap lapisan yang berbeda, gradien konduktifnya dapat mencapai 60°C/km.

Terjadinya Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi ialah terminologi yang digunakan untuk berbagai hal tentang sistem air-batuan dalam temperatur tinggi di laboratorium atau lapangan (Santoso, 2004). Komponen utama pembentuk sistem panas bumi yaitu sumber panas (*heat source*), batuan reservoir (*cap rock*), batuan penutup serta aliran fluida (*fluida circulation*).

Sistem panas bumi berasosiasi dengan 2 hal, yaitu gerakan lempeng tektonik dan stratigrafi. Gerakan lempeng tektonik sendiri terbagi menjadi tiga macam yaitu:

- a. Konvergen
Pergerakan dua lempeng yang saling mendekat.
- b. Divergen

Pergerakan dua lempeng yang saling menjauh.

c. Transform

Pergerakan dua lempeng yang saling berpapasan

Stratigrafi merupakan geothermal di cekungan sedimen karena adanya pelapisan yang semakin tebal di atas menyebabkan lapisan paling bawah mengalami tekanan tertinggi dan akhirnya dapat mengeluarkan sumber panas. Sering dikenal dengan istilah geopressure geothermal.

Manifestasi Panas Bumi

Selain komponen penyusun sistem panas bumi, keberadaan suatu sistem panas bumi ditandai oleh kehadiran manifestasi panas di permukaan. Manifestasi Panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida Panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan (Saptadji, 2001).

Sistem panas bumi konvektif yang memiliki sirkulasi fluida dari daerah recharge masuk ke dalam reservoir kemudian keluar menuju permukaan melalui daerah upflow dan outflow, fluida akan bereaksi dengan batuan sekitar dan kemudian keluar melalui rekahan-rekahan dalam batuan. Interaksi fluida dengan batuan sekitarnya menghasilkan mineral-mineral ubahan, sedangkan fluida yang keluar melalui rekahan akan menghasilkan air panas atau uap panas. Gejala-gejala seperti itu yang disebut sebagai manifestasi panas bumi. Beberapa contoh manifestasi panas bumi, antara lain danau kawah asam, fumarol, solfatara, tanah hangat (warm ground), tanah beruap (steaming ground), mata air panas, batuan teralterasi, dan geyser.

Gradien Panas Bumi

Dalam suatu benda yang memiliki gradien temperatur maka akan terjadi perpindahan energi atau perambatan panas dari bagian yang bertemperatur tinggi ke bagian yang bertemperatur rendah (Sailah, 2010). Secara universal, setiap penurunan 1 km kedalaman ke perut bumi temperature naik sebesar 25-30°C. Atau setiap kedalaman bertambah 100 meter temperatur naik sekitar 2,5 sampai 3°C. Jadi semakin jauh ke dalam perut bumi suhu batuan akan makin tinggi. Bila suhu di permukaan

bumi adalah 27°C maka untuk kedalaman 100 meter suhu bisa mencapai sekitar 29,5°C. Untuk kedalaman 1 km suhu batuan dapat mencapai 52-60°C. Pertambahan panas tersebut dikenal sebagai gradien geothermal. Untuk tempat-tempat tertentu di sekitar daerah vulkanik gradien geothermal dapat lebih besar lagi. Variasinya 1-25°C/100m.

Di dalam kulit bumi ada kalanya aliran air dekat sekali dengan batuan panas dengan suhu bisa mencapai 148°C. Air tersebut tidak menjadi uap (steam) karena tidak ada kontak dengan udara. Bila air panas tadi bisa keluar ke permukaan bumi melalui celah atau terjadi rekahan di kulit bumi, maka muncul air panas yang biasa disebut dengan hot spring. Air panas alam ini biasa dimanfaatkan sebagai kolam air panas, dan banyak pula yang sekaligus menjadi tempat wisata. Mata air panas tak terhitung jumlahnya.

Jika tidak ada sumber panas lain antara sumber panas tertentu dengan permukaan, dan tidak ada heat sink, jumlah paa yang ditransmisikan ketika suhu kondisi tunak harus sama terlepas dari perbedaan konduktivitas batuan (Wenas dkk, 2020).

Dan gradien panas bumi di atas sumber panas akan berubah dalam perpindahan dari satu batu ke batu lain dengan konduktivitas yang berbeda. Mode utama perpindahan panas di kerak permukaan adalah konveksi dan konduksi. Dalam pemetaan aliran panas regional, tujuan penting adalah untuk memisahkan proses dekat permukaan, seperti aliran tanah dan sirkulasi hidrotermal, dari aliran panas yang lebih dalam dari interior bumi. Pengetahuan tentang variasi spasial dalam gradien panas bumi dan aliran panas sangat penting untuk penyelidikan dan pemanfaatan panas bumi yang berkembang di seluruh dunia (Hjartarson, 2015).

Suhu batuan atau tanah dan di dekat permukaan bumi hampir seluruhnya dihasilkan dari pemanasan oleh matahari dan pendinginan melalui radiasi, penguapan, dan berbagai proses penyerapan panas. Pada setiap lokasi permukaan tertentu panas yang disuplai dari bawah permukaan relatif konstan; itu mewakili panas dari interior lokal ditambah dengan panas dari oksidasi bawah permukaan atau sumber panas lokal lainnya dan bertanggung jawab untuk suhu batuan di bawah zona dimana efek suhu permukaan terlihat. Suhu pada kedalaman tertentu di lokasi manapun, bagaimanapun,

bergantung pada tidak hanya pada aliran panas melalui bebatuan tetapi pada sifat termal batuan, dan pada suhu permukaan dimana suhu bawah permukaan berada dalam kesetimbangan atau yang mereka sesuaikan (Lovering dan Goode, 1963).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Desa Noongan Tiga, Kec. Langowan Barat, Kab. Minahasa pada hari Selasa, 3 Mei 2022.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- GPS;
- Termometer;
- Meteran;
- Bor kecil;
- Alat tulis menulis;
- Telepon pintar;
- Laptop.

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kuantitatif, setelah masalah ditemukan maka langkah selanjutnya adalah mengadakan studi literatur sebagai dasar teori dalam melakukan penelitian. Kemudian dilakukan survey lapangan tempat penelitian untuk menentukan lokasi yang akan di gunakan. Setelah itu peneliti mempersiapkan

alat yang akan digunakan pada saat pengambilan data di lapangan.

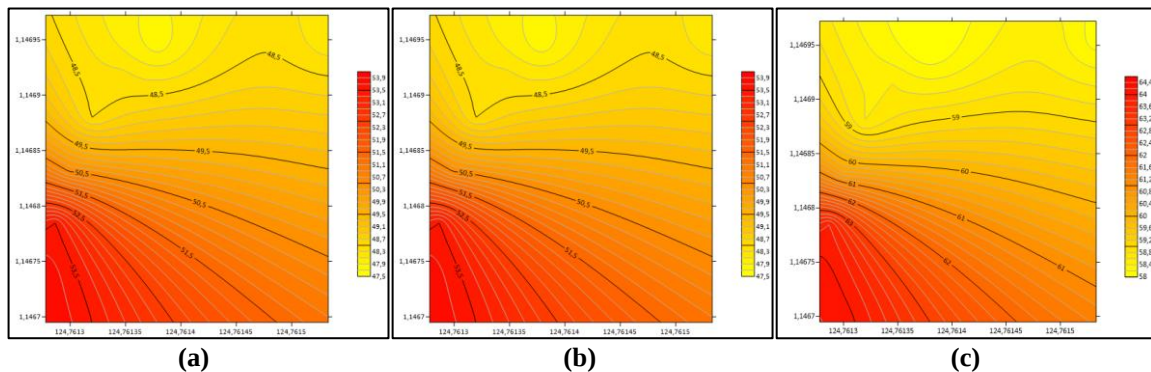
Selanjutnya tahap kegiatan lapangan, dalam tahap ini dilakukan pengambilan data di lapangan seperti pengukuran manifestasi dan titik koordinat. Pengambilan data dilakukan di Desa Noongan 3 dimana terdapat beberapa manifestasi panas bumi. Data diambil pada 3 kedalaman yaitu 3 cm, 9 cm, dan 15 cm yang dibagi pada 10 titik dengan waktu pengambilan data dilakukan pada pukul 06.30 sampai 07.00 pagi, pukul 12.00 sampai 12.30 siang, dan pukul 17.00 sampai 17.30 sore.

Data yang diperoleh diolah dan dianalisis kemudian mendapatkan hasil pembahasannya. Setelah data hasil pengukuran di lapangan diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah analisis untuk mendapatkan data sebaran suhu dan gradien suhu menggunakan aplikasi *Excel* dan *Surfer*. Setelah itu ditarik kesimpulan dari data yang diolah.

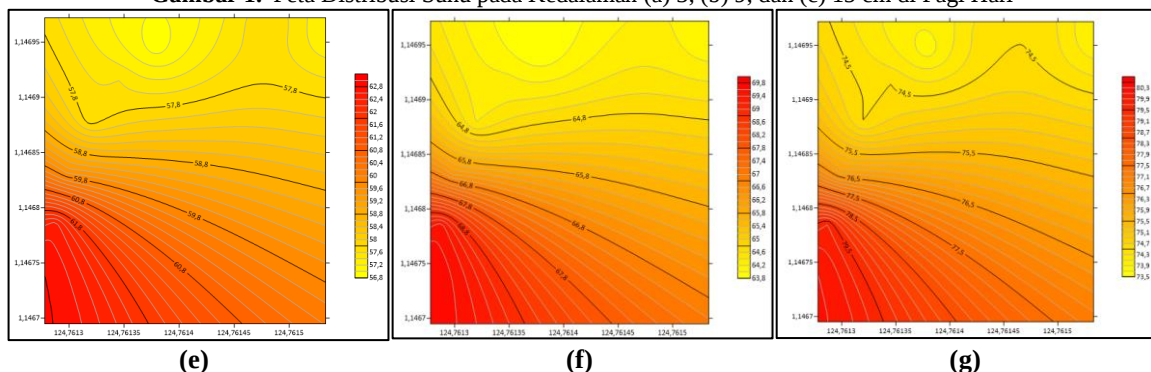
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan Sebaran

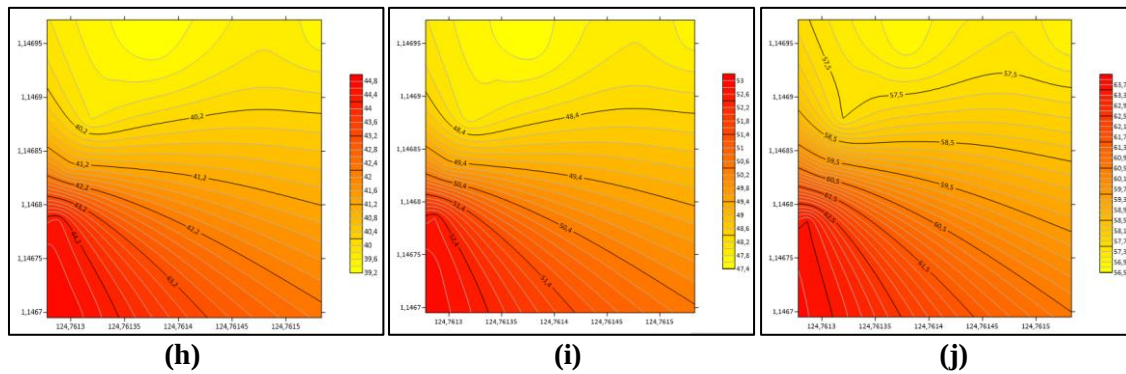
Berdasarkan data yang telah didapatkan di lapangan, dibuatlah peta sebaran suhu. Berdasarkan peta kontur pada Gambar 1(a), maka dapat diketahui distribusi temperatur pada kedalaman 3 cm memiliki nilai rata-rata



Gambar 1. Peta Distribusi Suhu pada Kedalaman (a) 3, (b) 9, dan (c) 15 cm di Pagi Hari



Gambar 2. Peta Distribusi Suhu pada Kedalaman (e) 3, (f) 9, dan (g) 15 cm di Siang Hari



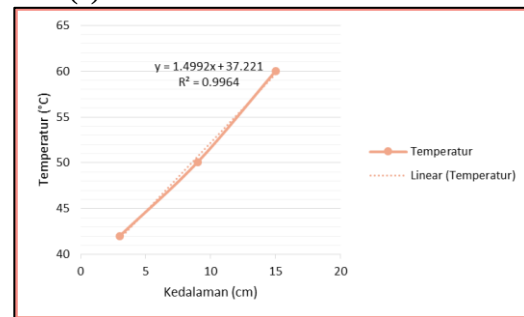
Gambar 3. Peta Distribusi Suhu pada Kedalaman (h) 3, (i) 9, dan (j) 15 cm di Siang Hari

42,03°C. Berdasarkan peta kontur pada Gambar 1(b), maka dapat diketahui distribusi temperatur pada kedalaman 9 cm di pagi hari memiliki nilai rata-rata 50,09°C. Berdasarkan peta kontur pada Gambar 1(c), pada kedalaman 15 cm di pagi hari, rata-rata distribusi temperaturnya 60,26°C. Gambar 2(d), (e), dan (f) menampilkan peta kontur pada siang hari. Pada kedalaman 3 cm di siang hari, rata-rata distribusi temperaturnya 59,2°C. Pada kedalaman 9 cm di siang hari, rata-rata distribusi temperaturnya 66,01°C. Pada kedalaman 15 cm di siang hari, rata-rata distribusi temperaturnya 76,16°C. Sementara itu, Gambar 2(g), (h), dan (i) menampilkan peta kontur pada sore hari. Pada kedalaman 3 cm di sore hari, rata-rata distribusi temperaturnya 41,28°C. Pada kedalaman 9 cm di sore hari, rata-rata distribusi temperaturnya 49,46°C. Pada kedalaman 15 cm di sore hari, rata-rata distribusi temperaturnya 59,38°C. Dapat kita perhatikan ada beberapa titik yang menunjukkan perbedaan suhu yang signifikan dibandingkan daerah yang lain, dikarenakan titik tersebut berada di dekat manifestasi tanah beruap.

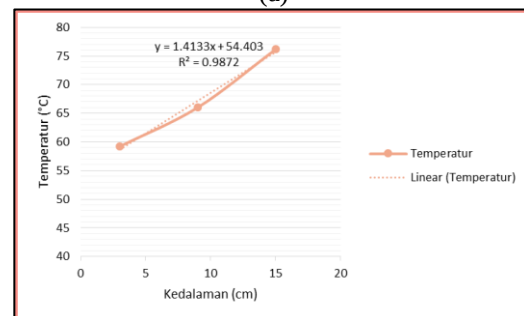
Gradien Temperatur

Kurva Gradien suhu manifestasi Panas bumi yang terdapat pada beberapa titik di Desa Noongan Tiga berdasarkan pengukuran di pagi, siang, dan sore hari ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Gambar 4.(a) menunjukkan grafik kenaikan suhu pada pagi hari, pengukuran di siang hari ditunjukkan pada Gambar 4.(b), dan berdasarkan pengukuran di sore hari ditunjukkan pada Gambar 4.(c). Sementara itu, pada Gambar 5. (a), (b), dan (c) menampilkan peta gradiennya untuk masing-masing pengukuran pada pagi, siang, dan sore hari secara berturut-turut.

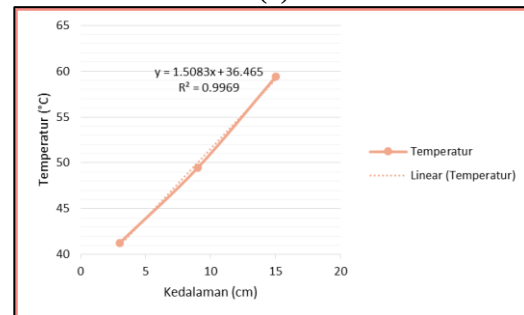
Pengukuran suhu yang dilakukan pagi hari menunjukkan kenaikan suhu terhadap kedalaman mengikuti pada pola fungsi logaritma $y = 1.4992x + 37.221$ yang berarti pada pagi hari gradien temperaturnya 1.4992 °C/cm dengan pola linier ke arah timur laut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.(a) dan 5.(a).



(a)



(b)

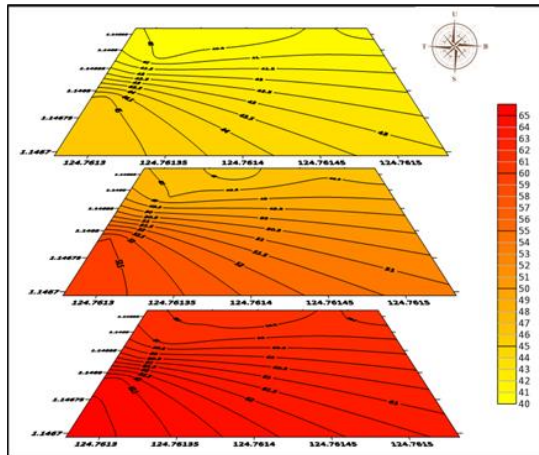


(c)

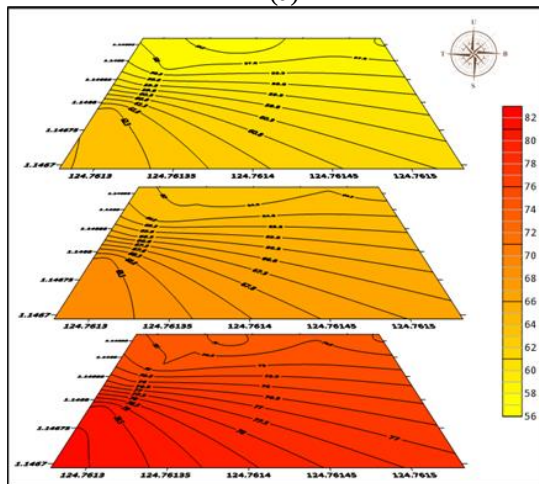
Gambar 42. Grafik Kenaikan Suhu pada (a) Pagi Hari, (b) Siang Hari, dan (c) Sore Hari.

Pengukuran suhu yang dilakukan siang hari menunjukkan kenaikan suhu terhadap kedalaman mengikuti pada pola fungsi logaritma $y = 1.4133x + 54.403$ yang berarti pada pagi hari gradien temperaturnya 1.4133 °C/cm dengan pola linier ke arah timur laut Gambar 4.(b) dan 5.(b).

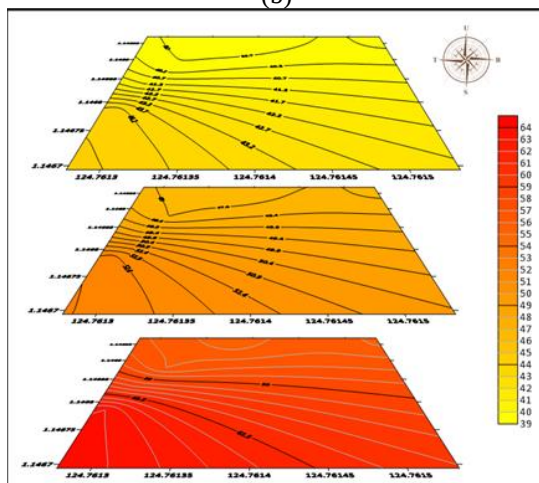
Pengukuran suhu yang dilakukan sore hari menunjukkan kenaikan suhu terhadap kedalaman mengikuti pada pola fungsi logaritma $y = 1.5083x + 36.465$ yang berarti pada pagi hari gradien temperaturnya 1.5083 °C/cm dengan pola linier ke arah timur laut Gambar 4.(c) dan 5.(c)



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Peta Gradien Suhu pada (a) pagi, (b) siang, dan (c) sore hari

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu sebaran temperatur di daerah manifestasi panas bumi Desa Noongan Tiga bervariasi nilainya. Di pagi hari rata-rata temperaturnya mencapai 42,03°C pada kedalaman 3 cm, 50,09°C pada kedalaman 9 cm, dan 60,26°C pada kedalaman 15 cm. Berbeda dengan siang hari, panas matahari mulai mempengaruhi sehingga rata-rata temperaturnya naik mencapai 59,2°C pada kedalaman 3 cm, 66,01°C pada kedalaman 9 cm, dan 76,16°C pada kedalaman 15 cm. Sedangkan pada sore hari data memperlihatkan penurunan temperatur dibandingkan pada siang hari dengan rata-rata temperaturnya mencapai 41,28°C pada kedalaman 3 cm, 49,46°C pada kedalaman 9 cm, dan 59,38°C pada kedalaman 15 cm. Selain itu, gradien suhu yang diperoleh menunjukkan adanya peningkatan suhu dimana semakin ke dalam, suhu mengalami kenaikan, dengan gradient suhu linier ke arah timur laut.

6. REFERENSI

- Anur, H. (2017). Analisa Uji Produksi Metode Separator Dengan Menggunakan Orifice Meter Pada Sumur “X” Lapangan Panas Bumi Seminar.
- Bilondatu, A., Londah, T., Bujung, C. (2021) : Distribusi Suhu Bawah Permukaan Manifestasi Panas Bumi untuk Analisis Gradien Suhu di Bukit Kasih Kanongan. Jurnal FISTA: Fisika dan Terapan. Vol 2, No. 2 : 61-65.
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2018). Sinter. Encyclopedia Britannica.
- Hadi, A. I. (2013). Potensi Energi Panas Bumi Berdasarkan Data Gradien Suhu Bawah Permukaan Daerah Gunungapi Kaba Bengkulu. GRADIEN, 5(2), 472-475.
- Hadi, A. I., & Refrizon, R. (2005). Distribusi Sumber Panas Bumi Berdasarkan Survei Gradien Suhu Dekat Permukaan Gunungapi Hulu Lais.

- GRADIEN: Jurnal Ilmiah MIPA, 1(2), 64-68.
- Hidayat, F. (2013). Analisis Resiko Pada Tiga Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Indonesia Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (Fta) Dan Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Hjartarson, Á. (2015). Proceeding World Geothermal Congress 2015. Heat Flow in Iceland.
- Lovering, T. S., & Goode, H. D. (1963). Measuring Geothermal Gradients in Drill Holes Less Than 60 Feet Deep East Tintic District, Utah. Washington: United States Government Printing Office.
- Sailah, S. (2010). Menentukan Distribusi Temperatur dengan Menggunakan Metode Crank Nicholson. Jurnal Penelitian Sains, 13(2).
- Santoso, D. (2004). Catatan Kuliah “Eksplorasi Energi Geothermal”. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Saptadji, N. M. (2001). Teknik Panas Bumi. Bandung, Penerbit ITB.
- Saputri, S. A. (2014). Geologi dan Identifikasi Manifestasi Panas Bumi di Daerah Gunung Pandan dan Sekitarnya. Jurnal Teknik Geologi ITATS, 3(1).
- Wenas, D. R., Tulandi, D. A., & Bujung, C.A.N. (2020). Geothermal Gradient and Subsurface Temperature for Estimation of Sources, Patterns and Heat Flow Directions in The Hydrothermal Area of Minahasa Indonesia.
- Zakaria, A. D. (2020). Harmonisasi Pengaturan Pemanfaatan Energi Panas Bumi Pada Hutan Konservasi. Novum: Jurnal Hukum, 7(3).