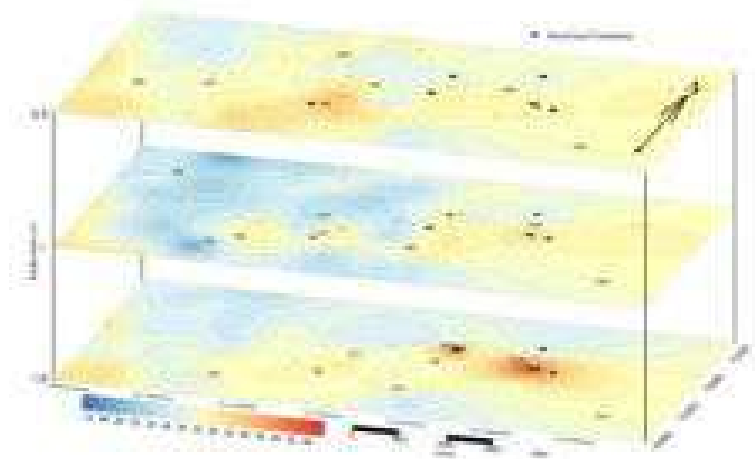


JURNAL  
**Teori  
dan Aplikasi  
Fisika**

---



Gambar 6. hal 180

# Table of Contents

## Articles

<a href="#">Pengaruh Ethanolamina Terhadap Pembentukan Fasa, Ukuran Partikel, dan Luas Permukaan Spesifik Nanotitania Menggunakan Metode Sol Gel</a> Renita Maharani Fauzi, Posman Manurung, Yanti Yulianti Abstract view : 29 times	<a href="#">PDF</a> 121 - 132
<a href="#">PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR KOROSI EKSTRAK KULIT PISANG KEPOK (<i>Musa paradisiaca</i> L) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA KARBON API 5L PADA SUHU PERENDAMAN 40OC DAN 80OC</a> Titan Nurahman, Ediman Ginting Suka, Leni Rumiyantri Abstract view : 17 times	<a href="#">PDF</a> 133 - 142
<a href="#">Rancang Bangun Sistem Hidung Elektronik Berbasis Sensor Gas MQ untuk Mengevaluasi Kualitas Madu</a> Minarni Shiddiq, Annisa Fadlillah, Sinta Afria Ningsih, Ikhsan Raahaman Husein Abstract view : 38 times	<a href="#">PDF</a> 143 - 152
<a href="#">Pengujian Gugus Fungsi Silika Berbasis Sekam Padi Dengan Variasi Suhu &amp; Konsentrasi Cetyltrimethylammonium Bromide Sebagai Bahan Baku Mesoporous Silica</a> Leni Rumiyantri, Catur Destiana, Ria Oktaviani, Simon Sembiring, Syafridi Syafridi, Ni Luh Gede Ratna Juliasih Abstract view : 8 times	<a href="#">PDF</a> 153 - 158
<a href="#">Penentuan Titik Pengamatan Optimal Terhadap Kualitas Udara pada Gas Keluaran Diffuser berbasis Internet of Things</a> Irmayatul Hikmah, Afifah Dwi Ramadhani, Fikra Titan Syifa Abstract view : 7 times	<a href="#">PDF</a> 159 - 166
<a href="#">Aplikasi Sensor TGS2620 dan MQ138 untuk Mendeteksi Kematangan Buah Durian Berbasis Raspberry Pi 3B</a> Dewi Puspitasari, Arif Surtono, Sri Wahyu Suciyantri, Gurum Ahmad Pauzi Abstract view : 10 times	<a href="#">PDF</a> 167 - 174
<a href="#">Pengujian Prototipe Instrumen Pengukuran Gradien Termal di Lapangan Panas Bumi Padang Cermin Pesawaran</a> Karyanto Karyanto, I Gede Boy Darmawan Abstract view : 44 times	<a href="#">PDF</a> 175 - 184
<a href="#">Gempa Bumi : Hubungan Data Sensor MAG3110 dengan Data Sensor ADXL345 Berbasis IoT</a> Dodi Yudo Setyawan, Nurfiana Nurfiana, Lia Rosmalia, Melia Gripin Setiawati Abstract view : 23 times	<a href="#">PDF</a> 185 - 196
<a href="#">Design of an Earthquake Intensity Estimation System for Early Warning</a> Trismahargyono Trismahargyono, Sri Ratna Sulistiyanti, Roniyus Marjunus Abstract view : 9 times	<a href="#">PDF</a> 197 - 202
<a href="#">Sintesis Magnesium Oksida (MgO) dari Dolomit Bangkalan dengan Metode Leaching</a> Dewi Saputri, Lydia Rohmawati Abstract view : 27 times	<a href="#">PDF</a> 203 - 210
<a href="#">Sintesis Soluble Polianilin dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Dopan</a> Retno Fitri Wulandari, Nugrahani primary putri Abstract view : 18 times	<a href="#">PDF</a> 211 - 220
<a href="#">Pengaruh Medan Listrik sebagai Stimulan Pertumbuhan Bawang Putih Lokal Timor</a> gede arya wiguna, welsiliana welsiliana, florian mayesti prima remba makin, ite morina yostianti tnunay Abstract view : 29 times	<a href="#">PDF</a> 221 - 228
<a href="#">Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Sapu-Sapu (<i>Hypostomus plecostomus</i>) dengan Metode Presipitasi</a> Sri Maulidiyah Mangkuasih, Lydia Rohmawati Abstract view : 15 times	<a href="#">PDF</a> 229 - 236
<a href="#">Delineasi Patahan di Pulau Weh sebagai Perpanjangan The Great Sumatran Fault (GSF) Berdasarkan Data Metode Geomagnetik</a> Afrahun Naziah, Nazli Ismail, Nasrullah Zaini, Muhammad Nanda Abstract view : 15 times	<a href="#">PDF</a> 237 - 244
<a href="#">Desain Pengendali A Modified Fractional Order PID (<math>PI^{\lambda}D^{\mu}</math>) untuk Pengendalian Level Pressurizer pada Pressurized Water Reactor (PWR)</a> Rissa Damayanti, Abdul Halim Abstract view : 9 times	<a href="#">PDF</a> 245 - 258

# Pengujian Prototipe Instrumen Pengukur Gradien Termal di Lapangan Panas Bumi Padang Cermin Pesawaran

Karyanto<sup>(1,a)\*</sup> dan I Gede Boy Darmawan<sup>(1,b)</sup>

<sup>(1)</sup>Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35145  
Email: <sup>(a\*)</sup>karyanto@eng.unila.ac.id, <sup>(b)</sup>igedeboy@staff.unila.ac.id

Direvisi (22 April 2021), Direvisi (21 Juli 2021)

**Abstract.** The design of the thermal gradient measurement instrument prototype that has been done previously requires field testing. This test aims to see the ability of the prototype instrument indirect measurement tests in geothermal fields. The method used in testing is to compare the results of temperature measurements on the prototype instrument with temperature measurements using the MAE A5000T instrument from previous research in Padang Cermin. The calculation of the thermal gradient is carried out automatically by the system in the prototype using the least-squares technique. The measurement results show that there is temperature alignment, especially in the manifestation area. The temperature distribution map indicates a clustering pattern that shows the relationship between hot fluid flow, especially in the west-east direction. The hot fluid connectivity is interpreted as a geological structure or permeable zone in the manifestation area. The results of the thermal gradient measurement also show a high gradient pattern in the geothermal manifestation area. Besides, the distribution of low-temperature values in the three layers also indicates the source of the surface water fluid flow, which is in line with the direction of the top of the mountain. These findings reinforce the indication that the peak of Mount Ratai dominates the meteoric water recharge source. These findings indicate that the prototype of this thermal gradient measurement instrument can be used in geothermal fields.

**Keywords:** Geothermal, Instrument, Padang Cermin, Prototype, Thermal Gradient

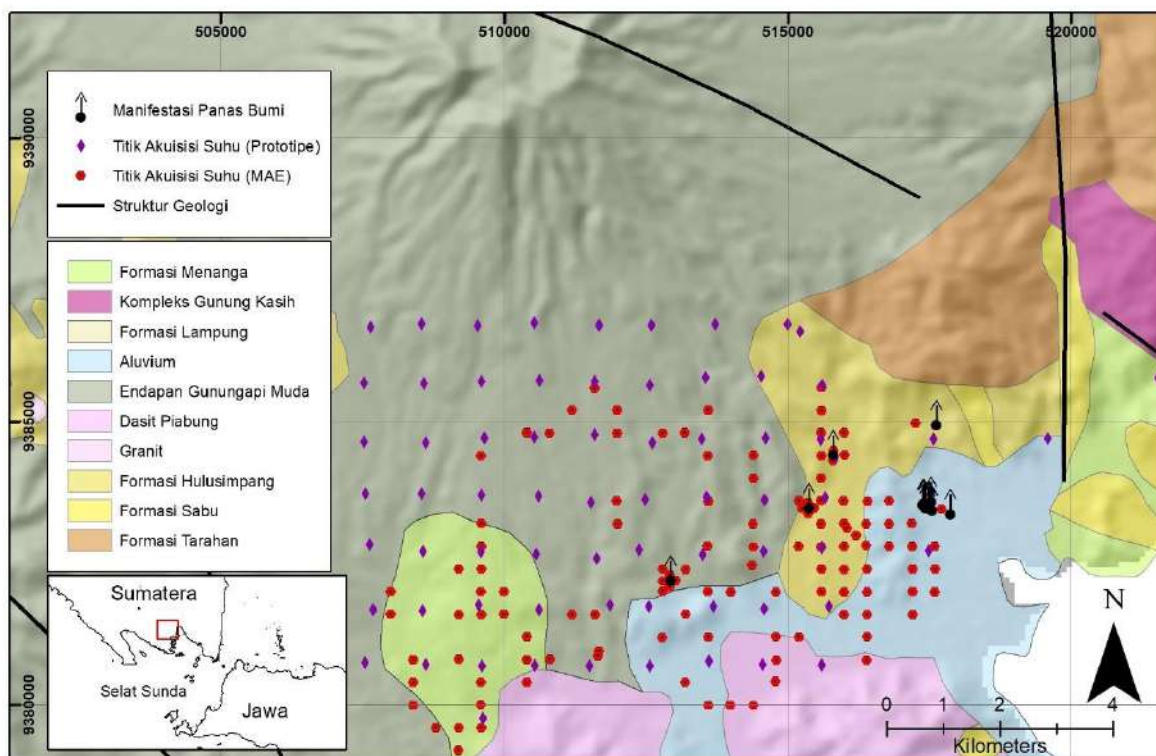
**Abstrak.** Hasil perancangan prototipe instrumen pengukur gradien termal yang telah dilakukan sebelumnya membutuhkan pengujian lapangan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kemampuan instrumen prototipe dalam uji pengukuran langsung di lapangan panas bumi. Metode yang digunakan dalam pengujian adalah dengan membandingkan hasil pengukuran suhu pada instrumen prototipe dengan hasil pengukuran suhu menggunakan instrumen MAE A5000T penelitian sebelumnya di Padang Cermin. Penghitungan gradien termal dilakukan secara otomatis oleh sistem dalam prototipe menggunakan teknik kuadrat terkecil (*Least Squares Method*). Hasil pengukuran menunjukkan adanya keselarasan suhu khususnya pada area manifestasi. Peta sebaran suhu mengindikasikan pola klusterisasi yang menunjukkan hubungan aliran fluida panas, khususnya pada arah barat-timur. Adanya konektivitas fluida panas ini diinterpretasikan sebagai struktur geologi atau zona *permeable* pada area manifestasi. Hasil pengukuran gradien termal juga menunjukkan pola gradien tinggi di area manifestasi panas bumi. Selain itu, sebaran nilai suhu rendah pada ketiga layer juga mengindikasikan sumber aliran fluida air permukaan yang selaras dengan arah puncak gunung. Hal ini memperkuat indikasi bahwa sumber *recharge* atau resapan air meteorik didominasi oleh puncak Gunung Ratai. Temuan ini mengindikasikan bahwa prototipe instrumen pengukuran gradien termal ini mampu digunakan di lapangan panas bumi.

**Kata kunci:** Gradien Termal, Instrumen, Padang Cermin, Panas Bumi, Prototipe

## PENDAHULUAN

Lapangan panas bumi Padang Cermin/Way Ratai merupakan potensi energi panas bumi yang terletak di Gunung

Ratai, Tanggamus [1], [2]. Kombinasi metode akuisisi data sangat diperlukan dalam kegiatan eksplorasi panas bumi, salah satunya dengan pengukuran gradien termal [3]. Gradien termal akan menunjukkan perubahan temperatur bawah



**Gambar 1.** Peta geologi lokasi penelitian disertai titik akuisisi data suhu.

permukaan selasar dengan penambahan kedalaman. Untuk daerah dengan potensi panas bumi, gradien termal dangkal akan mampu dipetakan di daerah manifestasi (**Gambar 1**).

Pentingnya pemetaan gradien termal untuk eksplorasi panas bumi khususnya di Padang Cermin salah satunya untuk menjadi input dalam pemodelan aliran fluida hidrotermal. Aktifitas fluida ini menandakan adanya pergerakan fluida panas bumi yang tertahan oleh lapisan penutup [4]. Lokasi terjebakanya fluida panas bumi ini menjadi target utama dalam kegiatan eksplorasi panas bumi. Oleh karena itu, penentuan zona aktifitas fluida ini menjadi kunci penting dalam penentuan lokasi reservoir panas bumi. Struktur berupa patahan/sesar di bawah permukaan menjadi zona permeabel bagi fluida panas bumi. Melalui zona ini, fluida hidrotermal dapat mengalir dan terjadi proses perpindahan energi panas hingga muncul di permukaan sebagai manifestasi panas bumi.

Pengukuran suhu untuk menghitung gradien termal dapat dilakukan menggunakan sensor suhu analog maupun digital. Sensor suhu analog memberikan keluaran tegangan analog dan umumnya membutuhkan rangkaian tambahan yang disebut pengkondisi sinyal sebelum dihubungkan dengan perangkat *display*.

Sensor suhu digital mempunyai beberapa kelebihan dari sensor suhu analog, diantaranya adalah kekebalannya terhadap *noise*. Sensor digital juga dapat dihubungkan ke masukan digital perangkat pembaca tanpa rangkaian tambahan. Salah satu sensor digital yang ada di pasaran adalah DS18B20 [5]. Sensor ini telah terbukti mampu dikembangkan dalam prototipe baik untuk bidang kesehatan [6]–[8], lingkungan [9]–[11], pertanian [12]–[14], perikanan [15], uji laboratorium biologi [16] serta pengembangan *Internet of Thing* (IoT) [17]–[19]. Namun sensor ini membutuhkan proses perancangan agar dapat digunakan untuk melakukan pengukuran gradien termal.



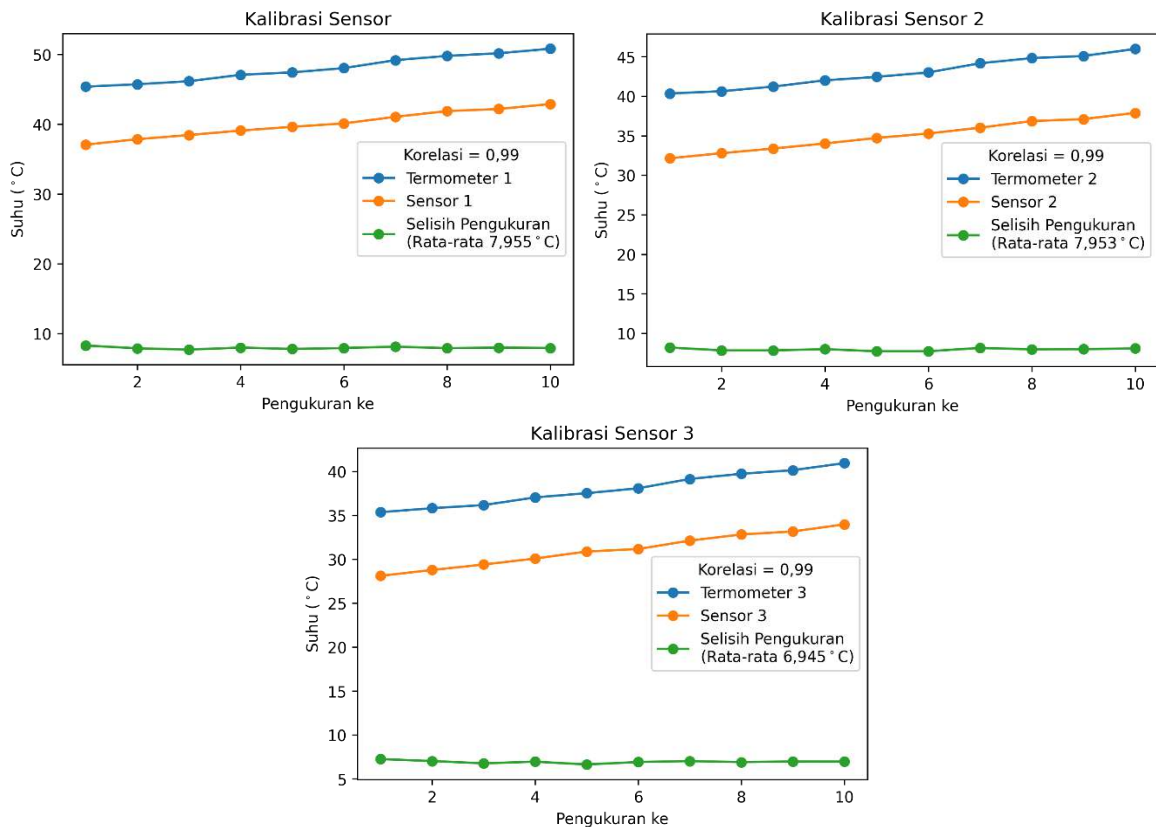
Adanya kebutuhan akan teknologi pengukuran gradien termal dalam eksplorasi panas bumi, maka perlu dilakukan penelitian untuk membangun instrumen yang digunakan sebagai alat pengukuran data gradien termal. Prototipe ini memanfaatkan teknologi yang relatif lebih murah dan dapat dilakukan pengembangan lebih lanjut. Sensor yang digunakan telah dilengkapi dengan lapisan kedap air (*waterproof*), mampu mengirimkan data melalui 1 kabel serial serta bekerja pada temperatur -55 °C hingga 125 °C [20].

Untuk melakukan pengukuran gradien termal, tim peneliti telah mengembangkan prototipe instrumen pengukuran gradien termal dengan memanfaatkan tiga sensor DS18B20 yang dihubungkan dengan sistem kontroler arduino. Prototipe ini dirancang agar dapat melakukan akuisisi data suhu secara bersamaan pada tiga level kedalaman, yaitu 0,5 m, 1 m dan 1,5 m. Namun untuk mengetahui kemampuan dari

prototipe yang telah dirancang ini, maka penelitian ini dilakukan untuk menguji pengukuran suhu di lapangan panas bumi Padang Cermin. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan dan membandingkan hasilnya dengan suhu pengukuran menggunakan instrumen MAE. Penelitian ini juga difokuskan untuk mendapatkan peta sebaran suhu dan gradien termal dangkal di wilayah panas bumi Padang Cermin.

### METODE PENELITIAN

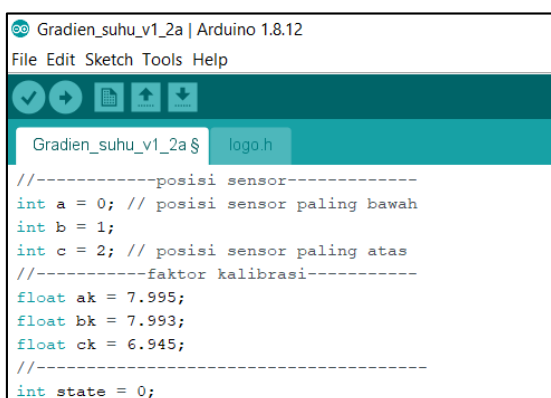
Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu kalibrasi suhu tiap sensor pada prototipe instrumen, pengukuran data di lapangan panas bumi Padang Cermin (**Gambar 1**) dan terakhir pembuatan peta sebaran dan model distribusi suhu untuk perbandingan dengan hasil pengukuran penelitian sebelumnya [2], [21] menggunakan instrumen *thermal conductivity* MAE A500T.



**Gambar 2.** Kurva hasil kalibrasi sensor dengan termometer sebelum akuisisi di lapangan.

Tahapan pertama yaitu kalibrasi data suhu tiap sensor dilakukan di laboratorium. Metode yang digunakan yaitu dengan memberikan sumber panas yang sama pada sensor dan termometer kemudian mencatat hasil pengukurannya. Tiap hasil pengukuran dibandingkan nilai korelasinya dan dihitung rerata dari selisih bacaan sensor dengan termometer. Hasil perhitungan rerata selisih ini kemudian diinput ke dalam sistem prototipe sebagai nilai faktor kalibrasi tiap sensor. Adapun hasil kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 2**.

Pada tahapan kalibrasi sensor yang ditunjukkan pada **Gambar 2** diperoleh nilai korelasi 0,99 atau 99% pada ketiga sensor terhadap hasil pengukuran suhu dengan menggunakan termometer. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai pengukuran tiap sensor pada prototipe instrumen memiliki kesamaan pola yang sangat tinggi dengan pengukuran menggunakan termometer.



```
Gradien_suhu_v1_2a | Arduino 1.8.12
File Edit Sketch Tools Help

Gradien_suhu_v1_2a $ logo.h

//-----posisi sensor-----
int a = 0; // posisi sensor paling bawah
int b = 1;
int c = 2; // posisi sensor paling atas
//-----faktor kalibrasi-----
float ak = 7.995;
float bk = 7.993;
float ck = 6.945;
//-----
int state = 0;
```

**Gambar 3.** Memasukkan nilai faktor kalibrasi ke *script* arduino.

Untuk selisih suhu pada tiap pengukuran pada sensor 1 memiliki nilai rata-rata selisih 7,995 °C. Nilai ini hampir sama dengan nilai rata-rata selisih pada sensor 2 yakni 7,993 °C. Sedangkan untuk nilai rata-rata selisih pada sensor 3 bernilai 6,945 °C. Nilai rata-rata selisih pada ketiga sensor ini

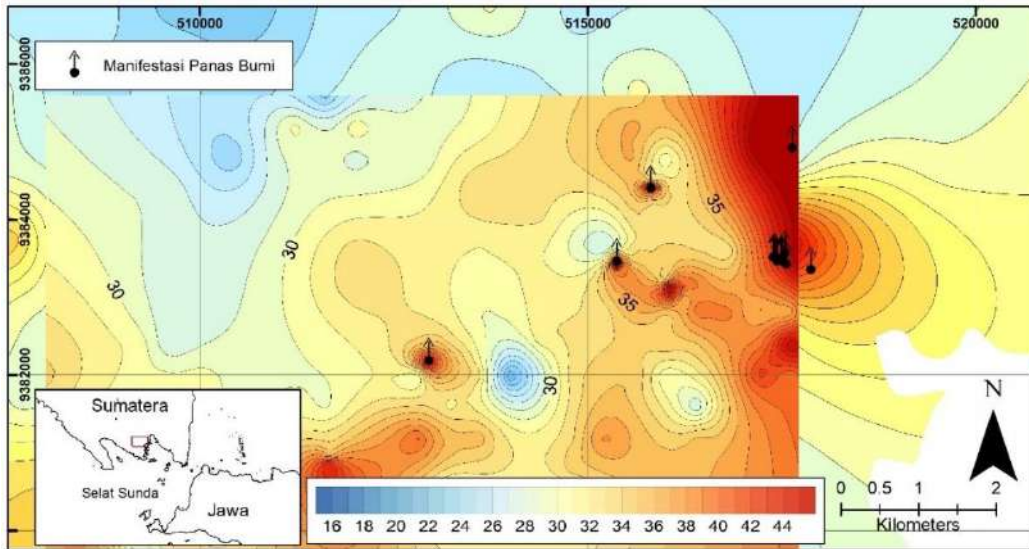
dimasukkan kedalam *script* program arduino sebagai faktor kalibrasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Setelah proses kalibrasi selesai, maka pengujian prototipe instrumen pengukuran gradien termal di lapangan panas bumi Padang Cermin siap dilakukan. Pengukuran dilakukan sebanyak 72 titik dengan interval tiap titik rata-rata 1 km. Titik akuisisi tersebar di sekitar area manifestasi yang ada di Padang Cermin seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1** sebelumnya. Sedangkan untuk data pembanding, digunakan hasil pengukuran suhu pada instrumen thermal conductivity MAE A5000T sebanyak 122 titik. Data ini merupakan data sekunder yang telah diakuisisi pada penelitian sebelumnya [2].

Tahapan terakhir dari penelitian ini adalah pembuatan peta sebaran suhu terukur oleh sensor dan membandingkan hasilnya dengan hasil pengukuran suhu pada instrumen MAE hasil penelitian sebelumnya. Metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) digunakan untuk membuat peta sebaran suhu dari masing-masing sensor. Metode pemodelan 2,5D dilakukan pada ketiga peta sebaran suhu untuk mendapatkan gambaran pola aliran fluida dangkal di daerah manifestasi panas bumi. Terakhir, perhitungan nilai gradien termal dilakukan dengan metode kuadrat terkecil (*Least Squares Method*). Hasil perhitungan dibuat peta sebaran nilai gradien termal di lapangan panas bumi Padang Cermin.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan akuisisi data suhu di lapangan, diperoleh peta suhu permukaan di kedalaman pertama yang dibandingkan dengan data instrumen MAE (**Gambar 4**).

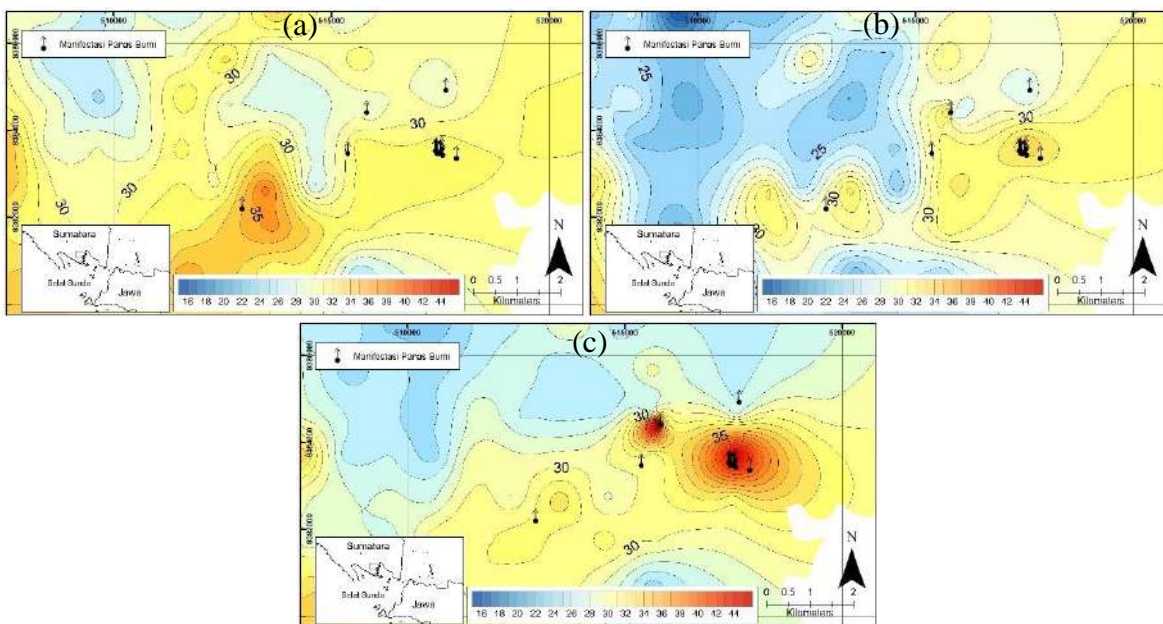


**Gambar 4.** Perbandingan pengukuran prototipe dengan instrumen MAE A5000T.

Pola sebaran suhu cukup selaras antara sensor pada prototipe dengan instrumen MAE A5000T. Keselarasan ini muncul pada suhu tinggi yang terukur pada area manifestasi panas bumi. Selain itu, pola suhu rendah di bagian barat laut juga cukup selaras pada kedua instrumen, meskipun perbedaan waktu pengukuran terpaut cukup lama. Pengujian ini berhasil membandingkan nilai pengukuran suhu

pada sensor prototipe instrumen cukup selaras dengan instrumen MAE A5000T.

Selanjutnya pada hasil pengukuran prototipe instrumen gradien termal diperoleh tiga layer data suhu dengan interval kedalaman 0,5 meter. Lapisan kedalaman 1,5 meter diukur oleh sensor 1, kedalaman 1 meter oleh sensor 2 dan 0,5 meter oleh sensor 3. Peta sebaran suhu tanah ditunjukkan oleh **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Peta sebaran suhu pada kedalaman sensor 3 (a), sensor 2 (b) dan sensor 3 (c).



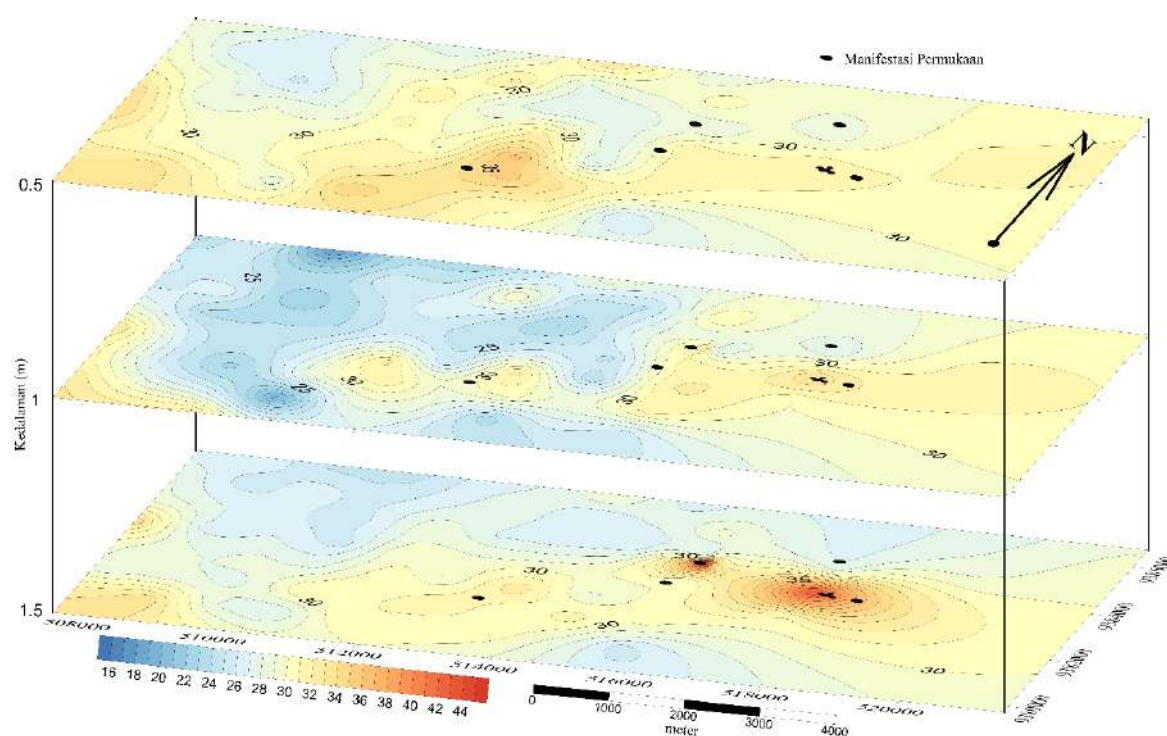
Berdasarkan peta sebaran suhu dekat permukaan pada kedalaman 0,5 m yang terukur oleh sensor 3 (**Gambar 5a**) menunjukkan nilai suhu tinggi di area manifestasi khususnya di bagian selatan. Sedangkan pada area manifestasi di bagian tengah sampai ke utara, nampak suhu masih sama dengan area non manifestasi. Kondisi ini dipengaruhi oleh suhu permukaan tanah sehingga cukup mempengaruhi suhu pengukuran pada kedalaman yang sangat dangkal.

Untuk kedalaman 1 m yang terukur pada sensor 2 diperoleh sebaran suhu yang banyak didominasi oleh suhu rendah (**Gambar 5b**). Sebaran suhu rendah berada mulai dari utara, timur, tengah hingga selatan daerah penelitian. Namun hasil pengukuran tetap konsisten mendapatkan nilai suhu tinggi di sekitar area manifestasi panas bumi. Nilai suhu rendah diperkirakan sebagai zona saturasi air tanah dangkal/permukaan.

Pengukuran paling dalam pada penelitian ini ada di kedalaman 1,5 m yang

diukur oleh sensor 1 (**Gambar 5c**). Pada kedalaman ini, nampak jelas bahwa suhu tinggi terklusterisasi pada area manifestasi panas bumi. Pola klusterisasi ini menunjukkan adanya hubungan aliran fluida panas pada arah barat-timur. Hal yang juga menarik dari sebaran suhu pada kedalaman ini adalah adanya konsistensi pola aliran fluida panas pada seluruh sensor pengukuran. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa prototipe instrumen pengukuran gradien termal ini mampu digunakan untuk mengukur di lapangan panas bumi.

Hasil pengukuran suhu menggunakan prototipe instrumen gradien termal yang telah menghasilkan tiga layer suhu berdasarkan kedalamannya telah berhasil menunjukkan pola kluster suhu tinggi di area manifestasi panas bumi. Untuk melihat lebih jelas pola-pola tersebut, dibuat peta model 2,5 D seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 6** di bawah ini.



**Gambar 6.** Model 2,5D pada peta hasil pengukuran suhu dari tiga sensor.

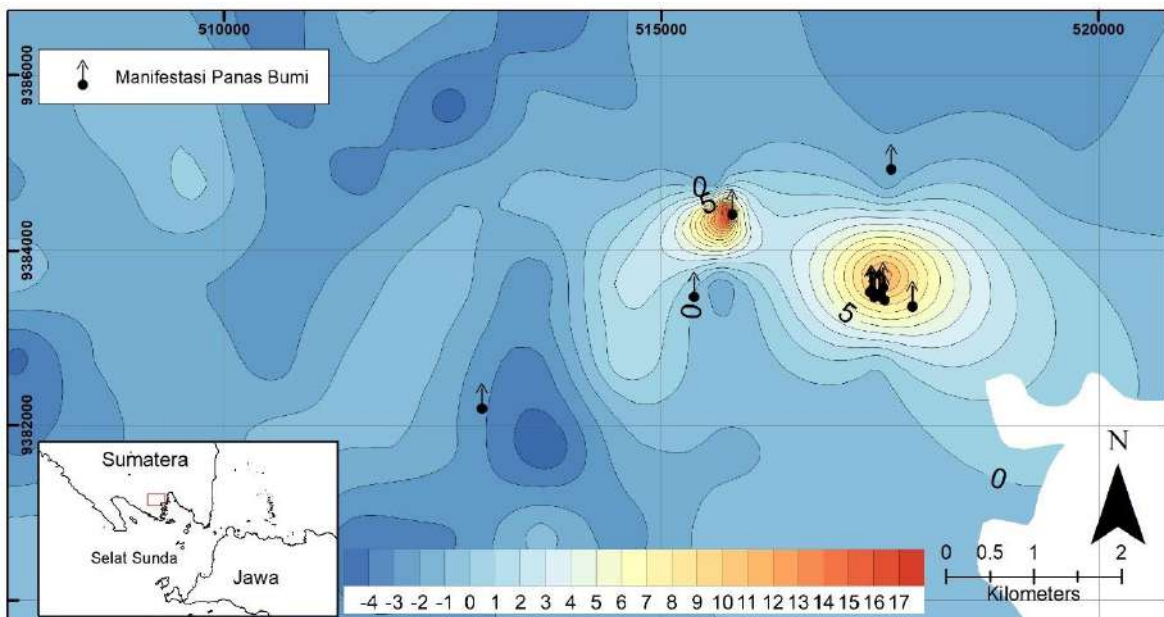


Pola aliran fluida panas nampak jelas pada model 2,5D yang terkonsentrasi antar area manifestasi permukaan panas bumi yang ditandai dengan titik hitam pada **Gambar 6**. Adanya konektivitas fluida panas ini dimungkinkan apabila terdapat struktur geologi atau zona permeable di sana. Selain itu, kemunculan zona panas nampak bersumber dari arah vertikal pada masing-masing titik manifestasi. Kondisi ini diperkirakan karena titik pengukuran suhu hanya mencapai kedalaman 1,5 m sehingga belum mampu mendapatkan gambar sebaran suhu yang lebih dalam.

Sebaran nilai suhu rendah pada ketiga layer atau lapisan pengukuran suhu juga mengindikasikan sumber aliran fluida air permukaan yang selaras dengan arah puncak Gunung Ratai. Hal ini memperkuat indikasi bahwa sumber *recharge* atau resapan air meteorik didominasi oleh puncak Gunung Ratai. Namun potensi air laut yang masuk ke sistem panas bumi juga terindikasi pada area bagian selatan-tenggara daerah penelitian. Potensi ini

nampak dari sebaran suhu rendah yang secara geografis berada dekat dengan panti di Teluk Ratai. Namun apakah air laut ini menjadi sumber recharge pada manifestasi di dekatnya, misalnya di area manifestasi Margodadi, hal ini masih perlu diuji dengan sampel isotop stabil uji geokimia air manifestasi.

Pengujian yang terakhir pada penelitian ini adalah membuat peta gradien termal hasil pengukuran prototipe instrumen. Secara sistem, prototipe instrumen ini telah dilengkapi dengan *script* penghitung gradien termal otomatis. Metode penghitungan gradien termal menggunakan teknik kuadrat terkecil (*Least Squares Method*). Prototipe instrumen secara otomatis menghitung gradien termal setiap titik pengukuran dan menyimpan data ke dalam sistem output data dalam format \*.csv. Oleh karena itu, peta gradien termal dapat langsung dibuat dalam sistem informasi geografis seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 7** berikut.



**Gambar 7.** Peta sebaran gradien termal hasil pengukuran prototipe instrumen di daerah penelitian.

Gradien termal bernilai positif hanya muncul di daerah manifestasi sedangkan di luar area manifestasi bernilai rendah hingga negatif. Hasil ini menunjukkan bahwa prototipe instrumen pengukuran gradien termal ini cukup mampu digunakan dalam eksplorasi di lapangan panas bumi. Meskipun demikian, masih terdapat beberapa titik manifestasi yang terukur pada gradien suhu yang rendah bahkan negatif. Kondisi ini dapat diinterpretasikan sebagai akibat dari suhu permukaan yang tinggi akibat pemanasan lapisan atas pada pengukuran siang hari yang juga dipengaruhi oleh lapisan tersaturasi air di bawahnya. Sehingga meskipun suhu yang terukur tetap tinggi di manifestasi, tetapi gradien menjadi rendah/negatif akibat suhu di lapisan lebih bawah lebih menjadi lebih rendah.

Terlepas dari adanya titik dengan gradien negatif, hasil pengukuran dapat dengan jelas menunjukkan pola gradien tinggi dan positif di area manifestasi panas bumi. Hasil ini menjadi temuan yang menggembirakan, mengingat instrumen yang digunakan masih berupa prototipe yang baru pertama kali diuji pada lapangan panas bumi. Beberapa permasalahan yang ditemukan saat pengujian di lapangan seperti masalah ketahanan terhadap air, pengkabelan (wiring), teknik pemboran dangkal harus ditingkatkan. Oleh karena itu, beberapa catatan perbaikan dan peningkatan kemampuan instrumen tersebut akan menjadi fokus selanjutnya oleh tim peneliti.

### KESIMPULAN

Keberhasilan prototipe instrumen pengukur gradien termal dalam pengujian di lapangan panas bumi Padang Cermin menjadi hasil yang signifikan untuk pengembangan instrumen ini. Uji kalibrasi dapat dilakukan dengan mudah dengan korelasi sebesar 90%. Hasil pengujian dengan data pembanding dari hasil

pengukuran instrumen MAE A5000T menunjukkan keselarasan nilai khususnya pada area manifestasi dan pola suhu rendah di bagian barat laut. Temuan lain adanya pola klasterisasi yang menunjukkan hubungan aliran fluida panas pada arah barat-timur serta konsistensi pola aliran fluida panas pada seluruh sensor pengukuran.

Adanya konektivitas fluida panas ini dimungkinkan apabila terdapat struktur geologi atau zona permeable bersumber dari arah vertikal pada masing-masing titik manifestasi. Hasil pengukuran gradien termal juga menunjukkan pola gradien tinggi dan positif di area manifestasi panas bumi. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa prototipe instrumen pengukuran gradien termal ini mampu digunakan untuk mengukur di lapangan panas bumi.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa dan tim Ratai Ceria yang telah membantu dalam proses akuisisi data di lapangan, Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan Jurusan Teknik Geofisika Unila atas bantuan peralatan, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Karyanto, "Pencitraan Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Way Ratai Lampung Dengan Metode Tahanan Jenis 2 Dimensi," vol. 9, no. 3, hal. 55–59, 2003.
- [2] Karyanto, N. Haerudin, R. Mulyasari, Suharno, dan P. Manurung, "Geothermal Potential Assesment of Way Ratai Area Based on Thermal Conductivity Measurement to Measure Thermal Properties of Rocks," *J. Earth Sp. Phys.*, vol. 45, no. 4, hal. 89–98, 2020, doi: 10.22059/jesphys.2020.267095.1007

- 048.
- [3] S. Sukaesih, Y. Rezky, M. F. Rosana, dan U. Mardiana, "Alterasi di Sumur Pengeboran SMN-1 dan SMN-2 di Daerah Panas Bumi Sumani, Kabupaten Solok, Propinsi Sumatera Barat," *Bul. Sumber Daya Geol.*, vol. 10, no. 3, 2015, doi: 10.47599/bsdg.v10i3.145.
- [4] A. Setyawan, S. Ehara, Y. Fujimitsu, dan J. Nishijima, "An Estimate of the Resources Potential of Ungaran Geothermal Prospect for Indonesia Power Generation," 2010.
- [5] A. N. Permana, I. M. S. Wibawa, dan I. K. Putra, "DS18B20 sensor calibration compared with fluke hart scientific standard sensor," *Int. J. Phys. Math.*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.31295/ijpm.v4n1.1225.
- [6] E. Nurazizah, "Rancang Bangun Termometer Digital Berbasis Sensor Ds18B20 Untuk Penyandang Tunanetra ( Design Digital Thermometer Based on Sensor Ds18B20 for Blind," *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 3, 2017.
- [7] Ramesh Saha, S. Biswas, S. Sarmah, S. Karmakar, dan P. Das, "A Working Prototype Using DS18B20 Temperature Sensor and Arduino for Health Monitoring," *SN Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.1007/s42979-020-00434-2.
- [8] M. A. Pertiwi, I. D. Gede Hari Wisana, T. Triwiyanto, dan S. Sukaphat, "Measurement of Heart Rate, and Body Temperature Based on Android Platform," *Indones. J. Electron. Electromed. Eng. Med. informatics*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.35882/ijeemi.v2i1.6.
- [9] I. A. Rozaq dan N. Yulita, "Uji Karakterisasi Sensor Suhu DS18B20 Waterproof Berbasis Arduino Uno Sebagai Salah Satu Parameter Kualitas Air," *Pros. SNATIF*, vol. 0, no. 0, 2017.
- [10] Z. A. Kurnia Sari, H. Permana, dan W. Indrasari, "Karakterisasi Sensor Photodiode, DS18B20, dan Konduktivitas Pada Rancang Bangun Sistem Deteksi Kekurangan dan Jumlah Zat Padat Terlarut Dalam Air," *SPEKTRA J. Fis. dan Apl.*, vol. 2, no. 2, 2017, doi: 10.21009/spektra.022.09.
- [11] Widodo dan E. A. Stiyawan, "Design of Total Dissolve Solid (TDS) Measuring Using Conductivity Sensor and Temperature Sensor DS18B20," *BEST J. Appl. Electr. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.36456/best.vol2.no1.2583.
- [12] Lutfiyana, N. Hudallah, dan A. Suryanto, "Rancang Bangun Alat Ukur Suhu Tanah, Kelembaban Tanah, dan Resistansi," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, 2017, doi: 10.15294/jte.v9i2.11087.
- [13] D. Vaolina Sari dan A. Surtono, "Sistem Pengukuran Suhu Tanah Menggunakan Sensor DS18B20 dan Perhitungan Resistivitas Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 04, no. 01, 2016.
- [14] R. L. Alam dan A. Nasuha, "Alat Pengontrol Ph Air dan Monitoring Lingkungan Tanaman Hidroponik Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Internet Of Things," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 5, no. 1, 2020, doi: 10.21831/elinvo.v5i1.34587.
- [15] A. I. Irawan, R. Patmasari, dan M. R. Hidayat, "Peningkatan Kinerja Sensor DS18B20 pada Sistem IoT Monitoring Suhu Kolam Ikan," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 5, no. 1, 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i1.2019.101-110.
- [16] H. Harianingsih, S. Suwardiyono, N. E. B, dan R. Wijanarko, "Perancangan Sistem Detektor Suhu

- Fermentasi *Acetobacter Xylinum* menggunakan Sensor DS18B20,” *J. JTIK (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi)*, vol. 2, no. 1, 2018, doi: 10.35870/jtik.v2i1.44.
- [17] F. N. Iksan dan G. Tjahjadi, “Perancangan Stop Kontak Pengendali Energi Listrik Dengan Sistem Keamanan Hubung Singkat Dan Fitur Notifikasi Berbasis Internet of Things (IoT),” *J. Elektro*, vol. 11, no. 2, 2018.
- [18] U. Syafiqoh, S. Sunardi, dan A. Yudhana, “Pengembangan Wireless Sensor Network Berbasis Internet of Things untuk Sistem Pemantauan Kualitas Air dan Tanah Pertanian,” *J. Inform. J. Pengemb. IT*, vol. 3, no. 2, 2018, doi: 10.30591/jpit.v3i2.878.
- [19] J. Y. Lin, P. J. Zhang, dan A. J. Zhang, “An integrated system for regional environmental parameters business data distribution based on internet of things,” *J. Inf. Hiding Multimed. Signal Process.*, vol. 10, no. 1, 2019.
- [20] Maxim Integrated, “DS18B20 Datasheet,” *Maxim Integr.*, vol. 92, 2015.
- [21] R. Donovan, K. Karyanto, dan O. Dewanto, “Studi Sifat Termal Batuan Daerah Lapangan Panas Bumi Way Ratai Berdasarkan Pengukuran Metode Konduktivitas Termal,” *J. Geofis. Eksplor.*, vol. 4, no. 3, hal. 103–119, 2018, doi: 10.23960/jge.v4i3.44.