

## PEMETAAN PANAS BUMI DAN POTENSI IMPLEMENTASI TEKNOLOGI BINARY CYCLE UNTUK Mendukung TRANSISI ENERGI BERSIH DI KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA

Azkie Najma Firdaus<sup>1)\*</sup>, Maharani Arisandy<sup>1)</sup>, Sinta Caenur Winusda<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran  
E-mail: azkianajmafirdaus@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian ini memetakan potensi panas bumi di Kabupaten Kutai Kartanegara untuk mendukung transisi energi bersih menggunakan teknologi *binary cycle*. Dengan metode *remote sensing*, analisis citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS dilakukan untuk menghitung *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Land Surface Temperature* (LST), serta menggunakan peta geologi untuk identifikasi sesar. Data ini dianalisis dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan wilayah potensial. Hasil menunjukkan bahwa wilayah dengan kerapatan vegetasi rendah dan suhu permukaan tinggi, khususnya di sekitar sesar aktif, memiliki potensi panas bumi yang signifikan. Desa Tamapole dan Muara Jawa Ulu diidentifikasi sebagai lokasi optimal untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga panas bumi berbasis *binary cycle*. Berdasarkan penelitian ini, disimpulkan bahwa implementasi teknologi *binary cycle* di wilayah ini berpotensi mendukung target keberlanjutan Ibu Kota Nusantara dengan menyediakan energi panas bumi yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: NVDI, LST, AHP, panas bumi, Kutai Kartanegara, *binary cycle*.

### ABSTRACT

*This study maps the geothermal potential in Kutai Kartanegara Regency to support the clean energy transition using binary cycle technology. Using the remote sensing method, Landsat 8 OLI/TIRS satellite imagery analysis was carried out to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST), and using geological maps to identify faults. These data were analyzed using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method to determine potential areas. The results show that areas with low vegetation density and high surface temperatures, especially around active faults, have significant geothermal potential. Tamapole and Muara Jawa Ulu villages were identified as optimal locations for the construction of binary cycle-based geothermal power plants. Based on this study, it is concluded that the implementation of binary cycle technology in this area has the potential to support the sustainability targets of the Indonesian Capital City by providing environmentally friendly geothermal energy.*

*Keyword: NVDI, LST, AHP, geothermal, Kutai Kartanegara, binary cycle.*

## 1. Pendahuluan

Kalimantan memiliki potensi besar dalam pengembangan sumber daya alam yang mendukung transisi energi bersih di Indonesia. Salah satu wilayah strategis di Kalimantan Timur adalah Kabupaten Kutai Kartanegara, yang dekat dengan kawasan pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) dan ditargetkan menjadi kota hijau dengan pencapaian *Net Zero Emission* (NZE). Seiring pembangunan infrastruktur dan pertumbuhan penduduk, kebutuhan energi, khususnya listrik, semakin meningkat. Konsumsi listrik di Kalimantan Timur mencapai 1.685 MW dan diperkirakan akan terus bertambah seiring dengan pembangunan IKN. Saat ini, PLTS berkapasitas 10 MW telah beroperasi sebagai langkah awal, namun masih belum mencukupi kebutuhan yang terus bertambah. Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 menekankan pentingnya percepatan transisi energi untuk mendukung target NZE di Kabupaten Kutai Kartanegara dan wilayah IKN.

Selain energi surya, Kutai Kartanegara juga memiliki potensi energi panas bumi dari aktivitas tektonik yang menghasilkan suhu reservoir 70-170°C (Wita dkk., 2019; Wibowo dkk., 2021). Meski potensial, suhu ini tergolong rendah untuk PLTP konvensional yang membutuhkan suhu di atas 200°C. Di Basin Kutai, lapangan

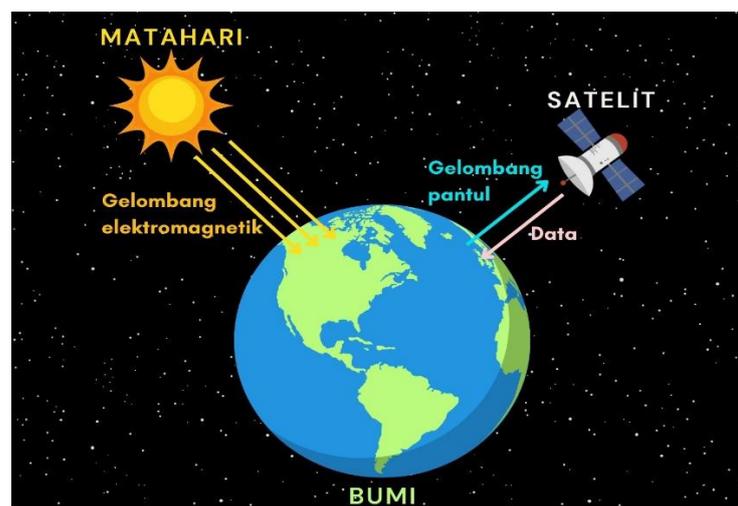
Peciko menunjukkan geothermal gradient  $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , dengan rentang suhu reservoir  $45\text{-}122^{\circ}\text{C}$  pada kedalaman air 40 meter (Ramdhan dkk., 2020). Potensi ini membuka peluang bagi teknologi binary cycle yang dapat mengkonversi energi panas bumi bersuhu rendah dengan memanfaatkan fluida sekunder. Teknologi tersebut mendukung keberlanjutan lingkungan dan cocok untuk mendukung target kota hijau di IKN.

Pemanfaatan teknologi *binary cycle* yang optimal membutuhkan pemetaan potensi panas bumi di Kutai Kartanegara. Pemetaan ini dilakukan menggunakan metode remote sensing melalui perangkat lunak QGIS. Analisis yang dilakukan meliputi parameter *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Land Surface Temperature* (LST), dan persebaran sesar. Selain itu, faktor geologi dan karakter fluida reservoir juga harus diperhatikan (Fathur dkk., 2023). Pemetaan yang akurat memungkinkan penerapan *binary cycle* secara efektif untuk mendukung energi bersih dan keberlanjutan di IKN.

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian bertujuan untuk memetakan potensi panas bumi di Kutai Kartanegara dan merekomendasikan sistem PLTP berbasis *binary cycle* sebagai solusi energi bersih yang inovatif dan ramah lingkungan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan.

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan remote sensing sebagai dasar dalam pengumpulan dan pengolahan data geospasial. Remote sensing adalah metode pengumpulan dan analisis informasi tentang objek, lokasi, atau kejadian tanpa adanya kontak langsung. Dalam metode ini, radiasi elektromagnetik berfungsi sebagai pembawa informasi dari permukaan Bumi ke sensor satelit. Proses ini dijelaskan lebih lanjut pada Gambar 1, di mana gelombang yang dipancarkan matahari ke Bumi dipantulkan oleh permukaan Bumi, kemudian ditangkap oleh satelit, dan dikirimkan kembali ke stasiun bumi untuk dianalisis lebih lanjut (Rafli dkk., 2023; Weng, 2010; Zimmermann dkk., 2007).



**Gambar 1.** Prinsip kerja pemantauan data pada metode *Remote Sensing*.

Pendekatan ini menjadi dasar utama dalam penelitian untuk mendapatkan data dari sumber satelit yang dapat diolah dan dianalisis tanpa perlu pengumpulan data lapangan yang luas. Dengan menggunakan teknologi ini, dapat diperoleh citra wilayah penelitian untuk analisis awal kondisi vegetasi dan suhu permukaan tanah.

Data utama penelitian ini yang dikumpulkan adalah citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS dari situs U.S. Geological Survey (USGS) EROS Center di <https://earthexplorer.usgs.gov> untuk menghitung NDVI dan LST sebagai indikator potensi panas bumi. Peta geologi diperoleh dari Badan Geologi Kementerian ESDM di <https://geologi.esdm.go.id> untuk menentukan struktur sesar dan litologi bawah permukaan. Analisis data dilakukan dengan QGIS untuk mengintegrasikan semua parameter dan menghasilkan peta potensi panas bumi.

Perhitungan NDVI dilakukan untuk memetakan kerapatan vegetasi pada area penelitian. NDVI dihitung dengan menggunakan citra Landsat 8 OLI/TIRS, yaitu Band 4 (red) dan Band 5 (near-infrared), yang merupakan spektrum optimal untuk menganalisis vegetasi. NDVI dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4}$$

Pemetaan distribusi suhu permukaan tanah dapat dilakukan dengan perhitungan LST yang bertujuan untuk memetakan suhu permukaan tanah di area penelitian menggunakan citra Landsat 8 OLI/TIRS Band 10. Proses perhitungan LST melibatkan beberapa tahapan berikut.

$$L_{\lambda} = ML \times Q_{cal} + AL$$

$$LST = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}}\right) + 1}$$

$$LST\ (^{\circ}C) = LST - 273.15$$

Keterangan:

- $L_{\lambda}$  = TOA
- $ML$  = Radiometric Multiband Rescaling Factor
- $AL$  = Additive Rescaling Factor
- $Q_{cal}$  = DN dari band thermal
- $LST$  = Land Surface Temperature
- $K_1$  &  $K_2$  = Thermal Conversion Constants

Ekstraksi sesar dilakukan untuk mengidentifikasi struktur sesar pada area penelitian. Data yang digunakan berupa Peta Geologi Lembar Singkawang dan Banjarmasin yang diterbitkan oleh Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Ekstraksi sesar dilakukan karena sesar dapat berfungsi sebagai jalur migrasi fluida panas dari dalam bumi ke permukaan.

Data dari peta NDVI, peta LST, dan peta struktur sesar selanjutnya dianalisis menggunakan metode AHP untuk memberikan bobot pada setiap variabel yang mempengaruhi potensi panas bumi. Proses ini menghasilkan peta *scoring* yang menunjukkan prioritas area berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi lokasi terbaik untuk rekomendasi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) berbasis teknologi *binary cycle*. Pemilihan lokasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan hasil analisis AHP yaitu peta *scoring*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

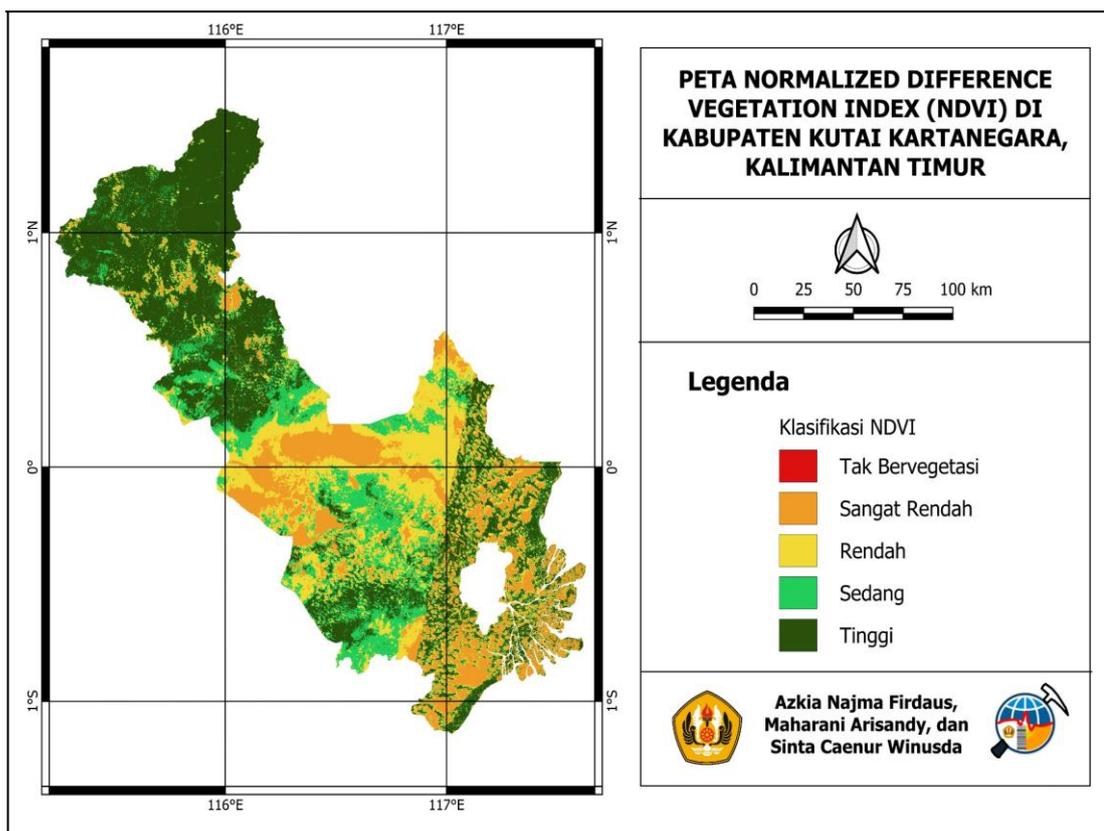
NDVI adalah indeks yang menunjukkan tingkat kehijauan atau aktivitas fotosintesis vegetasi, berdasarkan prinsip bahwa setiap jenis permukaan memantulkan cahaya dengan panjang gelombang berbeda sesuai karakteristiknya. (Wulandari dkk., 2020). Berdasarkan Wahyunto (2006), klasifikasi NDVI dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Klasifikasi NDVI

Nilai NDVI	Keterangan
------------	------------

-1 < NDVI < -0.03	Tak Bervegetasi
-0.03 < NDVI < 0.15	Sangat Rendah
0.15 < NDVI < 0.25	Rendah
0.25 < NDVI < 0.35	Sedang
0.35 < NDVI < 1	Tinggi

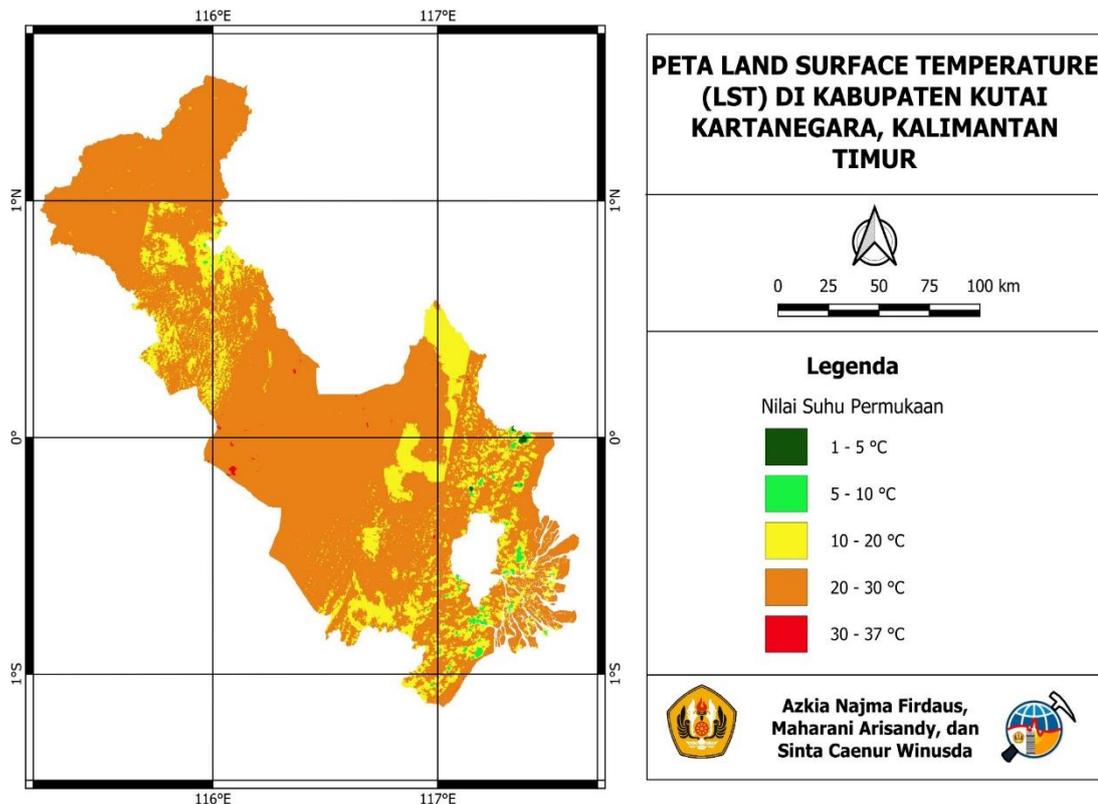
Perhitungan NDVI pada Kabupaten Kutai Kartanegara menghasilkan peta NDVI seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



**Gambar 2.** Peta NDVI di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

Hasil perhitungan NDVI pada area penelitian diperoleh nilai rentang sebesar -0,26 hingga 0,66. Semakin tinggi indeks vegetasi dan mendekati nilai 1, maka semakin rapat vegetasi di area tersebut (Ramadhan dan Saputra, 2021). Berdasarkan klasifikasi Wahyunto (2006), maka area penelitian sebelah timur laut didominasi oleh jenis kerapatan vegetasi tinggi yang ditandai dengan warna hijau tua pada peta NDVI.

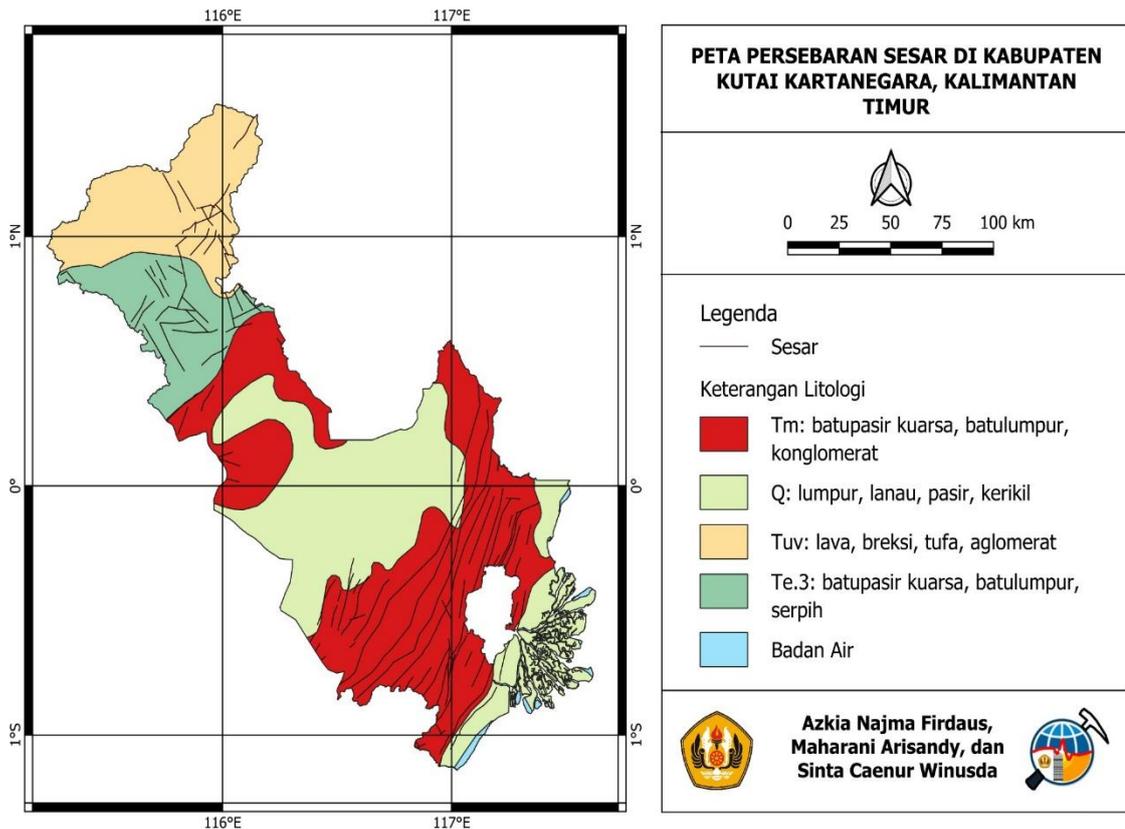
LST mengukur emisi radiasi termal dari permukaan tanah yang dipanaskan oleh energi matahari, baik melalui interaksi langsung dengan tanah maupun dengan permukaan tajuk di area bervegetasi. Daerah dengan tutupan vegetasi rendah atau yang mengalami deforestasi cenderung menunjukkan LST yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan risiko gelombang panas, perubahan pola iklim lokal, serta menurunkan kemampuan tanah dalam menyerap panas berlebih (Zhang dkk., 2022; Yang dkk., 2021). Distribusi nilai LST dapat dipetakan seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Peta LST di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

Wilayah dengan suhu tinggi (30-37°C) yang ditandai warna merah biasanya memiliki vegetasi minim dan tanah kering (Wibowo, 2020), namun suhu tinggi ini belum tentu menandakan potensi panas bumi karena bisa dipengaruhi faktor eksternal seperti sinar matahari atau urbanisasi. Potensi panas bumi lebih terkait dengan anomali suhu bawah tanah, mata air panas, atau aktivitas vulkanik (Lu dkk., 2021). Oleh karena itu, meskipun suhu permukaan tinggi, potensi panas bumi memerlukan data tambahan seperti survei geofisika. Sementara itu, wilayah dengan suhu lebih rendah (1-20°C) yang ditandai warna hijau hingga kuning biasanya memiliki vegetasi lebat atau kelembaban tinggi yang efektif menyerap panas, tetapi tidak berhubungan dengan potensi panas bumi (Xie dkk., 2019).

Gambar 4. Menampilkan peta persebaran sesar di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Persebaran sesar tersebut diperoleh dari hasil ekstraksi peta geologi lembar Samarinda dan lembar Singkawang. Sesar yang ditandai dengan garis berwarna hitam tersebut tersebar di bagian utara dan selatan wilayah ini dengan orientasi timur laut-barat daya (Wibowo dkk., 2021). Area yang didominasi oleh struktur sesar dikenal sebagai zona lemah, yang merupakan salah satu elemen penting dalam sistem panas bumi karena berperan sebagai jalur aliran fluida panas bumi menuju permukaan (Febyanti dkk., 2022).



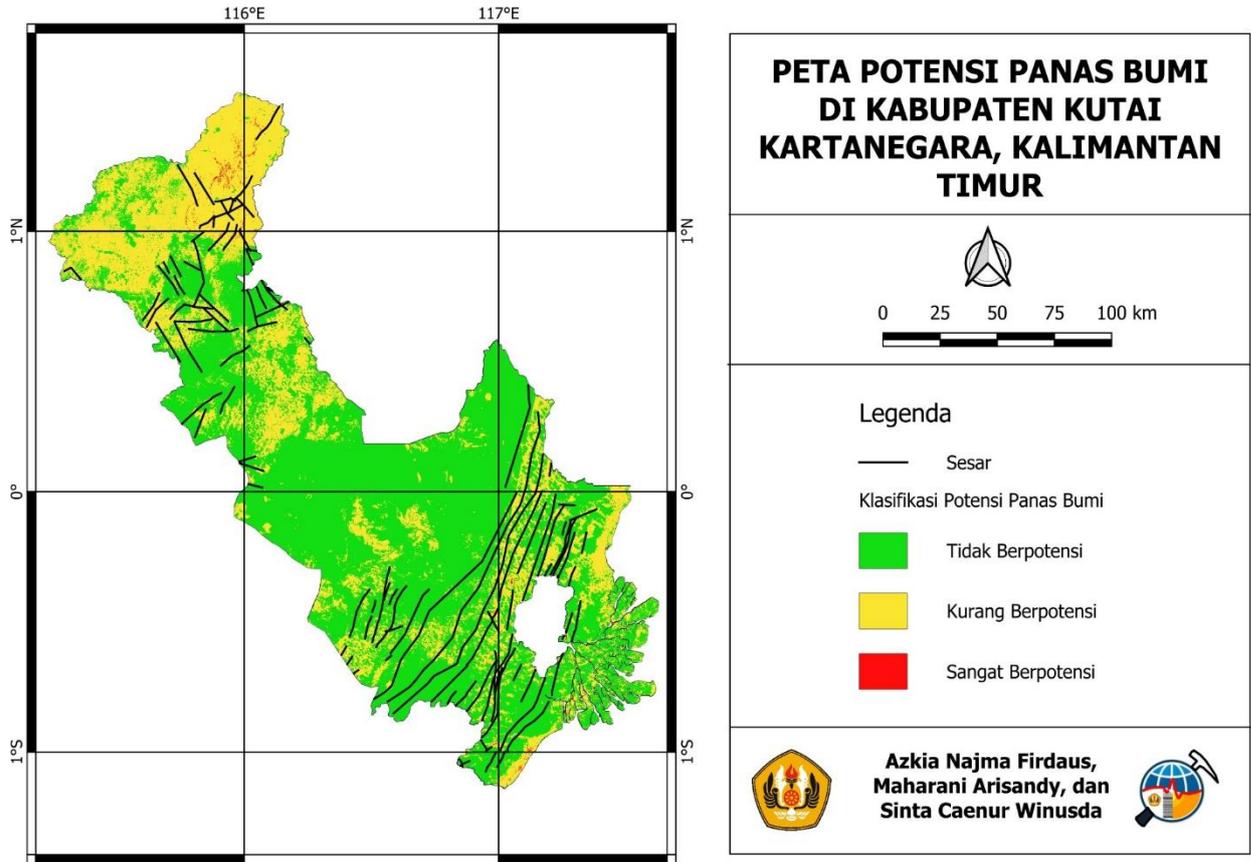
**Gambar 4.** Peta Persebaran Sesar di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

Gambar 5 merupakan Peta Potensi Panas Bumi hasil analisis AHP dari *scoring* nilai NDVI dan LST, yang menunjukkan korelasi antara vegetasi (NDVI) dan suhu permukaan (LST). Semakin jarang vegetasi, semakin tinggi suhu permukaan, yang mungkin disebabkan oleh berkurangnya vegetasi akibat aktivitas panas di bawah permukaan, indikasi potensial adanya manifestasi panas bumi (Adhitya dkk., 2023). Sesar juga memiliki peran penting sebagai jalur bagi fluida bawah tanah untuk mengalir, yang memungkinkan pembentukan reservoir panas bumi. Area dengan nilai bobot tinggi yang berada dekat dengan sesar berpotensi memiliki panas bumi yang signifikan, seperti yang terlihat pada bagian tengah-timur Kabupaten Kutai Kartanegara.

Berdasarkan peta potensi panas bumi di Kabupaten Kutai Kartanegara, terdapat dua lokasi yang layak untuk pengembangan PLTP dengan sistem *binary cycle*, yaitu di Kelurahan Tamapole dan Kelurahan Muara Jawa Pesisir, yang keduanya terletak di Kecamatan Muara Jawa. Kedua wilayah ini menunjukkan potensi panas bumi yang signifikan, dengan adanya sumber air panas Dondang dan Tamapole yang masing-masing memiliki suhu 55,8°C dan 44,98°C. Suhu air panas yang lebih rendah dari 100°C ini menandakan adanya potensi panas bumi di bawah permukaan yang bisa dimanfaatkan untuk pembangkit energi. Meskipun suhu reservoir tersebut terbilang rendah dan tidak mencukupi untuk pembangkit listrik panas bumi konvensional, teknologi *binary cycle* memberikan solusi yang efektif. Sistem ini memungkinkan konversi panas dari reservoir bersuhu rendah dengan menggunakan fluida sekunder yang mudah menguap pada suhu rendah, sehingga proses konversi energi dapat berlangsung meskipun suhu air panas relatif rendah.

Tabel 2 menyajikan karakteristik fisik beberapa manifestasi panas bumi di Kabupaten Kutai Kartanegara, yang menguatkan potensi energi panas bumi di daerah ini. Data ini mendukung pengembangan sumber daya panas bumi di wilayah Muara Jawa, yang berada dekat dengan

manifestasi panas bumi tersebut. Teknologi *binary cycle* terbukti sebagai pilihan yang efisien untuk memanfaatkan energi dari reservoir bersuhu rendah, menjadikannya alternatif energi bersih yang ramah lingkungan (Atia dkk., 2017). Teknologi ini juga dapat memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat di Kutai Kartanegara, serta mendukung upaya menuju *Net Zero Emission* dan pencapaian kota hijau di sekitar IKN.



**Gambar 5.** Peta Potensi Panas Bumi di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

Oleh karena itu, disarankan agar wilayah Tamapole dan Muara Jawa Pesisir dijadikan prioritas dalam pengembangan PLTP *binary cycle* di Kabupaten Kutai Kartanegara. Pengembangan ini tidak hanya menawarkan solusi energi terbarukan yang berkelanjutan tetapi juga mendukung upaya Indonesia dalam mencapai transisi energi bersih.

Tabel 2. Tabel Karakteristik Fisik Manifestasi Air Panas Bumi di Kabupaten Kutai Kartanegara (Sumber: Wibowo dkk., 2021)

No.	Manifestasi Panas Bumi	Koordinat (UTM)		Z	Suhu Air
		(mT)	(mU)	(mdpl)	C
1.	Air Panas Santan Tengah	551270	9998588	38	44,8
2.	Air Panas Samboja	493364	9891728	30	47,12
3.	Air Panas Dondang	526425	9914022	12	55,8
4.	Air Panas Tamapole	527627	9914350	20	44,98
5.	Air Panas Sanga-sanga	526146	9927269	3	42,47

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini memetakan potensi panas bumi di Kabupaten Kutai Kartanegara dan merekomendasikan pengembangan PLTP berbasis *binary cycle* sebagai solusi energi bersih. Hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah dengan vegetasi jarang dan suhu permukaan tinggi memiliki potensi panas bumi yang signifikan, terutama di Kelurahan Tamapole dan Muara Jawa Pesisir. Meskipun suhu air panas di lokasi tersebut rendah,

teknologi *binary cycle* memungkinkan pemanfaatan energi dari reservoir bersuhu rendah secara efisien. Oleh karena itu, pengembangan PLTP dengan sistem *binary cycle* di wilayah tersebut dapat mendukung transisi energi bersih dan pembangunan berkelanjutan di Kutai Kartanegara.

## 5. Daftar Pustaka

- Adhitya, B., Putra, Y. R., and Arsyad, A. 2023. Manifestasi Panas Bumi serta Rekomendasi Pemanfaatannya di Desa Koto Sani dan Sekitarnya, Kecamatan X Koto Singkarak, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatra Barat. *JoP* 8(2): 12-22. ISSN: 2502-2016.
- Atia, D. M., Farghally, H. M., Ahmed, N. M., & El-Madany, H. T. 2017. Organic Rankine cycle based geothermal energy for power generation in Egypt. *Energy and Power Engineering*, 9(12), 1001-1010.
- Fathur, R., dkk. (2023). Facies analysis and reservoir characterization using petrophysical methods in the interest zone in the 'FAN' field, Kutai Basin, East Kalimantan. *Pertamina Journal of Geological and Geophysical Studies*, 2023(1), 1-20.
- Febiyanti, T., dkk. (2022). Pemodelan 3D Reservoir Panas Bumi Non-Vulkanik Menggunakan Metode Geomagnetik di Daerah Lainya Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia*, 4(3), 120-130.
- Lu, X., Zhang, W., & Gao, J. (2021). *Geothermal potential assessment based on surface and subsurface temperature anomalies*. *Renewable Energy*, 171, 1180-1192.
- Rafli, M. F., dkk. (2023, December). CitarumView: A Google Earth Engine-based application for Citarum River monitoring. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1266, No. 1, p. 012011). IOP Publishing.
- 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. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 11(2), 37-50.
- Ramadhan, A. M., Goulty, N. R., Jones, S. J., & Hutasoit, L. M. (2020). *Density normal compaction trend in the Peciko Field, Lower Kutai Basin, Indonesia*. Department of Geology, Institut Teknologi Bandung, Jln. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia.
- Weng, Q. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications*. McGraw Hill.
- Wibowo, T. (2020). *Land Use and Climate Change Impacts on LST in Tropical Regions*.
- Wibowo, A. E. A., Hadi, M. N., & Risdianto, D. (2021). Sistem Panas Bumi Temperatur Rendah-Sedang pada Cekungan Kutai dan Rekomendasi Pemanfaatannya. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(2), 133-151.
- Wahyunto, W., & Heryanto, B. (2006). Pendugaan produktivitas tanaman padi sawah melalui analisis citra satelit. *Informatika pertanian*, 15, 853-869.
- Wita, L. M., Syafri, I., Yoseph, B., & Wibowo, A. E. A. (2019). Karakteristik Hidrokimia Untuk Mengetahui Sistem Dan Pemanfaatan Fluida Panas Bumi Daerah Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Padjajaran Geoscience Journal*, 3(5).
- Wulandari, N. (2020). *Penggunaan Metode Ndvi (Normalized Difference Vegetation Index) Dan Savi (Soil Adjusted Vegetation Index) Untuk Mengetahui Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau Terhadap Pemenuhan Kebutuhan Oksigen (Studi Kasus: Kota Yogyakarta)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).
- Xie, Z., Chen, F., & Zhang, H. (2019). *Impacts of land cover and soil moisture on surface temperature variations*. *Journal of Hydrometeorology*, 20(7), 1395-1408.
- Yang, Y., Gao, J., & Wu, H. (2021). *Impact of vegetation cover on urban heat islands: A case study in subtropical regions*. *Remote Sensing*, 13(5), 972.
- Zhang, X., Li, Z., & Huang, C. (2022). *Analysis of land surface temperature response to vegetation changes*. *Journal of Environmental Management*, 301, 113822.
- Zimmermann, N. E., dkk. (2007). Modern remote sensing for environmental monitoring of landscape states and trajectories. *A changing world: challenges for landscape research*, 65-91.