

Identifikasi Pemodelan 2D dan Suhu Permukaan Daerah Panas Bumi Gunung Gede-Pangrango, Jawa Barat menggunakan Metode Gravitasi

Belista Gunawan^{*1}, Aprilia Anjani², Ariska Anjalni³

¹²³Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jalan Ir. H. Juanda No. 95, Cempaka Putih, Ciputat, Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia

e-mail: ^{*1}belista.gunawan18@mhs.uinjkt.ac.id, aprilia.anjani18@mhs.uinjkt.ac.id, ariska.anjalni19@mhs.uinjkt.ac.id

Abstract

Population growth and increasing industry, causing the need for electrical energy to increase. This can be done by utilizing geothermal energy environmentally friendly, by looking at the geographical condition of Indonesia which is traversed by the ring of fire. One area has geothermal potential is Mount Gede-Pangrango, West Java. Therefore, a study was conducted to determine the rock structure that composes the geothermal system of the area using the gravity method, and to see the surface temperature of the geothermal area using the Land Surface Temperature (LST), were the geothermal area has a temperature of 34,76°C – 46,55°C. In processing the gravity data, the value was obtained CBA was then separated using a Butterworth filter and 2D modelling using forward modelling. Interpretation qualitative shows the distribution of geothermal in areas with anomaly values high ranging from 318 mGal – 537,9 mGal. While the quantitative interpretation resulted in two cross-sectional 2D modelling trending SW-NE (Southwest-Northeast) and NW-SE (Northwest-Southeast) which were composed of 4 rock layers. The layers of both sections consist of alluvium as caprock with density values of 1,55 gr/cm³ and 1,5 gr/cm³. Tuff breccia with density values of 2,73gr/cm³ and 2,55 gr/cm³ as reservoirs. Basaltic with a density values of 2,99 gr/cm³ and 2,84 gr/cm³ as the basement. And andesite basalt with a value density of 2,54 gr/cm³ and 2,73 gr/cm³ as the heat source.

Keywords: forward Modelling, Mount Gede-Pangrango, gravity method, geothermal, Land Surface Temperature (LST)

Abstrak

Pertumbuhan penduduk dan industri yang meningkat, menyebabkan kebutuhan energi listrik meningkat. Hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi panas bumi yang ramah lingkungan, dengan melihat kondisi geografis Indonesia yang dilalui oleh cincin api. Salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi adalah Gunung Gede-Pangrango, Jawa Barat. Oleh karena itu, sebuah penelitian dilakukan untuk menentukan struktur batuan yang menyusun sistem panas bumi daerah tersebut menggunakan *gravity method*, dan untuk melihat suhu permukaan area panas bumi menggunakan Suhu Permukaan Tanah (LST), adalah daerah panas bumi memiliki suhu 34,76 oC – 46,55 oC. Dalam mengolah data gravitasi, nilai yang diperoleh CBA kemudian dipisahkan menggunakan filter Butterworth dan pemodelan 2D menggunakan *forward modelling*. Interpretasi kualitatif menunjukkan distribusi panas bumi di daerah dengan nilai anomali tinggi mulai dari 318 mGal – 537,9 mGal. Sementara interpretasi kuantitatif menghasilkan dua pemodelan 2D cross-sectional tren SW-NE (Southwest-Northeast) dan NW-SE (Northwest-Southeast) yang terdiri dari 4 lapisan batuan. Lapisan kedua bagian terdiri dari aluvium sebagai caprock dengan nilai kepadatan 1,55 gr / c, m-3. dan 1,5 gr/c,m-3.. Tuff breccia dengan nilai kepadatan 2,73gr/cm-3. dan 2,55 gr/c,m-3. sebagai waduk. Basaltik dengan nilai kepadatan 2,99 gr / c, m-3. dan 2,84 gr/cm-3. sebagai basement. Dan basal andesit dengan kepadatan nilai 2,54 gr / c, m-3. dan 2,73 gr/c,m-3. sebagai sumber panas.

Kata kunci: Forward Modelling, Gunung Gede Pangrango, , geothermal, Land Surface Temperature (LST)

PENDAHULUAN

Keberlangsungan berbagai macam bentuk aktivitas dalam masyarakat, serta sektor industri nasional, tergantung dengan tersedianya energi listrik, yang menyebabkan kebutuhan akan energi tersebut meningkat seiring bertambahnya penduduk (Azhari *et al.*,2016). Fosil merupakan energi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sumber energi sehari hari dan sejumlah negara yang ketergantungan terhadap energi fosil mulai mengurangi penggunaannya karena meningkatnya harga minyak mentah dunia, dengan mengembangkan energi terbarukan yang berasal dari panas bumi (Azhary *et al.*,2019).

Di bawah permukaan tanah terdapat energi yang tersimpan yaitu energi panas bumi dan sumber panas di perut bumi dianggap dapat menghasilkan energi yang berkelanjutan dan tidak akan pernah habis. Panas bumi merupakan salah satu energi terbarukan dari berbagai jenis sumber energi yang ada yang mana diharapkan dapat berkontribusi untuk mengamankan suplai tenaga listrik di Indonesia dengan menghasilkan dampak lingkungan seminimum mungkin (Basid *et al.*,2014).

Eksplorasi panas bumi di Indonesia dimungkinkan untuk dilakukan karena secara geografis Indonesia terletak pada posisi pertemuan tiga lempeng yang besar di dunia, diantaranya Eurasia, Hindia-Australia, dan Pasifik, yang menyebabkan tatanan tektonik Indonesia sangat kompleks (Direktorat Panas Bumi, 2017). Dari tatanan tektonik ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang dilalui cincin api, pada umumnya kegiatan vulkanisme dan magmatisme berkaitan erat dengan keberadaan sistem panas bumi, dimana biasanya sistem panas bumi terletak pada daerah busur vulkanik pada sistem tektonik lempeng (Fandari *et al.*,2014).

Potensial di Gunung Gede-Pangrango

Sistem panas bumi terbentuk sebagai perpindahan panas dari sumber panas di sekitarnya dimana dapat terjadi secara konduksi dan konveksi (Hermawan *et al.*,2012). Hal ini dikarenakan energi dari sumber panas pada sistem panas bumi ditransfer melalui fluida menuju permukaan. Fluida ini di dalam lapisan reservoir panas bumi bersikulasi dengan membawa panas. Sebagian fluida akan bergerak menuju permukaan sebagai mata air panas (Hirt *et al.*,2013). Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi panas bumi terdapat di Gunung Gede-Pangrango, Jawa Barat, dengan manifestasi berupa mata air panas yang biasa disebut sebagai mata air Cipanas, dengan temperatur sekitar 350 °C (Jusmi, 2016).

Secara fisiografi masuk ke dalam fisiografi Antiklorium Bogor, dengan cekungan dan tinggian struktur geologinya mengontrol arah utara-selatan dari jenis-jenis batuan yang berumur Pra-Tersier dan Tersier, batuan tersebut membentuk tinggian dan depresi, yang merupakan dasar dari pengendapan batuan berumur Kuartar (Jusmi, 2016). Karakteristik fluida panas bumi di daerah Gunung Gede-Pangrango dapat diketahui berdasarkan karakteristik dan komposisi kimia manifestasi panas bumi yang muncul di permukaan, diduga mata air panas Cipanas berasal dari reservoir panas bumi Gunung Gede yang telah mengalami pengenceran membentuk air klorida-bikarbonat di permukaan (Jusmi, 2016).



Gambar 1 Peta Geologi Regional Lembar Bogor (Kamal *et al.*,2019)

Untuk mengetahui suatu sistem panas bumi yang bekerja di suatu wilayah, diperlukan suatu metode geofisika. Pada penelitian ini menggunakan metode gravitasi untuk mengidentifikasi bawah permukaan bumi di Gunung Gede-Pangrango melalui nilai variasi densitas batuan.

Prinsip Metode Gravitasi

Pada pengolahan data geofisika menggunakan suatu metode gravitasi di bawah permukaan bumi dapat melihat variasi rapat massa suatu batuan dengan menggunakan prinsip hukum gravitasi newton, yang menjelaskan terdapat dua partikel bermassa m_1 dan m_2 memiliki gaya tarik menarik, serta berbanding lurus dengan hasil kali massa dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat massa. Yang ditunjukkan dalam persamaan:

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} r_1 \dots\dots\dots(1)$$

F adalah timbulnya gaya dari partikel yang bermassa m_1 dan m_2 , r^2 adalah jarak antara kedua partikel, r_1 adalah satuan unit vektor, dan γ adalah konstanta gravitasi yang memiliki nilai $6.672 \times 10^{-11} \text{NM}^2/\text{kg}^2$ dalam satuan internasional dan $6.672 \times 10^{-8} \text{dyne cm}^2/\text{g}^2$ dalam satuan cgs (Lewerissa, 2020).

Koreksi Gravitasi

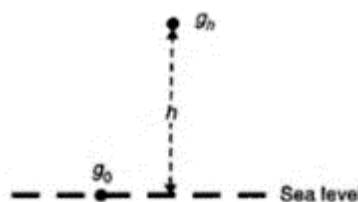
Data yang digunakan dalam metode gravitasi, masih harus dilakukan koreksi sebelum menghasilkan suatu nilai anomali bouguer lengkap. Sehingga koreksi-koreksi gravitasi antara lain terdiri dari:

Koreksi Udara Bebas

Tidak semua tempat di permukaan bumi memiliki ketinggian yang sama, sehingga diperlukan suatu koreksi yang dapat memberikan nilai keakuratan dalam identifikasi suatu batuan di bawah permukaan bumi, melalui koreksi udara bebas yang dilakukan untuk mengoreksi suatu perbedaan ketinggian sebesar h dengan mengabaikan adanya massa (Maulana, 2019). Koreksi ini dapat ditunjukkan dalam persamaan:

$$g_{fA} = 0,3086 \times h \dots\dots\dots(2)$$

Dimana g_{fA} merupakan koreksi udara bebas (mGal), dan h merupakan ketinggian titik amat di atas muka air laut (m).



Gambar 2 Koreksi Udara Bebas (Maulana, 2020)

Koreksi Medan

Koreksi medan dilakukan karena pada titik pengukuran terdapat efek topografi juga perbedaan elevasi yang besar, seperti bukit dan lembah di sekitar stasiun pengukuran, sehingga dilakukan koreksi anomali bouguer sederhana, dimana topografi tersebut mempengaruhi pembacaan karena gravitasi yang bersifat konservatif dan mengurangi nilai pembacaan dari pada keadaan ideal (Peta Geologi Bersistem). Persamaan untuk koreksi medan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\delta g_T(r, \theta) = \gamma \rho \theta \{ (r_0 - r_i) + \sqrt{(r_i^2 + \Delta z^2)} - \sqrt{(r_0^2 - \Delta z^2)} \} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana δg_T adalah koreksi medan (mGal), γ adalah konstanta gravitasi universal, Δz adalah perbedaan elevasi kompartemen (m), r_0 dan r_i merupakan jari-jari lingkaran pada bagian luar dan dalam (m), dan θ adalah sudut yang terbentuk oleh kompartemen (derajat) (Lewerissa, 2020).

Koreksi Bouguer

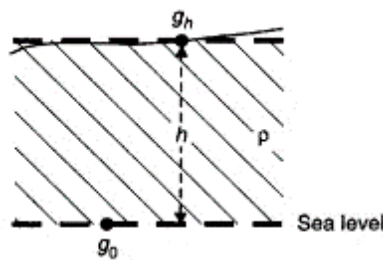
Koreksi bouguer merupakan variasi tarikan massa batuan yang ada di permukaan bumi dapat diperhitungkan dari hasil proses derivasi (Rachmawati *et al.*,2019). Persamaan untuk koreksi bouguer dapat dituliskan sebagai berikut:

$$(\delta g_B) = (2\pi G \rho h) \dots \dots \dots (4)$$

$$\beta = 2\pi G = 0,4192 \cdot u \ m^2 M g^{-1} \dots \dots \dots (5)$$

$$G = 6,67 \times 10^{-8} \ m^3 \ M g^{-1} \ S^{-2} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana ρ adalah densitas batuan, dan h adalah ketinggian (m) (Maulana, 2020).



Gambar 3 Koreksi Bouguer (Maulana, 2020)

Anomali Bouguer Sederhana

Anomali gravitasi udara bebas yang dikurangi dengan hasil koreksi bouguer merupakan perhitungan dari anomali bouguer sederhana. Sehingga rumus anomali bouguer sederhana terdapat pada persamaan berikut: (Reynold, 1997)

$$AB = AUB - KB \dots \dots \dots (4)$$

Dimana AUB adalah anomali gravitasi udara bebas dan KB adalah koreksi bouguer.

Forward Modelling

Anomali bouguer yang sudah diperoleh melalui survei metode gravitasi bisa dibandingkan dengan membuat benda geologi bawah permukaan terlebih dahulu dengan cara mengkalkulasi anomali dari model yang dibuat, dimana suatu metode interpretasi yang dapat memperkirakan densitas bawah permukaan merupakan permodelan ke depan. Untuk mengurangi ambiguitas bisa didapat dengan meminimumkan selisih anomali pengamatan yang mana ini merupakan prinsip umum dari permodelan (Setyawan *et al.*,2019).

Secara umum, *forward modelling* didasarkan pada persamaan sebagai berikut:

$$d = F(m)$$

Dimana F adalah operator yang berkaitan dengan model, m adalah data kalkulasi model, dan d untuk data observasi, dimana nilai data kalkulasi dan data observasi dilakukan *trial and error* agar bentuk kurva keduanya sama.

Pemodelan ke depan yang digunakan pada metode gravitasi ini, dengan cara membuat penampang 2D geologi bawah permukaan, terlebih dahulu, sehingga dapat mengestimasi kedalaman serta densitas batuan yang diperoleh dengan mengikuti kurva teoretis dan kurva hasil pengamatan.

Land Surface Temperature

Land Surface Temperature atau temperatur permukaan tanah merupakan keadaan yang dikendalikan oleh keseimbangan energi permukaan, atmosfer, sifat termal dari permukaan dan media bawah permukaan tanah (Anggoro *et al.*,2018). Untuk mengidentifikasi temperatur permukaan dapat menggunakan citra landsat. Dari penerapan LST ini dapat digunakan untuk melihat daerah area panas bumi.

Perhitungan LST dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{CVR_2}\right)+1}$$

Dimana T adalah perhitungan LST (K), K_1 adalah konstanta kalibrasi radian spektral, K_2 adalah konstanta kalibrasi suhu absolut, dan CVR_2 adalah *Radiance* spektral.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu untuk penelitian ini dilakukan pada tanggal 22 Juli sampai 08 Agustus 2021, lokasi penelitian terletak antara koordinat 6°41`-6°51` Lintang Selatan dan 106°51`-107°2` Bujur Timur di wilayah Gunung Gede-Pangrango yang berada di Kabupaten Sukabumi, Bogor, dan Cianjur, Provinsi Jawa Barat. Analisis pengolahan data dilakukan di Pusat Laboratorium Terpadu, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Jalan Ir. H. Juanda No. 95, Cempaka Putih, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia.



Gambar 4 Peta Penelitian Gunung Gede-Pangrango

Alat dan Bahan Penelitian

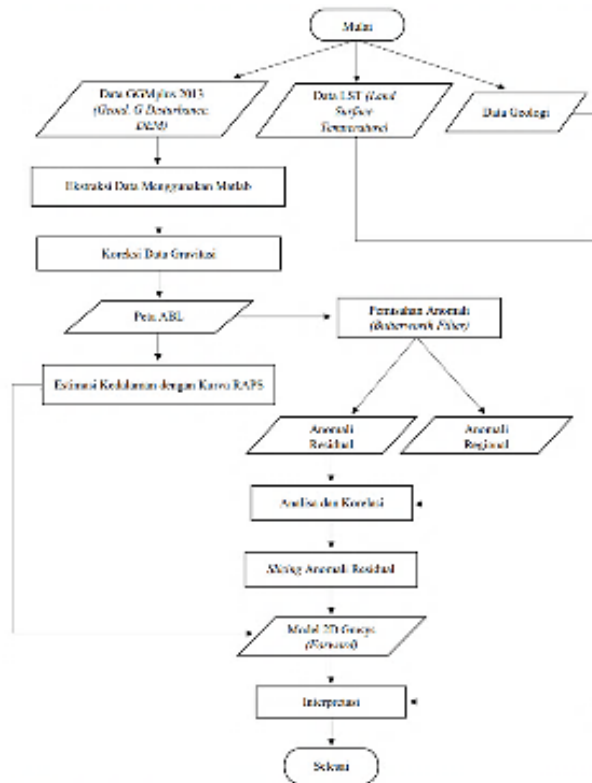
Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Software* Google Earth Pro, *Software* Surfer v.13, *Software* Oasis Montaj v.8.4, *Software* Global Mapper v.22.0, *Software* MATLAB R2013a (8.1.0.604), *Software* Arcgis v.10.8, *Software* ZondGM2D, Microsoft Excel dan Word 2016, lalu bahan yang digunakan adalah data anomali gravitasi dari GGM Satellit Gravity Dataplus 2013.

Tahap Pengolahan Data

Global Gravity Map (GGM) yaitu medan gravitasi bumi resolusi tinggi yang mana untuk skala lokal di daratan dan pulau-pulau yang mencakup luasan ±60° lintang dan grid spasial sebesar 7.2” (~220 m) (Telford *et al.*,1990). Proses penelitian dilakukan dengan menggunakan metode gravitasi. Data sekunder yang digunakan merupakan data dari GGMplus 2013 yang digunakan pada tahap pengolahan data. Ekstraksi data gravitasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB, yang menghasilkan ekstraksi berupa nilai gravitasi, geoid, dan DEM (*Digital Elevation Model*), yang berjumlah 33100 data, serta pengolahan yang dilakukan pada *Microsoft Excel*, menggunakan metode paransis dalam mencari nilai densitas rata-rata batuan, yang selanjutnya untuk mendapatkan grid batas lokal dan regional menggunakan *software* Global Mapper dibantu *software* Surfer. Koreksi data hasil ekstraksi berupa koreksi medan, koreksi terrain dan koreksi bouguer. Anomali sempurna dalam medan gravitasi bumi yaitu anomali bouguer lengkap yang didapat dari koreksi data medan gravitasi bumi beresolusi tinggi (Umam *et al.*,2019).

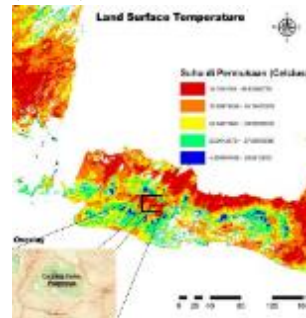
Berdasarkan peta CBA yang didapat antara anomali regional dan anomali residual masih bergabung, maka itu perlu untuk memisahkan kedua anomali tersebut menggunakan *butterworth filter* dimana pada filter ini dilakukan pemilihan titik *cut off* antara zona residual (dangkal) dan zona regional (dalam). Setelah data spasial diubah menjadi data domain frekuensi untuk melihat kedalaman permukaan, lapisan, sumber panas dan lain-lain maka didapat kurva *Radialy Average Power Spectrum* (RAPS) yang didalamnya terdapat zona regional, residual dan noise, dilengkapi dengan kurva *depth estimate*. Peta anomali yang ada digunakan untuk membuat permodelan 2D yaitu peta anomali residual sebab merupakan bagian yang letaknya terdekat dengan permukaan.

Flowchart



Gambar 5 Flowchart Pelaksanaan Penelitian

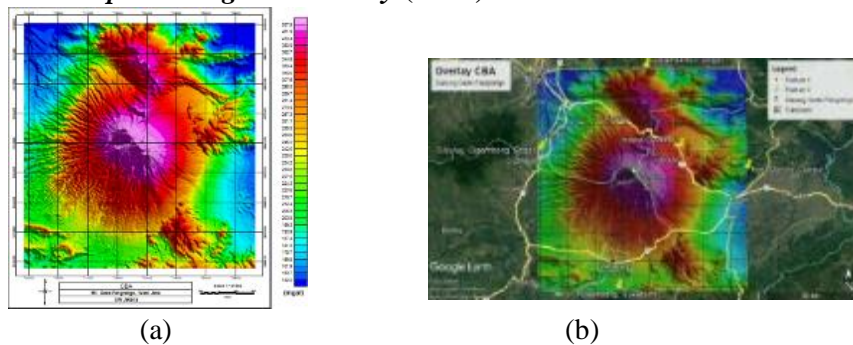
HASIL DAN PEMBAHASAN Peta Land Surface Temperature (LST)



Gambar 6 Peta *Land Surface Temperature* (LST)

Pada peta *Land Surface Temperature* terlihat bahwa daerah Gunung Gede-Pangrango memiliki suhu dipermukaan sekitar $34.76\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $46.55\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang ditandai dengan warna merah. Hal ini bisa di buktikan dengan melihat *overlay* antara peta LST dengan peta daerah penelitian, dimana suhu tersebut dikatakan sangat tinggi atau bersuhu panas karena di sekitar daerah penelitian terdapat beberapa manifestasi seperti mata panas dan bisa melihat sebaran reservoir sebagai target panas bumi di Gunung Gede-Pangrango.

Peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA)

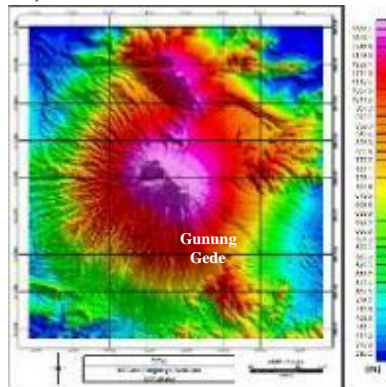


Gambar 7 (a) Peta *Complete Bouguer Anomaly*, dan (b) *Overlay* peta CBA dengan peta daerah penelitian.

Dalam pengolahan data satelit gravitasi, setelah melakukan koreksi gravitasi maka akan didapatkan nilai CBA yang digambarkan melalui peta kontur (Gambar 7.a). Dari peta CBA diperoleh tiga pola anomali yaitu pola anomali rendah dengan rentang nilai 132.2 mGal – 199.3 mGal yang diberi tanda warna biru, pola anomali sedang dengan rentang nilai 203.6 mGal – 307.6 mGal yang diberi tanda warna hijau hingga jingga, dan pola anomali tinggi dengan rentang nilai 318 mGal – 537.9 mGal yang diberi tanda warna merah.

Jika peta CBA di *overlay* dengan peta daerah penelitian (Gambar 7.b), maka Gunung Gede-Pangrango sebagai target penelitian berada di anomali tinggi dengan nilai anomali sebesar 383.9 mGal - 537.9 mGal yang diberi tanda warna merah muda. Pada penelitian ini, anomali tinggi berasosiasi dengan batuan reservoir yang biasanya memiliki densitas sedang berupa campuran fluida panas antara air dan uap panas. Melalui zona rekahan yang ada disekitar gunung tersebut, terbentuk mata air panas yang terlihat pada peta yang merupakan salah satu manifestasi Istana Cipanas.

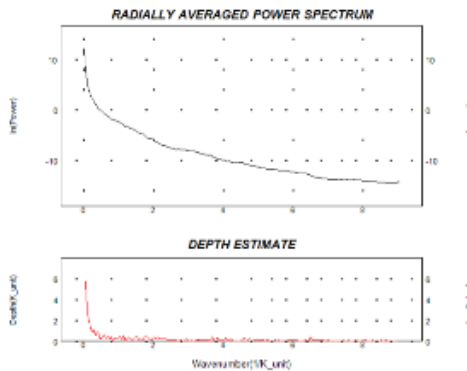
Peta Digital Elevation Model (DEM)



Gambar 8 Peta *Digital Elevation Model*

Peta DEM merupakan peta topografi yang menggambarkan tinggi permukaan suatu daerah, hal ini tentunya berbeda dengan peta CBA yang menggambarkan sebaran anomali gravitasi. Pada penelitian kali ini, rentang nilai yang didapat melalui peta DEM terbagi menjadi tiga dataran, diantaranya; dataran rendah dengan ketinggian 295.2 m – 501.3 m, dataran sedang dengan ketinggian 517.4 m – 967.9 m, dan dataran tinggi dengan ketinggian 1011.3 m – 2008.1 m. Gunung Gede-Pangrango jika dilihat dari Peta DEM terlihat menyatu, namun pada kenyataannya kedua gunung ini terpisah dan memiliki ketinggian yang berbeda pula, dimana Gunung Gede memiliki ketinggian lebih rendah daripada Gunung Pangrango.

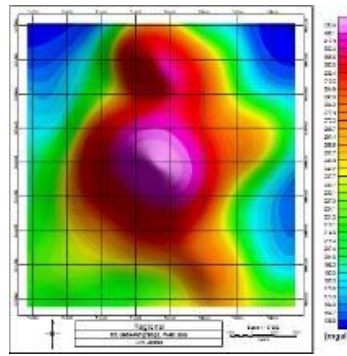
Estimasi Kedalaman



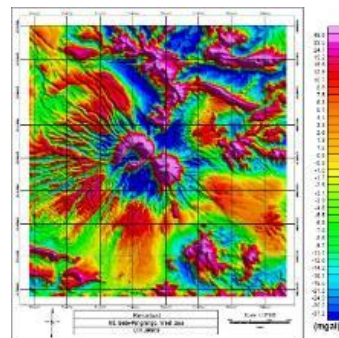
Gambar 9 Kurva *Radially Average Power Spectrum* dan Estimasi Kedalaman

Setelah diperoleh peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dan peta *Digital Elevation Model* (DEM), selanjutnya dapat melakukan analisa kurva *Radially Average Power Spectrum* (RAPS). Kurva RAPS ini terdiri dari anomali regional dan anomali residual yang harus dilakukan pemisahan anomali dengan penentuan zona *cut off*-nya dapat dilihat dari titik yang paling terjal pada kurva tersebut. Dari analisa RAPS ini kemudian diperoleh estimasi kedalaman sejauh 6 km pada daerah penelitian. Kedalaman tersebut mencakup seluruh daerah penelitian yang terukur dengan kurva RAPS, dan kedalaman yang diperoleh digunakan untuk memperkirakan letak batuan sistem panas bumi, yang meliputi *cap rock*, reservoir, dan *heat source*.

Pemisahan Anomali Regional & Residual



(a)



(b)

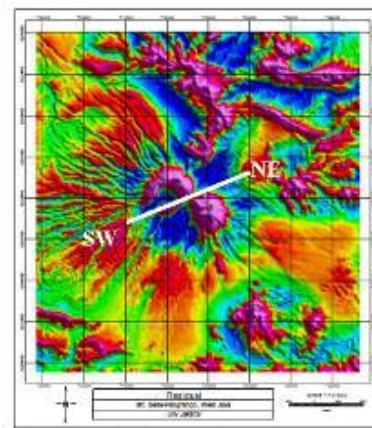
Gambar 10 (a) Anomali Regional, dan (b) Anomali Residual

Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan menggunakan metode butterworth filter, dengan melakukan pemotongan kurva berdasarkan tingkat kecuraman, yang diperoleh melalui analisis kurva *radially average spectrum*, dimana metode ini sangat mudah dibuat dan tidak memerlukan banyak komponen. Adapun hasil dari pemisahan anomali ini terdiri dari anomali regional dengan nilai berkisar dari 135.8 mGal – 535.6 mGal dan anomali residual dengan nilai -37.2 mGal – 49.6 mGal.

Jika dilihat dari kedua peta anomali tersebut, anomali regional memiliki tekstur yang lebih halus dibandingkan dengan anomali residual yang memiliki tekstur lebih kasar. Hal ini dikarenakan anomali regional terdiri dari batuan yang jauh berada dilapisan lebih dalam sehingga persebaran anomali gravitasi terlihat sedikit heterogenitasnya dipermukaan. Sedangkan anomali residual terdiri dari batuan yang lebih dekat dengan permukaan sehingga persebaran anomali gravitasi terlihat heterogenitasnya dipermukaan karena letaknya yang dangkal.

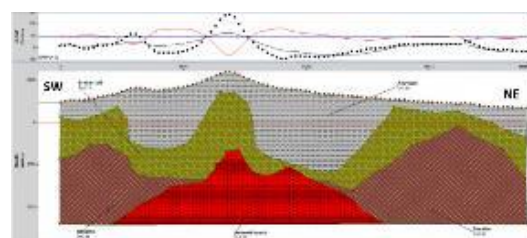
Pemodelan 2D

Pada penelitian ini, peta anomali residual di *slicing* sepanjang lintasan tertentu dengan dua arah yang berbeda, sehingga menghasilkan dua pemodelan 2D yang dapat diinterpretasikan dengan geologi regional daerah penelitian. Pemodelan pertama dengan arah *slicing* barat daya ke timur laut (Gambar 11.b), sedangkan pemodelan kedua dengan arah *slicing* barat laut ke tenggara (Gambar 12.b).



NE

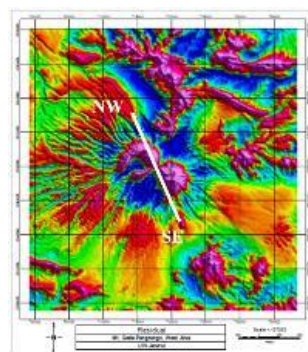
(a)



(b)

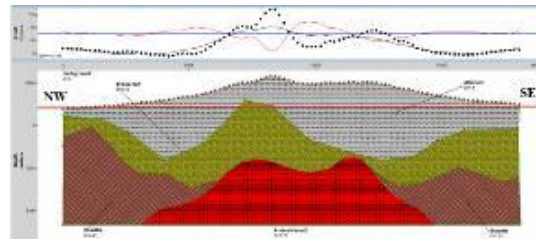
Gambar 11 (a) Arah *slicing* SW-NE, dan (b) Pemodelan 2D bawah permukaan Gunung Gede-Pangrango dengan *slicing* arah SW-NE

Pemodelan 2D pertama dengan arah SW-NE (Gambar 11.b) menggambarkan struktur bawah permukaan Gunung Gede-Pangrango terdiri dari empat lapisan. Lapisan pertama diperkirakan terdapat batuan alluvium, memiliki densitas sebesar $1,55 \text{ gr/cm}^3$ yang diberi tanda warna abu muda. Batuan alluvium ini tersebar dari elevasi 3000 m sampai kedalaman 2700 m yang berperan sebagai *cap rock* untuk menahan fluida panas agar tidak sampai ke permukaan. Lapisan kedua diperkirakan terdapat batuan breksi tuff, memiliki densitas sebesar $2,73 \text{ gr/cm}^3$ yang diberi tanda warna hijau. Batuan breksi tuff tersebar dari elevasi 1500 m sampai kedalaman 3500 m yang berperan sebagai reservoir yang berisikan fluida dan batuan terpanaskan. Lapisan ketiga diperkirakan terdapat batuan basaltis, memiliki densitas sebesar $2,99 \text{ gr/cm}^3$ yang diberi tanda warna coklat. Hasil pembekuan magma di bawah permukaan membentuk batuan basalt yang berada pada kedalaman 100 m – 6000 m. Lapisan keempat diperkirakan terdapat campuran batuan andesit-basalt, memiliki densitas sebesar $2,54 \text{ gr/cm}^3$ yang ditandai dengan warna merah. Batuan andesit-basalt berada pada kedalaman 1800 m – 6000 m yang berperan sebagai *heat source* untuk menggambarkan adanya potensi panas bumi di sekitar Gunung Gede-Pangrango.



(a)

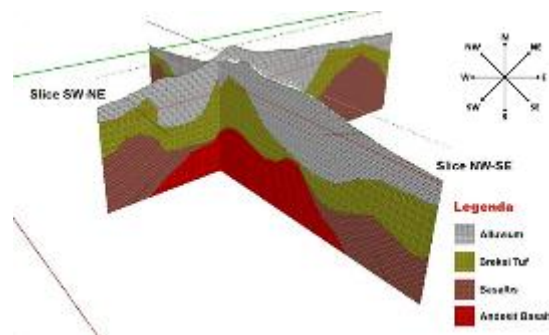
Identifikasi Pemodelan 2D dan Suhu Permukaan Daerah Panas Bumi



(b)

Gambar 12 (a) Arah *slicing* NW-SE, dan (b) Pemodelan 2D bawah permukaan Gunung Gede-Pangrango dengan *slicing* arah NW-SE

Pemodelan 2D kedua dengan arah NW-SE (Gambar 12.b) menggambarkan struktur bawah permukaan Gunung Gede-Pangrango terdiri dari empat lapisan. Lapisan pertama diperkirakan terdapat batuan alluvium, memiliki densitas sebesar $1,5 \text{ gr/cm}^3$ yang diberi tanda warna abu muda yang tersebar dari elevasi 2700 m sampai kedalaman 2300 m. Lapisan kedua diperkirakan terdapat batuan breksi tuff, memiliki densitas sebesar $2,55 \text{ gr/cm}^3$ yang diberi tanda warna hijau yang tersebar dari elevasi 1700 m sampai kedalaman 3250 m. Lapisan ketiga diperkirakan terdapat batuan basaltis, memiliki densitas sebesar $2,84 \text{ gr/cm}^3$ yang diberi tanda warna coklat pada kedalaman 15 m – 6000 m. Lapisan keempat diperkirakan terdapat campuran batuan andesit-basalt, memiliki densitas sebesar $2,73 \text{ gr/cm}^3$ yang diberi tanda warna merah pada kedalaman 2200 m – 6000 m. Keempat lapisan tersebut memiliki peran yang sama seperti pada pemodelan pertama, dimana dari pemodelan 2D ini dapat merepresentasikan struktur bawah permukaan daerah panas bumi Gunung Gede-Pangrango, sehingga dapat diketahui seberapa besar potensi panas buminya.



Gambar 13 Korelasi antar dua pemodelan

Dapat dilihat bahwa dari hasil dua pemodelan yang saling bersilangan dilakukan penggabungan model 2D seperti gambar diatas, dapat terlihat keempat lapisan tersebut saling terkorelasi dengan baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan peta *Land Surface Temperature*, area panas bumi Gunung Gede-Pangrango memiliki suhu permukaan sekitar $34,76 \text{ }^\circ\text{C}$ – $46,55 \text{ }^\circ\text{C}$, dengan manifestasi berupa mata air panas Cipanas, dari pengolahan data di interpretasikan secara kualitatif dan kuantitatif. Pada interpretasi kualitatif sebaran area panas bumi berada pada nilai anomali tinggi, mulai dari 318 mGal – 537,9 mGal, yang berasosiasi dengan batuan reservoir yang memiliki densitas sedang, berupa campuran fluida panas antara air dan uap panas. Sedangkan, pada interpretasi kuantitatif menghasilkan 2D pemodelan pada penampang yang berarah SW-NE dan NW-SE dengan jumlah 4 lapisan batuan. Dari kedua penampang tersebut terdiri dari batuan alluvium sebagai *caprock* dengan nilai densitas batuan sebesar $1,55 \text{ gr/cm}^3$ dan $1,5 \text{ gr/cm}^3$. Breksi tuff dengan nilai densitas $2,73 \text{ gr/cm}^3$ dan $2,55 \text{ gr/cm}^3$ sebagai *reservoir*. Basaltis dengan nilai densitas $2,99 \text{ gr/cm}^3$ dan $2,84 \text{ gr/cm}^3$ sebagai *basement*. Dan andesit basalt dengan nilai densitas $2,54 \text{ gr/cm}^3$ dan $2,73 \text{ gr/cm}^3$ sebagai *heat source*.

SARAN

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini antara lain, perlu adanya penambahan data geokimia untuk mengetahui sifat kandungan kimia dalam sumber mata air panas, lalu diperlukan *survey* geofisika lainnya agar dapat dilakukan integrasi data, dan perlu dilakukan pemodelan 3D, sehingga dapat memperkirakan volume reservoir panas bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro W U, Andri S, Bandi S (2017). Analisis Hubungan Variasi *Land Surface Temperature* Dengan Kelas Tutupan Lahan Menggunakan Data Citra Satelit Landsat (Studi Kasus: Kabupaten Pati). *Jurnal Geodesi Undip* 6 (2), 71-80. Doi: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/16258>
- Azhari A P, Maryanto S, Rachmansyah A (2016). Identifikasi Struktur Geologi dan Pengaruhnya Terhadap Suhu Permukaan Tanah Berdasarkan Data Landsat 8 Di Lapangan Panas Bumi Blawan. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*. 13 (1), 1-12. Doi: <http://dx.doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2016.v13.a2932>
- Azhary, M., Zaenudin, A., Karyanto, Setiadi, I. (2019). Studi Sub-Cekungan Jawa Timur Bagian Utara Untuk Mengetahui Pola Sub-Cekungan Berpotensi Minyak Dan Gas Bumi Menggunakan Data Gaya Berat. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. 3 (3). Doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jge.v3i3>
- Basid, A., Andini, N., Arfiyaningsih, S. (2014). Pendugaan Reservoir Sistem Panas Bumi Dengan Menggunakan Survey Geolistrik, Resistivitas Dan Self Potential. *Jurnal Neutrino*. 7 (1). Hal 57 – 70. Doi: <https://doi.org/10.18860/neu.v7i1>
- Direktorat Panas Bumi (2017). Potensi Panas Bumi di Indonesia. Jilid 1. *Badan Geologi, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*.
- Fandari, A. E., Daryanto, A., Suprayitno, D. (2014). Pengembangan Panas Bumi Yang Berkelanjutan. 17 (1). Hal 68-82. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. Doi: <https://doi.org/10.18196/st.v17i1.412>
- Hermawan, D., Widodo, S., Mulyadi, E. (2012). Sistem Panas Bumi Daerah Candi Umbul-Telomoyo Berdasarkan Kajian Geologi Dan Geokimia. 7(1), Hal 1-6. *Buletin Sumber Daya Geologi*. Doi: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v7i1.91>
- Hirt, C, et al.. (2013). *New ultrahigh resolution picture of Earth's gravity field: New Picture of Earth's Gravity Field*. *Geophysical Research Letters*, 40(16), 4279–4283. Doi: <https://doi.org/10.1002/grl.50838>.
- Jusmi, F., (2018). Pemetaan Anomali Bouguer Lengkap Dan Topografi Serta Penentuan Densitas Bouguer Batuan Berdasarkan Daerah Panas Bumi Pamancalan. *Jurnal Dinamika*. 09 (1), Hal 1-9 <https://www.Journal.uncp.ac.id/index.php/dinamika/article/view/1001>
- Kamal. M., Marwan, Muhibudin (2017). Interpretasi Distribusi Struktur Geologi Berdasarkan Anomali Medan Gravitasi Citra Satelit Di Kabupaten Bener Meriah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Kebumihan*. 1 (1), 9-12. <http://www.jim.unsyiah.ac.id/BUMI/article/view/4132/0>
- Lewerissa, Richard. (2020). *Overview of Geothermal Potential in Momiwaren, South Manokwari Regency using Earth Gravity Field Analysis* (Papua:Universitas Papua).
- Maulana, D.A. Prasetyo. 2019. Analisa Matematis Pada Koreksi Bouguer Dan Koreksi Medan Data Gravitasi Satelit Topex Dalam Penentuan Kondisi Geologi Studi Kasus Sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah. *Jurnal Geosaintek*, 5 (3), Hal 91 -100. DOI: <http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v5i3.6100>
- Maulana, D.A. Prasetyo. 2020. Analisis Matematis Penentuan Konstanta Koreksi Bouguer Baru Pada Gravitasi Satelit TOPEX Dalam Implikasi Kondisi Geologi Studi Kasus Sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah. *Jurnal Geosains Terapan*. 3 (5), Hal 1-17 https://issuu.com/ggcui/docs/jurnal_geosains_ggc_ui_2020
- Peta Geologi Bersistem, Indonesia. Lembar Bogor, 9/XIII-D, atau 1209-1, Skala 1 : 100.000.
- Rachmawati, F. A., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., Sumaryadi, M. (2019). Penentuan Sumber Panas Sistem Panas Bumi Gunung Api Talang, Sumatera Barat Berdasarkan Sejarah Panas dan Geokimia Air. *Padjajaran Geoscience Journal*. 3 (1), 44-50. <http://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/view/20841/0>
- Reynold J M (1997). *An Introduction To Applied And Enviromental Geophysics*. John Wiley and Sons

Inc, England

- Setyawan N, Setiawan M R, Singarimbun A (2019). Identifikasi Aliran Fluida Panas Bawah Permukaan Di Lapangan Panas Bumi Way Ratai Menggunakan Metode Self Potential. *Journal Of Science and Applicative Technology* 3(1), 1-7. <https://journal.itera.ac.id/index.php/jsat/>
- Telford W M, Geldart L P, Sheriff R E 1990. *Appl Geophysics* (Newyork:Cambridge University Press)
- Umam, M, F., Muhammad, F., Adityama, D. W., Purba D. P. (2018). Tantangan Pengembangan Energi Panas Bumi Dalam Perannya Terhadap Ketahanan Energi Di Indonesia. *Swara Putra. PSSDM Migas.* 8 (3), Hal 48-65.
<http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/6>

Belista Gunawan, Aprilia Anjani, Ariska Anjalni

Submitted: **08/11/2021**; Revised: **26/11/2021**; Accepted: **14/12/2021**; Published: **31/01/2022**