

IDENTIFIKASI STRUKTUR BATUAN BAWAH PERMUKAAN KAWASAN GUNUNG MERAPI DAN GUNUNG KELUD DENGAN METODE GRAVITASI

¹⁾ Nadya Octavia Wulandari, ²⁾ Z. A. Imam Supardi, ³⁾ Arie Realita

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: nadya.20007@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: zainularifin@unesa.ac.id

³⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: arierealita@unesa.ac.id

Abstrak

Mineral pasir merupakan komoditas penting dalam sektor konstruksi. Pasir yang berkualitas bagus secara teknis ditandai oleh ukuran butir yang seragam, kandungan lempung yang rendah, tingkat kepadatan dan ketahanan yang tinggi. Salah satu pasir berkualitas bagus adalah pasir Merapi dan Kelud yang banyak digunakan sebagai bahan campuran beton. Kualitas pasir tersebut diduga berhubungan dengan material vulkanik penyusun struktur batuan bawah permukaan Gunung Merapi dan Gunung Kelud. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi struktur batuan bawah permukaan kawasan Gunung Merapi dan Gunung Kelud menggunakan metode gravitasi berbasis data satelit. Proses pengolahan data melibatkan koreksi data gravitasi (FAC, koreksi Bouguer, dan koreksi Terrain) yang diterapkan untuk mengubah raw data menjadi corrected data dalam bentuk *Complete Bouguer Anomali* (CBA). Beberapa aplikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Global Mapper*, *Surfer*, *Oasis Montaj*, *Grablox*, dan aplikasi *phyton*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis batuan Gunung Merapi adalah andesit sedangkan jenis batuan Gunung Kelud adalah basalt.

Kata Kunci: Anomali gravitasi, densitas, metode gravitasi, satelit TOPEX, Pemodelan 3D Gunung Merapi dan Gunung Kelud

Abstract

Sand mineral is an important commodity in the construction sector. Good quality sand is technically characterized by uniform grain size, low clay content, high density and durability. One of the good quality sands is Merapi and Kelud sand which is widely used as a concrete mixture. The quality of the sand is thought to be related to the volcanic material that makes up the subsurface rock structure of Mount Merapi and Mount Kelud. The purpose of this study was to identify and interpret the subsurface rock structure of the Mount Merapi and Mount Kelud areas using a gravity method based on satellite data. The data processing process involves gravity data correction (FAC, Bouguer correction, and Terrain correction) which is applied to convert raw data into corrected data in the form of Complete Bouguer Anomaly (CPA). Some of the applications used in this study are Global Mapper, Surfer, Oasis Montaj, Grablox, and the phyton application. The results of this study indicate that the type of rock of Mount Merapi is andesite while the type of rock of Mount Kelud is basalt.

Keywords: Gravity anomaly, density, gravity method, TOPEX satellite, 3D modeling Mount Merapi and Kelud

I. PENDAHULUAN

Dalam bidang geofisika, terdapat beragam metode yang digunakan untuk meneliti kondisi bawah permukaan bumi berdasarkan parameter fisik tertentu. Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode gravitasi, yang mengukur variasi densitas batuan di bawah permukaan untuk mengungkap struktur geologi suatu kawasan. Perbedaan densitas ini menghasilkan variasi nilai gravitasi, yang disebut sebagai anomali gravitasi, dan menjadi indikator utama dalam mengidentifikasi struktur bawah permukaan (Nyaberi, 2023; Okubo, 2020; Ombati et al., 2022).

Metode gravitasi dapat dilaksanakan melalui dua pendekatan utama: survei lapangan dan pendekatan numerik berbasis data satelit. Survei lapangan memungkinkan akurasi data tinggi, namun cenderung mahal dan memakan waktu (Nurhasan et al., 2023; Puspita et al., 2024). Sebaliknya, pendekatan numerik memanfaatkan model matematika dan citra satelit untuk memperoleh informasi struktur bawah permukaan secara lebih efisien, seperti melalui data dari satelit TOPEX (Julzarika et al., 2020; Maghfira & Windhi Niasari, 2019; Pham et al., 2021). Pendekatan ini tidak hanya menghemat biaya, tetapi juga tidak merusak lingkungan (Ekpa et al., 2018; Okpoli & Akingboye, 2019).

Secara geologis, kawasan selatan Pulau Jawa termasuk dalam zona penunjaman lempeng Indo-Australia dan Eurasia, yang menghasilkan busur gunung api aktif seperti Gunung Merapi di Daerah Istimewa Yogyakarta dan Gunung Kelud di Jawa Timur (Ragil & Setiawan, 2015). Kedua gunung ini dikenal dengan aktivitas vulkanik tinggi dan telah beberapa kali mengalami erupsi dalam dua dekade terakhir. Material vulkanik yang dikeluarkan dalam bentuk pasir dan batuan kemudian terbawa lahar hujan ke wilayah yang lebih rendah, membentuk lautan pasir dengan karakteristik geologi yang khas (Realita et al., 2022). Pasir vulkanik dari kedua gunung ini diketahui memiliki kualitas tinggi, yang diduga berkaitan dengan struktur batuan bawah permukaan dan komposisi kimianya (Achmad & Hadi, 2015).

Penelitian sebelumnya telah membuktikan efektivitas metode gravitasi dalam mengungkap struktur bawah permukaan gunung api. (Anggraeni et al., 2023) menggunakan metode ini untuk menganalisis material limpasan dari Gunung Semeru, sementara (Rahman et al., 2014) menerapkannya pada Gunung Kelud dengan data satelit GGMplus dan koreksi Bouguer. Penelitian (Andani et al., 2020) juga berhasil memetakan densitas batuan di Gunung Merapi menggunakan peta Bouguer dan pemisahan anomali dengan filter moving average. Hasil-hasil tersebut menunjukkan keberadaan batuan beku dan piroklastik dengan variasi densitas yang signifikan pada kedalaman tertentu.

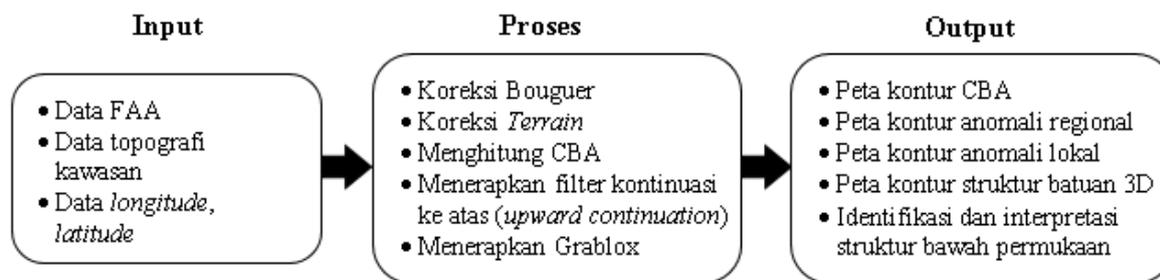
Penelitian ini memiliki keunggulan dibandingkan studi sebelumnya karena mengkaji dua gunung api sekaligus Merapi dan Kelud dengan pendekatan numerik menggunakan data satelit TOPEX yang bersifat open-source dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menginterpretasi struktur batuan bawah permukaan kedua gunung tersebut melalui analisis anomali gravitasi yang berkaitan langsung dengan variasi densitas batuan. Temuan penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan mengapa pasir vulkanik dari kedua kawasan tersebut memiliki kualitas unggul yang sangat dibutuhkan dalam sektor konstruksi.

Tujuan dari penelitian ini adalah: melakukan identifikasi struktur batuan bawah permukaan Gunung Merapi dan Gunung Kelud dengan menggunakan data gravitasi dari satelit TOPEX, dan mengkaitkannya dengan kualitas pasir yang dihasilkan, terutama dilihat dari perspektif ketekniksipilan. Penelitian ini juga berkontribusi pada pemahaman mengenai potensi sumber daya mineral vulkanik dan pengelolannya yang berkelanjutan untuk kesejahteraan masyarakat sekitar kawasan gunung api.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini disusun berdasarkan pendekatan studi geofisika dengan menggunakan metode gravitasi untuk mengidentifikasi dan menginterpretasi struktur batuan bawah permukaan di kawasan Gunung Merapi dan Gunung Kelud. Rancangan ini berbasis analisis data sekunder yang diperoleh dari satelit TOPEX, yang mencakup parameter topografi, posisi geografis (lintang dan bujur), serta nilai Free Air Anomaly (FAA). Tahapan awal meliputi koreksi Bouguer dan koreksi Terrain guna memperbaiki kualitas data gravitasi mentah. Setelah diperoleh nilai Complete Bouguer Anomaly (CBA), dilakukan pemisahan antara anomali regional dan lokal menggunakan filter upward continuation. Selanjutnya, aplikasi Grablox digunakan untuk membuat model tiga dimensi dari struktur batuan bawah permukaan agar proses interpretasi menjadi lebih presisi dan menyeluruh. Sistematis rancangan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan penelitian identifikasi dan interpretasi struktur batuan bawah permukaan Gunung Merapi dan Gunung Kelud.

B. Variabel Operasional Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tiga jenis variabel operasional, yakni manipulasi, kontrol, dan respons. Variabel manipulasi berupa koordinat titik-titik lokasi pengamatan yang ditentukan dari hasil pemetaan bujur dan lintang wilayah studi. Variabel kontrol ditentukan melalui nilai densitas rata-rata batuan bawah permukaan yang digunakan dalam perhitungan koreksi Bouguer, yaitu sebesar $1,67 \text{ g/cm}^3$ untuk Gunung Merapi dan $3,56 \text{ g/cm}^3$ untuk Gunung Kelud, sebagaimana diperoleh melalui metode Nettleton. Adapun variabel respons mencakup data-data hasil koreksi seperti nilai FAA, FAC, peta topografi, peta kontur CBA, serta peta anomali gravitasi lokal dan regional, yang seluruhnya menjadi dasar untuk penarikan kesimpulan geologi bawah permukaan

C. Teknik Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh dari sumber sekunder, yakni TOPEX, yang menyajikan informasi medan gravitasi dan topografi dari wilayah studi. Data mentah yang diperoleh mencakup nilai FAA yang telah melalui koreksi lintang dan FAC secara otomatis, serta data topografi dari DEM-SRTM. Informasi tersebut kemudian diproses lebih lanjut dengan bantuan aplikasi Global Mapper, Surfer, dan Oasis Montaj. Teknik pengumpulan data tidak melibatkan survei lapangan secara langsung, melainkan memanfaatkan basis data digital dan pemrosesan numerik untuk memperoleh hasil akurat. Tahapan ini mencerminkan metode geofisika pasif yang efektif dalam studi kawasan yang sulit dijangkau seperti lereng vulkanik

D. Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dalam beberapa tahapan sistematis yang melibatkan kombinasi perangkat lunak dan metode koreksi. Langkah pertama adalah menghitung densitas batuan bawah permukaan menggunakan metode Nettleton, yang hasilnya digunakan untuk koreksi Bouguer di Microsoft Excel. Koreksi Terrain dilakukan dengan memanfaatkan DEM-SRTM dan diproses menggunakan Oasis Montaj melalui metode segmen silinder konsentris untuk memperhitungkan ketidakaturan topografi. Data kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta kontur CBA dengan bantuan aplikasi Surfer, yang memberikan gambaran distribusi spasial anomali gravitasi. Pemisahan anomali lokal dan regional dilakukan menggunakan upward continuation, dan untuk mempermudah interpretasi akhir, digunakan aplikasi Grablox untuk menghasilkan model 3D dari struktur batuan bawah permukaan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Peta Kontur Complete Bouguer Anomaly (CBA)

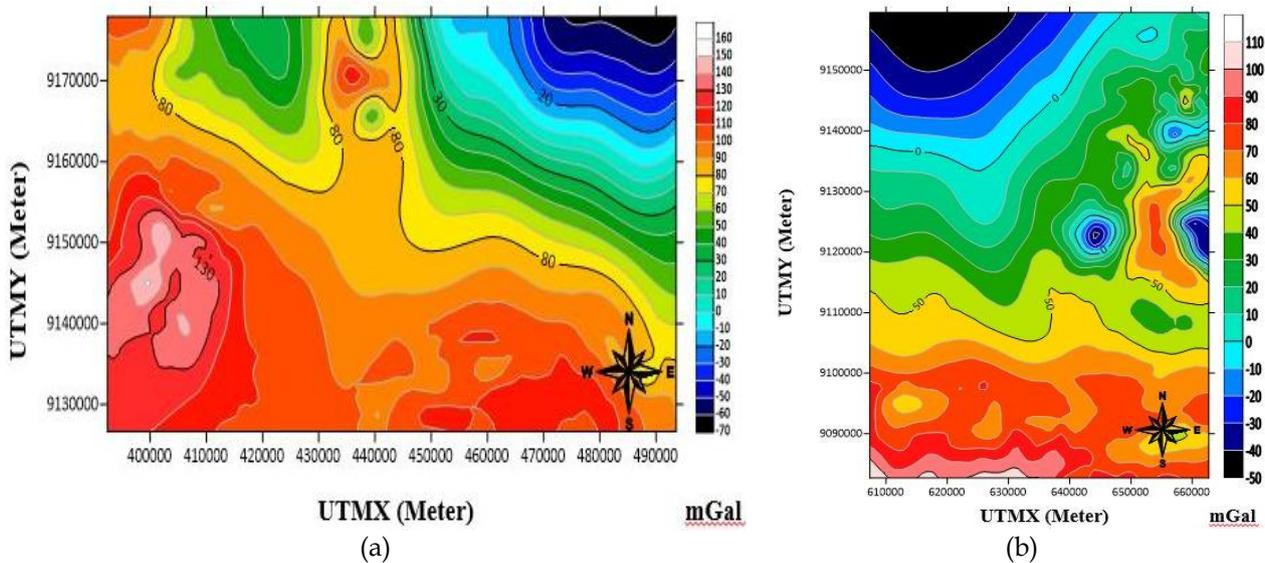
Nilai CBA yang sudah diperoleh kemudian direpresentasikan menjadi peta kontur CBA yang mengandung campuran anomali lokal (residual) dan anomali regional. Kedua jenis anomali tersebut masing-masing mencerminkan variasi densitas batuan bawah permukaan.

Peta kontur pada Gambar 2 a dan b menggambarkan distribusi anomali gravitasi hasil koreksi lengkap (Complete Bouguer Anomaly/CBA) pada wilayah Gunung Merapi dan Gunung Kelud. CBA diperoleh dari akumulasi beberapa koreksi gravitasi seperti koreksi garis lintang, koreksi udara bebas (FAC), koreksi Bouguer, dan koreksi Terrain, serta berfungsi untuk merepresentasikan variasi densitas struktur geologi bawah permukaan (Reynolds, 2011).

Pada Gunung Merapi, nilai CBA berkisar antara -70 mGal hingga 160 mGal . Zona anomali rendah (biru, $-70 \text{ s.d. } 20 \text{ mGal}$) terletak di bagian timur dan diduga merupakan graben yang diisi oleh endapan vulkanik muda (Andani et al., 2020; Chasanah et al., 2021; Maghfira & Windhi Niasari, 2019). Zona anomali sedang (hijau-oranye, $30 \text{ s.d. } 100 \text{ mGal}$) tersebar di barat, utara, selatan, dan tenggara, dan mengindikasikan keberadaan batuan Plistosen berupa tuff kristal yang telah mengalami pengerasan. Sedangkan zona anomali

tinggi (merah-putih, 110 s.d. 160 mGal) memanjang di bagian selatan dan dikaitkan dengan batuan berumur lebih tua dan padat (Gorsel, 2018).

Pada Gunung Kelud, CBA berada dalam rentang -50 mGal hingga 110 mGal. Anomali rendah (biru, -50 s.d. 10 mGal) muncul di area puncak dan bagian barat laut serta timur gunung, menunjukkan dominasi batuan vulkanik muda dan kemungkinan konsentrasi magma di bawah permukaan (Novianti et al., 2024; Rahman et al., 2014). Anomali sedang (hijau-oranye, 20 s.d. 70 mGal) ditemukan memanjang di sisi barat dan timur, diasosiasikan dengan batuan produk gunung api yang telah mengeras (Wati, 2015). Adapun anomali tinggi (merah-putih, 70 s.d. 110 mGal) tersebar di sisi timur dan selatan, mencerminkan keberadaan batuan yang lebih tua dan padat di bawah permukaan (Gorsel, 2018; Rahman et al., 2014; Wati, 2015).



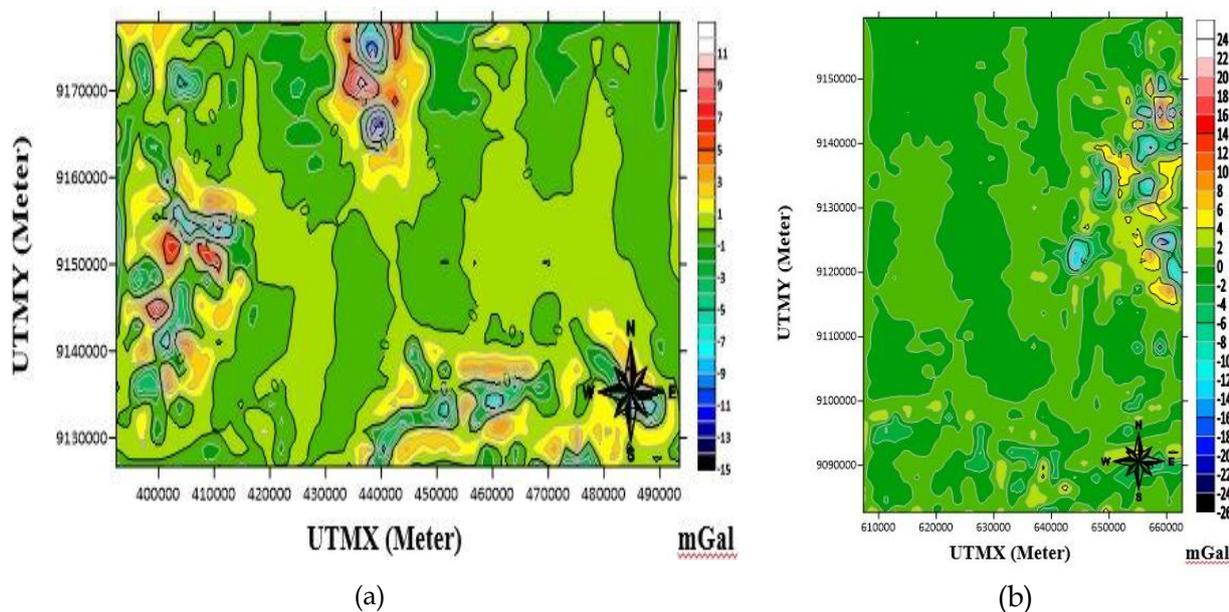
Gambar 2. Peta kontur Complete Bouguer Anomaly (CBA): (a) Gunung Merapi, (b) Gunung Kelud.

B. Pemisahan Anomali Lokal dan Regional

Dalam tahap awal interpretasi, data gravitasi yang telah dikoreksi menjadi Complete Bouguer Anomaly (CBA) masih mengandung campuran antara anomali lokal dan anomali regional, seperti terlihat pada Gambar 2a dan 2b. Campuran kedua jenis anomali ini dapat mengaburkan identifikasi struktur bawah permukaan, karena sumber anomali dari kedalaman berbeda akan saling tumpang tindih. Oleh karena itu, dilakukan proses pemisahan sinyal menggunakan metode upward continuation atau kontinuitas ke atas.

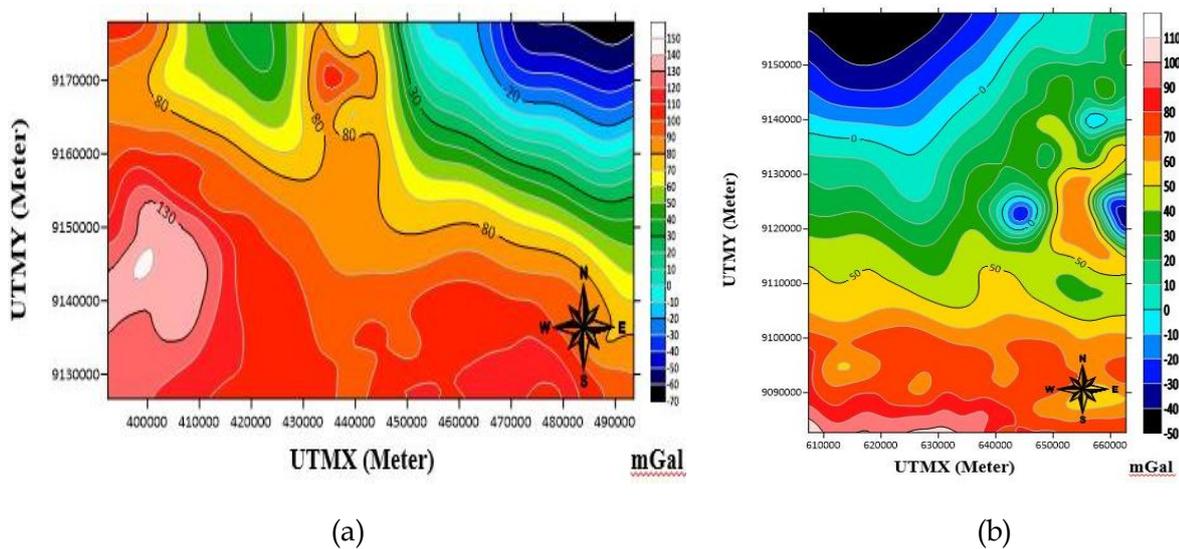
Metode upward continuation merupakan teknik pemrosesan data gravitasi yang bekerja dengan prinsip peredaman sinyal berfrekuensi tinggi (gelombang pendek) yang berasal dari sumber dangkal, sekaligus mempertajam sinyal berfrekuensi rendah (gelombang panjang) dari sumber dalam (Blakely, 1995; Reynolds, 2011) (Blakely, 1995; Reynolds, 2011). Secara konseptual, proses ini identik dengan memindahkan bidang pengukuran gravitasi dari posisi semula ke ketinggian tertentu di atas permukaan bumi. Dengan menaikkan bidang pengukuran ini, pengaruh gravitasi dari sumber dangkal (anomali lokal atau residual) akan berkurang secara eksponensial terhadap jarak, sedangkan efek gravitasi dari sumber dalam (anomali regional) menjadi lebih dominan. Dalam penelitian ini, ketinggian pemisahan ditetapkan sebesar 10 km berdasarkan pertimbangan bahwa pada ketinggian tersebut anomali lokal dari sumber dangkal telah tereduksi secara signifikan, sementara anomali regional masih dapat terdeteksi dengan baik (Novianti et al., 2024; Ramadhan & Pohan, 2024).

Proses upward continuation ini menghasilkan peta anomali regional, sedangkan anomali residual (lokal) diperoleh dari hasil selisih antara CBA dan anomali regional tersebut. Metode ini terbukti lebih representatif dibandingkan teknik konvensional seperti moving average atau polynomial fitting, karena menghasilkan kontur dan rentang nilai anomali yang mendekati kondisi geologi aktual dan anomali Bouguer lengkap. Nilai-nilai anomali regional yang diperoleh dari upward continuation juga memiliki kesesuaian bentuk kontur dengan kontur geologi wilayah studi, yang menunjukkan efektivitas metode ini dalam menafsirkan densitas massa jenis batuan bawah permukaan (Novianti et al., 2024; Ramadhan & Pohan, 2024).



Gambar 3. Peta Kontur Lokal (Residual): (a) Gunung Merapi, (b) Gunung Kelud

Peta anomali lokal (Gambar 3) memperlihatkan gambaran struktur dangkal. Pada Gunung Merapi, nilai anomali lokal berkisar antara -15 mGal hingga 11 mGal, dengan zona anomali rendah dominan di sekitar puncak dan lereng (warna biru, -15 hingga -7 mGal). Zona ini menunjukkan keberadaan batuan dengan densitas rendah di permukaan. Di Gunung Kelud, nilai anomali lokal bervariasi dari -26 mGal hingga 24 mGal. Anomali rendah (warna biru, -16 hingga -10 mGal) juga tampak di sekitar puncak, mengindikasikan lapisan batuan permukaan yang ringan.



Gambar 4. Peta Kontur Regional: (a) Gunung Merapi, (b) Gunung Kelud

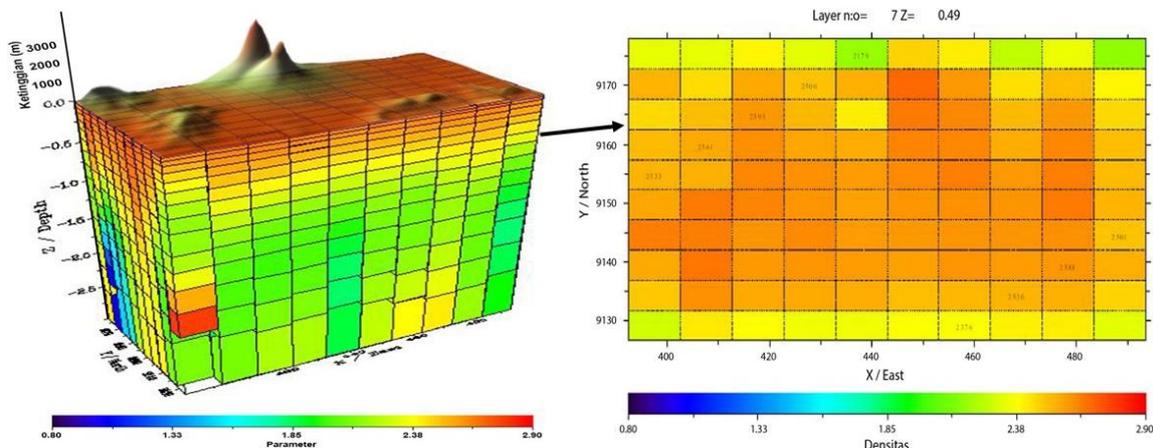
Sebaliknya, peta anomali regional (Gambar 4.) menampilkan karakteristik struktur dalam. Di Gunung Merapi, nilai anomali regional berkisar dari -70 mGal hingga 150 mGal. Warna merah hingga putih di sekitar puncak mengindikasikan keberadaan batuan dengan densitas tinggi pada kedalaman. Pada Gunung Kelud, nilai anomali regional antara -50 mGal hingga 110 mGal memperlihatkan zona anomali rendah (warna biru, -30 hingga 10 mGal) dan anomali tinggi (40 hingga 110 mGal), yang menggambarkan keberadaan batuan beku padat di kedalaman.

Secara umum, peta anomali regional lebih relevan digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi dan jenis batuan pada kedalaman yang lebih besar. Informasi ini sangat penting, khususnya dalam konteks eksplorasi material seperti pasir vulkanik, di mana kualitas pasir sangat dipengaruhi oleh batuan induknya. Pasir vulkanik berkualitas tinggi umumnya berasal dari batuan beku vulkanik seperti basalt, andesit, dan

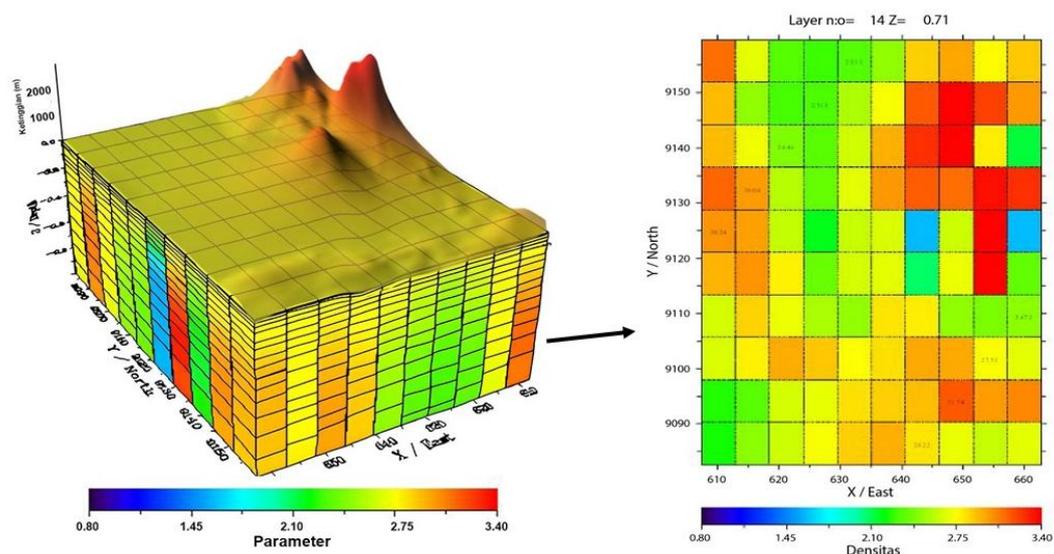
granit, yang terbentuk dari proses geologi dalam (Abiyudo et al., 2021). Dalam praktiknya, interpretasi struktur bawah permukaan seringkali dilakukan dengan bantuan peta anomali gravitasi. Peta anomali regional dibandingkan dengan anomali residual, lebih mampu menggambarkan keberadaan patahan dan intrusi batuan beku yang berada pada kedalaman relatif lebih dalam (Sihombing & Rustadi, 2020).

C. Interpretasi Anomali Gravitasi

Interpretasi data anomali gravitasi di kawasan Gunung Merapi dan Gunung Kelud dilakukan melalui pemodelan 3D menggunakan perangkat lunak Grablox. Hasil pemodelan ini menampilkan variasi densitas batuan pada kedalaman tertentu yang ditunjukkan dalam bentuk warna. Setiap gradasi warna menunjukkan perbedaan densitas yang dapat mengindikasikan jenis batuan yang ada di bawah permukaan. Interpretasi ini sangat berguna untuk memahami karakteristik batuan penyusun tubuh Gunung Merapi dan Gunung Kelud



Gambar 5. Hasil Pemodelan Struktur Batuan Bawah Permukaan Gunung Merapi dalam Bentuk 3D dan 2D



Gambar 6. Hasil Pemodelan Struktur Batuan Bawah Permukaan Gunung Kelud dalam Bentuk 3D dan 2D.

Pemodelan struktur batuan bawah permukaan Gunung Merapi (Gambar 5) menunjukkan hasil tiga dimensi (3D) hingga kedalaman sekitar 2.370 meter dengan 15 layer yang menggambarkan variasi kedalaman serta distribusi densitas batuan. Gradasi warna dari orange tua hingga biru kehijauan mencerminkan perbedaan densitas dan komposisi batuan vulkanik di bawah permukaan. Pada kedalaman 490 meter, dominasi warna orange dengan nilai densitas 2,38–2,85 g/cm³ mengindikasikan adanya batuan vulkanik padat seperti andesit yang terbentuk dari aliran lava yang membeku. Sebaran densitas tinggi yang cukup merata menguatkan karakter Gunung Merapi sebagai stratovolcano aktif dengan aktivitas erupsi berulang, menghasilkan sebaran lava ke berbagai arah (Chasanah et al., 2021).

Sementara itu, hasil pemodelan struktur bawah permukaan Gunung Kelud (Gambar 6) memperlihatkan kondisi hingga kedalaman 850 meter dengan 15 layer yang menunjukkan variasi densitas

batuan melalui gradasi warna hijau muda kekuningan hingga merah tua. Pada kedalaman 710 meter, dominasi warna kuning keoranye-an hingga merah tua dengan nilai densitas 2,75–3,40 g/cm³ menunjukkan keberadaan batuan padat berjenis basalt. Distribusi densitas tinggi yang terfokus di zona tertentu menggambarkan karakter Gunung Kelud sebagai stratovolcano aktif dengan erupsi besar yang terjadi secara periodic (Rahman et al., 2014; Wati, 2015).

Temuan ini diperkuat oleh penelitian (Astuti et al., 2023), yang menyatakan bahwa geologi Gunung Kelud didominasi oleh batuan basalt dan andesit berdasarkan nilai susceptibilitas magnetik. Selaras dengan itu, studi (Chasanah et al., 2021) juga mengungkapkan bahwa struktur bawah permukaan Gunung Merapi terdiri atas batuan sedimen, andesit, basalt, dan gabbro. Hal ini menegaskan bahwa hasil pemodelan Grablox sejalan dengan data geologi dan geofisika regional.

Kedua gunung api ini berada di jalur vulkanik Jawa Tengah–Timur, yang termasuk dalam deretan Magmatic Arc hasil subduksi Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia. Zona ini dikenal memiliki aktivitas vulkanik tinggi dengan dominasi batuan beku menengah hingga mafik seperti andesit dan basalt, yang terbentuk akibat proses diferensiasi magma di dapur magma dangkal (Reynolds, 2011). Karakteristik batuan tersebut sangat memengaruhi densitas dan komposisi kimianya, yang pada gilirannya berpengaruh terhadap sifat fisik material turunan seperti pasir vulkanik (Bhonde et al., 2024). Secara umum, batuan mafik seperti basalt memiliki kandungan mineral berat (Fe-Mg) tinggi dan silika rendah, menghasilkan densitas tinggi dan tekstur padat. Sebaliknya, batuan menengah seperti andesit memiliki kandungan silika lebih tinggi dan densitas sedikit lebih rendah.

Perbedaan ini terlihat jelas pada dua gunung tersebut. Berdasarkan hasil penelitian, batuan dasar Gunung Merapi didominasi oleh andesit dengan kandungan silika sekitar 54,56% (Lasino et al., 2015), sedangkan batuan Gunung Kelud didominasi oleh basalt dengan kadar silika lebih rendah yaitu 45,90% (Astari et al., 2021). Kandungan silika yang lebih tinggi pada material Merapi menyebabkan batuan dan pasirnya memiliki sifat agak rapuh namun tetap keras, dengan densitas rata-rata batuan induk sekitar 2,61 g/cm³. Sementara itu, Kelud yang lebih bersifat mafik memiliki densitas batuan lebih tinggi, rata-rata mencapai 2,99 g/cm³ (Bhonde et al., 2024), serta menghasilkan pasir dengan densitas 2,143 g/cm³ (Suryani & Munasir, 2015). Hubungan kuantitatif ini menunjukkan bahwa semakin rendah kandungan silika, semakin tinggi densitas dan kekuatan mekanik material yang dihasilkan, karena berkurangnya kandungan mineral ringan seperti kuarsa dan meningkatnya mineral berat seperti piroksen dan olivin.

Keterkaitan geologi, densitas, dan komposisi kimia batuan ini secara langsung memengaruhi kualitas pasir vulkanik sebagai bahan bangunan. Pasir Merapi, yang berasal dari batuan andesit dengan kadar silika menengah, memiliki partikel bersudut tajam dan daya ikat tinggi, menjadikannya unggul untuk campuran beton karena mampu meningkatkan kekuatan tekan hingga 15–20% dibandingkan pasir sedimen biasa (Choiriyah & Pertiwi, 2016; Muzakki, 2020). Di sisi lain, pasir Kelud yang berasal dari batuan basalt bertekstur kasar dan padat menunjukkan daya tahan mekanik tinggi serta ketahanan terhadap pelapukan, meskipun kadar silikanya lebih rendah. Secara teknis, kedua jenis pasir ini memenuhi kriteria pasir bangunan berkualitas tinggi, yakni keras, tajam, bersih dari lumpur (<5%), tidak mengandung bahan organik, serta memiliki distribusi ukuran butir yang bervariasi (Mulyati & Virnando, 2015).

Dengan mempertimbangkan karakteristik geologi dan komposisi kimia tersebut, dapat disimpulkan bahwa pasir vulkanik dari Gunung Merapi dan Kelud sama-sama layak digunakan dalam konstruksi, namun dengan keunggulan berbeda. Pasir Merapi unggul dalam hal reaktivitas dan daya ikat dengan semen karena kandungan silikanya yang lebih tinggi, sedangkan pasir Kelud unggul dalam kekuatan mekanik dan ketahanan jangka panjang akibat densitasnya yang lebih besar. Hubungan antara faktor geologi, densitas, dan kandungan kimia ini menunjukkan bahwa kualitas pasir vulkanik tidak hanya ditentukan oleh ukuran butiran, tetapi juga oleh proses magmatisme dan diferensiasi magma yang membentuk batuan induknya. Oleh karena itu, kedua kawasan ini memiliki potensi besar sebagai sumber bahan bangunan vulkanik yang andal dan bernilai ekonomi tinggi (Ardiansyah et al., 2020; Kusuma et al., 2021).

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil identifikasi dan interpretasi struktur batuan bawah permukaan menggunakan metode gravitasi, diketahui bahwa batuan dominan di kawasan Gunung Merapi adalah andesit. Sementara itu, di kawasan Gunung Kelud, batuan dominannya adalah basalt. Pasir hasil pelapukan dari kedua jenis batuan ini memiliki kandungan silika rendah hingga sedang dan densitas yang tinggi, dengan karakteristik partikel yang keras, kuat, dan tajam. Karakteristik tersebut membuat pasir dari Gunung Merapi dan Gunung

Kelud sangat cocok digunakan sebagai bahan bangunan karena daya ikatnya yang baik dengan semen serta kemampuannya dalam meningkatkan kekuatan geser dan ketahanan struktur beton.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar studi selanjutnya mengintegrasikan metode gravitasi dengan teknik geofisika lain seperti metode seismik atau magnetik untuk memperoleh gambaran struktur bawah permukaan yang lebih komprehensif. Selain itu, penggunaan data satelit resolusi lebih tinggi serta pengembangan pemodelan 3D yang lebih detail dan numerik juga perlu dilakukan untuk meningkatkan akurasi interpretasi. Penelitian lebih lanjut juga bisa difokuskan pada analisis kuantitatif hubungan antara karakteristik batuan dan kualitas pasir, sehingga potensi sumber daya vulkanik dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan dalam sektor konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abiyudo, R., Yunus, D., & Satya, D. Y. (2021). Subsurface Structure Identification from Gravity Modelling of Silangkitang. *PROCEEDINGS, The 2nd Digital Indonesia International Geothermal Convention (DIIGC) 2021, September*. https://earthjay.com/earthquakes/20220225_sumatra/abiyudo_et al_2021_Subsurface_Structure_Gravity_Modelling_Silangkitang_sumatra.pdf
- Achmad, S. R., & Hadi, H. (2015). Identifikasi Sifat Kimia Abu Vulkanik Dan Upaya Pemulihan Tanaman Karet Terdampak Letusan Gunung Kelud (Studi Kasus: Kebun Ngrangkah Pawon, Jawa Timur). *Warta Perkaretan*, 34(1), 19–30.
- Andani, F., Sarkowi, M., & Rizka. (2020). *Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Gunung Merapi, Jawa Tengah Berdasarkan Data Gayaberat*. 1–7.
- Anggraeni, F. K. A., Astutik, S., Nurlyan, M. R., Utami, R. D., Putri, O. Z., & Maudina, D. (2023). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Gunung Semeru Pasca Erupsi Tahun 2022. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 7(1), 69–77. <https://doi.org/10.24198/jiif.v7i1.40885>
- Ardiansyah, F., Sukartono, & Trisnaning, P. T. (2020). Analisis Uji Kuat Tekan Untuk Menentukan Kualitas Batuan Pada Area Tambang Pt. Semen Padang Indarung. *Geoda*, 01(02), 129–136.
- Astari, Hendrawan, A. P., & Yuliani, E. (2021). Evaluasi Karakteristik Mikro-Fisik dan Mekanik Pasir Vulkanik Tersementasi di Tebing Sungai Aliran Lahar Gunung Kelud. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(2), 661–671. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.27>
- Astuti, S., Usman, I., & Abdin. (2023). Studi Kajian Literatur: Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Magnetik di Beberapa Daerah Indonesia. *Einstein's: Research Journal of Applied Physics*, 1(2), 48–58. <https://doi.org/10.33772/einsteins.v1i2.178>
- Bhonde, M. A., Nikhil, J., Sidhant, P., Likhit, P., & Abhilash, P. (2024). Comparative Study Of Conventional Concrete With Granite Powder And Glass. *International Journal for Research Trends and Innovation*, 9(5), 44–49.
- Blakely, R. J. (1995). *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge: Cambridge Uni Press.
- Chasanah, U., Febriani, S. D. A., & Minarto, E. (2021). Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Gunung Merapi Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Gravitasi Citra Satelit. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 18(1), 25. <https://doi.org/10.20527/flux.v18i1.8456>
- Choiriyah, S., & Pertiwi, D. (2016). Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Pasir Gunung Merapi Ditinjau dari Manajemen Kualitas. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan IV Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*, 79–86.
- Ekpa, M. M. M., Okeke, F. N., Ibuot, J. C., Obiora, D. N., & Abangwu, U. J. (2018). Investigation of gravity anomalies in parts of Niger Delta Region in Nigeria using aerogravity data. *International Journal of Physical Sciences*, 13(4), 54–65. <https://doi.org/10.5897/ijps2017.4700>
- Gorsel, J. T. Van. (2018). *Bibliography of The Geology of Indonesia and Surrounding Areas (JAVA, MADURA, JAVA SEA)*.
- Julzarika, A., Suhadha, A. G., & Prasasti, I. (2020). Plate and faults boundary detection using gravity disturbance and Bouguer gravity anomaly from space geodesy. *Sustinere: Journal of Environment and Sustainability*, 4(2), 117–131. <https://doi.org/10.22515/sustinere.jes.v4i2.108>
- Kusuma, A. P., Pratama, H., & Siregar, H. (2021). Pengaruh Gradasi dan Kebersihan Pasir terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 19(2), 85–92.
- Lasino, Dachlan, A. T., & Setiadji, R. (2015). Pemanfaatan Pasir Merapi Untuk Beton Mutu Tinggi (Usage of

- Merapi Sand for High-Grade Concrete). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 32(1), 16–31.
- Maghfira, P. D., & Windhi Niasari, S. (2019). Gravity satellite data analysis for subsurface modelling in Mount Merapi-Merbabu, Java, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 76, 1–3. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197603003>
- Mulyati, & Virnando, N. D. (2015). Pengaruh Jenis Semen Dan Agregat Halus. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, 2(1), 35–40.
- Muzakki, M. A. (2020). Identifikasi Sebaran Lapisan Pasir Vulkanik Menggunakan Metode Grafitasi. In (Skripsi Sarjana, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim). <http://etheses.uin-malang.ac.id/25315/>
- Novianti, E., Realita, A., & Pratowo, T. (2024). Analisis Dan Interpretasi Anomali Gravitasi Untuk Identifikasi Potensi Sumber Panas Bumi Di Gunung Arjuno-Welirang. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 13(2), 13–24. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia/article/view/51990/42233>
- Nurhasan, Rizqia, M. N., Hidayat, Setiawan, A., Gumelar, F., Fitriani, D., Sutarno, D., Mustopa, E. J., Srigutomo, W., & Rusdiana, R. (2023). Identification of Geological Structure Based on Gravity Method in Tangkuban Parahu Volcano, Bandung, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1–14. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1159/1/012006>
- Nyaberi, D. M. (2023). Implications on Gravity Anomaly Measurements Associated with Different Lithologies in Turkana South Subcounty. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 11(01), 79–118. <https://doi.org/10.4236/gep.2023.111006>
- Okpoli, C. C., & Akingboye, A. S. (2019). Application of high-resolution gravity data for litho-structural and depth characterisation around Igabi area, Northwestern Nigeria. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 8(1), 231–241. <https://doi.org/10.1080/20909977.2019.1689629>
- Okubo, S. (2020). Advances in gravity analyses for studying volcanoes and earthquakes. *Proceedings of the Japan Academy Series B: Physical and Biological Sciences*, 96(2), 50–69. <https://doi.org/10.2183/pjab.96.005>
- Ombati, D., Githiri, J., K'orowe, M., & Nyakundi, E. (2022). Delineation of Subsurface Structures Using Gravity Data of the Shallow Offshore, Lamu Basin, Kenya. *International Journal of Geophysics*, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/3024977>
- Pham, L. T., Nguyen, D. A., Eldosouky, A. M., Abdelrahman, K., Van Vu, T., Al-Otaibi, N., Ibrahim, E., & Kharbish, S. (2021). Subsurface structural mapping from high-resolution gravity data using advanced processing methods. *Journal of King Saud University - Science*, 33(5), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101488>
- Puspita, M. B., Aprilla, A. N., Maryanto, S., & Sari, R. P. H. (2024). Preliminary Study of Subsurface Geological Setting Based on the Gravity Anomalies in Karangrejo-Tinatar Geothermal Area, Pacitan Regency, Indonesia. *International Journal of Geophysics*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2024/9976867>
- Ragil, M., & Setiawan, A. (2015). Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Zona Subduksi dan Busur Gunungapi Jawa Timur berdasarkan Analisis Data Gravitasi. *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(57), 13–18.
- Rahman, M., Sunaryo, & Susilo, A. (2014). *Pendugaan struktur bawah permukaan 2,5 dimensi di kawasan Gunung Kelud berdasarkan survei gravitasi*. Universitas Brawijaya.
- Ramadhan, I., & Pohan, A. F. (2024). Pemisahan Anomali Regional dan Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Upward Continuation dan Polynomial. *Jurnal Fisika Unand*, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.25077/jfu.13.1.1-7.2024>
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. Wiley-Blackwell: West Sussex, UK.
- Sihombing, R. B., & Rustadi, R. (2020). Pemodelan Dan Analisa Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panasbumi Kepahiang Berdasarkan Metode Gayaberat. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 4(2), 159–172. <https://doi.org/10.23960/jge.v4i2.14>
- Suryani, N., & Munasir. (2015). Fabrikasi Bata Ringan Tipe Celluler Lightweight Concrete dengan Bahan Dasar Pasir Vulkanik Gunung Kelud Sebagai Pengganti Fly Ash. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 04(03), 106–111. 2302-4216
- Wati, A. (2015). *Distribusi Area, Volume, Serta Karakteristik Mineralogi dan Geokimia Endapan Tefra Jatuhan dari Erupsi Gunung Kelud Tahun 2014*. Universitas Gajah Mada.