

Pemisahan Anomali Gaya berat Regional dan Residual Menggunakan Metode *Gaussian Low Pass Filter* pada Daerah Potensi Panas Bumi Way Ratai Lampung

Rizki Buana Agustian^{1*}, Anisa Amanda¹, Aksela Dian Fista¹, dan Ilham Dani¹

Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro, Gedung Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung

*email: rzkbagt@gmail.com

Abstrak – Penelitian ini bertujuan memisahkan komponen regional dan residual dari anomali Bouguer lengkap menggunakan metode *Gaussian Low Pass Filter* di daerah prospek panas bumi Way Ratai, Lampung. Analisis spektrum dilakukan untuk menentukan frekuensi *cutoff* yang representatif, yang ditandai oleh terbentuknya tiga segmen linier dengan nilai R^2 sebesar 0,8332 pada segmen frekuensi rendah (regional), 0,9655 pada segmen frekuensi menengah (residual), dan 0,9518 pada segmen frekuensi tinggi (*noise*). Nilai R^2 tersebut menunjukkan bahwa segmentasi frekuensi pada data memiliki dasar kuantitatif yang jelas sehingga *cutoff* yang diperoleh dapat digunakan secara andal dalam proses pemisahan. Peta anomali Bouguer lengkap memperlihatkan penurunan nilai gayabarat ke arah timur laut yang mengindikasikan variasi densitas berskala regional. Hasil penyaringan menunjukkan bahwa komponen regional memiliki kontur halus dan konsisten dengan kecenderungan struktur geologi luas di Way Ratai, sedangkan komponen residual menampilkan anomali lokal beramplitudo lebih tinggi yang berasosiasi dengan sesar dan rekahan yang dilaporkan sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal. Kesesuaian pola anomali residual dengan fitur geologi menunjukkan bahwa hasil pemisahan yang diperoleh relevan secara geologi dan mampu menampilkan detail struktur lokal yang tidak tampak pada anomali lengkap. Penerapan *Gaussian Low Pass Filter* dalam penelitian ini terbukti menghasilkan pemisahan komponen medan yang stabil berdasarkan bukti spektral dan verifikasi geologi, sehingga dapat mendukung peningkatan ketelitian interpretasi geofisika pada wilayah panas bumi Way Ratai.

Kata kunci: Anomali Bouguer, anomali gayabarat, eksplorasi panas bumi, *filter* Gaussian, Way Ratai.

Abstract – This study aims to separate the regional and residual components of the complete Bouguer anomaly using the *Gaussian Low Pass Filter* method in the Way Ratai geothermal prospect area, Lampung. Spectral analysis was performed to determine a representative cutoff frequency, characterized by three linear segments with R^2 values of 0.8332 in the low-frequency segment (regional), 0.9655 in the mid-frequency segment (residual), and 0.9518 in the high-frequency segment (noise). These values provide a clear quantitative basis for frequency segmentation, ensuring the reliability of the cutoff frequency used in the separation process. The complete Bouguer anomaly map reveals a decrease in gravity values toward the northeast, indicating regional-scale density variations. The filtering results show that the regional component exhibits smooth contours consistent with the broad geological structure of Way Ratai, while the residual component displays higher-amplitude local anomalies associated with faults and fractures identified as hydrothermal fluid migration pathways. The alignment between residual anomalies and geological features confirms the geological relevance of the separation results and demonstrates their ability to elucidate local structural details not visible in the complete anomaly. The application of the *Gaussian Low Pass Filter* in this study successfully produces a stable separation of field components supported by spectral evidence and geological verification, thereby improving the accuracy of geophysical interpretation in the Way Ratai geothermal area.

Key words: Bouguer anomaly, gravity anomaly, geothermal exploration, *Gaussian filter*, Way Ratai.

PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari panas internal bumi, yang terbentuk akibat proses peluruhan radioaktif dan aktivitas tektonik di dalam inti serta mantel bumi [1]. Selain itu,

energi panas bumi ini juga didefinisikan sebagai panas yang terakumulasi di bawah permukaan bumi. Proses ini bermula ketika air permukaan dari berbagai sumber seperti misalnya hujan, sungai, danau, atau laut meresap ke dalam tanah, kemudian membentuk akuifer air tanah. Ketika air tersebut berinteraksi langsung dengan intrusi

magma di bawah permukaan, suhunya meningkat dan akan menghasilkan uap panas. Uap ini, yang memiliki massa jenis, suhu, dan tekanan tinggi, kemudian naik ke permukaan melalui rekahan atau celah pada lapisan batuan, menciptakan manifestasi panas bumi di atas permukaan bumi.

Secara geografis, Indonesia terletak di wilayah pertemuan antara tiga jenis lempeng tektonik utama, yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Pertemuan ketiga lempeng tektonik tersebut menyebabkan Indonesia masuk ke dalam zona aktif seismik yang disebut sebagai cincin api (*ring of fire*). Kondisi ini memang meningkatkan kerentanan terhadap bencana geologi, namun juga dapat memberikan keuntungan yang berupa melimpahnya sumber daya energi panas bumi di Indonesia. Potensi ini tersebar luas di sepanjang jalur gunung api yang membentang dari Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi Utara, hingga Maluku. Dengan kondisi geologi tersebut, Indonesia memiliki sekitar 40% dari total potensi panas bumi dunia [2].

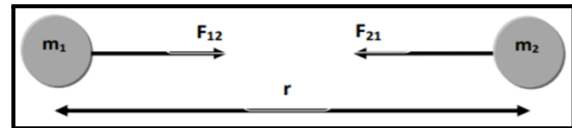
Way Ratai yang mana terletak di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung merupakan salah satu lokasi di Indonesia yang diketahui memiliki potensi energi panas bumi. Menurut data dari Direktorat Panas Bumi tahun 2017, wilayah ini diperkirakan memiliki potensi energi panas bumi lebih dari 330 MW yang ditandai dengan adanya manifestasi berupa mata air panas dan uap panas. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan potensi sumber daya alam tersebut diperlukan penelitian terkait pola aliran fluida panas serta distribusinya di bawah permukaan. Studi semacam ini penting dilakukan guna memetakan jalur pergerakan fluida panas sekaligus mengidentifikasi lokasi-lokasi potensial lain dari sistem panas bumi di kawasan tersebut.

LANDASAN TEORI

Tinjauan Survei Gravitasi

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang umum digunakan dalam kegiatan eksplorasi, terutama untuk mengidentifikasi panas bumi. Selain itu, metode ini sering dimanfaatkan dalam eksplorasi mineral dan sumber daya geologi lainnya [3]. Prinsip dasar dari metode ini adalah kemampuannya dalam mendeteksi perbedaan rapat massa atau densitas suatu batuan terhadap batuan lain yang berada di

sekitarnya, sehingga dapat memungkinkan untuk mengidentifikasi struktur geologi yang ada di bawah permukaan. Pelaksanaan metode tersebut memerlukan setidaknya dua perangkat gayaberat, yaitu satu alat yang ditempatkan di titik dasar (*base*) untuk mencatat variasi gayaberat akibat pasang surut, dan satu lagi digunakan secara mobil untuk melakukan pengukuran pada tiap titik lokasi pengamatan [4].



Gambar 1. Gaya tarik-menarik dua buah benda.

Pada dasarnya, gayaberat merupakan gaya tarik menarik antara dua benda bermassa seperti yang ditunjukkan pada Gambar (1), sebagaimana dijelaskan oleh Hukum Gravitasi Newton [5]. Fenomena tersebut dapat dinyatakan melalui persamaan (1) berikut [6]:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

Di mana F adalah gaya tarik menarik yang disebabkan oleh dua benda tersebut, G adalah konstanta universal gayaberat (nilainya sebesar $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$), m_1 dan m_2 merupakan massa benda, dan r merupakan jarak antar pusat massa kedua benda tersebut.

Nilai percepatan gayaberat yang terukur di atas permukaan bumi dipengaruhi oleh lima faktor utama, yaitu posisi lintang, topografi di sekitar titik pengukuran, efek pasang surut bumi, serta heterogenitas densitas batuan yang terletak di bawah permukaan [7]. Untuk memperoleh nilai gayaberat yang merepresentasikan semata-mata pengaruh dari distribusi densitas bawah permukaan ini, diperlukan serangkaian proses koreksi terhadap data gayaberat. Koreksi-koreksi ini bertujuan untuk menghilangkan kontribusi dari faktor-faktor eksternal yang lain, sehingga hasil akhir dari pengukuran ini mencerminkan anomali gayaberat yang hanya disebabkan oleh heterogenitas densitas batuan yang ada di bawah permukaan.

Proses koreksi pada data gayaberat mencakup sejumlah tahapan, yakni koreksi terhadap efek tidal atau pasang surut, koreksi apungan (*drift*

correction), koreksi lintang (*latitude correction*), koreksi udara bebas (*free air correction*), koreksi Bouguer, dan juga koreksi topografi (*terrain correction*), serta penyesuaian terhadap nilai teoritis medan gayaberat [8].

Koreksi Pasang Surut (*Tide Correction*)

Koreksi pasang surut atau *tide correction* dalam pengolahan data gayaberat merupakan langkah penting untuk menghilangkan pengaruh gaya tarik dari gayaberat bulan dan matahari terhadap bumi. Gaya tarik ini menyebabkan fluktuasi periodik pada nilai gayaberat yang dikenal sebagai *earth tide* [9]. Koreksi dilakukan dengan menghitung besar gangguan gayaberat akibat efek tidal berdasarkan waktu dan lokasi pengukuran, umumnya menggunakan model harmonik modern seperti Tamura atau HW95. Dengan menerapkan koreksi pasang surut, data gayaberat dapat lebih merepresentasikan kondisi bawah permukaan tanpa terdistorsi oleh pengaruh astronomis yang bersifat sementara dan tidak berkaitan dengan struktur geologi. Nilai koreksi pasang surut akan selalu ditambahkan dalam perhitungan data gayaberat sebagai berikut [10]:

$$g_t = g_{obs} + Tide_{obs} \quad (2)$$

Di mana, g_t = nilai gayaberat koreksi tidal, g_{obs} = gayaberat terbaca, $Tide_{obs}$ = koreksi pasang surut.

Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi apungan ini dilakukan untuk mengatasi perbedaan nilai gayaberat yang terbaca pada stasiun yang sama namun di waktu berbeda, yang biasanya disebabkan oleh perubahan sensitivitas pegas pada gravim akibat guncangan selama proses pemindahan antara setiap stasiun. Untuk mengoreksi efek tersebut, akuisisi data gayaberat dirancang dalam bentuk rangkaian yang tertutup (*loop*), sehingga besarnya penyimpangan dapat diketahui. Penyimpangan tersebut kemudian akan diasumsikan bersifat linier dalam interval waktu tertentu, sehingga dapat dihitung dan juga dikompensasi dalam proses pengolahan data untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat. Berikut merupakan persamaan koreksi ini pada setiap titik observasi [11]:

$$drift_n = \frac{t_n - t_1}{t_N - t_1} (g_N - g_1) \quad (3)$$

Di mana t_n adalah waktu pembacaan alat pada stasiun n, t_1 adalah waktu pembacaan alat pada base awal *looping*, t_N adalah waktu pembacaan alat pada base saat akhir *looping*, g_1 adalah bacaan gravim yang dikoreksi pasang surut pada base saat awal *looping*, g_N yaitu bacaan gravim yang dikoreksi pasang surut pada base saat akhir *looping*, dan g_{lokal} adalah gayaberat yang telah dikoreksi *drift* dan tidal.

Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Koreksi ini diperlukan karena bentuk bumi yang tidak sepenuhnya berbentuk bulat sempurna, melainkan mendekati bentuk *ellipsoid*, yang menyebabkan perbedaan panjang jari-jari bumi antara wilayah kutub dan ekuator sekitar 21 km. Akibatnya, nilai gayaberat di daerah sekitar kutub lebih besar dibandingkan dengan nilai gayaberat di wilayah ekuator karena jarak pusat massa bumi lebih pendek [12]. Oleh karena itu, untuk memperoleh nilai gayaberat yang sesuai tersebut, dilakukan koreksi terhadap pengaruh lintang. Secara umum, nilai gayaberat yang telah dikoreksi terhadap efek lintang dapat dinyatakan dengan persamaan [13]:

$$g_\varphi = 978032,7 (1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi - 0,0000058 \sin^2 \varphi) \quad (4)$$

Di mana φ adalah nilai lintang. Persamaan ini merupakan bentuk modifikasi dari Somigliana *gravity* formula yang telah digunakan dalam sistem geodetik modern dan dikembangkan melalui kajian geodesi fisik.

Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Koreksi udara bebas merupakan salah satu tahap penting dalam perhitungan data gayaberat untuk menghilangkan pengaruh elevasi titik pengukuran terhadap nilai gayaberat. Koreksi ini mengasumsikan bahwa antara permukaan laut dan titik pengukuran tidak terdapat massa, sehingga hanya mempertimbangkan penurunan gayaberat akibat peningkatan jarak dari pusat bumi.

Dengan menerapkan FAC, data gayaberat dapat dibandingkan secara setara seolah-olah semua

titik berada pada permukaan referensi yang sama, yaitu permukaan laut. Berikut adalah persamaan dari FAC [14]:

$$FAC = 0,3086 \cdot h \quad (5)$$

Di mana, h merupakan ketinggian atau elevasi dalam satuan m.

Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer merupakan salah satu tahapan penting dalam pengolahan data metode gayaberat yang bertujuan untuk menghilangkan pengaruh massa dari batuan antara titik pengukuran dan juga permukaan referensi. Koreksi Bouguer ini mempertimbangkan efek gayaberat dari lapisan batuan homogen yang diasumsikan memiliki densitas tertentu, sehingga nilai anomali gayaberat yang dihasilkan merepresentasikan variasi massa di bawah permukaan.

Dengan menerapkan koreksi Bouguer, data gayaberat akan menjadi lebih akurat dalam menggambarkan kondisi geologi yang ada di bawah permukaan, karena gangguan akibat topografi dan juga elevasi dapat diminimalkan. Berikut merupakan persamaan dari koreksi Bouguer [6]:

$$BC = 2\pi \cdot \gamma \cdot \rho \cdot h = 0,04192 \cdot \rho \cdot h \quad (6)$$

Di mana, ρ adalah nilai densitas dan h merupakan ketinggian dalam m.

Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan merupakan suatu proses dalam pengolahan data gayaberat yang bertujuan untuk menghilangkan pengaruh topografi di sekitar titik pengukuran. Topografi seperti bukit atau lembah dapat menyebabkan penyimpangan dari nilai gayaberat karena adanya massa tambahan atau kekurangan massa di sekitar stasiun. Koreksi ini dilakukan dengan memperhitungkan kontribusi gayaberat dari relief permukaan di sekitar titik pengukuran, sehingga nilai gayaberat yang diperoleh lebih akurat merepresentasikan kondisi bawah permukaan tanpa dipengaruhi bentuk medan. Berikut adalah persamaan untuk koreksi medan [15].

$$\Delta g_T = \sum_{i=1}^{N_{prism}} G \rho A_{cs,i} \left(\frac{1}{d_i} - \frac{1}{d'_i} \right) \quad (7)$$

Dengan gaya berat masing-masing bagian berdasarkan jarak horizontal ke stasiun (d), perbedaan elevasi (Δh), dan juga jarak tiga dimensinya (d'). Nilai koreksi setiap prisma dihitung menggunakan konstanta gravitasi universal G , densitas batuan (ρ), serta luas penampang prisma (A_{cs}), lalu semua kontribusi dijumlahkan untuk mendapatkan nilai *terrain correction* total (Δg_T).

Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer yang teramati di permukaan merupakan hasil dari kontribusi berbagai sumber anomali serta variasi struktur geologi bawah permukaan. Oleh karena itulah, diperlukan proses pemisahan anomali guna mengekstraksi komponen anomali yang menjadi fokus kajian, sehingga interpretasi terhadap kondisi geologi target dapat dilakukan dengan lebih tepat dan akurat. Analisis spektral juga digunakan untuk memperkirakan besarnya lebar jendela serta mengestimasi kedalaman dari sumber anomali gayaberat. Selain itu, metode ini bermanfaat dalam membandingkan respons spektral yang dihasilkan oleh berbagai teknik penyaringan, sehingga dapat membantu dalam memilih metode *filtering* yang paling sesuai untuk mengidentifikasi karakteristik geologi bawah permukaan.

Metode Gaussian *low pass filter* merupakan salah satu metode *filtering* untuk memisahkan anomali regional, residual, dan *noise*. Metode Gaussian *low pass filter* diterapkan dengan memanfaatkan distribusi dari matriks kernel Gauss. Namun, dalam penelitian yang dilakukan, pola anomali residual yang dihasilkan menunjukkan visualisasi yang kurang halus ataupun tidak merata, sehingga interpretasi terhadap fitur geologi di bawah permukaan menjadi kurang optimal [16].

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian ini berlangsung adalah sebagai berikut:

1. Laptop

2. *Software* Matlab, Surfer dan Oasis Montaj
3. Microsoft Excel
4. Microsoft Word
5. Data Sekunder

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di daerah Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Lampung, dan berfokus pada pemisahan anomali regional dan residual dari data gayaberat menggunakan metode *Gaussian Low Pass Filter*. Adapun prosedur penelitian secara sistematis dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pengumpulan dan Pengelompokan Data

1. Mengumpulkan data hasil pengukuran gayaberat lapangan yang meliputi: koordinat X dan Y, elevasi titik pengukuran, dan nilai anomali Bouguer lengkap (ABL).
2. Menyusun dan mengelompokkan data tersebut dalam format tabel untuk mempermudah tahapan pengolahan selanjutnya.
3. Melakukan pengecekan awal untuk memastikan tidak adanya kesalahan pencatatan atau nilai yang tidak logis.

Pra-pengolahan Data (*Pre-processing*)

1. Melakukan proses *slicing* atau *digitizing* terhadap peta anomali untuk mendapatkan profil lintasan tertentu yang akan dianalisis.
2. Mengonversi data anomali dari domain spasial ke format yang dapat diolah melalui transformasi Fourier.
3. Menyiapkan data dalam bentuk matriks sesuai kebutuhan analisis spektral.

Transformasi Fourier dan Analisis Spektrum

1. Menerapkan Transformasi Fourier pada data anomali Bouguer untuk mengubah data dari domain spasial menjadi domain frekuensi.
2. Membuat grafik hubungan antara bilangan gelombang (k) dan nilai $\ln$ (amplitudo) untuk mengidentifikasi pola spektral.
3. Melakukan pemisahan spektral menjadi tiga segmen, yaitu: segmen frekuensi rendah (regional), segmen frekuensi menengah (residual), dan juga segmen frekuensi tinggi (*noise*).

4. Menentukan nilai *cutoff* frekuensi (k -*cutoff*) berdasarkan titik potong masing-masing regresi linier dari segmen spektrum tersebut.

Pemrosesan Data Lanjutan *Filtering Gaussian*

1. Menyusun matriks kernel Gaussian berdasarkan persamaan (8) berikut [17]:

$$G(i, j) = c. e^{-\frac{(i-u)^2 + (j-v)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

2. Menerapkan kernel Gaussian ke dalam domain frekuensi melalui proses konvolusi antara matriks kernel dan juga data hasil transformasi Fourier.
3. Menghasilkan anomali regional sebagai komponen frekuensi rendah dari hasil proses *filtering*.
4. Menghitung anomali residual menggunakan persamaan (9) berikut [18]:

$$Residual = ABL - Regional \quad (9)$$

Pembuatan Peta Anomali Regional dan Residual

1. Memvisualisasikan hasil *filtering* ke dalam bentuk peta kontur untuk melihat sebaran anomali regional.
2. Menghasilkan peta anomali residual yang menampilkan variasi gayaberat berskala lebih dangkal.

Interpretasi Bawah Permukaan

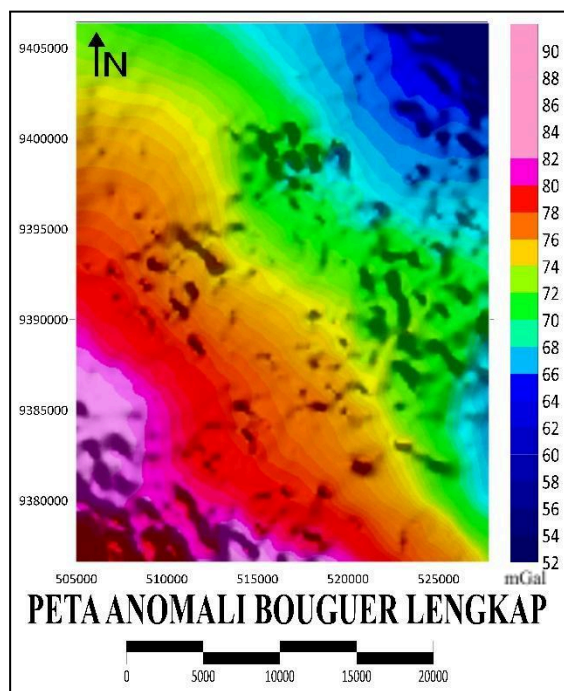
Melakukan interpretasi dari keseluruhan hasil peta yang telah didapatkan dari pengolahan di atas. Interpretasi didasarkan pada nilai anomali rendah dan tinggi dari peta kontur anomali gayaberat, baik regional ataupun residual. Hasil interpretasi juga didasarkan pada hasil studi terdahulu yang pernah dilakukan pada daerah potensi panas bumi Way Ratai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) pada Gambar (2) menunjukkan persebaran anomali gayaberat di wilayah Way Ratai dan sekitarnya dengan luasan area sekitar $20 \times 35 \text{ km}^2$. Pengukuran dilakukan pada sejumlah titik stasiun dengan interval antar titik sekitar 2 km^2 . Nilai anomali Bouguer yang ditampilkan

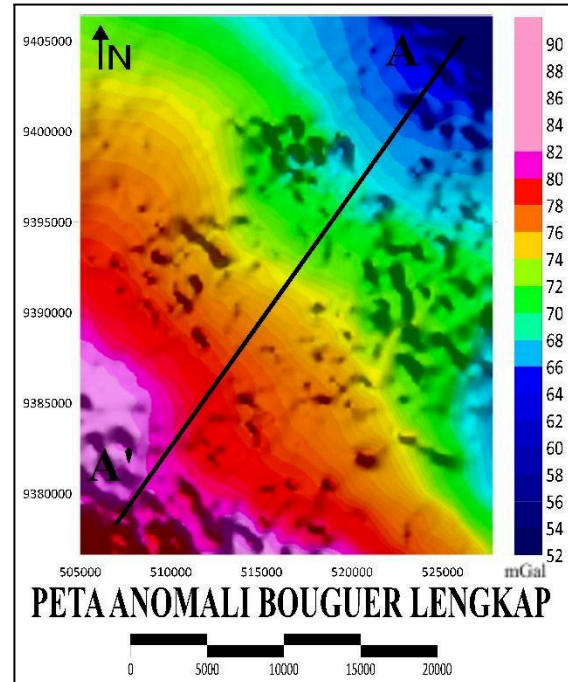
merupakan hasil penggabungan dari komponen anomali regional, residual, dan *noise*. Oleh karena itu, pemisahan lebih lanjut menggunakan *filter* spektral diperlukan untuk mengidentifikasi fitur-fitur geologi bawah permukaan secara lebih detail.

Rentang nilai anomali pada peta ABL ini berkisar antara 52 hingga 90 mGal. Distribusi nilai anomali menunjukkan tren gradien dari anomali rendah ke anomali tinggi. Anomali rendah (ditandai warna biru tua hingga hijau) umumnya tersebar di bagian timur hingga timur laut daerah penelitian, sedangkan anomali tinggi (warna merah muda hingga ungu tua) cenderung berada di bagian barat daya hingga selatan wilayah pengukuran. Zona anomali tinggi yang memanjang dari arah barat daya ke timur laut kemungkinan berkaitan dengan keberadaan batuan berdensitas tinggi atau struktur intrusi magma yang signifikan di bawah permukaan. Sebaliknya, anomali rendah pada arah timur laut dapat mengindikasikan adanya batuan yang lebih ringan atau zona rekahan yang berisi fluida, yang umumnya dikaitkan dengan sistem panas bumi. Informasi ini menjadi dasar awal dalam penentuan zona potensi yang berpotensi sebagai reservoir panas bumi setelah dilakukannya pemisahan anomali residual.



Gambar 2. Peta Anomali Bouguer Lengkap daerah Way Ratai dan sekitarnya.

Gambar (3) merupakan garis penampang AA' yang membentang dari barat daya ke timur laut menunjukkan lintasan yang digunakan untuk analisis profil bawah permukaan secara dua dimensi.

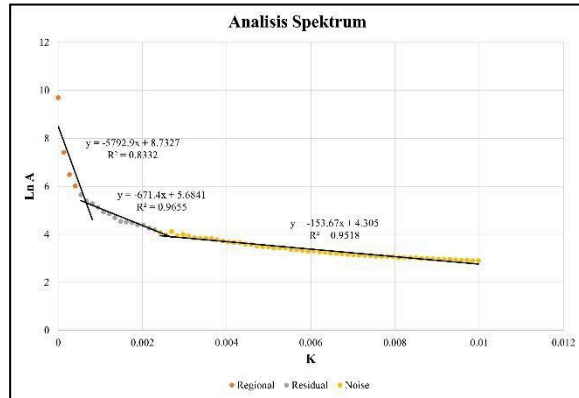


Gambar 3. Sayatan pada Peta Anomali Bouguer Lengkap.

Gambar (4) merupakan hasil dari analisis spektrum berdasarkan Transformasi Fourier terhadap data anomali gayabarat. Transformasi Fourier mengubah suatu sinyal menjadi penjumlahan beberapa sinyal sinusoidal dengan berbagai frekuensi [19]. Transformasi ini digunakan untuk menguraikan sinyal anomali gayabarat dan menjadi komponen sinusoidal berdasarkan frekuensinya, sehingga sinyal dapat diinterpretasikan dalam domain spektrum. Hasil transformasi digambarkan dalam bentuk grafik antara bilangan gelombang (k) pada sumbu x dan logaritma natural dari amplitudo ($\ln A$) pada sumbu y. Grafik tersebut memperlihatkan tiga zona utama, yaitu regional, residual, dan *noise*, yang masing-masing direpresentasikan oleh titik-titik berwarna oranye, abu-abu, dan kuning.

Melakukan sayatan melalui peta kontur anomali lengkap untuk mengevaluasi variasi lateral nilai anomali dan mengidentifikasi distribusi daerah dengan anomali rendah maupun tinggi dalam satu lintasan kontinu. Teknik tersebut dapat menginterpretasi struktur bawah permukaan dari

variasi densitas batuan dengan menghubungkan kontur-kontur ekstrem secara spasial, sehingga satu sayatan mewakili karakteristik keseluruhan peta, baik zona densitas tinggi maupun rendah [20].



Gambar 4. Analisis spektrum pada sayatan AA'.

Zona regional menunjukkan nilai k yang rendah dengan nilai amplitudo tinggi, mencerminkan pengaruh struktur geologi besar dan dalam, dengan garis regresi bergradien curam ($-5792,9$) dan R^2 sebesar $0,8332$. Zona residual, yang terletak pada rentang nilai k menengah, menunjukkan struktur menengah seperti sesar dangkal atau batuan tererosi, dengan gradien $-671,4$ dan R^2 sebesar $0,9655$. Sementara itu, zona *noise* yang berada pada nilai k tinggi dan amplitudo rendah menunjukkan komponen gangguan atau kesalahan pengukuran, dengan gradien $-153,67$ dan R^2 sebesar $0,9518$. Titik potong antar garis regresi regional-residual dan residual-*noise* tersebut menghasilkan nilai ambang batas bilangan panjang gelombang (k -*cutoff*), yang berfungsi sebagai acuan untuk memisahkan anomali regional dan residual melalui proses penyaringan (*filtering*).

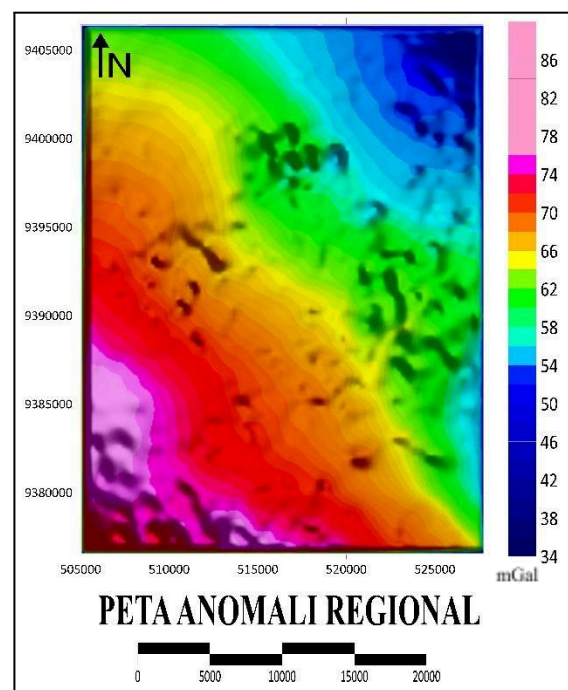
Adapun hasil dari analisis spektrum dapat dilihat pada Tabel (1) berikut:

Tabel 1. Hasil analisis spektrum pada sayatan AA'.

Kedalaman regional (m)	5.792,9
Kedalaman residual (m)	671,4
k - <i>cutoff</i> (cycle/m)	0,0005953
Panjang gelombang (m)	10.555,45

Tabel (1) tersebut menyajikan hasil analisis spektrum pada lintasan AA' yang diperoleh dari data gayaberat, dengan tujuan untuk mengidentifikasi kedalaman sumber anomali bawah permukaan. Kedalaman regional sebesar 5.792,9 m. menunjukkan keberadaan struktur geologi dalam, seperti batas batuan dasar atau zona intrusi besar.

Sementara itu, kedalaman residual sekitar 671,4 m mengindikasikan adanya anomali dangkal yang kemungkinan berkaitan dengan struktur geologi seperti sesar atau rekahan. Nilai k -*cutoff* sebesar $0,0005953$ cycle/m dan juga panjang gelombang 10.555,45 m menunjukkan batas frekuensi antara komponen regional dan residual. Data ini merepresentasikan keberadaan variasi densitas signifikan pada kedalaman berbeda di bawah permukaan.

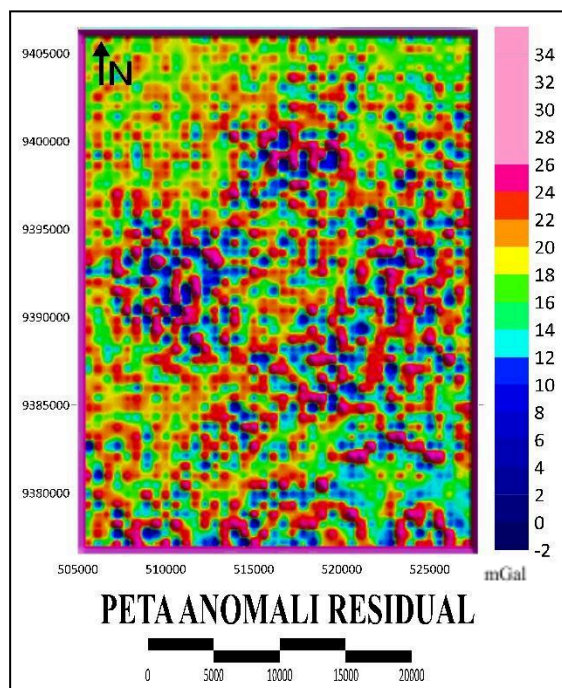


Gambar 5. Peta Anomali Regional daerah Way Ratai.

Anomali regional daerah Way Ratai didapatkan dengan rentang nilai 34 mGal hingga 86 mGal Gambar (5). Warna biru hingga warna hijau menunjukkan nilai anomali rendah (sekitar 34–66 mGal), yang biasanya mengindikasikan keberadaan batuan bermassa jenis rendah seperti cekungan sedimen atau zona peluruhan. Sebaliknya, warna kuning hingga merah muda menunjukkan nilai anomali tinggi (sekitar 66–86 mGal), yang mengarah pada keberadaan batuan

bermassa jenis tinggi seperti intrusi batuan beku atau *basement* yang terangkat. Arah anomali yang menurun dari barat daya ke timur laut menunjukkan adanya gradien gayaberasat yang kemungkinan besar berkaitan dengan kemiringan kerak atau batas antara dua zona geologi berbeda.

Gambar (6) adalah Peta Anomali Residual yang merepresentasikan variasi gayaberasat dari struktur geologi dangkal hingga menengah, setelah anomali regional disaring. Nilai anomali pada peta berkisar antara -2 hingga 34 mGal, ditampilkan dalam gradasi warna. Warna biru tua hingga ungu menunjukkan nilai anomali rendah (-2 hingga 8 mGal), yang menandakan zona bermassa jenis rendah seperti rekahan, pelapukan, atau sedimen. Warna kuning hingga merah menunjukkan nilai menengah hingga tinggi (sekitar 18 hingga 28 mGal), yang mengindikasikan transisi litologi atau batuan lebih padat. Sedangkan warna merah muda hingga *pink* (30 hingga 34 mGal) menunjukkan anomali tertinggi, kemungkinan berasal dari intrusi dangkal atau batuan beku padat.



Gambar 6. Peta Anomali Residual daerah Way Ratai.

Dari hasil pemisahan tersebut, *filter* Gaussian *low pass* merupakan salah satu metode yang cocok digunakan untuk memisahkan komponen anomali regional dan juga residual berdasarkan frekuensi spasial. *Filter* ini bekerja dengan

meredam komponen frekuensi tinggi yang mewakili anomali dangkal (residual) dan mempertahankan komponen frekuensi rendah yang mencerminkan struktur dalam (regional).

Karakteristik dari fungsi Gaussian tersebut memberikan transisi yang halus antara dua komponen tersebut, sehingga menghasilkan pemisahan yang lebih akurat dan minim distorsi. Penggunaan *filter* ini sangat efektif dalam interpretasi geologi bawah permukaan karena membantu mengidentifikasi struktur pada berbagai kedalaman secara lebih jelas dan terfokus [21].

Hasil pemisahan anomali regional-residual, zona dengan nilai anomali tertinggi di barat daya hingga selatan diduga menandakan keberadaan intrusi batuan beku berdensitas tinggi, sedangkan zona anomali rendah di timur laut kemungkinan menunjukkan keberadaan rekahan atau zona pelapukan berpori yang berpotensi berfungsi sebagai jalur migrasi fluida panas bumi. Interpretasi semacam ini konsisten dengan hasil studi pada sistem panas bumi di Terak Village, Pulau Bangka, yang mengaitkan anomali residual positif dengan badan granit intrusif dan anomali negatif dengan zona sedimen atau rekahan rendah densitas [22].

KESIMPULAN

Nilai anomali Bouguer yang didapatkan di daerah Way Ratai, Lampung berada pada rentang 52 mGal hingga 90 mGal. Teknik Gaussian *low pass filter* dalam proses pemisahan anomali regional dan residual bekerja pada bilangan gelombang *cutoff* sebesar 0,0005953 *cycle/m* dan panjang gelombang sebesar 10.555,45 m. Rentang nilai anomali regional yang didapatkan adalah antara 34 hingga 86 mGal dengan kedalaman pengaruh sebesar 5.792,9 m. Sementara itu, anomali residual yang dihasilkan berkisar antara -2 hingga 34 mGal dengan kedalaman pengaruh sekitar 671,4 m. Berdasarkan hasil pemisahan ini, teridentifikasi zona-zona anomali potensial, di mana nilai anomali tertinggi berada di bagian barat daya hingga selatan wilayah penelitian. Zona ini diduga dipengaruhi oleh keberadaan intrusi batuan beku berdensitas tinggi yang berasosiasi dengan sistem panas bumi, sedangkan zona anomali rendah di timur laut mengindikasikan adanya rekahan atau zona

pelapukan yang berpotensi menjadi jalur migrasi fluida panas bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung atas penyediaan fasilitas serta bimbingan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih tersebut juga ditujukan kepada seluruh dosen pembimbing dan juga rekan-rekan yang turut berkontribusi dalam kegiatan akuisisi data, pengolahan, hingga interpretasi hasil. Penelitian ini tidak akan terselenggara dengan optimal tanpa adanya dukungan dan kolaborasi dari berbagai pihak terkait.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wisriansyah, S. Z., Purba, D., & Napitu, A. (2020). Keunggulan, Tantangan, dan Rekomendasi Kebijakan akan Pengembangan Energi Panas Bumi di Indonesia. *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom*, 2(2), 31-46.
- [2] Suharno, S., Putri, M. K., & Hidayatika, A. (2016). Penelitian Pedahuluan Panasbumi Way Ratai Pesawaran Lampung, Indonesia. *Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika Indonesia 2016*, 1-4.
- [3] Kearey, P. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration 3rd Edition*. Blackwell ltd. London.
- [4] Supriyadi. (2009). Studi Gayaberat Relatif di Semarang. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 5(1).
- [5] Newton, I. (1687). *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*.
- [6] Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- [7] Syukri, M. (2020), *Pengantar Geofisika, Edisi Pert*. Syiah Kuala University Press, Aceh.
- [8] Karunianto, A. J., Haryanto, D., Hikmatullah, F., & Laesanpura, A. (2017). Penentuan Anomali Gayaberat Regional dan Residual Menggunakan *Filter* Gaussian Daerah Mamuju Sulawesi Barat. *Eksplorium*, 38(2), 89-98.
- [9] Agnew, D. C. (2015). *Earth Tides. In Treatise on Geophysics* (2nd ed.). Elsevier.
- [10] Handyarso, A. (2016). Validasi Perangkat Lunak Gravity Tide Correction Persamaan Longman (1959) Berdasarkan Gravity Tide Observed, Instrument Based dan Software Based Test. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 17(3).
- [11] Rizkiani, D. N., & Rustadi, R. (2019). Interpretasi Sistem Panas Bumi Suwawa Berdasarkan Data Gaya Berat. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 5(2), 130-140.
- [12] Moritz, H. (1980). Geodetic Reference System 1980. *Bulletin Géodésique*, 54(4), 395-405.
- [13] Heiskanen, W. A., & Moritz, H. (1967). *Physical Geodesy*. W.H. Freeman and Company.
- [14] Sugita, M. I., Janah, A. F., & Rahmawati, D. (2020). Analisis Data Gaya Berat di daerah Bendan Duwur Semarang. *Journal of Research and Technology*, 6(1), 81-90.
- [15] Lowrie, W. (2011). *A Student's Guide to Geophysical Equations*. Cambridge University Press.
- [16] Torge, W., & Müller, J. (2012). Gravity Field of The Earth. *Journal of Geodesy*, 86(12), 1007-1010.
- [17] Schölkopf, B., & Smola, A. J. (2002). *Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond*. MIT press.
- [18] Essa, K. S., Mehanee, S. A., & Elhussein, M. (2016). Model Params Estimation From Residual Gravity Anomaly Using A Least-Squares Inversion Algorithm. *Journal of Egyptian Geophysical Society*, 14(1), 9-15.
- [19] Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gayaberat*. Universitas Lampung.
- [20] Rasimeng, S., Dani, I., Syahranti, W. P., Sitompul, I. J., & Nizam, F. M. (2024). Identification of Regional Rock Depth-Residual Gravity Anomaly Based on Spectrum Analysis of Geothermal Prospect Area of Way Ratai Lampung. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 10(1).
- [21] Basantaray, A. K., & Mandal, A. (2022). Interpretation of Gravity-Magnetic Anomalies to Delineate Subsurface Configuration Beneath East Geothermal Province Along The Mahanadi Rift Basin: A Case Study of Non-Volcanic Hot Springs. *Geothermal Energy*, 10(1), 6.

- [22] Firdaus, R., Oktaviyani, S., Hardianti, P., Kusmita, T., & Indriawati, A. (2021). Identification of Subsurface Rock Structure of Non-Volcanic Geothermal Systems Based on Gravity Anomalies (Terak Village, Central Bangka Regency). *Geospatial Information*, 5(2).