

Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi di Daerah Tulehu Menggunakan Metode Gravitasi

Indra Reza Kurniawan¹, Radhitya Perdhana^{1*}, Muliadi¹

¹⁾Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura, Kalimantan Barat

*E-mail korespondensi: radhitya.perdhana@physich.untan.ac.id

Article Info:

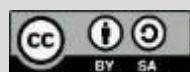
Received: 26-09-2025

Revised: 29-12-2025

Accepted: 29-12-2025

Keywords:

Geothermal, Gravity, GGMplus, Geological Structure



Abstract

Indonesia has great geothermal potential, Indonesia is located in the path of volcanoes or the ring of fire can also be called the ring of fire. Maluku Province, especially the Ambon and Seram islands, has geothermal energy potential that can be developed as an alternative renewable source. One of the geothermal potentials located in the Maluku islands is WKP Tulehu which has a fairly high temperature reaching 134.09°C–251°C. One method that can be used to identify the subsurface layer of geothermal areas is the gravity method using Global Gravity Model plus (GGMplus) gravity data. The 2013 GGMplus secondary gravity data is a global gravity model data that has ultra-high resolution with grid spacing between data points ~220 m in the north-south direction. The results of the identification of geological structures using gravity methods using regional anomaly values with a range of 80.7–101.3 mgal. The depth of the regional anomaly in the study area is estimated to be 1.862 km deep. There are 7 faults found in the 4 research cross sections. These faults are located in cross section A-A' at a distance of 8.30 km, cross section B-B' at a distance of 1.9 km and 5.1 km, cross section C-C' at a distance of 2.450 km and at a distance of 11.6 km, and cross section D-D' 2.248 km and 4.5 km.

PENDAHULUAN

Keberadaan gugusan gunung api serta adanya aktivitas pergerakan lempeng tektonik di negara Indonesia menghasilkan ketersediaan potensi energi panas bumi yang berlimpah. Penggunaan panas bumi sebagai sebuah energi dapat menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan bahan bakar fosil, sebab energi ini bersifat terbarukan, tersedia secara konsisten, dan tidak bergantung pada kondisi cuaca ataupun musim [1]. Selain itu, residu yang dihasilkan dari penggunaan energi panas bumi tidak berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan [2]. Indonesia memiliki potensi panas bumi yang besar dimana terdapat sekitar 40% dari potensi panas bumi dunia atau setara dengan 29.000 MW. Namun demikian baru ± 7% dari potensi yang diidentifikasi yang digunakan [3].

Provinsi Maluku khususnya kepulauan Ambon dan Seram memiliki potensi energi panas bumi yang dapat dikembangkan sebagai sumber alternatif terbarukan. Potensi panas bumi ini tersebar merata di Pulau Ambon, Haruku, Saparua, Nusalaut dan Seram yang umumnya muncul pada jalur patahan aktif. Pada awal tahun 2017, telah dilakukan pengambilan data lapangan gravitasi dan magnetik bumi untuk mempelajari sistem panas bumi di Suli dan Tulehu, kabupaten Maluku Tengah yang diketahui memiliki energi perkiraan sebesar 100 MWe. Secara keseluruhan manifestasi panas bumi di Suli dan Tulehu berada pada jalur patahan yaitu patahan Banda-Hatuasa, Banda, dan Huwe yang berarah barat daya ke timur laut [4].

Variasi nilai densitas batuan yang diperoleh melalui metode gravitasi dapat dimanfaatkan dalam pemetaan struktur geologi bawah permukaan, identifikasi zona patahan, serta penentuan

potensi sumber daya panas bumi [5]. Penelitian terdahulu yang dilakukan Alfisah [6] bertujuan menganalisis data gravitasi pengukuran berbasis satelit *Global Gravity Model plus* untuk mengetahui keberadaan patahan dan struktur bawah permukaan di area panas bumi dengan menggunakan metode *Derivative* dan inversi model.

Berdasarkan pemaparan yang telah disampaikan, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui struktur geologi pada daerah potensi panas bumi di Tulehu, Kecamatan Salahutu. Struktur geologi tersebut dapat dimodelkan menggunakan metode gravitasi dengan memanfaatkan data gravitasi GGMplus. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi struktur geologi pada daerah panas bumi di sekitar Tulehu, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai struktur geologi potensi panas bumi di daerah Tulehu dan sekitarnya.

Metode Gravitasi

Dasar yang menjadi landasan metode gravitasi tertuang dalam dua hukum yang ditemukan oleh Sir Isaac Newton, yang ia jelaskan dalam Hukum Gravitasi Universal dan Hukum Gerak Kedua. Hukum pertama dari kedua hukum tersebut menyatakan bahwa gaya tarik-menarik antara dua benda dengan massa yang diketahui berbanding lurus dengan hasil kali kedua massa tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat massa keduanya. Akibatnya, semakin besar jarak antara pusat massa dua benda, semakin kecil gaya tarik-menarik di antara keduanya. Dirumuskan pada persamaan berikut [7]:

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

Hukum Gerak Newton menyatakan bahwa gaya (F) setara dengan massa (m) dikalikan dengan percepatan (a). Jika percepatan tersebut terjadi pada arah vertikal, maka hal itu disebabkan oleh gravitasi (g). Dirumuskan pada persamaan berikut:

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{g} \quad (2)$$

Persamaan (1) dan (2) dapat digabungkan untuk mendapatkan hubungan sederhana lainnya:

$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m \cdot \mathbf{g} \quad (3)$$

Hal ini menunjukkan bahwa besarnya percepatan gravitasi di Bumi (g) berbanding lurus dengan massa (M) Bumi dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari Bumi (R).

Anomali Bouguer Lengkap

Anomali Bouguer Lengkap (ABL) merupakan nilai percepatan gravitasi dari hasil koreksi-koreksi yang telah dilakukan. Nilai percepatan gravitasi pada anomali Bouguer dipengaruhi oleh densitas batuan yang ada di bawah permukaan bumi [8]. Anomali Bouguer lengkap dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$ABL = g_{obs} - g_\theta + FAC - BC + TC \quad (4)$$

Dengan g_{obs} merupakan nilai gravitasi di titik pengamatan atau gravitasi observasi (mGal), g_θ merupakan nilai gravitasi terkoreksi lintang (mGal), FAC merupakan *Free Air Correction* (koreksi udara bebas), BC merupakan *Bouguer Correction* (koreksi Bouguer), dan TC merupakan *Terrain Correction* (koreksi medan).

Analisis Spektrum

Data gravitasi yang terdapat dalam Anomali Bouguer Lengkap dapat menunjukkan kontur halus yang merepresentasikan anomali bergelombang panjang akibat struktur geologi yang dalam, dikenal sebagai anomali regional. Selain itu, terdapat anomali bergelombang pendek yang berasal dari struktur dangkal atau anomali residual [7]. Spektrum analisis berfungsi untuk mengestimasi kedalaman serta ketebalan lapisan densitas berdasarkan data gravitasi, sekaligus

penentuan ukuran jendela filter frekuensi yang dapat dipakai dalam proses pemisahan anomali regional dan residual. Proses ini dilakukan dengan mentransformasikan domain spasial (waktu) ke dalam domain frekuensi menggunakan *fourier transform* [9].

Pemodelan Inversi

Pemodelan inversi (*inverse modeling*) biasa dikatakan sebagai "kebalikan" dari pemodelan ke depan karena dalam pemodelan inversi parameter model didapatkan secara langsung dari data. Dalam geofisika, model dan parameter model digunakan untuk menggambarkan kondisi geologi bawah permukaan. Pemodelan adalah proses estimasi parameter dan model berdasarkan data yang telah diamati di permukaan bumi. Dalam beberapa referensi istilah model tidak hanya mencakup representasi besaran fisis kondisi geologi tetapi juga mencakup hubungan matematik atau teoritik antara parameter dan respons model [10].

Densitas Batuan

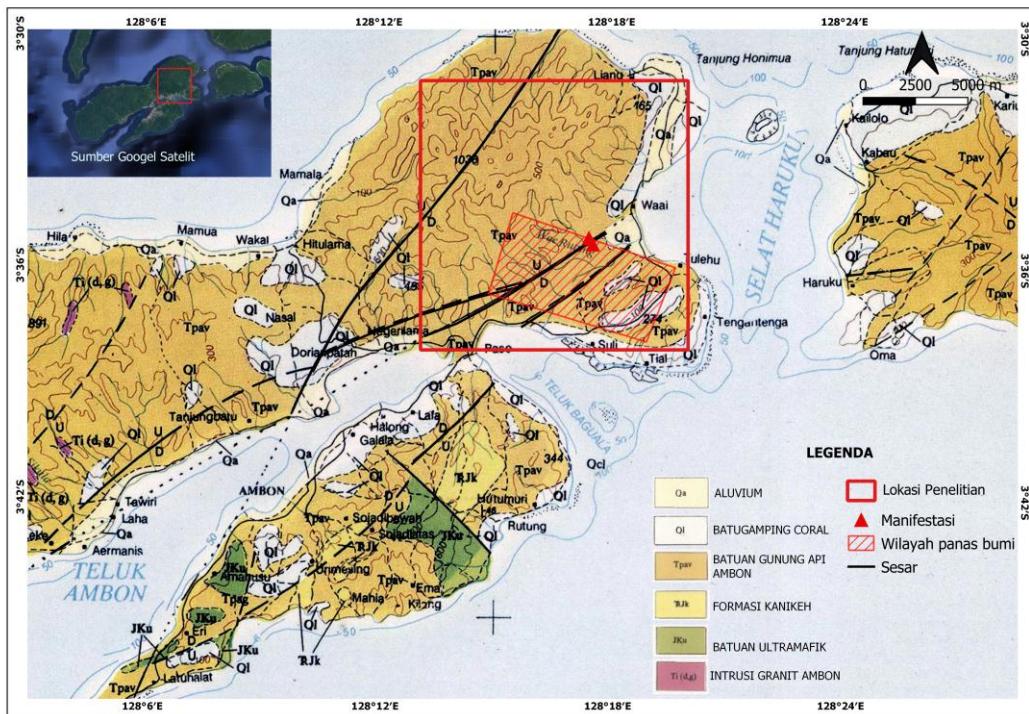
Pada survei metode gravitasi sangat dipengaruhi dari variasi densitas batuan, oleh karena itu faktor-faktor yang mempengaruhi densitas akan membantu interpretasi data gravitasi [7]. Faktor-faktor yang memengaruhi nilai densitas batuan meliputi porositas, rapat massa butir, serta keberadaan fluida dalam pori-pori. Selain itu, proses kompaksi karena kedalaman, mekanisme pembentukan, dan tingkat pelapukan batuan juga turut berperan [11] seperti yang ditampilkan pada Tabel 1 densitas batuan memiliki variatif nilai di setiap jenisnya.

Tabel 1. Nilai Densitas Batuan [12]

Jenis Batuan	Batas (g/cm ³)	Rata-rata (g/cm ³)
<u>Batuan Sedimen</u>		
Lempung	1,63-2,6	2,21
Kerikil	1,7-2,4	2,0
Batu pasir	1,61-2,76	2,35
<u>Batuan Beku</u>		
Andesit	2,4-2,8	2,61
Granit	2,50-2,81	2,64
Lava	2,80-3,00	2,90

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berada di wilayah Maluku Tengah, tepatnya pada daerah Tulehu dan sekitarnya dengan koordinat 3°30'33,87" hingga 3°37'23,66" LS dan 120°52'23,76" hingga 128°21'6,93" BT disajikan pada Gambar 1 berdasarkan manifestasi air panas, di daerah ini terdapat manifestasi panas bumi yang tersebar dari pesisir pantai sampai pada pegunungan dataran rendah, dan secara umum tersebar mengikuti jalur-jalur patahan. Menurut Tjokrosapoetra [13] secara stratigrafi regional di daerah penelitian tersusun dari tua ke muda yaitu Batuan Gunung Api Ambon (Tpav) yang berumur Pliosen akhir, terdiri dari lava andesit, dasit, breksi vulkanik, breksi tufaan dan tuff. Kemudian tidak selaras di atasnya diendapkan batugamping terumbu (Ql) yang berusia di sekitar Upper Pleistocene-Holocene. Terdiri dari koloni koral, ganggang, dan bryozoa, berwarna putih sampai kotor, keras, berongga-rongga terisi oleh kalsit dan pecahan koral. Endapan Aluvium (Qa) adalah batuan Holosen-Resen, terdiri dari kerakal, kerikil, lanau, pasir, lempung dan sisa tumbuhan tersebar di daerah daratan Desa Tulehu. Terdapat Formasi Intrusi Granit Ambon (Ti (d,g)) yang berumur Pliosen akhir, terdiri dari lava andesit, dasit, breksi vulkanik, breksi tufaan dan tuff. Formasi Batuan Gunung Api Ambon (Tpv) berusia Plistosen, Batuan Ultramafik (Jku) berusia jura, dan Formasi Kanikeh berusia trias yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi dan Geologi Daerah Penelitian [13]

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif. Data kuantitatif merupakan data yang dinyatakan dengan angka. Data kuantitatif pada penelitian ini berupa nilai gravitasi *disturbance* hasil satelit GGMplus 2013 yang diperoleh dengan mengunduh dari website <https://ddfe.blazejbucha.com/models/GGMplus/data/>.

Data gravitasi GGMPlus yang masih dalam bentuk binary file akan diekstraksi dengan menggunakan *software* MATLAB menjadi data bertipe format Microsoft Excel. Lalu dilanjutkan pengolahan koreksi data gravitasi sehingga menghasilkan data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) dengan menggunakan *software* Microsfot Excel. Setelah didapatkan Anomali Bouguer Lengkap (ABL) maka dilakukan analisis spektrum yang berguna untuk menentukan kedalaman serta batas *cut off* gelombang untuk proses pemisahan anomali regional dan residual yang terkandung dalam data ABL dengan menggunakan *Butterworth filter*. Proses analisis spektrum melibatkan teknik pengubahan data spasial ABL menjadi data dalam domain gelombang dengan menggunakan *software* Oasis Montaj. Data ABL dalam domain gelombang akan dianalisis kedalaman serta letak batas *cut off* gelombang dari zona regional dan residual dengan menggunakan Microsoft Excel. Pengolahan data dilanjutkan dengan proses pemisahan menggunakan fitur MAGMAP dalam *software* Oasis Montaj yang didasari oleh referensi batas *cut off* yang didapatkan.

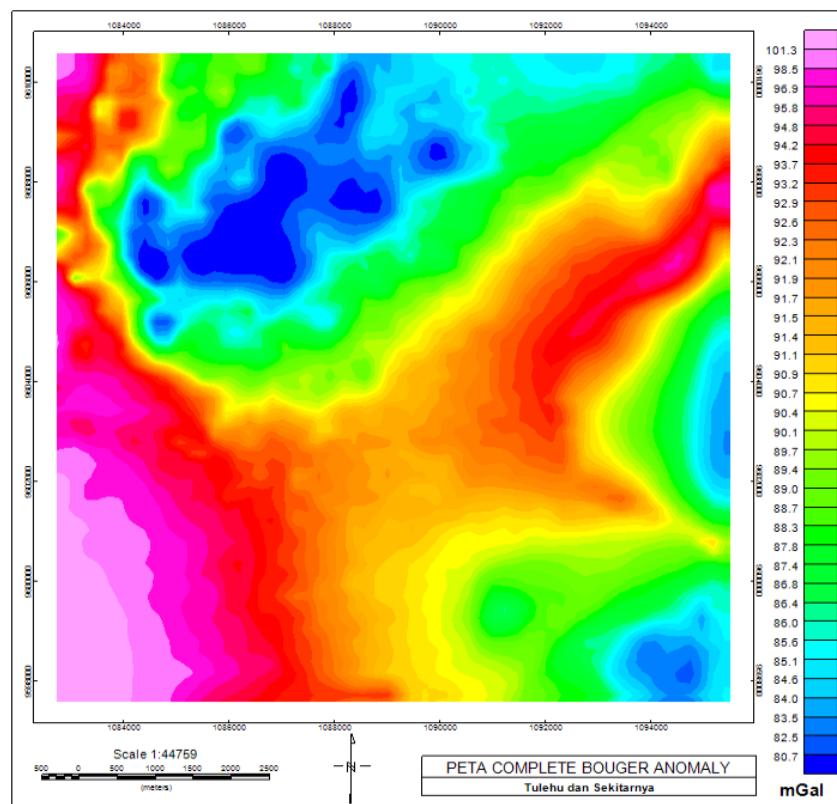
Pengolahan data terakhir merupakan pemodelan inversi dengan menggunakan *software* *grablok* dan *bloxer*. Data anomali regional yang telah terpisahkan dari ABL akan dimodelkan kedalam bentuk 3 Dimensi dan akan disatay menjadi model 2 Dimensi untuk didapatkannya respon sebaran densitas di daerah penelitian. Respon sebaran densitas juga akan dicocokkan dengan sebaran formasi batuan di daerah penelitian sebagai validasi bentuk struktur dari sistem panas bumi yang menjadi *output* dari penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Bouger Lengkap

ABL adalah anomali gravitasi yang hanya memperkirakan densitas batuan di bawah permukaan. Data *disturbance gravity* (dg) yang merupakan *Free Air Anomaly* (FAA) dan data

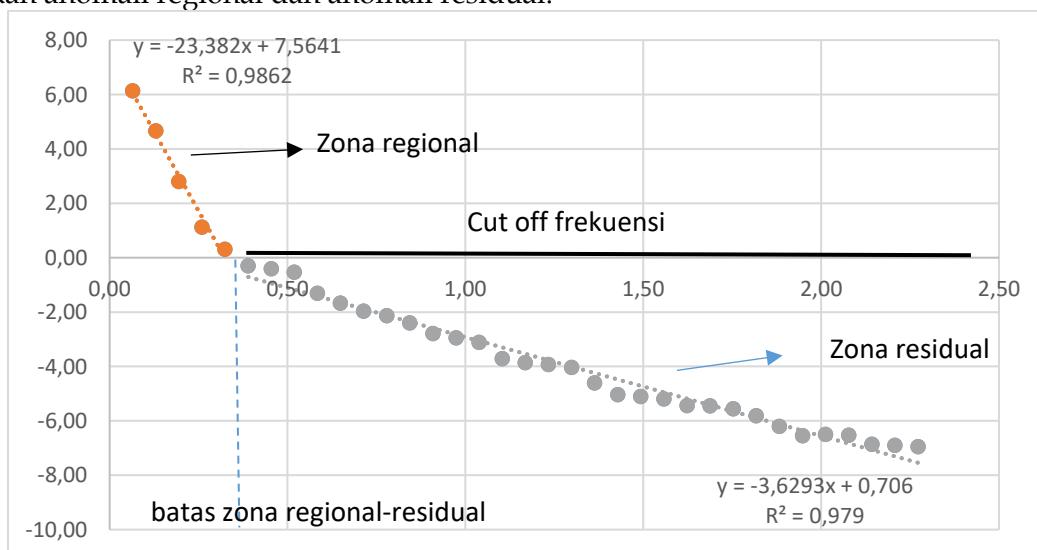
Topografi yang didapat dari GGMplus, diterapkan koreksi *bouguer* dan koreksi medan yang terlebih dahulu dicari nilai rata-rata densitas daerah penelitian dengan metode parasnus yang bernilai 2,7741 g/cm³. Sehingga menghasilkan Anomali Bouger Lengkap (ABL). Berdasarkan nilai kontur pada peta ABL yang disajikan pada Gambar 2 di daerah penelitian memiliki rentang nilai 80,7 hingga 101,3 mGal.



Gambar 2. Peta Kontur Anomali Bouger Lengkap (ABL)

Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouger Lengkap (ABL) masih terdiri dari anomali regional dan residual. Sehingga dapat dipisahkan menggunakan metode *Butterworth filter*. ABL yang masih berupa data domain spasial (m) akan ditransformasikan ke dalam domain gelombang (k) dengan perhitungan *Fourier Transform*. Proses pemisahan akan dilakukan berdasarkan analisis frekuensi gelombang di kurva *Radially Average Power Spectrum* (RAPS) dan mengaplikasikan *Butterworth filter* yang dapat memisahkan anomali regional dan anomali residual.



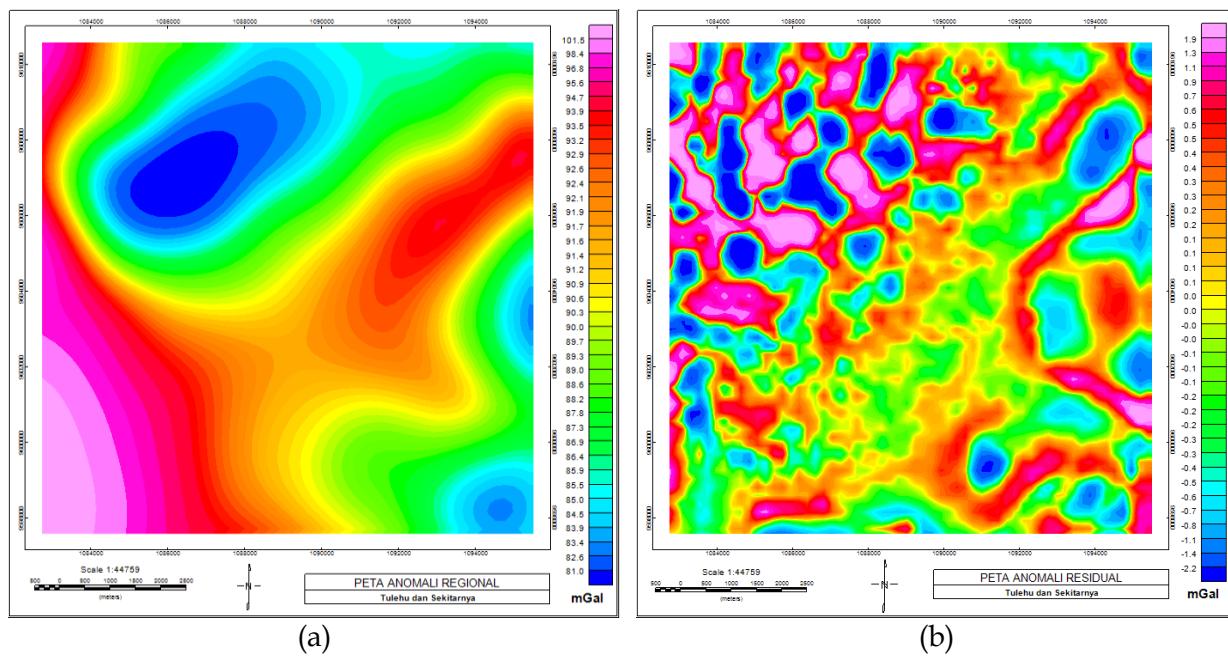
Gambar 3. Grafik Analisis Spektrum

Dalam pemisahan anomali pada data ABL pada penelitian ini didasari oleh analisis kurva RAPS sebagai penentuan zona frekuensi gelombang serta menghitung kedalaman sumber anomali regional dan anomali residual, agar dapat menentukan batas *cut off* untuk proses *Butterworth filter*. Berdasarkan analisis kurva RAPS yang disajikan pada Gambar 3 diperoleh zona regional dengan nilai gradien garis (*slope*) -23,382, zona residual dengan nilai gradien garis (*slope*) -3,629. Nilai gradien tersebut dapat digunakan untuk menghitung kedalaman dari masing-masing sumber anomali. Maka didapatkan hasil kedalaman anomali di daerah penelitian pada Tabel 2 dengan diestimasikan sumber anomali regional berada di kedalaman 1.862 meter, sumber anomali residual berada di kedalaman 289 meter. Estimasi kedalaman yang didapatkan tersebut akan digunakan dalam proses inversi model.

Tabel 2. Hasil Estimasi Kedalaman Daerah Penelitian

Estimasi Kedalaman (m)	
Regional	Residual
1.862 m	289 m

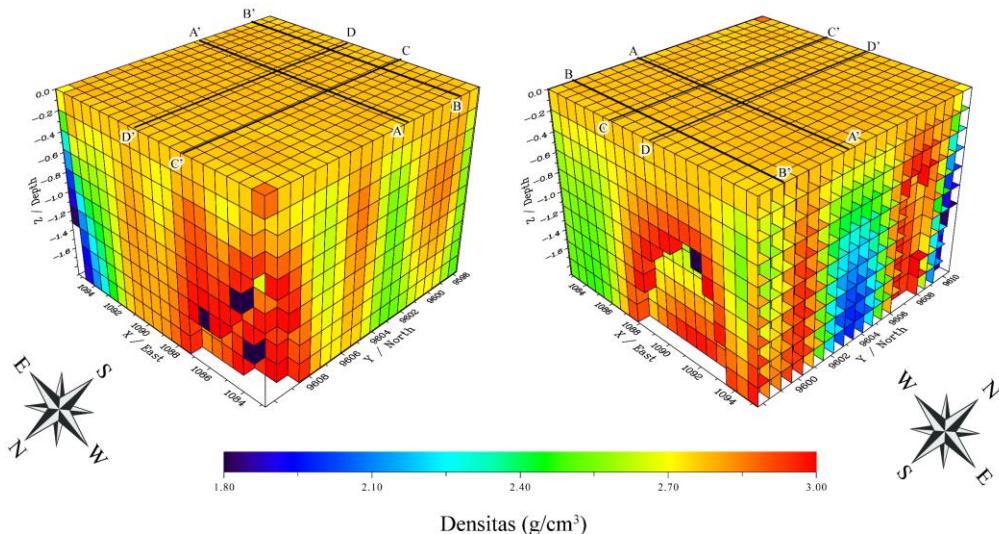
Batas *cut off* frekuensi dalam kurva RAPS yang disajikan pada Gambar 3 akan menjadi referensi untuk *Butterworth filter* yang mana akan memisahkan bilangan gelombang yang berasosiasi dengan anomali regional dan anomali residual sehingga kedua nilai gelombang tersebut diubah kembali menjadi data dalam domain spasial (m) dengan perhitungan *inverse transform*. Dari proses tersebut akan menghasilkan sebaran anomali residual dan regional di daerah penelitian. Anomali regional di daerah penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 a memiliki pola kontur yang halus serta nilai percepatan gravitasi yang tinggi dikarenakan berasal dari sumber batuan yang lebih dalam dan memiliki massa yang besar, dengan rentang nilai yaitu 81 hingga 101,5 mGal. Anomali residual di daerah penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 b memiliki pola kontur yang kasar serta nilai percepatan gravitasi yang rendah dikarenakan berasal dari sumber batuan yang lebih dangkal dan memiliki massa yang kecil, dengan rentang nilai yaitu -2,2 hingga 1,9 mGal.



Gambar 4. Peta Kontur: (a) anomali regional dan (b) anomali residual

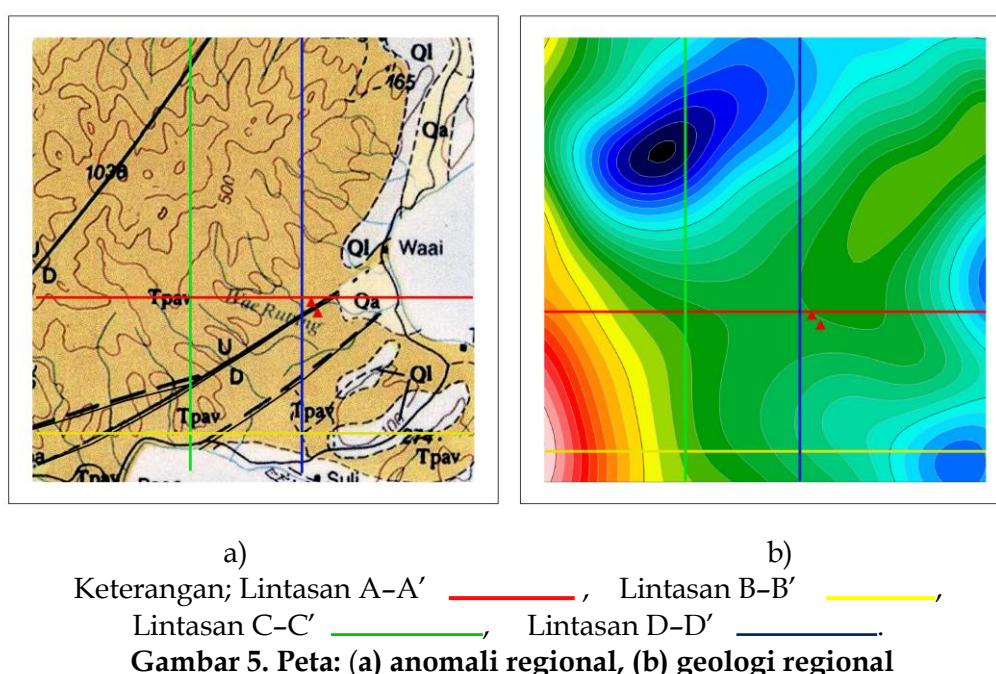
Model Inversi

Hasil pemodelan gaya berat divisualisasikan dalam bentuk 3 dimensi seperti terlihat pada Gambar 5 model yang dihasilkan melalui proses inversi dengan data anomali gravitasi regional menunjukkan nilai Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 0,042 dan nilai *R-squared* (*R*²) sebesar 0,9995 mengindikasikan tingkat akurasi yang tinggi dalam merepresentasikan kondisi bawah permukaan. Analisis model dilakukan dengan memeriksa nilai densitas berdasarkan data geologi untuk menginterpretasikan struktur bawah permukaan melalui pola sebaran nilai densitas dalam bentuk penampang 2D dari model blok 3D yang dilakukan sayatan. Rentang nilai densitas pada model bervariasi antara 1,8 g/cm³ hingga 3,0 g/cm³, mencerminkan variasi litologi bawah permukaan. Nilai RMSE yang rendah dan rentang densitas yang jelas ini memperkuat validitas model dalam menggambarkan struktur geologi bawah permukaan secara akurat.

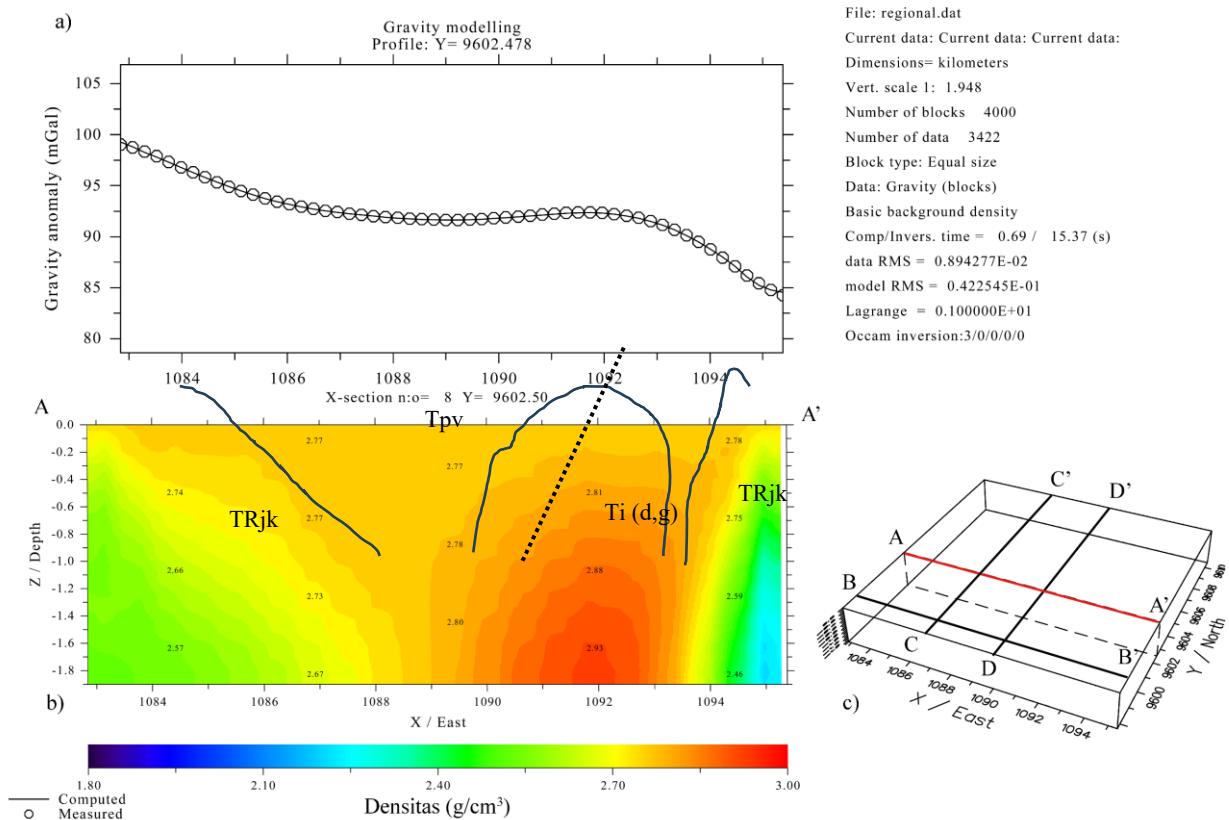


Gambar 5. Hasil Blok Model 3 Dimensi

Hasil penampang 2D diperoleh dari model 3D yang dilakukan sayatan. Penampang ini dimodelkan bertujuan interpretasi model struktur bawah permukaan di daerah panas bumi. Terdapat empat penampang telah dimodelkan untuk keperluan interpretasi. Penentuan penampang didasarkan oleh Wilayah Kerja Panas bumi (WKP) Tulehu dan Peta Geologi Daerah Penelitian Ambon, Provinsi Maluku Tengah.



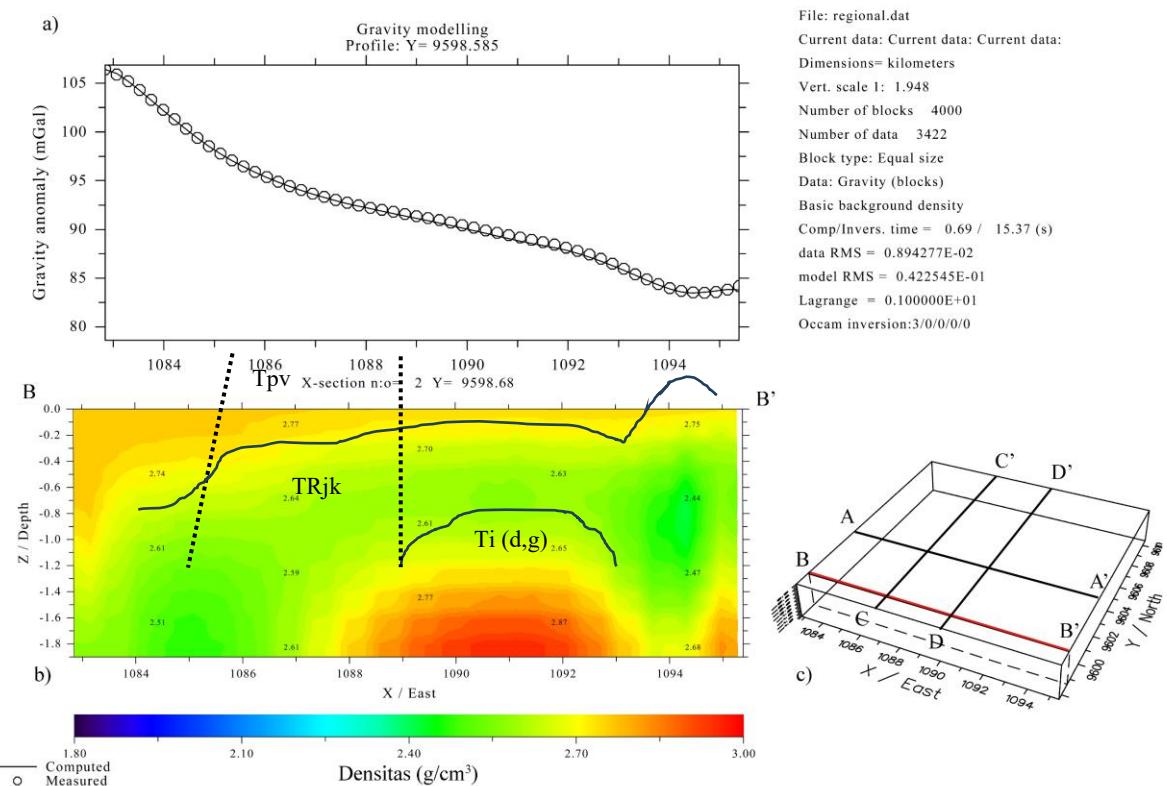
Berdasarkan penampang A-A' yang disajikan pada Gambar 6, densitas batuan (Tabel 1), dan gambar Peta Geologi Lembar Ambon (Gambar 1) dapat diidentifikasi terdapat 3 jenis formasi batuan yaitu, Formasi Kanikeh (TRjk) dengan densitas 1,80-2,60 g/cm³ dengan warna biru gelap hingga hijau muda diduga batupasir. Formasi Gunung Api Ambon (Tpv) dengan densitas 2,6-2,8 g/cm³ dengan warna kuning hingga jingga diduga batuan andesit. Batuan intrusi granit ambon/batolit magma (lava) dengan densitas 2,8-3,00 g/cm³ dengan warna jingga hingga merah jingga.



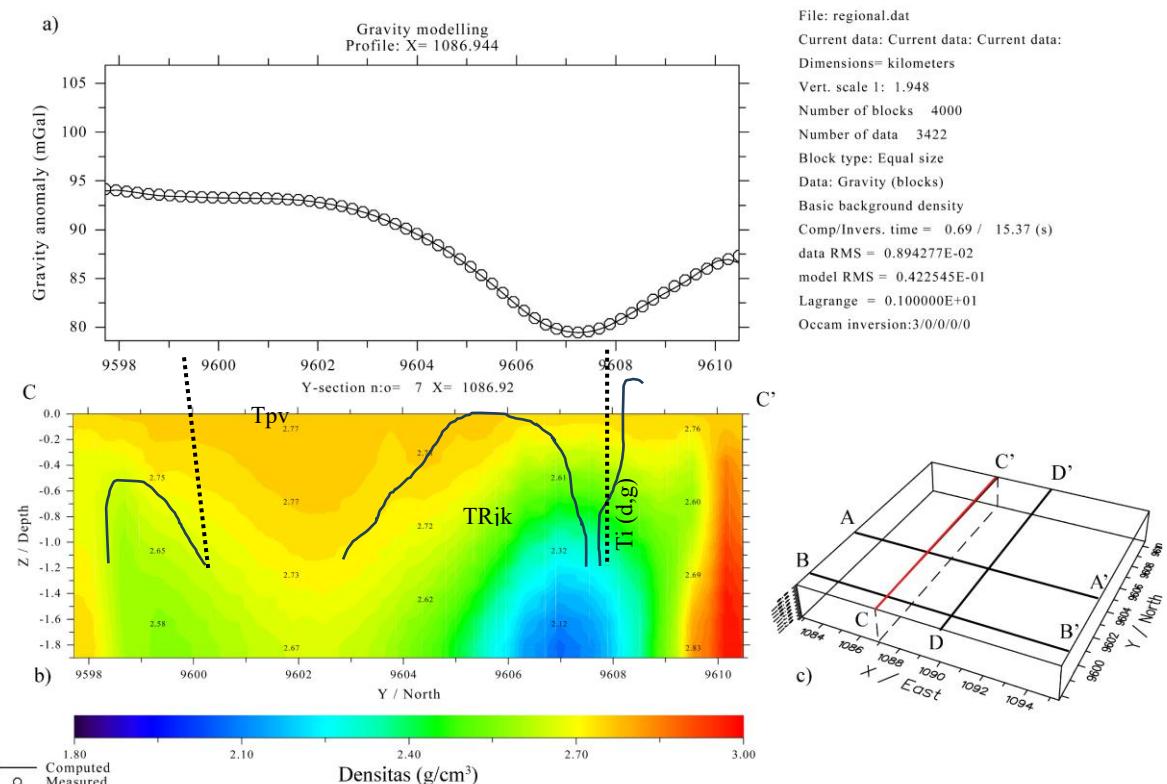
Gambar 6. (a) Gambar hasil inversi penampang 2D data observasi dan data kalkulasi, (b) Hasil penampang densitas 2D D-D', (c) Ilustrasi lintasan penampang D-D'.

Berdasarkan penampang B-B' (Gambar 7), densitas batuan (Tabel 1), dan gambar peta geologi regional lembar Ambon (Gambar 1) dapat diidentifikasi terdapat 3 jenis formasi batuan yaitu, Formasi Kanikeh (TRjk) dengan densitas 1,80 - 2,60 g/cm³ dengan warna biru gelap hingga hijau muda diduga batupasir. Formasi Gunung Api Ambon (Tpv) dengan densitas 2,6-2,8 g/cm³ dengan warna kuning hingga jingga diduga batuan andesit. Batuan intrusi granit ambon/batolit magma (lava) dengan densitas 2,8 - 3,00 g/cm³ dengan warna jingga hingga merah jingga.

Berdasarkan penampang C-C' (Gambar 8), densitas batuan (Tabel 1), dan gambar peta geologi regional lembar Ambon (Gambar 1) dapat diidentifikasi terdapat 3 jenis formasi batuan yaitu, Formasi Kanikeh (TRjk) dengan densitas 1,80-2,60 g/cm³ dengan warna biru gelap hingga hijau muda diduga Batupasir. Formasi Gunung Api Ambon (Tpv) dengan densitas 2,6-2,8 g/cm³ dengan warna kuning hingga jingga diduga batuan andesit. Batuan intrusi granit ambon/bitolit magma (lava) dengan densitas 2,8-3,00 g/cm³ dengan warna jingga hingga merah jingga.

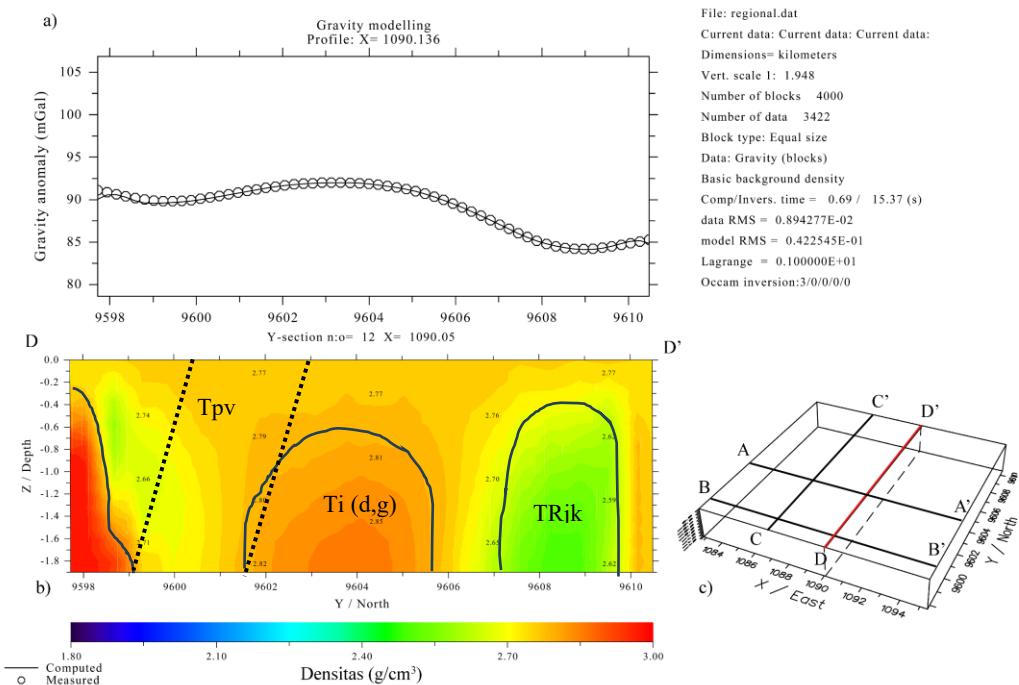


Gambar 7. (a) Gambar hasil inversi penampang 2D data observasi dan data kalkulasi, (b) Hasil penampang densitas 2D B-B', (c) Ilustrasi lintasan penampang B-B'.



Gambar 8. (a) Gambar hasil inversi penampang 2D data observasi dan data kalkulasi, (b) Hasil penampang densitas 2D C-C', (c) Ilustrasi lintasan penampang C-C'.

Berdasarkan penampang D-D' (Gambar 9) dapat diidentifikasi terdapat 3 jenis formasi batuan yaitu, Formasi Kanikeh (TRjk) dengan densitas 1,80–2,60 g/cm³ dengan warna biru gelap hingga hijau muda diduga Batupasir. Formasi Gunung Api Ambon (Tpv) dengan densitas 2,6–2,8 g/cm³ dengan warna kuning hingga jingga diduga batuan andesit. Batuan intrusi granit ambon/batolit magma (lava) dengan densitas 2,8–3,00 g/cm³ dengan warna jingga hingga merah jingga.



Gambar 9. (a) Gambar hasil inversi penampang 2D data observasi dan data kalkulasi, (b) Hasil penampang densitas 2D D-D', (c) Ilustrasi lintasan penampang D-D'.

Potensi panas bumi di daerah WKP Tulehu dapat terbentuk dikarenakan adanya sistem panas bumi. Sistem panas bumi merupakan struktur-struktur yang dapat mengatur serta membentuk air panas di dalam permukaan bumi. Komponen dari struktur tersebut terdiri dari lapisan reservoir, lapisan caprock, dan sumber panas. Lapisan reservoir umumnya dibentuk dari batuan dengan nilai permabilitas dan porositas tinggi yang memungkinkan batuan dapat dimasuki oleh fluida. Pada hasil model inversi penampang A-A' hingga D-D', reservoir diperankan oleh Formasi Kanikeh (TRjk). Lapisan reservoir pada Formasi Kanikeh (TRjk) diduga adalah lapisan batu pasir [14]. Lapisan pasir merupakan lapisan sedimen yang dapat menyerap dan meloloskan air sehingga dapat menjadi reservoir pada WKP Tulehu. Formasi Kanikeh pada penampang berada antara kedalaman 0,3 km hingga 1,948 km diindikasikan sebagai zona tersimpannya fluida yang menjadi media rambatan panas dari bumi.

Panas bumi pada suatu reservoir dapat terperangkap akibat adanya batuan penutup *caprock* yang bersifat impermeabel dan memiliki porositas rendah. Berdasarkan model inversi A-A' hingga D-D', zona caprock terdistribusi mulai dari permukaan hingga kedalaman kurang dari 1,948 km di bawah permukaan. Formasi batuan yang berfungsi sebagai caprock meliputi berbagai jenis batuan vulkanik seperti Formasi Gunung Api Ambon (Tpv). Lapisan caprock pada Formasi Gunung Api Ambon (Tpv) diduga adalah batuan andesit. Andesit dapat berfungsi sebagai batuan caprock yang efektif karena karakteristik fisik dan mineralogisnya yang unik, termasuk porositas rendah ($\leq 5\%$) dan permeabilitas ultra-rendah ($\leq 1 \text{ mD}$).

Sumber panas bumi pada daerah penelitian terletak di bagian tenggara penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 1. Sumber panas bumi ini dihasilkan oleh batuan batolit magma dari batuan intrusif granit yang berumur Pleistosen yang diduga masih memiliki. Batuan batolit magma terbentuk pada kedalaman $> 5 \text{ km}$ dan sering menjadi akar dari sistem vulkanik. Batolit

mengalami pendinginan sangat lambat (puluhan ribu hingga jutaan tahun) karena ukurannya yang besar, menghasilkan tekstur faneritik dengan kristal-kristal berukuran besar sehingga dapat menjadi sumber panas bumi di daerah WKP Tulehu.

Sesar atau patahan geologi memainkan peran kritis dalam sistem panas bumi sebagai jalur utama transportasi fluida hidrotermal. Struktur sesar dapat dilihat pada peta geologi regional dimana ada 7 sesar yang terdapat pada 4 penampang penelitian. Sesar ini berada penampang A-A' pada jarak 8,30 km, penampang B-B' pada jarak 1,9 km dan 5,1 km, penampang C-C' pada jarak 2,450 km dan pada jarak 11,6 km, dan penampang D-D' 2,248 km dan 4,5 km. Keberadaan sesar ini sesuai dengan adanya manifestasi panas bumi yang muncul pada permukaan seperti pada Gambar 6 dan Gambar 9. Sesar ini yang menjadi transportasi hidrotermal untuk muncul ke permukaan. Struktur sesar yang bersifat permeabel, seperti zona rekahan *fracture zone* atau *gouge*, berfungsi sebagai konduit alami yang memungkinkan air meteorik atau fluida hidrotermal bersirkulasi dari permukaan menuju reservoir panas bumi di kedalaman. Proses tektonik aktif menyebabkan terbukanya rekahan-rekahan baru atau reaktivasi sesar lama, yang kemudian menjadi jalur bagi fluida panas untuk naik ke permukaan atau terakumulasi dalam batuan reservoir.

KESIMPULAN

Pemodelan struktur bawah permukaan daerah Tulehu dan sekitarnya menggunakan data gravitasi telah berhasil dilakukan melalui analisis terhadap anomali regional. Berdasarkan analisis spektrum sumber anomali regional, kedalaman maksimum yang dapat dimodelkan mencapai 1,862 km. Identifikasi struktur bawah permukaan pada daerah potensi panas bumi di Tulehu menggunakan metode gravitasi menunjukkan bahwa nilai Anomali Bouguer Lengkap (ABL) berada pada kisaran 80,7 mGal hingga 101,3 mGal. Struktur geologi daerah panas bumi Tulehu terbentuk oleh tiga jenis batuan utama, yaitu batupasir dari Formasi Kanikeh (TRjk) dengan densitas antara 1,80-2,60 g/cm³ yang berperan sebagai sistem reservoir, batu andesit dari Formasi Gunung Api Ambon (Tpv) dengan densitas antara 2,6-2,8 g/cm³ yang berfungsi sebagai batuan penutup *caprock*, serta Batuan Intrusi Granit Ambon (Ti(d,g)) yang memiliki karakteristik batolit magma dengan densitas antara 2,8-3,00 g/cm³ yang berperan sebagai sumber panas pada sistem panas bumi Tulehu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya jurnal ini. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Tanjungpura atas segala dukungan yang telah diberikan dalam proses penyusunan artikel ini.

Penulis menyadari bahwa artikel ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan di masa mendatang. Semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi yang berguna bagi para pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. S. Nurwahyudin and U. Harmoko, "Pemanfaatan dan Arah Kebijakan Perencanaan Energi Panas Bumi di Indonesia Sebagai Keberlanjutan Maksimalisasi Energi Baru Terbarukan," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 111-123, Oct. 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.10032.
- [2] M. A. Adhiem, S. H. Permana, and B. M. Faturahman, *Pembangkit Listrik Tenaga Surya bagi Pembangunan Berkelanjutan*. Publica Indonesia Utama, 2021.
- [3] W. S. Tala, A. D. H. J. Hutabarat, and D. Gentana, "Karakteristik Geokimia Air Panas Dan Perkiraan Temperatur Bawah Permukaan Panas Bumi Daerah Oma Dan Tulehu Kabupaten Maluku Tengah," *Geosci. J.*, vol. 4, no. 4, pp. 338-348, 2020.

- [4] R. Lewerissa, "Analisis Tensor Gradien Gravitasi Lengkap dan Data Magnetik Bumi untuk Pemodelan Geologi Bawah Permukaan Sistem panas Bumi di Desa Suli dan Tulehu Kabupaten Maluku Tengah," *Disertasi S3 Fis. UGM. Yogyakarta*, 2019.
- [5] Amandah, N. D. Ardi, and Waslaluddin, "Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Gunung Sinabung pada Model Dua-Dimensi (2D) Menggunakan Data WGM 2012 dan Metode First Horizontal Derivative," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 2022, pp. 291–298.
- [6] Alfishah, "Pemanfaatan Global Gravity Model Plus Untuk Analisis Fault di Area Panas Bumi Tampomas Dengan Metode Derivative dan Inversi 3 Dimensi." Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, 2023.
- [7] J. M. Reynolds, *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons, USA, 2011.
- [8] M. Muhamirin, N. Ismail, and B. Bukhari, "The Computation of Residual and Regional Anomaly of Gravity Method Data By Polynomial Filter Using Microsoft Excel," *J. Aceh Phys. Soc.*, vol. 9, no. 2, pp. 37–41, 2020.
- [9] R. J. Blakely, *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge university press, United Kingdom, 1996.
- [10] H. Grandis, "Pengantar pemodelan inversi geofisika," *Himpun. Ahli Geofis. Indones.*, Jakarta, 2009.
- [11] A. Septian, M. B. Alghifarry, R. Gayatri, S. Rasimeng, and I. Dani, "Pemrograman Dasar Dan Analisis Anomali Bouguer Sederhana Dalam Komputasi Menggunakan Matlab," *J. MIPA*, vol. 20, no. xxx, pp. 1–10, 2020.
- [12] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Applied geophysics*. Cambridge university press, New York, 1990.
- [13] S. Tjokrosapoetra, E. Rusmana, and A. Achdan, "Peta Geologi Lembar Ambon," *Maluku, Pus. Penelit. Pengemb. Geol. (P3G)*, Bandung, 2011.
- [14] M. Yudistian, Thoriq, F. Hendrasto, and Y. Yunis, "Penentuan Top Reservoir Panas Bumi Daerah Tulehu Berdasarkan Pemodelan 3d Menggunakan Data Geokimia, Log Pada Sumur X Dan Interpretasi Data Magnetotellurik (Mt): Determination Of Top Geothermal Reservoir Of Tulehu Area With Identification Of Minerals In W," *J. Geosci. Eng. Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 104–115, 2023, doi: <https://doi.org/10.25105/jogee.v4i1.13350>.