



Overview of Geothermal Potential in Momiwaren, South Manokwari Regency using Earth Gravity Field Analysis

Richard Lewerissa

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Papua
r.lewerissa@unipa.ac.id

Abstract: West Papua province has a geothermal resource that can be established as renewable electricity energy or tourism. One of the locations for geothermal prospects is in the Momiwaren district of South Manokwari regency. A preliminary study in form of a qualitative interpretation has been conducted through the analysis of high-resolution of earth gravity fields from the Global Gravity Map developed by Curtin University, Australia. This research was performed to increase the boundary of the geological structure which indicates the existence of a source of manifestation of hot springs and the fault structures that control it. The study begins with the reduction of the gravity field data to obtain a complete Bouguer anomaly based on the SRTM2gravity terrain model correction. Furthermore, regional and residual gravity anomalies are separated, and vertical and horizontal gravitational gradient analysis using 2-D fast Fourier transform. Qualitative interpretation produces models and boundaries of the main structure and the corresponding Demini and Gaya Baru faults and the distribution of the geological rock formations in the study area. This interpretation provides useful information as a constraint for quantitative interpretation through subsurface inversion modeling to obtain detailed geothermal models in Momiwaren.

Keywords: Earth gravity field, Geothermal potential, GGM, Momiwaren, SRTM2gravity.

Tinjauan Potensi Panas Bumi di Momiwaren, Kabupaten Manokwari Selatan menggunakan Analisis Medan Gravitasi Bumi

Abstrak: Provinsi Papua Barat memiliki potensi energi panas bumi yang dapat dikembangkan sebagai energi listrik alternatif terbarukan maupun pariwisata. Salah satu lokasi potensi panas bumi tersebut berada di daerah Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan. Studi pendahuluan berupa interpretasi kualitatif telah dilakukan melalui pemanfaatan dan analisis medan gravitasi bumi resolusi tinggi berbasis satelit dari model *Global Gravity Map* (GGM) yang dikembangkan oleh universitas Curtin, Australia. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan batas dari struktur geologi yang mengindikasikan keberadaan sumber manifestasi air panas dan struktur patahan yang mengontrolnya. Kajian diawali dengan reduksi data medan gravitasi hingga mendapatkan anomali gravitasi Bouguer lengkap berdasarkan model koreksi medan SRTM2gravity. Selanjutnya dilakukan pemisahan anomali gravitasi regional dan residual, serta analisis gradien gravitasi vertikal dan horisontal menggunakan transformasi Fourier cepat 2-D. Interpretasi kualitatif menghasilkan model dan batasan struktur utama dan patahan Demini dan Gaya Baru yang bersesuaian dan distribusi formasi geologi batuan di wilayah kajian. Interpretasi kualitatif ini memberikan informasi yang sangat bermanfaat sebagai konstrain untuk interpretasi kuantitatif melalui pemodelan inversi bawah permukaan untuk mendapatkan model geologi panas bumi di Momiwaren secara detail.

Kata kunci: GGM, Medan gravitasi bumi, Momiwaren, Potensi panas bumi, SRTM2gravity.

PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan energi yang ramah lingkungan dan relatif kompetitif untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik bagi daerah yang memiliki keterbatasan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Pemanfaatan energi panas bumi saat ini hanya sekitar

3 % dan penggunaan secara langsung masih belum optimal (Syahwanti dkk., 2014). Provinsi Papua Barat merupakan salah satu daerah di bagian timur Indonesia yang memiliki potensi energi panas bumi yang dapat dikembangkan sebagai pembangkit listrik ataupun pariwisata. Kajian tentang potensi panas bumi di beberapa tempat di provinsi Papua Barat telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Pada tahun 1977 telah dilakukan inventarisasi gejala kenampakan panas bumi di Papua Barat secara khusus di Sorong dan Manokwari (Sihombing, 1977). Kusnadi dkk pada tahun 2009 telah melakukan penyelidikan pendahuluan panas bumi daerah Manokwari provinsi Papua Barat berupa studi geologi dan geokimia pada tiga tempat yang berbeda yaitu Momiwaren, Menyambo, dan Kebar. Penelitian ini mendapatkan kesimpulan bawah adanya panas bumi di ketiga lokasi tersebut, diawali dengan adanya sisa panas dari tubuh batuan beku yang telah membeku, kemudian memanasi air meteorik yang muncul ke permukaan melalui rekahan akibat proses tektonik (Kusnadi dkk., 2009).

Kajian tentang studi potensi panas bumi di kabupaten Manokwari Selatan, provinsi Papua Barat berdasarkan analisa geokimia telah dilakukan oleh Raharjo dkk, 2017 dengan hasil yang diperoleh berupa potensi panas bumi Demini merupakan manifestasi suhu rendah dan pengembangannya terkendala biaya, persepsi masyarakat, dan teknologi yang digunakan (Raharjo dkk., 2017). Kusumo dan Raharjo tahun 2019 telah melakukan identifikasi manifestasi panas bumi berdasarkan interpretasi citra di daerah Kebar kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat dan mendapatkan hasil beberapa daerah baru potensi panas bumi dengan indikator panas permukaan yang tinggi, tidak berapa pada vegetasi lebat, dan dekat dengan struktur geologi utama (Kusumo & Raharjo, 2019). Berdasarkan informasi penelitian sebelumnya, diketahui bahwa kajian potensi panas bumi di Papua Barat secara keseluruhan masih terbatas pada kajian di permukaan bumi, belum mengkaji potensi di bawah permukaan bumi (*subsurface*) dari sistem panas bumi tersebut. Bagaimanapun, diperlukan kajian lain tentang potensi panas bumi, sehingga mendapatkan hasil yang terintegrasi dan komprehensif tentang sistem panas bumi di wilayah kajian. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji model bawah permukaan melalui interpretasi pendahuluan secara kualitatif menggunakan salah satu metode geofisika yaitu metode gravitasi bumi untuk mengkaji potensi panas bumi di Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan, provinsi Papua Barat.

Penerapan metode gravitasi bumi di beberapa tempat di dunia menunjukkan hasil yang signifikan dalam eksplorasi panas bumi seperti mendeleniasi zona patahan dan rekahan yang berasosiasi dengan reservoir panas bumi dan juga lebih sederhana serta ekonomis dalam pelaksanaannya (Mohammadzadeh Moghaddam dkk., 2016). Kajian gravitasi bumi dilakukan dengan memanfaatkan data gravitasi bumi resolusi tinggi dari model *Global Gravity Map* (GGM) tahun 2013 (Hirt dkk., 2013), model *Earth Residual Terrain Model* (ERTM) 2160 tahun 2014 (Hirt dkk., 2014), dan model SRTM2gravity tahun 2019 (Hirt dkk., 2019) untuk koreksi medan (*terrain correction*) terbaru terhadap data anomali gravitasi udara bebas di wilayah Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan. Pemanfaatan data medan gravitasi bumi berbasis satelit merupakan solusi untuk mengatasi ketidaktersediaan peralatan dan data pengukuran medan gravitasi secara langsung di lapangan panas bumi Momiwaren dalam wilayah yang luas dan topografi yang sulit dijangkau. Keterbatasan penggunaan data satelit gravitasi yaitu terkait verifikasi dan validasi data yang benar-benar menggambarkan kondisi di wilayah kajian.

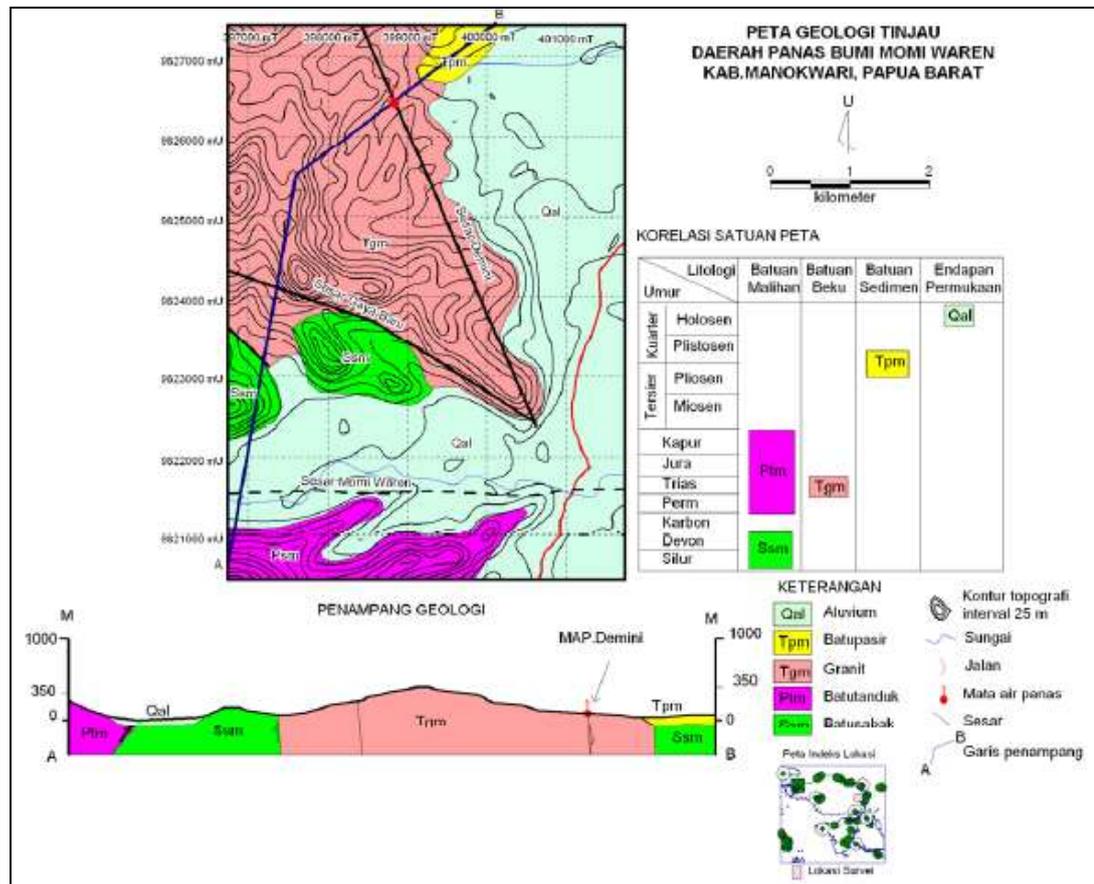
Tinjauan potensi panas bumi Momiwaren dilakukan melalui studi pendahuluan berupa interpretasi kualitatif data gravitasi berbasis satelit yaitu analisis peta anomali Bouguer lengkap, pemisahan anomali regional dan residual, dan perhitungan gradien (turunan) medan gravitasi bumi secara vertikal, horisontal dan kombinasinya. Hal ini dilakukan

untuk meningkatkan batas-batas struktur geologi dekat permukaan yang mempengaruhi sistem panas bumi seperti patahan Demini sebagai jalur keluarnya mata air panas ataupun batuan sumber panas yang belum tergambarkan dengan jelas pada penelitian terdahulu. Pendekatan turunan medan gravitasi umumnya menggunakan gradien vertikal atau horisontal derajat pertama atau kedua untuk meningkatkan efek tepi, dan juga untuk menguraikan batas-batas yang mungkin berasal dari sumber gravitasi bumi (Ekinci & Yiğitbaş, 2015). Analisis gradien gravitasi bumi dilakukan dalam domain frekuensi spasial menggunakan pendekatan transformasi Fourier cepat (FFT) dua dimensi (2-D). Hasil interpretasi kualitatif ini diharapkan sebagai batasan (*constraint*) yang dapat menunjang interpretasi lanjutan yaitu kajian kuantitatif berupa pemodelan inversi tiga dimensi (3-D) bawah permukaan bumi dari sistem panas bumi Momiwaren.

METODE PENELITIAN

1. Geologi Momiwaren

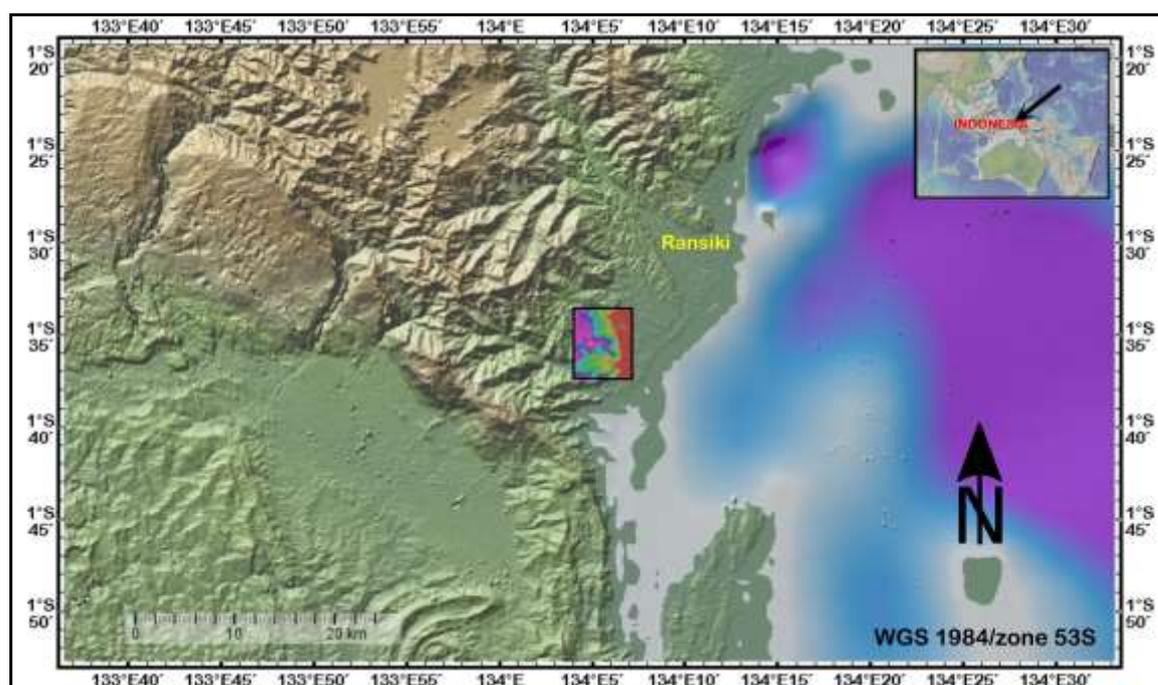
Geomorfologi wilayah Momiwaren dibagi menjadi tiga satuan yaitu didominasi oleh perbukitan terjal hingga 72 %, sisanya merupakan perbukitan bergelombang dan satuan pedataran. Stratigrafi batuan masing-masing terdiri dari Batusabak (Ssm), Batutanduk (Ptm), Granit (Tgm), Batupasir (Tpm), dan Aluvium (Qal). Pada lokasi ini, patahan normal berarah baratlaut – tenggara yaitu patahan Demini merupakan pengontrol adanya manifestasi air Demini, disamping itu juga terdapat patahan naik Momiwaren dan patahan Gaya Baru sebagai pengontrol satuan batuan batutanduk (Kusnadi dkk, 2009), seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta geologi tinjau daerah manifestasi panas bumi Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan (Kusnadi dkk, 2009).

2. Koreksi Data Medan Gravitasi Bumi GGMplus 2013

Penelitian ini mengkaji daerah potensi panas bumi di distrik Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan, pada koordinat: 134.067° BT - 134.119° BT dan 1.623° LS - 1.561° (Gambar 2). Proses penelitian diawali dengan reduksi data medan gravitasi bumi berupa koreksi data anomali udara bebas (*free air anomaly*) menggunakan koreksi medan (*terrain*) modern dengan terlebih dahulu memperhatikan model percepatan gravitasi bumi dan ketinggian topografi di wilayah tinjau. Koreksi data medan gravitasi bumi resolusi tinggi diperlukan untuk mendapatkan anomali penting dalam metode gravitasi bumi yaitu anomali Bouguer lengkap yang berasosiasi dengan distribusi densitas batuan bawah permukaan bumi. Proses koreksi diawali dengan ekstraksi data gravitasi wilayah Papua Barat dari model GGMplus (S05E130), ERTM2160 (S05E130), dan SRTM2gravity (S02E134) yang dikembangkan oleh Curtin University, Perth, Australia (Gambar 3).

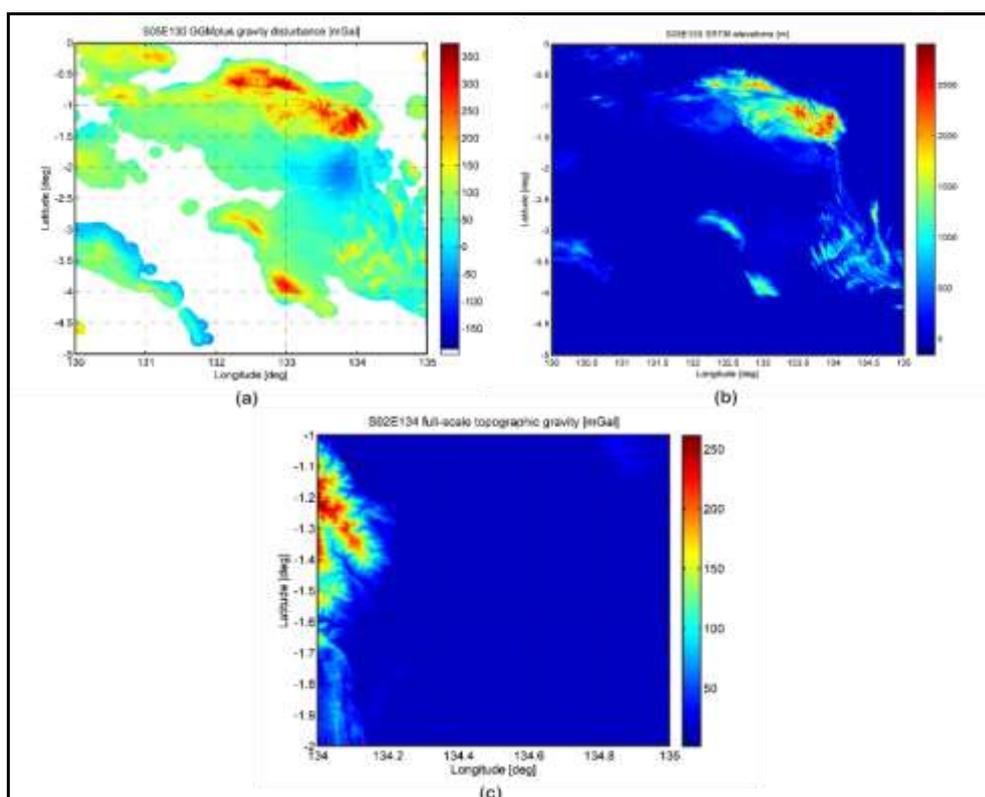


Gambar 2. Peta daerah kajian potensi panas bumi di distrik Momiwaren, Kabupaten Manokwari Selatan, provinsi Papua Barat.

Aplikasi medan gravitasi bumi resolusi tinggi sangat berguna di berbagai disiplin ilmu antara lain: eksplorasi, geofisika medan potensial, iklim, dan penelitian perubahan muka air laut. *Global Gravity Map* (GGM) merupakan medan gravitasi bumi resolusi tinggi untuk skala lokal di daratan dan pulau-pulau mencakup luasan $\pm 60^\circ$ lintang dengan grid spasial sebesar 7.2'' (~ 220 m) (Hirt dkk., 2013). Model GGM merupakan hasil dari kombinasi tiga pengukuran gravitasi yaitu satelit gravitasi GOCE/GRACE, model EGM 2008, dan gravitasi topografi. Dalam aplikasi geofisika dan industri eksplorasi, GGMplus bermanfaat sebagai sumber data baru untuk reduksi *in-situ* survei gravitasi rinci, pencarian lokasi mineral tanpa perlu menghitung dan menerapkan reduksi lanjutan yang menghabiskan waktu (Jacoby & Smilde, 2009; Hirt dkk., 2013).

Model ERTM merupakan medan gravitasi bumi skala pendek yang didapatkan melalui pemodelan maju gravitasi resolusi tinggi menggunakan model topografi global *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). ERTM memiliki skala spasial setara dengan

koefisien *spherical* harmonik hingga derajat 2160, yangmana digunakan untuk membangun peta gravitasi GGMplus skala pendek dari 10 km turun hingga 250 m (Hirt dkk., 2014). SRTM2gravity merupakan model koreksi medan gravitasi modern yang mencerminkan gaya gravitasi bumi dari massa topografi global dengan sekitar 28 miliar titik komputasi, mencakup semua wilayah daratan pada area -60° hingga 85° garis lintang geografis dengan resolusi spasial sebesar 90 m. Model ini secara implisit mengandung efek *shell* Bouguer dan semua efek medan gravitasi sisa dari *shell* Bouguer (misalnya lembah dan pegunungan). Oleh karena itu, model ini mencerminkan sinyal gravitasi total yang dihasilkan oleh massa topografi global (Hirt dkk., 2019). Ekstraksi data anomali gravitasi wilayah potensi panas bumi Momiwaren di kabupaten Manokwari Selatan dilakukan menggunakan *software* berbasis Matlab yang telah disediakan oleh pengembang. Kami menggunakan bantuan perangkat lunak *open source* GNU Octave setara Matlab untuk modifikasi dan menjalankan *listing* program ekstraksi data.



Gambar 3. (a) Anomali gravitasi bumi udara bebas di Papua Barat berdasarkan model GGMplus 2013 (S05E130); (b) DEM SRTM di Papua Barat berdasarkan model ERTM 2160 (S05E130); (c) Koreksi medan (*terrain correction*) wilayah kajian Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan berdasarkan model SRTM2gravity (S02E134).

Model GGMplus yang digunakan berupa data percepatan gravitasi dan anomali *disturbance* yang setara anomali udara bebas (*free air anomaly*), ERTM 2160 berupa data *digital elevation model* (DEM) dengan grid spasial sebesar $7.2''$ (~ 220 m), sedangkan model SRTM2gravity berupa *full scale gravity* untuk koreksi medan (*terrain correction*) dengan skala spasial $3''$ (~ 90 m). Selanjutnya untuk mendapatkan anomali Bouguer lengkap daerah Momiwaren, anomali udara bebas dikurangkan terhadap data koreksi medan (*full scale gravity*). Nilai percepatan gravitasi yang didapatkan selanjutnya akan diverifikasi yaitu memenuhi hukum gravitasi universal Newton yang

menyatakan bahwa setiap massa titik di alam semesta menarik setiap massa titik lainnya dengan gaya yang berbanding lurus dengan produk massanya, dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak di antara keduanya (Dentith & Mudge, 2014). Gaya tarik (F) antara dua massa (m_1 dan m_2) dipisahkan oleh jarak (r) tersebut diberikan oleh persamaan gravitasi:

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

G merupakan konstanta gravitasi bumi universal dengan nilai sebesar $6.6726 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$. Percepatan gravitasi bumi dinyatakan dalam satuan mGal yang setara dengan 10^{-5} m/s^2 ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$; $1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ gal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$).

3. Gradien Gravitasi Bumi

Analisis gradien gravitasi bumi diterapkan untuk menggambarkan batas atau tepi dari benda anomali gravitasi. Gradien gravitasi berupa turunan vertikal dan horisontal dimaksudkan untuk menggambarkan batas-batas struktur geologi dan benda sumber yang terkubur dalam peta medan gravitasi ataupun medan magnet (Eshaghzadeh dkk., 2018). Vertikal derivatif (gradien) diterapkan untuk menggambarkan bagian tepi dari benda anomali gravitasi. Pendekatan ini biasanya dilakukan untuk menekankan fitur geologi dekat permukaan, serta meningkatkan komponen bilangan gelombang tinggi dari spektrum dimana nilai nol dari gradien vertikal (VG) dari anomali umumnya bersesuaian dengan batas geologi (Ibraheem dkk., 2019). Persamaan matematis gradien vertikal dapat dituliskan sebagai:

$$VG = \frac{\partial g}{\partial z} \quad (2)$$

Gradien horisontal digunakan untuk mencari batas kontras densitas atau suseptibilitas dari data medan potensial. Pendekatan ini efektif untuk menggambarkan sumber dangkal atau dalam yang relatif terhadap gradien vertikal, hanya efektif untuk struktur dangkal (Abderbi dkk., 2017). Gradien horisontal dari data gravitasi pada arah x dan y dinyatakan dalam bentuk:

$$HG(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (3)$$

g merupakan anomali gravitasi, yangmana pada penelitian ini digunakan data anomali Bouguer lengkap daerah potensi panas bumi Momiwaren. Turunan vertikal dan horisontal dari anomali Bouguer lengkap sangat berguna untuk mengestimasi struktur bawah permukaan seperti patahan atau kontak geologi yang direpresentasikan oleh nilai absolut maksimum dari turunan horisontal dan kontur nol pada turunan vertikal (Wada dkk., 2017).

Analisis gradien gravitasi bumi secara keseluruhan dilakukan dalam domain frekuensi spasial berdasarkan transformasi Fourier cepat (*fast Fourier transform*) 2-D menggunakan bantuan perangkat lunak Fourpot 1.3a (Pirttijärvi, 2014). Dalam domain frekuensi, transformasi Fourier dari gradien dasar $F[d^n U/dx^n]$ dihitung dengan mengalikan transformasi Fourier bidang $F[U]$ dengan bilangan gelombang (k_x , k_y dan k). Persamaan operasi gradien medan potensial dapat dituliskan sebagai (Blakely, 1995):

$$F \left[\frac{dU}{dx} \right] = ik_x F[U], F \left[\frac{dU}{dy} \right] = ik_y F[U], \text{ dan } F \left[\frac{dU}{dz} \right] = |k| F[U] \quad (4)$$

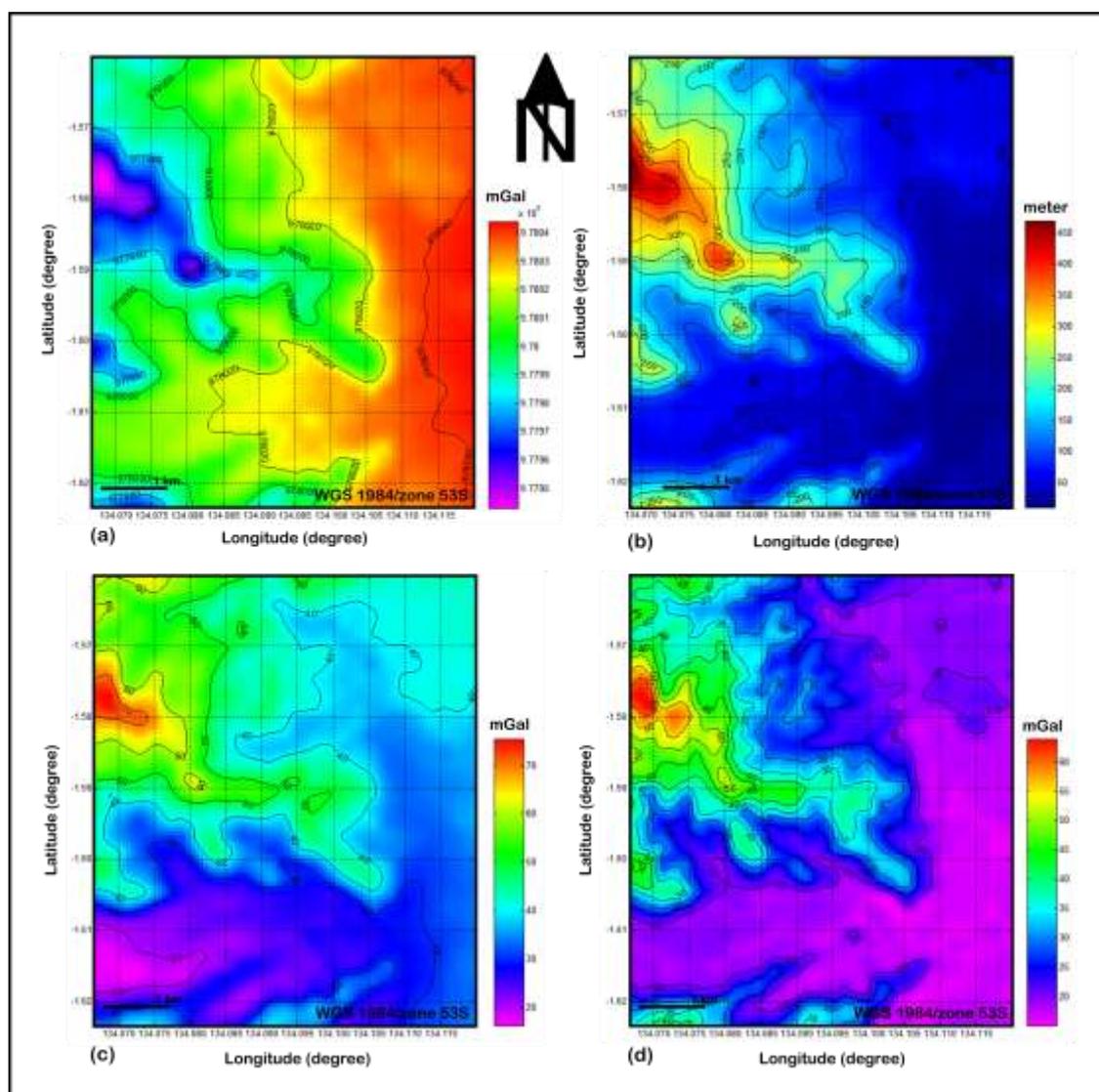
$$F \left[\frac{d^2U}{dx^2} \right] = -k_x F[U], F \left[\frac{d^2U}{dy^2} \right] = -k_y F[U], \text{ dan } F \left[\frac{d^2U}{dz^2} \right] = |k|^2 F[U] \quad (5)$$

dimana $n = 1$ atau 2 merupakan derajat gradien dan i adalah bilangan imajiner ($i^2 = -1$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

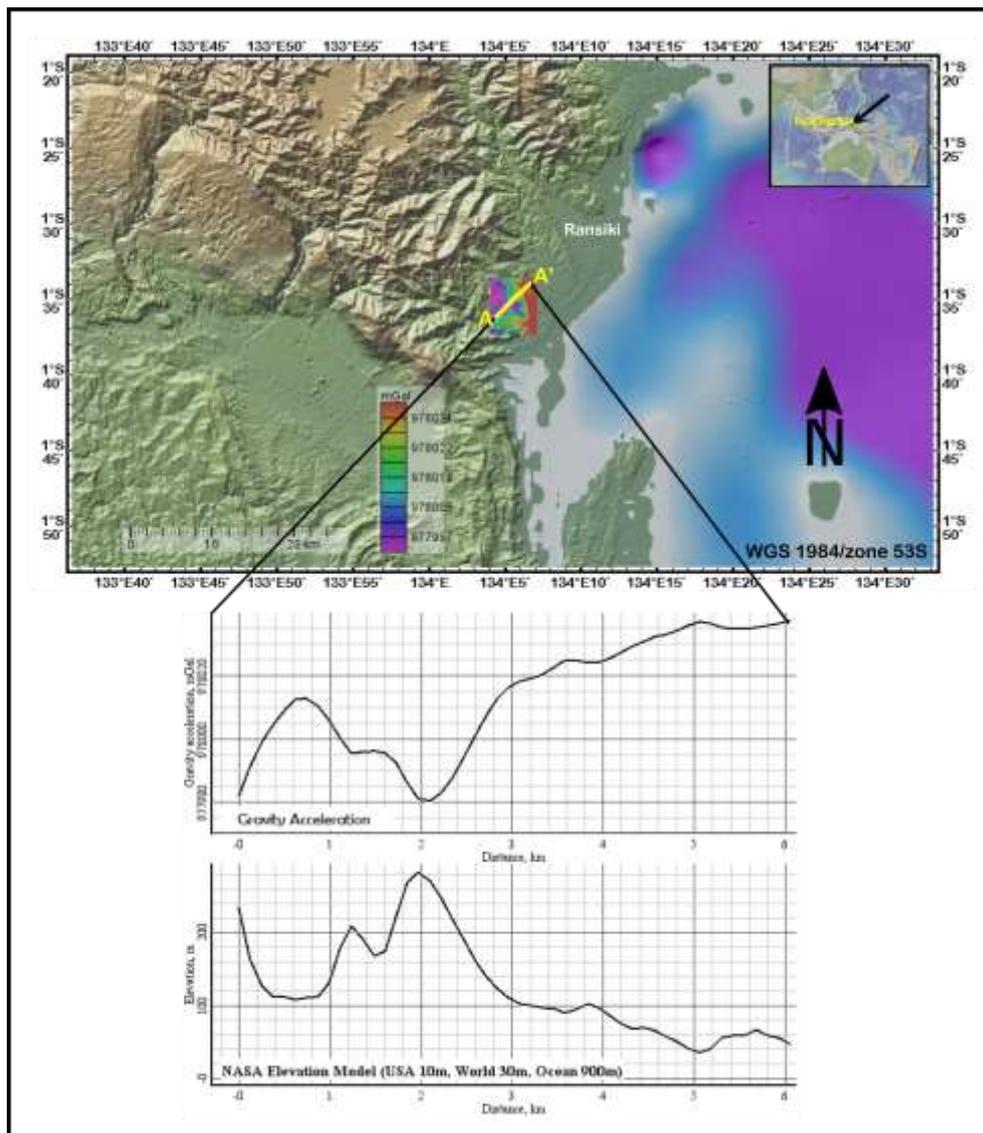
1. Verifikasi Atribut Data Medan Gravitasi Resolusi Tinggi

Atribut data medan gravitasi resolusi tinggi wilayah panas bumi Momiwaren berupa model percepatan gravitasi bumi, *digital elevation model* (DEM), anomali udara bebas, dan model koreksi medan (*terrain*) yang diekstrak dari data medan gravitasi Papua Barat ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Data medan gravitasi bumi di daerah potensi panas bumi Momiwaren (a) Peta percepatan gravitasi bumi; (b) Peta topografi; (c) Peta anomali udara bebas; (d) Peta koreksi medan (*full scale gravity*) dari model SRTM2gravity.

Nilai percepatan gravitasi bumi yang dihasilkan dari proses ekstraksi data GGMplus untuk daerah potensi panas bumi Momiwaren berkisar antara 977943.80 mGal hingga 978043.80 mGal dengan selisih mencapai 100 mGal, pola medan atau percepatan gravitasi bumi memiliki nilai maksimum di sisi timur memanjang dari utara ke selatan daerah penelitian, sedangkan nilai minimum di sisi barat ke arah barat laut (Gambar 4a). Nilai percepatan gravitasi bumi ini secara umum berbanding terbalik dengan nilai ketinggian (elevasi) topografi Momiwaren, dimana nilai percepatan tinggi berasosiasi dengan topografi rendah, sedangkan nilai percepatan rendah berkorelasi dengan topografi tinggi. Nilai elevasi topografi di daerah penelitian berkisar antara 11 m hingga 470 m dari permukaan laut (Gambar 4b). Korelasi antara percepatan gravitasi bumi dan ketinggian topografi ini memenuhi hukum gravitasi Newton dimana nilai gaya atau medan gravitasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak yang memisahkan massa benda yang berinteraksi (Dentith & Mudge, 2014).



Gambar 5. Uji kesesuaian nilai percepatan gravitasi bumi terhadap ketinggian topografi di daerah potensi panas bumi Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan.

Selanjutnya model GGMplus menyediakan data anomali udara bebas (*free air anomaly*) yang diekstraksi untuk wilayah Momiwaren sebagai daerah potensi panas bumi. Anomali udara bebas bernilai positif berkisar antara 16.52 mGal hingga 75.10 mGal. Pola anomali udara bebas ini secara umum bersesuaian dengan elevasi topografi daerah kajian, dimana nilai tinggi (perbukitan) di sisi barat dominan ke barat laut berasosiasi dengan elevasi tinggi, sedangkan nilai anomali rendah di timur sepanjang utara ke selatan berasosiasi dengan elevasi rendah atau dataran (Gambar 4c). Koreksi medan terbaru (*full scale gravity*) berdasarkan model SRTM2gravity ditunjukkan pada Gambar 4d yang termasuk juga untuk koreksi Bouguer *shell*. Pada proses koreksi data gravitasi konvensional, koreksi Bouguer dilakukan untuk mendapatkan data anomali Bouguer sederhana, sedangkan koreksi medan (*terrain*) dilakukan untuk mendapatkan anomali Bouguer lengkap sebagai fungsi densitas batuan bawah permukaan.

Pada koreksi *terrain* terbaru berdasarkan SRTM2gravity, anomali Bouguer lengkap di daerah Momiwaren didapatkan berdasarkan selisih antara anomali udara bebas dan *full scale gravity*. Nilai *full scale gravity* berkisar antara 15.31 mGal hingga 63.61 mGal, dengan pola yang mirip dengan model elevasi dan anomali udara bebas di Momiwaren. Untuk mempertegas hubungan antara nilai percepatan gravitasi bumi dan elevasi di daerah kajian maka telah dilakukan sayatan melintang A-A' berarah baratdaya ke timur laut sepanjang 6 km (Gambar 5). Dari kurva sayatan A-A' dapat dijelaskan bahwa nilai percepatan gravitasi bumi berbanding terbalik dengan elevasi topografi di lokasi penelitian, sehingga konsep hukum gravitasi Newton yang diturunkan menjadi medan atau percepatan gravitasi bumi terpenuhi pada kondisi tersebut.

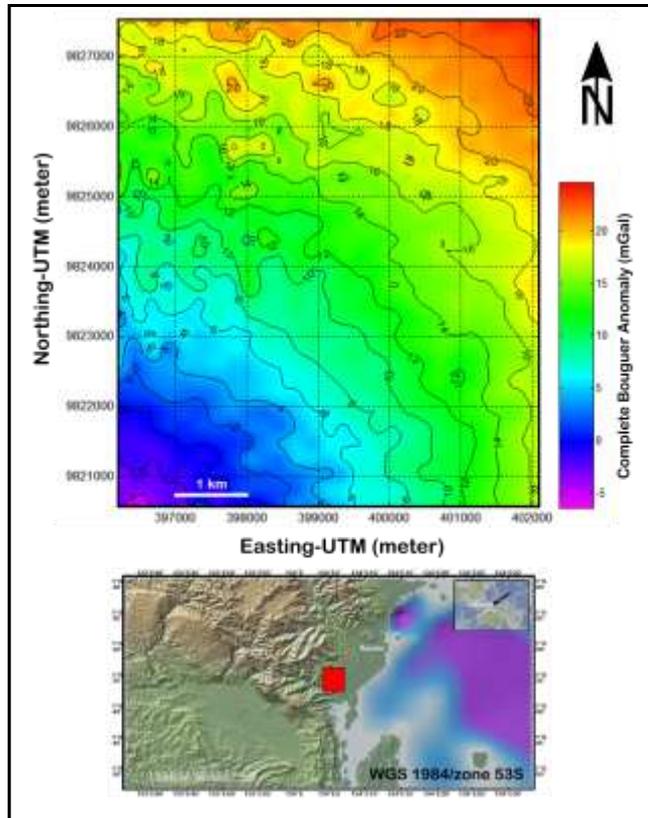
2. Anomali Bouguer Lengkap Momiwaren

Hasil koreksi data anomali udara bebas dengan koreksi *terrain* menghasilkan nilai anomali Bouguer lengkap di daerah panas bumi Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan. Anomali Bouguer lengkap bernilai negatif hingga positif dengan kisaran -6.74 mGal hingga 24.61 mGal, memiliki pola berarah baratdaya ke timurlaut (Gambar 6). Anomali Bouguer lengkap secara umum akan menggambarkan kondisi distribusi densitas batuan bawah permukaan terkait dengan geologi setempat. Bila dihubungkan dengan peta geologi tinjau daerah panas bumi Momiwaren (Gambar 1), maka anomali positif tinggi berkaitan dengan batuan granit Anggi yang merupakan bagian dari batuan beku berasosiasi dengan densitas tinggi, sedangkan anomali gravitasi negatif rendah kemungkinan merupakan kontribusi dari batuan endapan aluvium dan litoral yang merupakan bagian dari batuan sedimen dengan densitas yang relatif rendah (Reynolds, 1997). Pada peta anomali Bouguer lengkap daerah potensi panas bumi Momiwaren belum dapat memperlihatkan keberadaan patahan sebagai pengontrol utama atau jalur keluarnya mata air panas Demini, sehingga diperlukan analisis lanjut berupa pemisahan anomali regional dan lokal, serta analisis gradien gravitasi untuk meningkatkan struktur geologi di daerah kajian.

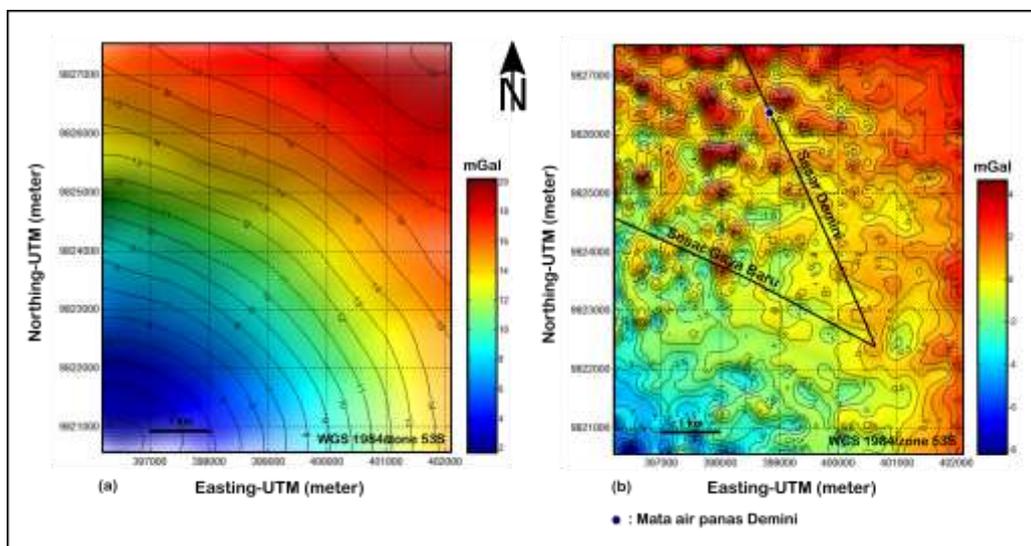
3. Anomali Gravitasi Regional dan Residual

Interpretasi kualitatif anomali medan gravitasi bumi resolusi tinggi untuk meninjau potensi panas bumi di wilayah Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan, dilakukan salah satunya dengan pemisahan anomali regional dan residual berdasarkan anomali Bouguer lengkap. Anomali regional umumnya berasosiasi dengan struktur geologi yang besar dan dalam, sedangkan anomali residual berhubungan dengan struktur dangkal dan relatif kecil. Penelitian ini menggunakan teknik *low pass filter* untuk memisahkan anomali regional dan residual. Anomali regional daerah Momiwaren bernilai positif

berkisar antara 1.73 mGal hingga 20.13 mGal dengan pola berarah baratdaya ke timurlaut, sedangkan anomali residual bernilai negatif hingga positif antara -8.16 mGal hingga 4.61 mGal (Gambar 7). Nilai positif tinggi pada anomali regional (Gambar 7a) secara geologi didominasi oleh batuan densitas tinggi yaitu Granit Anggi yang merupakan bagian dari batuan beku di bagian utara daerah kajian.



Gambar 6. Peta anomali Bouguer lengkap di daerah kajian potensi panas bumi di Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan berdasarkan hasil koreksi *terrain* SRTM2Gravity.

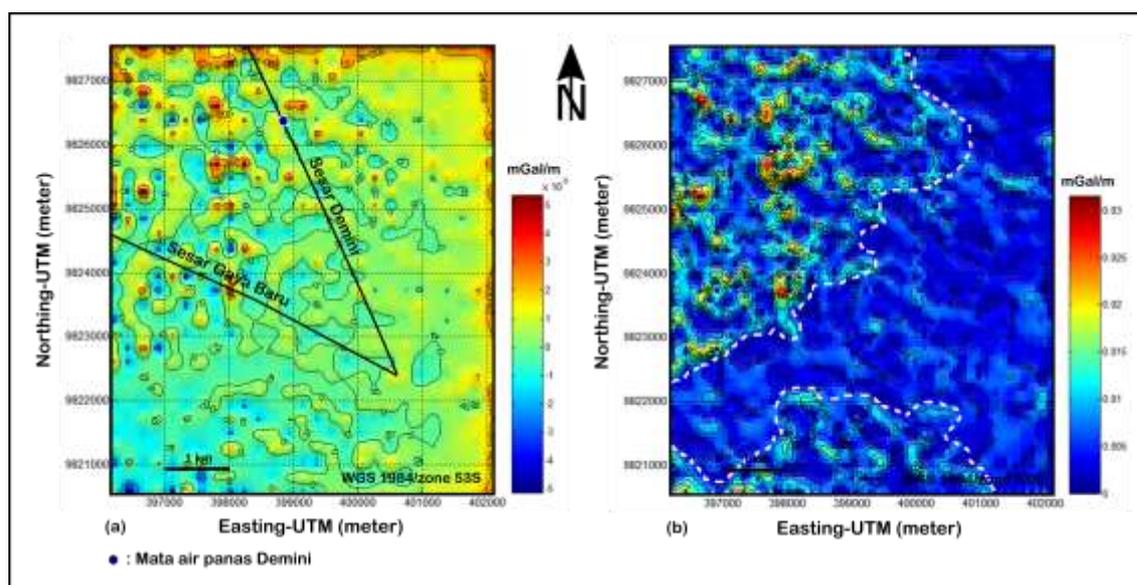


Gambar 7. Pemisahan anomali regional dan residual di wilayah Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan (a) Anomali regional; (b) Anomali residual.

Pola anomali residual lebih kompleks bila dibandingkan dengan pola anomali regional namun memiliki arah yang cenderung sama yaitu baratdaya ke timurlaut. Pada peta anomali residual (Gambar 7b), manifestasi panas bumi dalam bentuk mata air panas Demini berada pada kawasan anomali rendah di bagian utara daerah kajian, dimana terletak pada jalur patahan (sesar) Demini berarah selatan ke tenggara. Patahan lain yang ada di lokasi penelitian yaitu patahan Gaya Baru juga terindikasi berada pada jalur anomali residual rendah. Kedua patahan yang mengontrol sistem panas bumi di Momiwaren diduga merupakan zona hancuran atau ekstensi sehingga cenderung memiliki denisitas batuan yang rendah sehingga berkontribusi ke anomali gravitasi rendah dibandingkan batuan disekitarnya. Bila dikaitkan dengan anomali regional, maka posisi mata air panas Demini berada pada batuan dengan denisitas tinggi yaitu batuan beku granit Anggi yang diduga sebagai batuan sumber panas bumi di wilayah tersebut.

4. Analisis Gradien Gravitasi Bumi

Analisis gradien gravitasi bumi dimaksudkan untuk memperjelas atau mempertinggi batas struktur geologi yang berada pada sistem panas bumi yang belum dapat ditemukan pada peta anomali Bouguer lengkap, regional, ataupun residual (sisa) di daerah potensi panas bumi Momiwaren. Gradien gravitasi umumnya berhubungan dengan struktur dekat permukaan yang lebih kompleks. Gradien vertikal daerah kajian bernilai negatif hingga positif antara -5.10^{-5} mGal/m hingga 5.10^{-5} mGal/m. Struktur patahan Demini dan Gaya Baru sebagai jalur munculnya mata air panas umumnya berasosiasi pada nilai nol di peta gradien vertikal (Gambar 8a). Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Ibraheem dkk., 2019 bahwa kecenderungan batas struktur geologi umumnya berkorelasi dengan nilai nol pada peta gradien vertikal. Gradien horisontal bernilai positif dari 5.10^{-5} mGal/m hingga 0.0314 mGal/m (Gambar 8b).



Gambar 8. Peta gradien gravitasi bumi di daerah panas bumi Momiwaren, Kabupaten Manokwari Selatan. (a) Gradien Vertikal; (b) Gradien Horizontal.

Pada peta gradien horisontal, batas-batas struktur geologi diwakili dengan tiga model amplitudo gradien masing-masing yaitu amplitudo tinggi berasosiasi dengan struktur batuan beku granit Anggi, amplitudo menengah berhubungan dengan batu tanduk, dan amplitudo rendah menandakan batas dengan aluvium. Hasil analisis gradien horisontal

untuk menentukan batas struktur geologi umumnya bersesuaian dengan formasi batuan di peta geologi tinjau daerah potensi panas bumi Momiwaren, kabupaten Manokwari Selatan (Kusnadi dkk, 2009). Secara keseluruhan, interpretasi kualitatif dari medan gravitasi bumi resolusi tinggi memberikan hasil yang signifikan untuk membantu dalam mempelajari struktur geologi yang terdapat di daerah potensi panas bumi Momiwaren dan sangat berguna sebagai batasan untuk interpretasi kuantitatif melalui pemodelan inversi data gravitasi untuk mendapatkan struktur bawah permukaan (*subsurface*).

SIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan medan gravitasi bumi untuk meninjau potensi panas bumi di daerah Momiwaren (air panas Demini), kabupaten Manokwari Selatan memberikan hasil yang signifikan untuk mengetahui struktur geologi sebagai pengontrol sistem panas bumi. Interpretasi kualitatif berupa analisis data anomali Bouguer lengkap, pemisahan anomali gravitasi regional dan residual, serta analisis gradien gravitasi bumi menghasilkan model dan batasan struktur utama dan patahan yang bersesuaian dengan distribusi formasi geologi batuan di wilayah kajian. Interpretasi kualitatif data gravitasi bumi ini sangat berguna sebagai konstrain pemodelan untuk mendapatkan model yang mencerminkan kondisi geologi bawah permukaan melalui interpretasi kuantitatif lanjutan berupa pemodelan inversi anomali gravitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abderbi, J., Khattach, D., & Kenafi, J. (2017). *Multiscale analysis of the geophysical lineaments of the High Plateaus (Eastern Morocco): Structural implications*. 10.
- Blakely, R. J. (1995). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Dentith, M. C., & Mudge, S. T. (2014). *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*. Cambridge University Press.
- Ekinci, Y. L., & Yiğitbaş, E. (2015). Interpretation of gravity anomalies to delineate some structural features of Biga and Gelibolu peninsulas, and their surroundings (north-west Turkey). *Geodinamica Acta*, 27(4), 300–319. <https://doi.org/10.1080/09853111.2015.1046354>.
- Eshaghzadeh, A., Dehghanpour, A., & Kalantari, R. A. (2018). *Application of the tilt angle of the balanced total horizontal derivative filter for the interpretation of potential field data*. 59(2), 161–178. <https://doi.org/10.4430/bgta0233>
- Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., & Rexer, M. (2013). New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field: New Picture of Earth's Gravity Field. *Geophysical Research Letters*, 40(16), 4279–4283. <https://doi.org/10.1002/grl.50838>.
- Hirt, C., Kuhn, M., Claessens, S., Pail, R., Seitz, K., & Gruber, T. (2014). Study of the Earth's short-scale gravity field using the ERTM2160 gravity model. *Computers & Geosciences*, 73, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.09.001>.
- Hirt, C., Yang, M., Kuhn, M., Bucha, B., Kurzmann, A., & Pail, R. (2019). SRTM2gravity: An Ultrahigh Resolution Global Model of Gravimetric Terrain Corrections. *Geophysical Research Letters*, 46(9), 4618–4627. <https://doi.org/10.1029/2019GL082521>
- Ibraheem, I. M., Haggag, M., & Tezkan, B. (2019). Edge Detectors as Structural Imaging Tools Using Aeromagnetic Data: A Case Study of Sohag Area, Egypt. *Geosciences*, 9(5), 211. <https://doi.org/10.3390/geosciences9050211>

- Jacoby, W., & Smilde, P. L. (2009). *Gravity interpretation: Fundamentals and application of gravity inversion and geological interpretation*. Springer.
- Kusnadi, D., Sundhoro, H., & Bakrun. (2009). *Penyelidikan Pendahuluan Panas Bumi Daerah Manokwari Provinsi Papua Barat*. Pusat Sumber Daya Geologi.
- Kusumo, P. A., & Raharjo, A. D. U. (2019). Identifikasi Manifestasi Panas bumi Berdasar Interpretasi Citra di Daerah Manokwari, Provinsi Papua Barat. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 19(1), 95–104. <https://doi.org/10.24036/invotek.v19i1.556>.
- Mohammadzadeh Moghaddam, M., Mirzaei, S., Nouraliee, J., & Porkhial, S. (2016). Integrated magnetic and gravity surveys for geothermal exploration in Central Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(7), 506. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2539-y>.
- Pirttjarvi, M. (2014). FOURPOT Potential Field Data Processing and Analysis of Using 2D Fourier Transform, User's Guide to Version 1.3a. Oulu, Finland: Department of Physics Sciences, University of Oulu.
- Raharjo, A. D. U., Nugroho, N. P. P., & Resesiyanto, H. (2017). Potensi Panas Bumi di Kabupaten Manokwari Selatan Provinsi Papua Barat berdasarkan Analisa Geokimia. *Jurnal Konversi*, 6(2), 83–88. <https://doi.org/10.24853/konversi.6.2.83-88>
- Reynolds, J. M. (1997). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley.
- Sihombing T, A.J. 1977. Inventarisasi Gejala Kenampakan Panasbumi Sorong dan Manokwari Irian Jaya. Direktorat Vulkanologi. Bandung.
- Syahwanti, H., Arman, Y., Ivansyah, O., & Kholid, M. (2014). Aplikasi Metode Magnetotellurik Untuk Pendugaan Reservoir Panas Bumi (Studi Kasus: Daerah Mata Air Panas Cubadak, Sumatera Barat). *POSITRON*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.26418/positron.v4i2.8770>.
- Wada, S., Sawada, A., Hiramatsu, Y., Matsumoto, N., Okada, S., Tanaka, T., & Honda, R. (2017). Continuity of subsurface fault structure revealed by gravity anomaly: The eastern boundary fault zone of the Niigata plain, central Japan. *Earth, Planets and Space*, 69(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0602-x>.