Identifikasi Cekungan Sedimen Lokasi Manifestasi Gas Alam Kampung Holtekamp Kota Jayapura Melalui Pemodelan Tiga Dimensi (3D) Berdasarkan Anomali Gravitasi GGMplus

Bangkit Sudrajad[(1,a)*], Tatang Sutarman[(1,b)]
[(1] Prodi Teknik Geofisika, Universitas Cenderawasih, Kota Jayapura, Indonesia, 99351
Email : [(a)]bangkitsudrajad@gmail.com, [(b)] tatangsutarmanuncen@gmail.com*

Diterima (01 Oktober 2024), Direvisi (03 Desember 2024)

Abstract. *Natural gas is one of the natural resources that are abundant in Indonesia. Papua is one of the regions in Indonesia that has large potential reserves of natural gas, including Jayapura City. The existence of natural gas potential in Jayapura City is indicated by the presence of natural gas bursts that came out during the drilling process of the wells of residents of Holtekamp Village, Muara Tami District, Jayapura City. The gas burst incident that appeared in the Holtekamp Village area was not the first to occur in the Muara Tami District area but the presence of natural gas manifestations has also been found in West Koya. In relation to this, the author took the initiative to conduct geophysical research using the gravity method. This gravity method is used to determine the condition of the subsurface structure regionally. Based on 3D modeling based on GGMplus gravity anomalies, it was obtained that the natural gas manifestation area of Holtekamp Village is in a coastal sedimentary basin and swamp with a depth of 500 meters. In addition, the results of 3D modeling also identified 1 other sedimentary basin with a depth of 1200 meters in the shallow sea area on the Holtekamp coast and 2 other sedimentary basins with depths of 1500 meters and 2500 meters in Youtefa Bay.*

Keywords: *3D Modeling; GGMplus, Gravity Method; Natural Gas;Sedimentary Basin*

Abstrak. Gas alam merupakan salah satu sumber daya alam yang banyak terdapat di Indonesia. Papua merupakan salah satu daerah di indonesia yang memiliki cadangan potensial gas alam yang besar termasuk Kota Jayapura. Keberadaan potensi gas alam di wilayah Kota Jayapura ditunjukkan dengan adanya semburan gas alam yang keluar pada saat proses pengeboran sumur warga Kampung Holtekamp, Distrik Muara Tami, Kota Jayapura. Kejadian semburan gas yang muncul di wilayah Kampung Holtekamp bukan yang pertama kali terjadi di wilayah Distrik Muara Tami tetapi juga pernah ditemukan keberadaan manifestasi gas alam di Koya Barat. Berkaitan dengan hal tersebut maka penulis berinisiatif melakukan penelitian geofisika dengan menggunakan metode gravitasi. Metode gravitasi ini digunakan untuk mengetahui kondisi struktur bawah permukaan secara regional. Berdasarkan pemodelan 3D berdasarkan anomali gravitasi GGMplus, diperoleh bahwa wilayah manifestasi gas alam Kampung Holtekamp berada pada cekungan sedimen pantai dan rawa dengan kedalaman 500 meter. Selain itu dari hasil pemodelan 3D juga teridentifikasi 1 cekungan sedimen lain dengan kedalaman 1200 meter pada wilayah laut dangkal di pesisir pantai Holtekamp dan 2 cekungan sedimen lain dengan kedalaman 1500 meter dan 2500 meter di Teluk Youtefa.

Kata kunci: Cekungan Sedimen; Gas Alam; GGMplus, Metode Gravitasi; Pemodelan 3D

PENDAHULUAN

Gas alam merupakan salah satu sumber daya alam yang banyak terdapat di Indonesia. Gas alam yang juga dikenal sebagai gas bumi adalah salah satu sumber daya alam bahan bakar fosil yang utamanya terdiri dari metana (CH_4) yang merupakan molekul hidrokarbon dengan rantai terpendek dan teringan. Kelimpahan potensi gas alam ini membuat Indonesia menjadi salah satu produsen gas alam dunia. Pada

tahun 2022, diperkirakan Indonesia memiliki cadangan terbukti sekitar 1,029 triliun meter kubik (m^3) dan cadangan potensial sekitar 0,523 triliun meter kubik (m^3). Papua merupakan salah satu daerah di indonesia yang memiliki cadangan potensial gas alam yang besar. Papua memiliki cadangan gas terbukti sekitar 0,277 triliun meter kubik (m^3) dan cadangan gas potensial sekitar 0,063 triliun meter kubik (m^3) [1]. Gas alam sangat dibutuhkan seiring dengan kemajuan perkembangan teknologi di berbagai bidang. Secara umum, pemanfaatan gas alam dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, yakni sebagai sumber bahan bakar, bahan baku, dan sebagai komoditas energi yang diekspor [2]. Di Indonesia, penggunaan gas alam tidak hanya digunakan untuk transportasi, rumah tangga dan kelistrikan, tetapi juga pada saat ini gas alam digunakan untuk keperluan industri.

Jayapura merupakan salah satu wilayah di Papua yang memiliki potensi gas alam. Keberadaan potensi gas alam di wilayah Kota Jayapura ditunjukkan dengan adanya semburan gas alam yang keluar pada saat proses pengeboran sumur warga Kampung Holtekamp, Distrik Muara Tami, Kota Jayapura pada kedalaman 28 meter. Kejadian semburan gas ini terjadi di Kampung Bugis Holtekamp pada 19 Oktober 2023 [3]. Kejadian semburan gas ini sempat menimbulkan keresahan warga mengingat semburan gas yang keluar disertai dengan lumpur dan gas yang keluar tersulut api sehingga menimbulkan kobaran api di permukaan lubang sumur.

Kejadian semburan gas yang muncul di wilayah Kampung Holtekamp bukan yang pertama kali terjadi di wilayah Distrik Muara Tami. Kejadian serupa juga pernah ditemukan di Koya Barat yang mengindikasi keberadaan manifestasi gas alam di tempat tersebut. Berkaitan dengan hal tersebut maka penulis berinisiatif mengajukan penelitian geofisika dengan menggunakan metode gravitasi. Penggunaan metode gravitasi bertujuan untuk memodelkan struktur bawah permukaan di wilayah sekitar titik titik manifestasi gas alam di sekitar distrik muara tami secara regional (lebih luas). Berdasarkan peta geologi dari Pusat Studi Geologi, Wilayah Distrik Muara Tami khususnya wilayah Kampung Holtekamp terdiri dari endapan aluvium, gambut, lapisan lanau dan juga terdapat batuan gamping dari formasi Nubai di sebelah selatan dan dari formasi Jayapura serta Nubai di sebelah utara [4]. Dengan demikian terdapat hipotesis bahwa wilayah di mana terdapat semburan gas alam merupakan wilayah cekungan sedimen atau wilayah yang dekat dengan cekungan sedimen yang menjadi lokasi terakumulasinya material organik atau non organik yang menghasilkan gas alam. Mengingat gas alam seperti metana (CH_4) merupakan material yang ringan dengan ukuran partikel sangat kecil sehingga lebih mudah bermigrasi ke lokasi dengan tekanan lebih rendah di dekat permukaan [5]. Beberapa hipotesis tersebut yang membuat perlunya dilakukan pemodelan secara lebih regional dengan metode gravitasi.

Penelitian dengan metode gravitasi ini menggunakan data utama berupa data sekunder gravitasi GGMplus [6] dan data primer hasil pengukuran densitas sampel batuan atau endapan formasi geologi di lapangan, serta beberapa data penunjang. Pemilihan data sekunder gravitasi GGMplus dalam penelitian ini didasarkan dari hasil kajian yang telah dilakukan penulis sebelumnya yang mana data tersebut mampu memberikan nilai anomali dengan akurasi tinggi dan nilai error rendah pada wilayah dengan kondisi kontur topografi yang landai dan litologi yang tidak terlalu kompleks [7]. Selain itu sudah ada penelitian sebelumnya yang juga memanfaatkan data gravitasi untuk interpretasi struktur bawah permukaan berupa cekungan sedimen [8] dan juga penelitian identifikasi potensi hidrokarbon [9] dan sebaran gas alam (gas biogenik) menggunakan data gravitasi [10]. Dengan

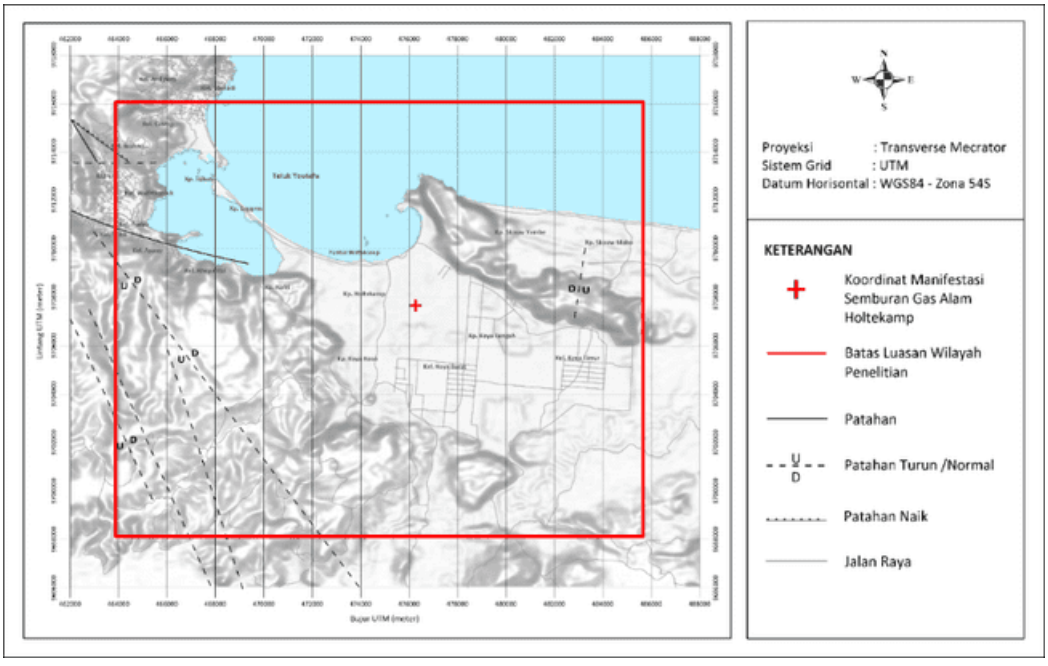
demikian dalam penelitian ini, pemodelan dengan metode gravitasi dilakukan dalam bentuk 3D berupa volum (panjang× lebar× kedalaman) sebagai fungsi densitas bawah permukaan.

Pemodelan 3D merupakan pemodelan dengan ambiguitas rendah karena cukup realistis dalam merepresentasikan ruang spasial 3D dari struktur bawah permukaan yang diteliti [11]. Berkaitan dengan hal tersebut maka tujuan dari penelitian ini antara lain: (1) melakukan pengolahan data gravitasi GGMplus untuk memperoleh anomali gravitasi lokal/residual di wilayah manifestasi gas alam holtekamp untuk melakukan interpretasi secara kualitatif untuk mendeteksi keberadaan cekungan sedimen. (2) melakukan pemodelan 3D struktur bawah permukaan berdasarkan anomali gravitasi lokal/residual untuk melakukan interpretasi secara kuantitatif dalam mengidentifikasi keberadaan cekungan sedimen, bentuk geometri, densitas batuan/lapisan, luasan cekungan, dan kedalaman dari struktur geologi atau cekungan sedimen tersebut. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pemerintah daerah untuk merumuskan regulasi di wilayah Kampung Holtekamp, Distrik Muara Tami sebagai upaya mitigasi kejadian semburan gas alam serta pengelolaan potensi sumber daya gas alam di wilayah tersebut.

METODE PENELITIAN

2.1. Luasan Target Penelitian

Lokasi dari cekungan sedimen target penelitian ini berada di wilayah semburan gas alam Kampung Holtekamp, Distrik Muara Tami, Kota Jayapura, Provinsi Papua. Adapun luas target pemodelan pada penelitian ini adalah ± 396 km^2 (berbentuk luasan persegi panjang) dengan ukuran panjang × lebar = 22 km × 18 km. Luasan target penelitian ini melingkupi lokasi titik semburan gas alam yang dibatasi antara 2.732684°-2.568446°LS dan 140.674434°-140.871278°BT. Peta luasan target penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Luasan Wilayah Target Penelitian dalam sistem koordinat UTM.

2.2. Data dan Sumber Data

Data yang digunakan pada metode gravitasi dalam penelitian ini merupakan data primer dan data sekunder di lokasi penelitian (**Gambar 1**), yang diambil langsung di lapangan maupun diperoleh dari beberapa sumber. Adapun data sekunder yang digunakan adalah data model gravitasi GGMplus yang memilki resolusi sangat tinggi dengan spasi grid antar titik datum mendekati 200 m pada arah Utara-Selatan [6], Data elevasi, data model elevasi digital (DEM) [12], dan data kondisi geologi dari peta geologi [4]. Sedangkan data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data densitas sampel batuan yang diambil pada beberapa titik di lapangan yang mewakili satuan geologi atau formasi batuan di wilayah penelitian.

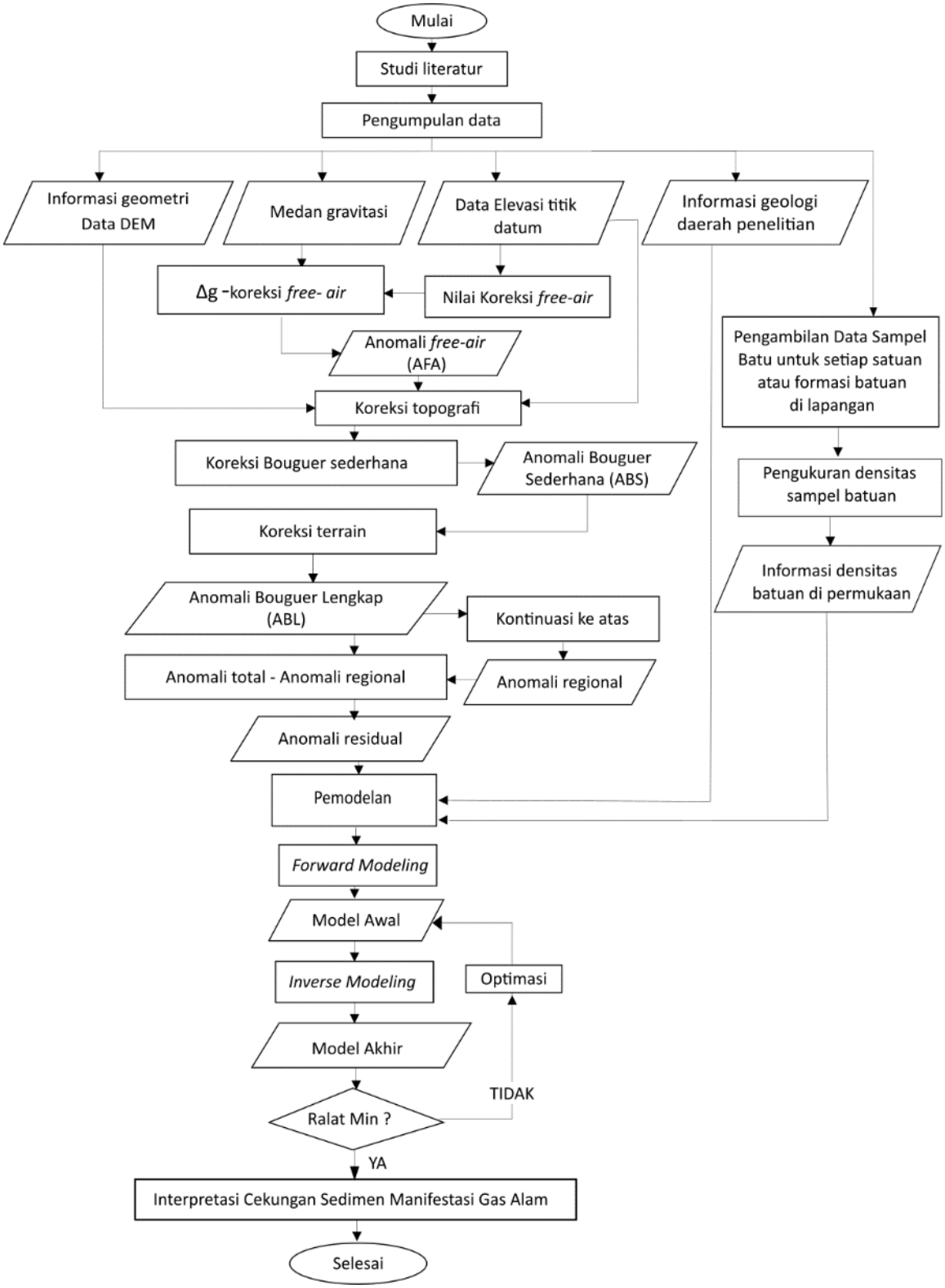
2.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dan pengumpulan data. Pengolahan data medan gravitasi GGMplus pada penelitian ini dimulai dari perhitungan nilai gravitasi normal (γ) untuk setiap titik grid data. Selanjutnya dengan mengurangkan nilai gravitasi observasi (g_{obs}) dengan nilai gravitasi normal maka diperoleh nilai anomali gravitasi di geoid (Δg) [13]. Anomali gravitasi (Δg) kemudian dikoreksi udara bebas sehingga diperoleh anomali udara bebas atau *free-air* (AFA). Anomali udara bebas (AFA) dikoreksi bouguer sederhana sehingga diperoleh anomali bouguer sederhana (ABS). Anomali bouguer sederhana kemudian dikoreksi *terrain* sehingga diperoleh nilai anomali gravitasi Bouguer Lengkap (ABL) [14]. Anomali ABL yang diperoleh kemudian dipisahkan menjadi anomali lokal dan regional. Anomali lokal yang sudah bebas dari koreksi kemudian digunakan dalam analisis derivatif dan pemodelan 3D struktur bawah permukaan [15] .

Dalam penelitian ini pemodelan 3D struktur bawah permukaan dilakukan dengan pemodelan maju (*forward modeling*) menggunakan bantuan *software bloxer 1.6c* untuk membuat model awal 3D (*initial model*) [16] dan pemodelan inversi (*inverse modeling*) menggunakan bantuan *software grablox 1.6b* untuk menghasilkan model akhir 3D (*final model*) [17]. Adapun dalam pemodelan ini dilakukan dengan syarat batas parameter densitas berdasarkan data densitas sampel batuan di lapangan dan informasi penunjang dari peta geologi [18].

Model awal 3D bawah permukan wilayah manifestasi gas alam pada penelitian ini dibuat melalui pemodelan maju dalam bentuk blok mayor yang tersusun dari blok-blok minor dengan nilai densitas tertentu. Adapun ukuran blok mayor: panjang (X) = 22 km; lebar (Y) = 18 km; dan kedalaman (Z) = 3,00 km. Ukuran blok minor antara lain: panjang (x) = 687,5 m; lebar (y) = 562,5 m; dan kedalaman (z) = 300 m. Dengan demikian jumlah semua blok minor yang mengisi volum blok mayor adalah 10.240 blok. Rentang nilai parameter densitas model awal ditentukan berdasarkan informasi geologi dan pengukuran sampel batuan di lapangan.

Proses inversi data anomali gravitasi lokal pada pemodelan inversi dilakukan dengan mencocokkan data anomali gravitasi lokal observasi (anomali lokal/residual GGMplus) dengan data anomali gravitasi lokal/residual hasil kalkulasi (*computed*) model awal 3D. Algoritma yang digunakan adalah algoritma inversi Occam untuk parameter densitas (*Occam density*). Optimasi atau iterasi dilakukan sampai diperoleh model akhir terbaik dengan *error* terkecil. Model akhir 3D kemudian diinterpretasi dengan cara melihat model perlapisan dan model penampang bawah permukaan. Langkah-langkah prosedur dari penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir (*flow chart)* yang ditunjukkan pada **Gambar 2** di bawah ini.

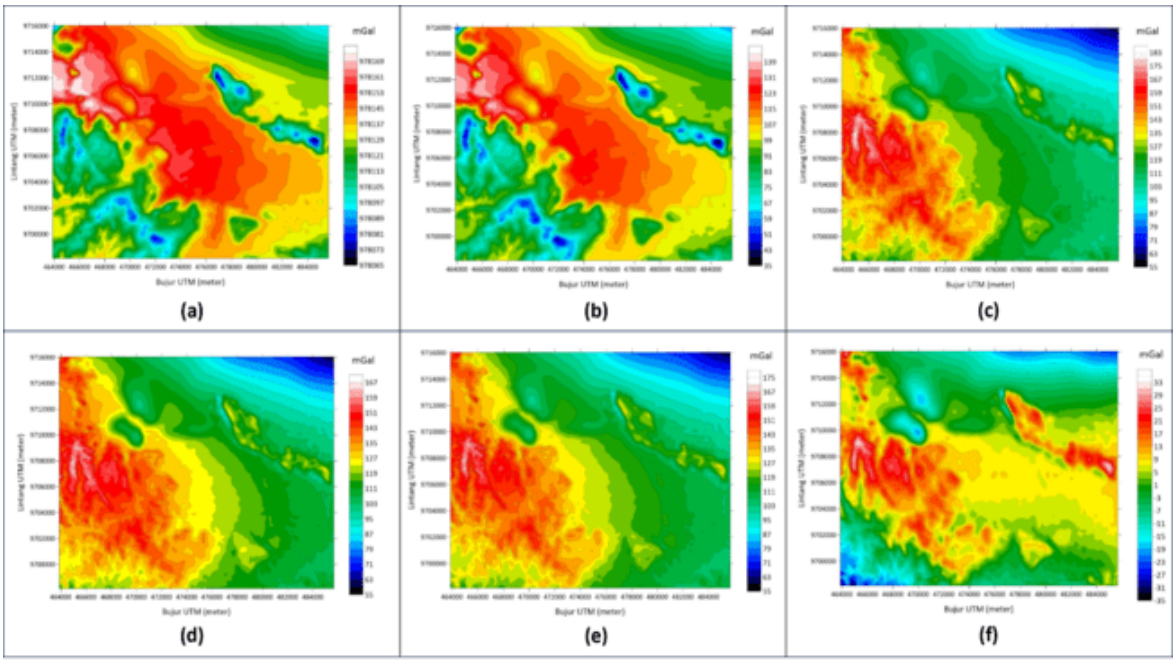


Gambar 2. Diagram alir (*flow chart*) prosedur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dari hasil perhitungan, koreksi, dan penapisan (*filtering*) data medan gravitasi diperoleh beberapa peta kontur yang meliputi peta medan gravitasi GGMplus; peta anomali gravitasi; peta anomali udara bebas (AFA); peta anomali bouguer sederhana (ABS); peta anomali bouguer lengkap (ABL); dan peta anomali regional lokal/residual (**Gambar 4**). Data anomali gravitasi lokal/residual ini kemudian dianalisis derivatif dan digunakan dalam pemodelan tiga dimensi (3D) struktur bawah permukaan lokasi manifestasi gas alam berdasarkan data penunjang berupa data peta geologi dan data densitas sampel batuan di lapangan.

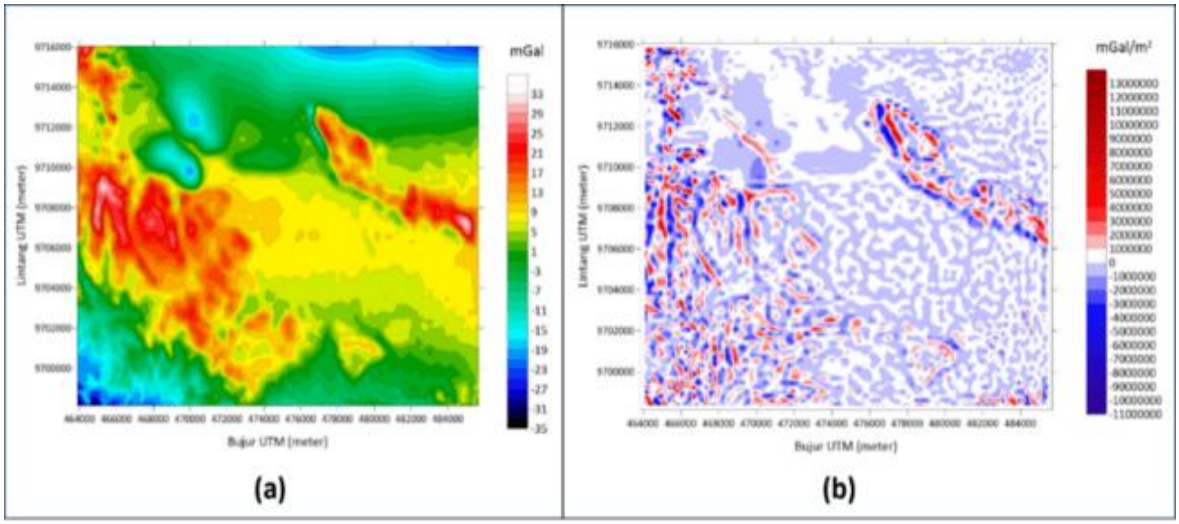
Berdasarkan **Gambar 4 (a)**, nilai anomali gravitasi lokal/residual di daerah penelitian berkisar pada rentang -35 sampai 33 mGal. Peta anomali gravitasi lokal yang diperoleh kemudian dianalisis derivatif vertikal orde kedua (SVD) guna mempertajam kontras anomali melalui analisis gradien anomali gravitasi secara vertikal. Perbandingan Peta kontur anomali lokal/residual dengan Peta kontur SVD (*Second Vertical Derivatif*) dapat dilihat pada **Gambar 4 (b)**. Peta kontur anomali lokal/residual kemudian diinterpretasi secara kualitatif melalui *overlay* terhadap peta geologi daerah penelitian (**Gambar 5**). Interpretasi awal keberadaan cekungan sedimen didasarkan pada pola kontur anomali rendah dan pola kontur SVD yang bernilai rendah.



Gambar 3. (a) Gravitasi Observasi; (b) Anomali Gravitasi; (c) Anomali Udara Bebas; (d) Anomali Bouguer Sederhana; (e) Anomali Bouguer Lengkap; (f) Anomali Lokal/Residual.

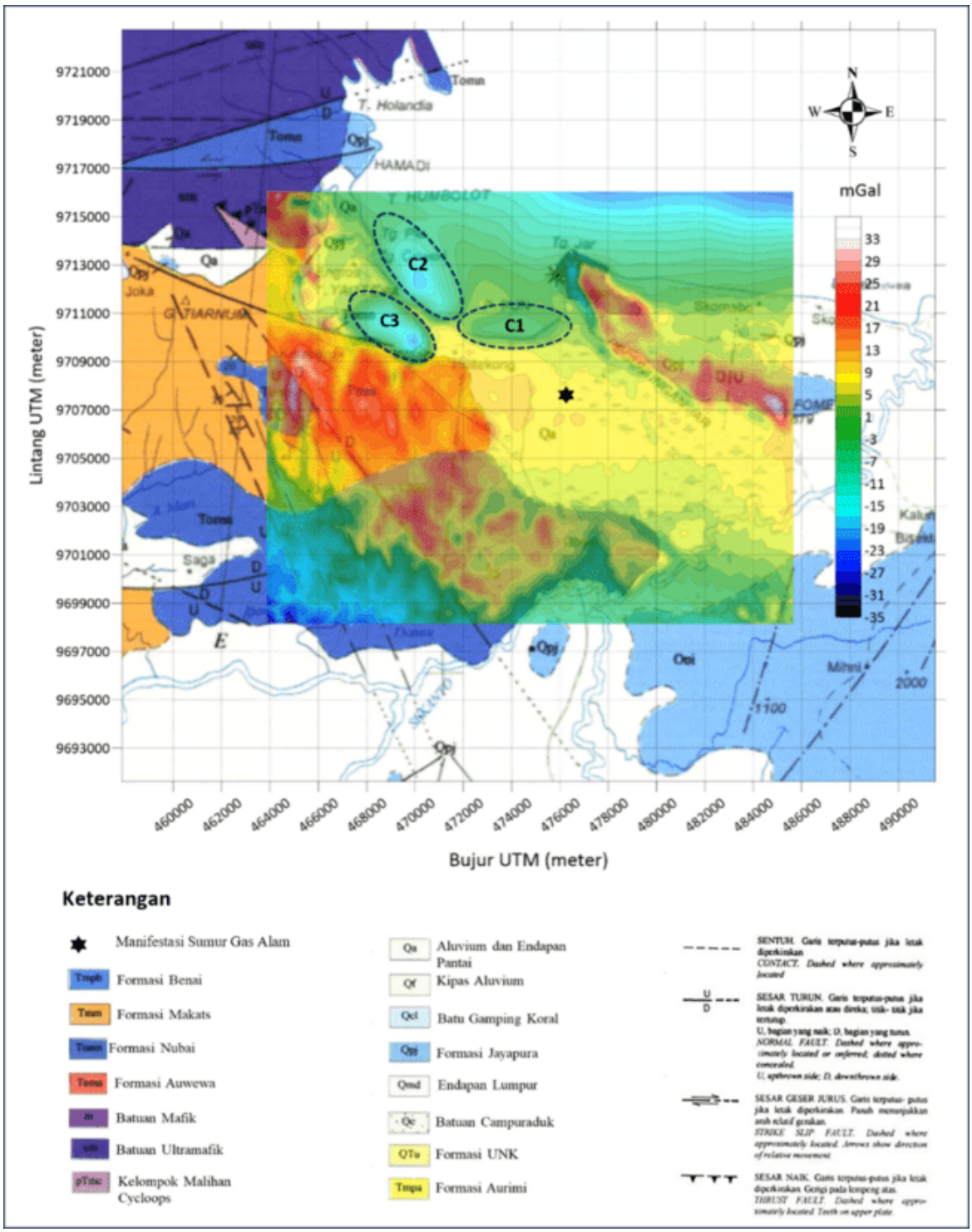
Berdasarkan **Gambar 4 (a)**, nilai anomali gravitasi lokal/residual di daerah penelitian berkisar pada rentang -35 sampai 33 mGal. Peta anomali gravitasi lokal yang diperoleh kemudian dianalisis derivatif vertikal orde kedua (SVD) guna

mempertajam kontras anomali melalui analisis gradien anomali gravitasi secara vertikal. Perbandingan Peta kontur anomali lokal/residual dengan Peta kontur SVD (*Second Vertical Derivatif*) dapat dilihat pada **Gambar 4 (b)**. Peta kontur anomali lokal/residual kemudian diinterpretasi secara kualitatif melalui *overlay* terhadap peta geologi daerah penelitian (**Gambar 5**). Interpretasi awal keberadaan cekungan sedimen didasarkan pada pola kontur anomali rendah dan pola kontur SVD yang bernilai rendah.



Gambar 4. (a) Perbandingan peta kontur anomali lokal/residual terhadap; (b).peta kontur SVD hasil analisis derivatif vertikal orde kedua anomali lokal/residual

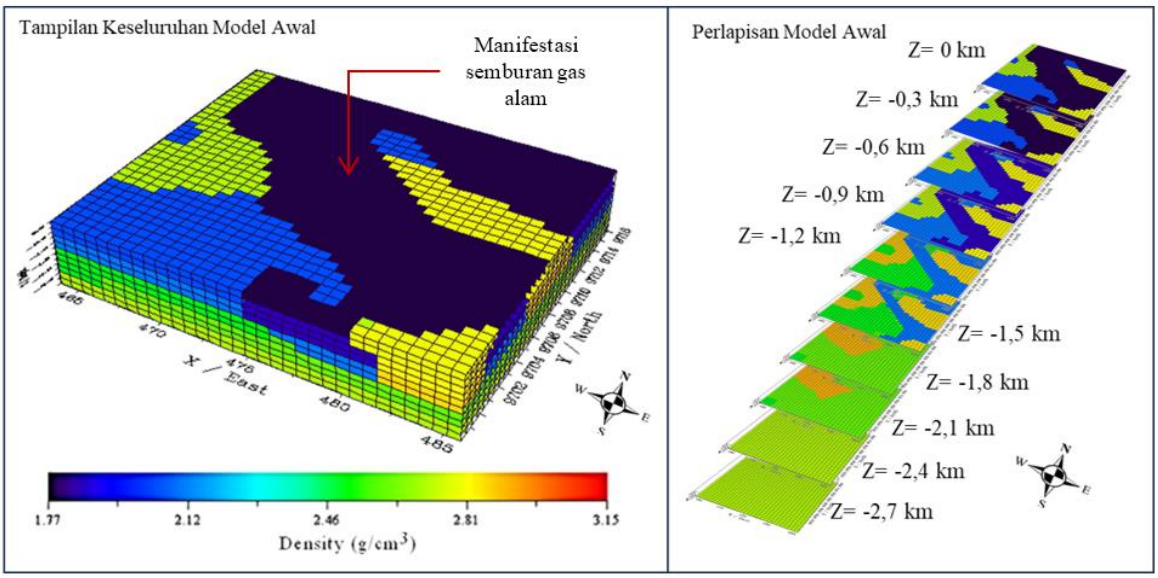
Dari hasil interpretasi awal **Gambar 5**, diperoleh adanya 3 klosur anomali gravitasi rendah yang diinterpretasi sebagai cekungan sedimen di wilayah pesisir dan laut dangkal. Adapun cekungan pertama (C1) berada di sebelah utara pesisir Pantai Holtekamp; cekungan kedua (C2) berada di Teluk Youtefa sebelah timurlaut pesisir pantai di Jalan Tobati-Holtekamp (jembatan merah); dan cekungan ketiga (C3) berada di wilayah Teluk youtefa. Indikasi cekungan sedimen dari nilai kontras anomali gravitasi rendah ini (**Gambar 5**) juga dikonfirmasi dengan hasil analisis derivatif vertikal orde kedua (SVD) anomali gravitasi yang menunjukkan zona nilai SVD negatif yang relatif luas sehingga mengindikasi keberadaan sedimen berdensitas rendah yang seragam dan cukup dalam pada ketiga cekungan tersebut (C1, C2, dan C3). Dari peta kontur anomali gravitasi lokal/residual (**Gambar 5**) terlihat bahwa anomali gravitasi tinggi (13-33 mGal) mendominasi wilayah formasi geologi yang banyak didominasi oleh batuan gamping seperti Formasi Jayapura (Qpj), Formasi Nubai (Tomn), dan Formasi Makats (Tmm). Adapun untuk wilayah Formasi Aluvium dan Endapan Pantai (Qa) memliki anomali gravitasi sedang (1-9 mGal). Lebih lanjut guna memperoleh interpretasi kuantitatif yang jauh lebih lengkap, data anomali gravitasi lokal/residual akan diproses dalam tahap pemodelan 3D struktur bawah permukaan. Pemodelan 3D dilakukan untuk memperolah kondisi perlapisan, struktur geologi, dan kemungkinan adanya cekungan lainnya terutama di bawah permukaan lokasi terdapatnya manifestasi semburan gas alam.



Gambar 5. *Overlay* peta kontur anomali gravitasi lokal/residual terhadap peta geologi daerah penelitian.

Pada pemodelan densitas 3D struktur bawah permukaan bedasarkan data anomali gravitasi lokal/residual dilakukan pengumpulan data-data pendukung yang dijadikan acuan dalam membuat model awal 3D. Adapun data pendukung pertama adalah data informasi geologi dari Peta Geologi Lembar Cycloops/Jayapura [4]. Kemudian

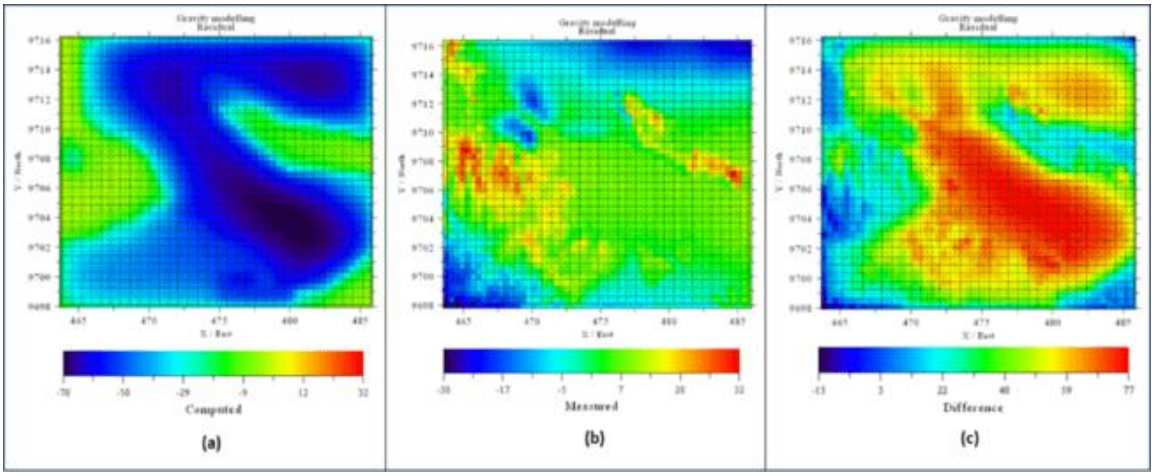
data densitas sampel formasi Aluvial dan Endapan Pantai (Qa); Formasi Jayapura (Qpj); Formasi Makats (Tmm) dan Formasi Nubai (Tomn) yang masuk dalam lokasi penelitian. Adapun data penunjang yang ketiga adalah Peta Kontur SVD (**Gambar 5**) yang menunjukkan delineasi batas kontak densitas yang mengindikasi keberadaan patahan naik/turun atau batas litologi batuan. Dari hasil pengukuran, nilai rata-rata densitas batuan Formasi Aluvial dan endapan pantai (Qa) adalah sebesar 1,77 gram/cm^3; Formasi Nubai (Tomn) sebear 2,04 gram/cm^3; Formasi Jayapura (Qpj) sebesar 2,78 gram/cm^3; Gamping Nubai (Tomn) sebesar 2,14 gram/cm^3; dan Formasi Makats (Tmm) sebesar 2,62 gram/cm^3. Sedangkan nilai minum dan maksimum densitas sampel batuan di lapagan berdasarkan hasil pengukuran adalah 1,77 gram/cm^3 sampai dengan 3,15 gram/cm^3. Data-data penunjang di atas digunakan sebagai parameter dan syarat batas dalam membangun model awal 3D (*intial model*) melalui proses *forward modeling* dengan menyusun elemen massa dari blok-blok minor di dalam blok mayor yang merepresentasikan volume bawah permukaan daerah penelitian (**Gambar 6**).



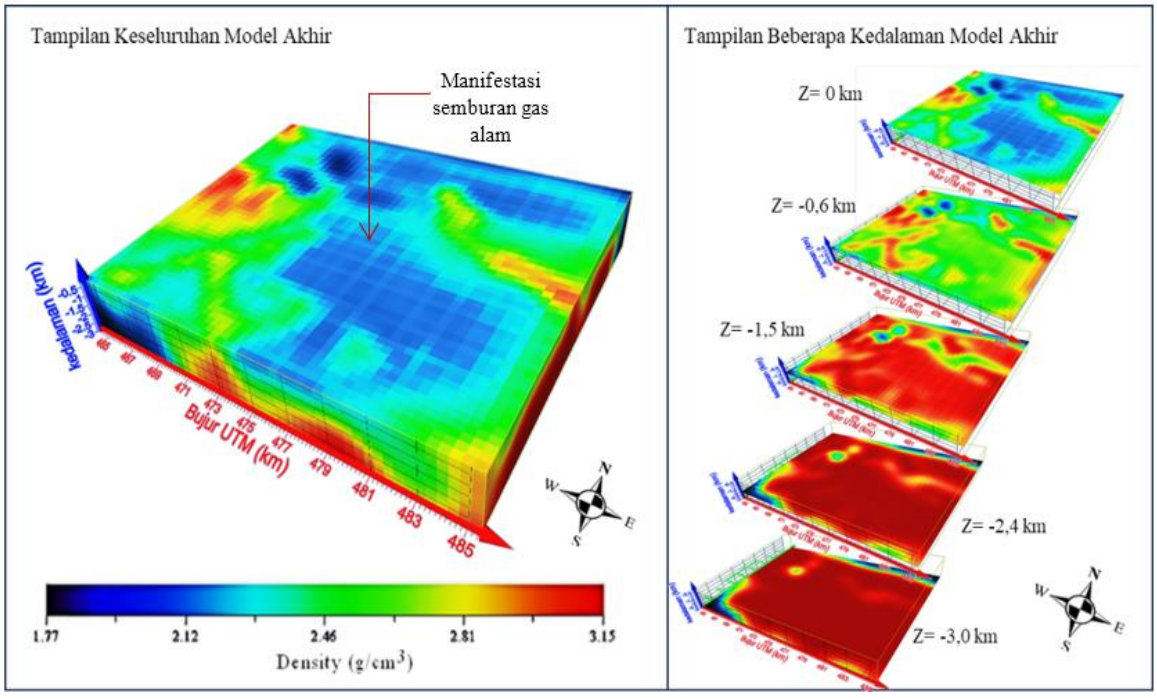
Gambar 6. Model densitas awal 3D struktur bawah permukaan wilayah Holtekamp yang dibangun melalui *forward* modeling berdasarkan informasi geologi, peta kontur, dan data densitas sampel batuan.

Model awal 3D yang dihasilkan melalui pemodelan maju dapat dilihat pada **Gambar 6**. Adapun rentang nilai parameter densitas model awal 3D adalah 1,77 - 3,15 gram/cm^3. Model awal dibuat sesuai dengan bentuk sebaran formasi batuan dan stratigrafi batuan dari peta geologi [4]. Perbandingan peta anomali gravitasi lokal/residual hasil kalkulasi (*computed*) model densitas awal 3D struktur bawah permukaan terhadap peta anomali gravitasi lokal/residual hasil observasi GGMplus (*measured*) dan perbedaan atau selisih nilai keduanya (*difference*) dapat dilihat pada **Gambar 7**. Dari hasil kalkulasi model awal 3D, diperoleh *misfit* atau *error* data (RMS data) sebesar 0,7903 atau 79,03%. Dari **Gambar 7** terlihat peta kontur hasil kalkulasi model awal (7.a) mempunyai pola kontur umum yang medekati pola kontur data observasi (7.b). Berdasarkan hal tersebut maka model awal 3D yang telah dibuat layak digunakan sebagai input dalam proses pemodelan

inversi 3D struktur bawah permukaan dari data anomali gravitasi [19].



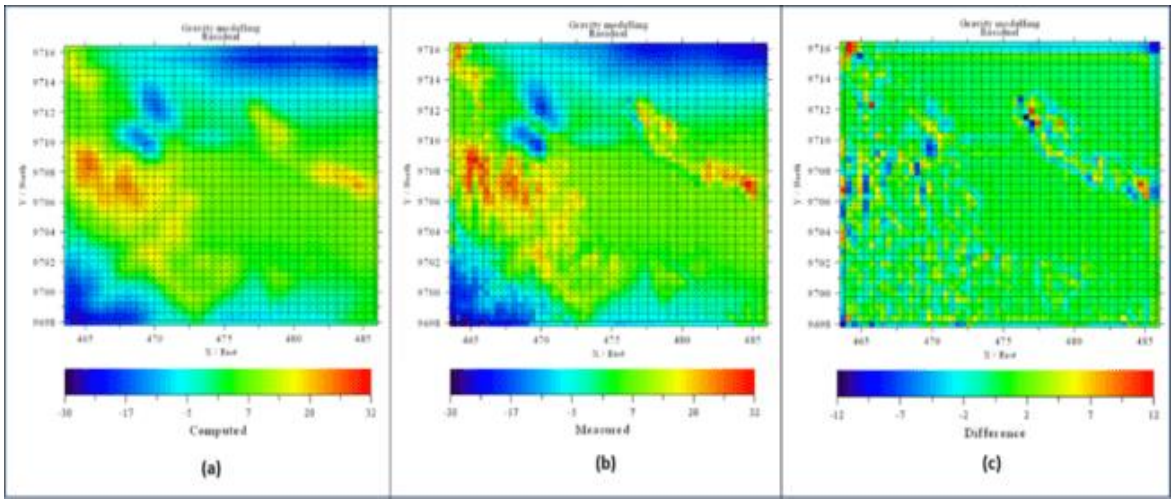
Gambar 7. (a) Anomali gravitasi lokal/residual hasil kalkulasi (*computed*) model densitas awal 3D; (b) Anomali gravitasi lokal/residual hasil observasi (*measured*); dan (c) Perbedaan nilai antara anomali lokal/residual hasil kalkulasi (*computed*) model awal 3D terhadap anomali lokal/residual hasil observasi (*measured*); skala nilai dalam mGal.



Gambar 8. Model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan wilayah Holtekamp yang diperoleh dari hasil inverse modeling model awal terhadap data anomali gravitasi lokal/residual.

Interpretasi Pemodelan inversi model awal 3D struktur bawah permukaan dilakukan melalui optimasi parameter densitas dengan menggunakan algoritma

occam density. Adapun proses optimasi dengan inversi *occam density* dilakukan sebanyak 20 kali iterasi atau pengulangan. Dari hasil 20 iterasi tersebut menghasilkan model akhir densitas 3D dengan *misfit* atau *error* data (RMS data) sebesar 0,0335 atau 3,35%. Adapun model akhir 3D struktur bawah permukaan sebagai fungsi densitas hasil pemodelan dapat dilihat pada **Gambar 8**. Sedangkan perbandingan data anomali gravitasi lokal/residual hasil kalkulasi model akhir (*computed*) terhadap data anomali gravitasi lokal/residual hasil observasi (*measured*) dan perbedaan atau selisih nilai keduanya (*difference*) dapat dilihat pada **Gambar 9**. Berdasarkan perbandingan peta kontur anomali gravitasi pada **Gambar 9**, terlihat bahwa anomali gravitasi hasil kalkulasi (*computed*) model akhir memiliki kecocokan pola kontur yang tinggi dengan anomali gravitasi hasil observasi (*measured*). Kecocokan ini juga dibuktikan dengan nilai ketidakcocokan terhadap data (*misfit data*) yang kecil yaitu sebesar 3,35%. Dari hasil yang diperoleh tersebut maka model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan hasil pemodelan inversi mampu mewakili kondisi bawah permukaan sebenarnya di daerah penelitian. Model akhir 3D ini selanjutnya diinterpretasi untuk memperoleh informasi densitas, bentuk geometri, luasan, dan kedalaman cekungan sedimen serta struktur bawah permukaan seperti patahan di lokasi penelitian.



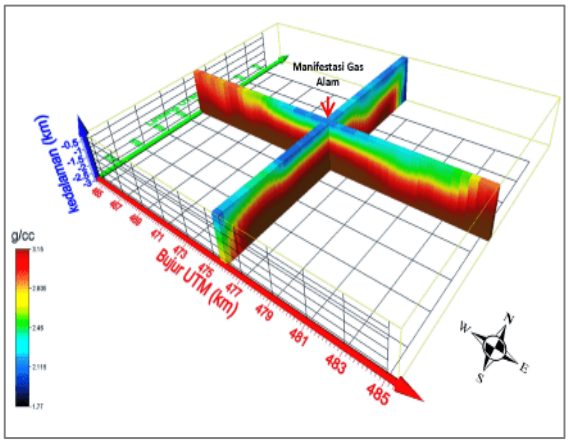
Gambar 9. (a) Anomali gravitasi lokal/residual hasil kalkulasi *(computed)* model akhir densitas 3D; (b) Anomali gravitasi lokal/residual hasil observasi *(measured);* dan (c) Perbedaan nilai antara anomali lokal/residual hasil kalkulasi *(computed)* model akhir densitas 3D terhadap anomali lokal/residual hasil observasi *(measured);* skala nilai dalam mGal.

Berdasarkan tampilan keseluruhan model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan (**Gambar 8**) terlihat bahwa selain wilayah densitas rendah pada 3 cekungan sedimen (C1, C2, dan C3) di area laut, terdapat juga luasan dengan densitas rendah (1,77-2,12 g/cm^3) di wilayah darat di mana lokasi manifestasi sumur gas alam Holtekamp berada. Berdasarkan peta geologi, wilayah berdensitas rendah ini didominasi oleh sedimen aluvial dan endapan pantai serta banyak terdapat rawa-rawa. wilayah densitas rendah ini diinterpretasikan sebagai cekungan sedimen keempat (C4). Cekungan sedimen ke empat ini mencakup beberapa wilayah administrasi di Distrik Muara Tami yang mencakup Kampung Holtekamp, Kelurahan Koya Barat, dan Kelurahan Koya Timur. Selain itu dari model akhir densitas 3D (kedalaman 0 meter) diperoleh wilayah dengan densitas tinggi dengan rentang nilai 2,40-2,90 g/cm^3

yang merupakan formasi batuan gamping dan formasi batuan induk di permukaan. Adapun berdasarkan model yang diperoleh densitas batuan gamping di Formasi Jayapura (Qpj) memiliki rentang nilai 2,40-2,85 g/cm^3; densitas batuan gamping di Formasi Nubai (Tomn) memiliki rentang nilai 2,40-2,75 g/cm^3; dan densitas batuan induk Formasi Makats (Tmm) memiliki rentang nilai densitas 2,40-2,90 g/cm^3.

Dari perlapisan beberapa kedalaman pada model akhir 3D struktur bawah permukaan (**Gambar 8**), terlihat bahwa semakin bertambahnya kedalaman semakin didominasi oleh lapisan batuan berdensitas tinggi. Berkaitan dengan hal tersebut, untuk melihat distribusi luasan batuan dan distribusi luasan masing-masing cekungan sedimen dan maka dilakukan interpretasi perlapisan pada model akhir 3D. Berdasarkan **Gambar 8** terlihat bahwa pada kedalaman 0,6 km didominasi oleh distribusi batuan berdensitas sekitar 2,40 g/cm^3 yang menunjukkan bahwa pada kedalaman ini didominasi oleh luasan batuan alas dari cekungan sedimen yang diinterpretasi sebagai batuan gamping (Fomasi Jayapura (Qpj) dan Formasi Nubai (Tomn)). Pada kedalaman 1,5 km didominasi oleh distribusi luasan batuan berdensitas 2,85 g/cm^3 yang diinterpretasi sebagai batuan gamping (Formasi Nubai (Tomn)) dan batuan induk (Formasi Makats (Tmm)). Sedangkan pada kedalaman 2,40-3,00 km sudah didominasi oleh batuan berdensitas 2,90-3,15 g/cm^3 yang diinterpretasi sebagai Formasi Makats (Tmm) karena merupakan batuan induk (*basement*) dari lempeng samudera.

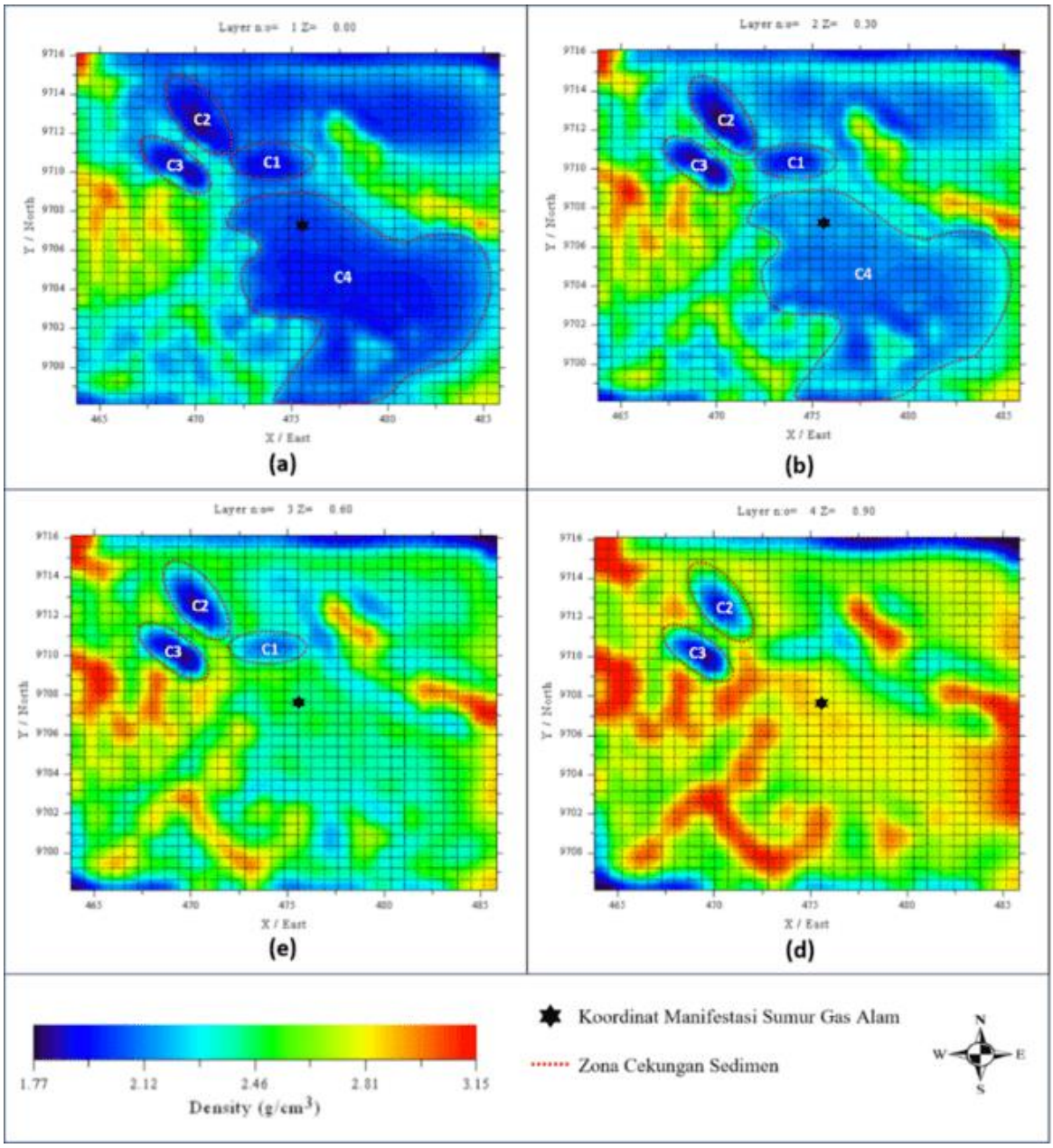
Interpretasi model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan selanjutnya adalah dengan melihat penampang bawah permukaan pada arah melintang (Selatan-Utara) dan membujur (Barat-Timur). Pada interpretasi model penampang bawah permukaan yang pertama adalah dengan mengambil penampang bawah permukaan pada arah melintang dan membujur yang melalui koordinat posisi manifestasi semburan gas alam (**Gambar 10**). Berdasarkan **Gambar 10**, terlihat posisi manifestasi gas alam berada pada lapisan sedimen dengan densitas rendah di cekungan sedimen 4 (C4). Selanjutnya dari penampang membujur (Barat-Timur) terlihat pola cekungan sedimen 4 (4) membentuk seperti mangkuk yang dibatasi oleh Formasi Makats (Tmm) di sebelah barat dan Formasi Jayapura (Qpj) disebelah timur. Adapun pada arah membujur ini terlihat bahwa semakin ke arah timur dari posisi manifestasi gas alam, pola cekungan semakin dalam tetapi densitas sedimennya semakin tinggi. Sedangkan berdasarkan penampang melintang (Selatan-Utara) terlihat bahwa cekungan sedimen 4 (C4) dibatasi oleh Formasi Nubai (Tomn) di sebelah Selatan dan bersambung dengan cekungan 1 (C1) di sebalah Utara.



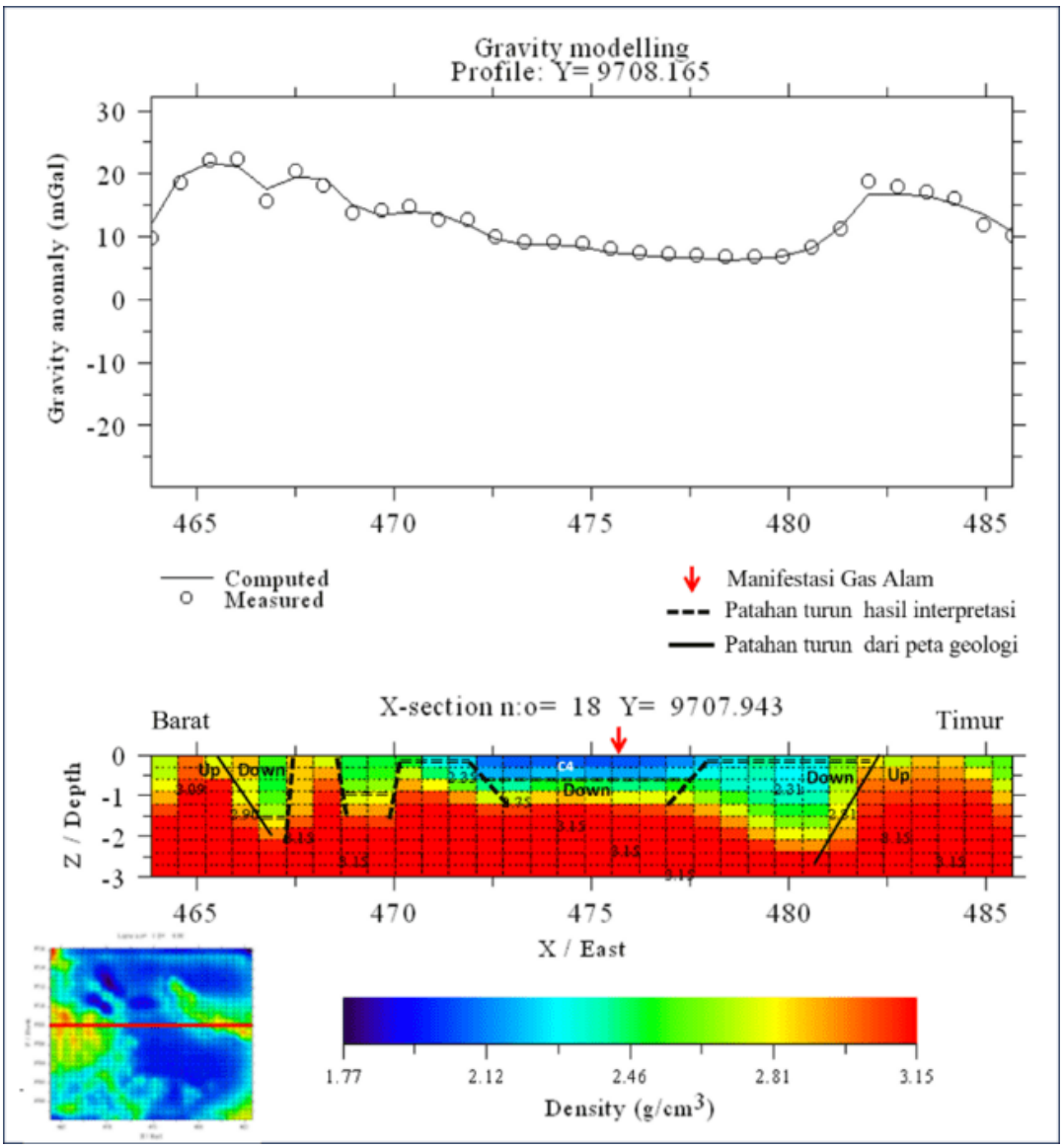
Gambar 10. Model penampang melintang pada X= 476,268 km dan penampang membujur pada Y= 9707,653 km dari model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan.

Selanjutnya dilakukan interpretasi luasan dan kedalaman masing-masing cekungan berdasarkan **Gambar 11** pada kedalaman 0 km, 0,3 km, 0,6 km, dan 0,9 km. Dari hasil estimasi perhitungan luasan masing-masing cekungan sedimen diperoleh bahwa cekungan sedimen 1 (C1) memiliki luas 5.580.130 m^2; cekungan sedimen 2 (C2)

memiliki luas 8.215.210 m^2; cekungan sedimen 3 (C3) memiliki luas 5.937.490 m^2; dan cekungan sedimen 4 (C4) memiliki luas 91.789.800 m^2. Adapun dari **Gambar 8** dan **Gambar 11** terlihat bahwa cekungan sedimen dari yang paling dangkal sampai dengan yang paling dalam berturut-turut adalah cekungan sedimen 4 (C4); cekungan sedimen 1 (C1); cekungan sedimen 2 (C2); dan cekungan sedimen 3 (C3).



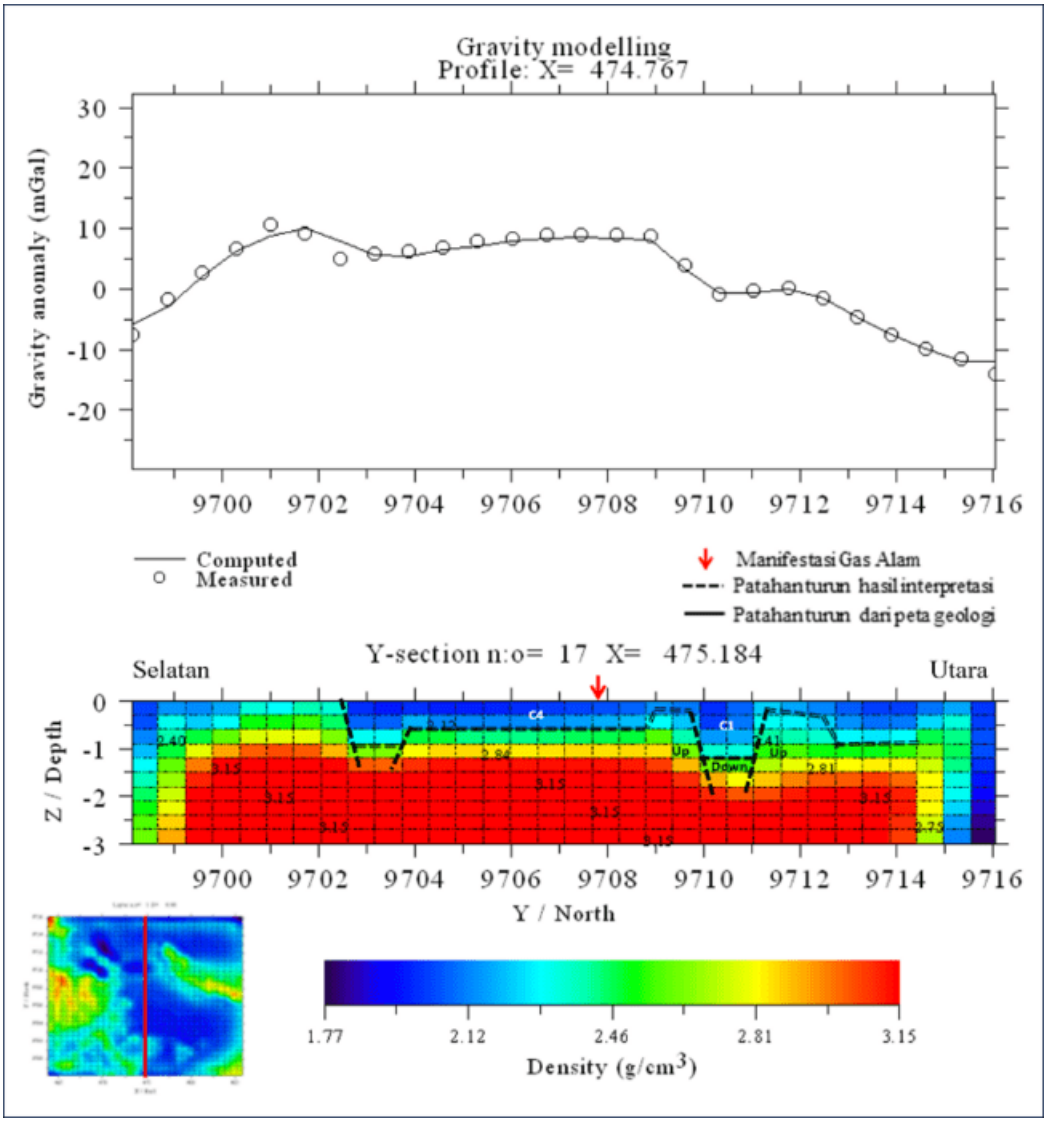
Gambar 11. Interpretasi zona cekungan sedimen berdasarkan perlapisan model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan untuk model perlapisan di permukaan (a); model perlapisan kedalaman 0,3 km (b); model perlapisan kedalaman 0,6 km (c); dan model perlapisan kedalaman 0,9 km (d).



Gambar 12. Interpretasi model penampang membujur pada Y= 9707,943 km dari model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan.

Penampang bawah permukaan pada arah membujur dan melintang dari model akhir densitas 3D (**Gambar 10**) kemudian diinterpretasi secara lebih detail berdasarkan distribusi nilai densitas dan bentuk geometri blok-blok minor yang menyusun blok mayor dari model yang ditampilkan menggunakan *software* Grablox. Adapun hal ini dilakukan guna mengidentifikasi struktrur patahan dan perlapisan bawah permukaan khusunya untuk mengetahui kedalaman masing-masing cekungan sedimen. Model penampang pertama yang diinterpretasi adalah penampang membujur pada Y= 9707,943 km (**Gambar 12**). Berdasarkan **Gambar 12** terdapat beberapa struktur patahan yang teridentifikasi dari penampang model akhir tersebut. Dari 7 patahan normal yang teridentifikasi ini 2 di antaranya (patahan paling Barat dan Paling Timur) merupakan patahan turun atau patahan normal yang terkonfirmasi ada dan posisinya sama padaa Peta Geologi Lembar Jayapura [4]. Adapun dari model penampang

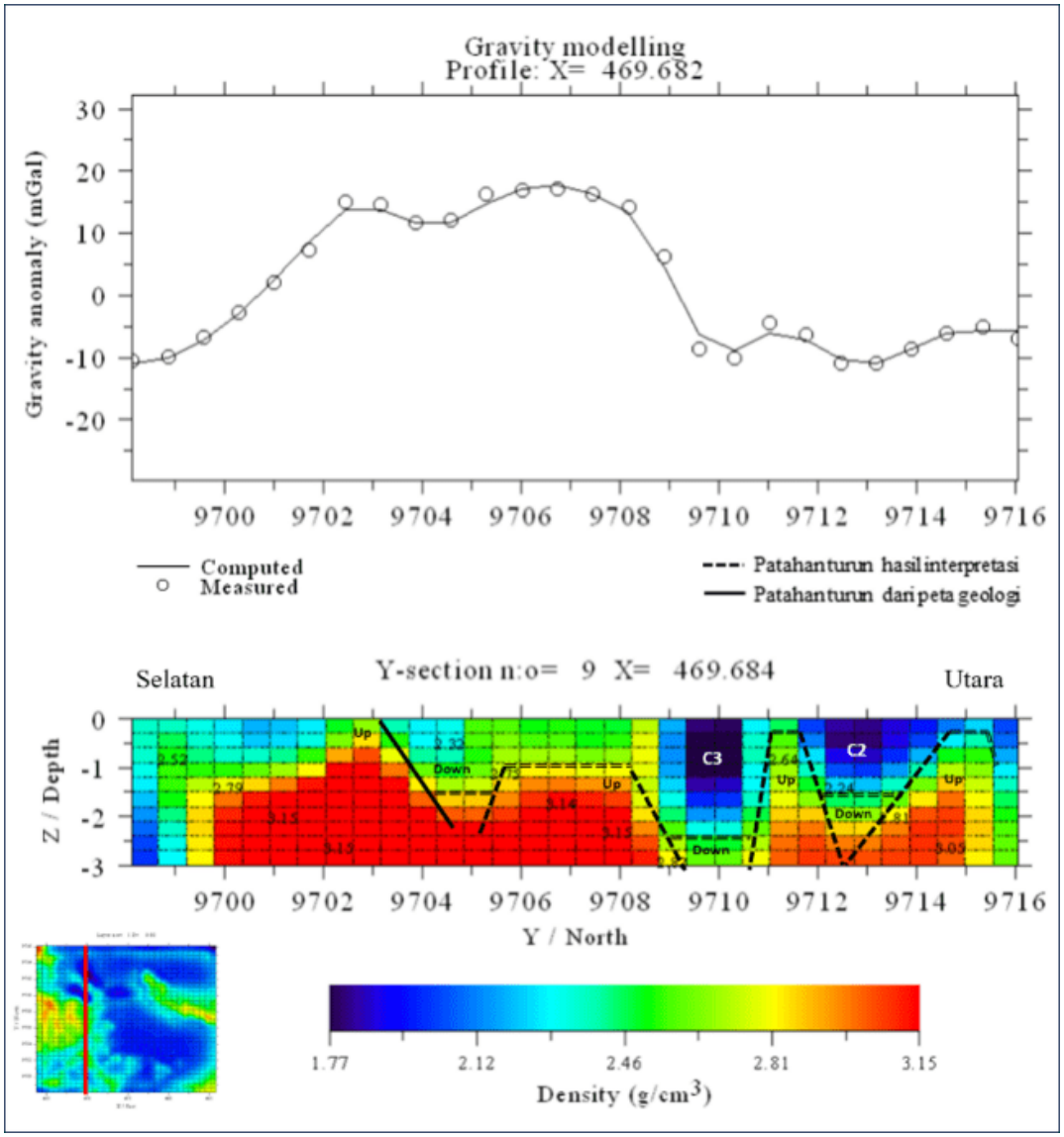
membujur ini terlihat bahwa cekungan sedimen 4 (C4) berada di antara 2 patahan turun yang membentuk pola graben. Berdasarkan **Gambar 12** tersebut diketahui bahwa kedalaman cekungan sedimen 4 adalah sekitar 500 meter. Pada pola struktur graben ini, cekungan sedimen 4 berada di atas *hangging wall* atau bagian blok batuan dasar yang turun sejauh 500 meter. Wilayah *hanging wall* yang turun inilah yang menyebabkan material berdensitas rendah seperti endapan pasir, kerikil, lanau, lumpur, pecahan gamping, gambut, material organik laut dangkal dan daerah rawa dapat terakumulasi serta kemudian mengendap di lokasi yang rendah tersebut.



Gambar 13. Interpretasi penampang melintang pada X= 475,184 km dari model model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan.

Model penampang bawah permukaan kedua dari yang diinterpretasi berdasarkan visualisasi model akhir densitas 3D di *software* Grablox adalah penampang melintang pada X= 475,184 km yang memotong cekungan 1 dan cekungan 4 (**Gambar 13**). Berdasarkan interpretasi penampang tersebut, terdapat 4 patahan yang teridentifikasi. Empat patahan tersebut merupakan patahan turun. Adapun dari

model penampang melintang ini terlihat bahwa cekungan sedimen 4 (C4) terhubung dengan cekungan sedimen 1 (C1) oleh lapisan sedimen dekat permukaan. Oleh karena lapisan sedimen yang ada di atas kedalamaan kurang dari 300 meter ini menghubungkan perlapisan sedimen cekungan 1 (C1) dan cekungan 4 (C4) sehingga ada potensi untuk terjadinya intrusi air laut atau migrasi fluida seperti gas metana pada kedua cekungan tersebut [5]. Dari **Gambar 13** diketahui bahwa cekungan sedimen 1 (C1) terbentuk karena struktur patahan yang membentuk pola graben sehingga bagian blok *hanging wall* yang turun melebihi kedalaman batuan dasar cekungan 4 menghasilkan cekungan sedimen lain yang lebih dalam. Berdasarkan interpretasi penampang bawah permukaan ini, kedalaman cekungan sedimen 1 sekitar 1200 meter. Karena posisi cekungan sedimen 1 ini ada di laut dekat dengan pesisir maka dapat terisi oleh material berdensitas rendah seperti endapan pantai atau laut dangkal baik yang berjenis material organik maupun non-organik.



Gambar 14. Interpretasi model penampang melintang pada X= 469,684 km dari model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan.

Model penampang bawah permukaan ketiga dari yang diinterpretasi berdasarkan visualisasi model akhir densitas 3D di *software* Grablox adalah penampang melintang yang memotong cekungan sedimen 2 (C3) dan cekungan sedimen 3 (C3) pada X= 469,684 km (**Gambar 14**). Berdasarkan interpretasi penampang tersebut, terdapat 7 patahan turun yang teridentifikasi. Salah satu patahan turun merupakan patahan yang terkonfirmasi ada dan posisinya sama dengan yang ada di Peta Geologi Lembar Jayapura. Dari model penampang melintang ini terlihat bahwa cekungan sedimen 2 (C2) dan cekungan sedimen 3 (C3) terbentuk dari patahan turun yang membentuk pola *graben* serta dipisahkan oleh pola *horse* yang terbentuk di antara kedua cekungan tersebut. Pola *horse* tersebut diendapi oleh Formasi Aluvial dan endapan pantai (Qa) dan tersingkap ke permukaan sebagai daratan sempit memanjang yang menghubungkan daerah Tobati dengan Holtekamp. Selanjutnya berdasarkan penampang bawah permukaan ini (**Gambar 14**) diketahui bahwa kedalaman cekungan sedimen 2 (C2) ini sekitar 1500 meter sedangkan kedalaman cekungan sedimen 3 (C3) sekitar 2500 meter. Karena kedua cekungan sedimen ini posisinya ada di teluk dan laut dangkal dekat pesisir maka dapat terisi juga oleh endapan material berdensitas rendah seperti endapan pantai (laut dangkal) baik yang berjenis material organik maupun non-organik.

Berdasarkan hasil yang diperoleh ada kemungkinan lain bahwa gas alam yang ditemukan pada sumur gas di cekungan sedimen 4 merupakan gas yang terbentuk dari bawah cekungan sedimen 4 itu sendiri. Mengingat berdasarkan model densitas 3D, cekungan sedimen 4 merupakan cekungan dangkal dengan estimasi kedalaman 500 meter yang mana menurut beberapa penelitian gas biogenik atau gas rawa yang biasanya terbentuk pada lingkungan cekungan sedimen anaerobik yang belum matang dengan kedalaman kurang dari 1000 m [20]. Hal ini juga didukung dengan hasil interpretasi model dimana batuan alas cekungan 4 merupakan batuan gamping dari Formasi Nubai (Tomn) dan Formasi Makats (Tmm) yang banyak mengandung fosil material organik [21]. Berkaitan dengan hal tersebut untuk memastikan asal migrasi gas yang muncul pada wilayah manifestasi semburan gas alam Holtekamp, maka perlu dilakukan penelitian geofisika lanjutan pada luasan wilayah cekungan sedimen yang berhasil teridentifikasi pada penelitian ini. Survei geofisika seperti metode geolistrik, elektromagnetik, dan seismik dapat dijadikan digunakan untuk memperoleh informasi yang lebih spesifik tentang kondisi bawah permukaan wilayah cekungan sedimen tersebut.

KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan, koreksi, penapisan, analisis derivatif, dan pemodelan 3D berdasarkan anomali gravitasi, diperoleh model akhir densitas 3D struktur bawah permukaan wilayah Holtekamp dan sekitarnya yang memiliki kecocokan yang tinggi dengan data (RMS data = 3,30%) dan mampu menunjukkan hasil interpretasi cekungan sedimen dan struktur patahan yang bersesuaian dengan informasi geologi. Berdasarkan pemodelan 3D dengan metode gravitasi, diperoleh hasil bahwa secara regional wilayah manifestasi gas alam Kampung Holtekamp berada pada cekungan sedimen pantai dan rawa dengan kedalaman 500 meter dan nilai densitas 1,80-2,12 g/cm^3. Selain itu dari hasil pemodelan 3D juga teridentifikasi 1 cekungan sedimen lain dengan kedalaman 1200 meter pada wilayah

laut dangkal di pesisir pantai Holtekamp dan 2 cekungan sedimen lain dengan kedalaman 1500 meter dan 2500 meter di Teluk Youtefa.

DAFTAR PUSTAKA

[1] V. F. Adriawan, A.M., Hartanto, R.R., Jayadi, A., Novizar, A., Yudhiastuti, W., Ali, A., Alsa, S., Gofar, Patik, D. A., Fiddin, Saputra, M.Y., Imron, M., Granittia, A., Bakhri, Ratri, L.L., Sudharma, T., Andriyati, S., Pratama, D.O., Silalahi, E.R., Magribi, H., *Statistik Minyak dan Gas Bumi 2022*. Jakarta: Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementrian ESDM, 2022.

[2] S. Sembiring, R. L. Panjaitan, and A. Altway, "Pemanfaatan Gas Alam sebagai LPG (Liquified Petroleum Gas)," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, 2021.

[3] Ceposonline, "Gegerkan Warga, Semburan Gas Muncul dari Sumur Air di Kampung Holtekamp Jayapura," Jayapura, Feb. 10, 2023.

[4] N. Suwarna and Y. Noya, "Peta Lembar Geologi Jayapura," 1995.

[5] H. Liu, L. Zhan, and H. Lu, "Mechanisms for upward migration of methane in marine sediments," *Mar. Sci.*, vol. 9, no. December, pp. 1–20, 2022, doi: 10.3389/fmars.2022.1031096.

[6] C. Hirt, S. Claessens, T. Fecher, M. Kuhn, R. Pail, and M. Rexer, "New ultra-high resolution picture of Earth ' s gravity field," no. Section 2, 2013, doi: 10.1002/grl.50838.New.

[7] B. Sudrajad, "Analisis Deskriptif Perbandingan Data Sekunder Gravitasi GGMplus Terhadap Data Gravitasi Lapangan Panas Bumi Gunung Lawu dan Data Gravitasi Stasiun Referensi (gravity base station) di Pulau Papua," *J. Fis. Papua*, vol. 2, no. 1, pp. 25–34, 2023, doi: https://doi.org/10.31957/jfp.v2i1.22.

[8] N. T. Handayani, "Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Cekungan Serayu Selatan Bagian Timur Menggunakan Analisis Data Gravitasi GGMplus," Universitas Gadjah Mada, 2018.

[9] I. K. Dewi, F. Puspitasari, M. Z. Nasri, and A. Martha, "Pemodelan 3D Data Gravity untuk Identifikasi Struktur Pembetukan Cekungan Hidrokarbon Wilayah Bajubang Provinsi Jambi," *J. Geofis. Eksplor.*, vol. 06, no. 03, pp. 216–227, 2020, doi: https://doi.org/10.23960/jge.v6i3.103.

[10] N. R. Hodayatullah, "Identifikasi Sebaran Gas Biogenik Menggunakan Metode Gravity (Studi Kasus Desa Batang-Batang Laok)," Universitas Islam Negeri Maulana Malik, 2020.

[11] J. B. Witter and G. Melosh, "The Value and Limitations of 3D Models for Geothermal Exploration," in *Stanford Geothermal Workshop*, 2018, pp. 1–11.

[12] E. Center, "Digital Elevation Model (DEM) SRTM40." Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 2018, doi: https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT.

[13] W. Torge, *Geodesy*. Hannover: Walter de Gruyter, 2001.

[14] R. E. Telford, W. M., Geldart, L.P., Sheerif, *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press, 1990.

[15] G. E. Grant, F.S. and West, *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. New York: McGraw-Hill, 1965.

[16] M. Pirttijärvi, *BLOXER (Interactive isualization and editing software for 3-D block models)*. University of Oulu, 2012.

[17] M. Pirttijarvi, *Grablox, Gravity interpretation and modeling software based on a 3-D Block Model. User"s Guide*. University of Oulu, 2008.

[18] B. Sudrajad, T. Sutarman, E. S. Sinaga, and H. Ngaderman, "Identifikasi Patahan Seismo-Tektonik Jayapura Berdasarkan Pemodelan Inversi 3D Data Gravitasi," *J. Geofis. Eksplor.*, vol. 10, no. 01, pp. 47–64, 2024, doi: https://doi.org/10.23960/jge.v10i1.372.

[19] B. Sudrajad, "Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Wilayah Kabupaten Nabire Di Bagian Utara Leher Burung Pulau Papua Menggunakan Pemodelan Tiga Dimensi (3D) Dan Analisis Horisontal Berdasarkan Data Anomali Gravitasi GGMplus," Universitas Gadjah Mada, 2018.

[20] G. E. Rice, D. D., Claypool, "Generation, Accumulation, and Resource Potential of Biogenic Gas," *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 1981.

[21] D. H. A. David V Mamengko, Imam B Sosrowidjojo, Budianto Toha, "Geokimia Batuan Induk Formasi Mamberamo dan Makats di Cekungan Papua Utara," in *Proceedings PIT IAGI Yogyakarta 2012*, 2012, pp. 67–71.