

Delineasi Struktur Patahan di Wilayah Kabupaten Nabire Papua Menggunakan Analisis Horisontal Derivatif Orde Pertama (FHD) dan Orde Kedua (SHD) Berdasarkan Data Anomali Gravitasi

Bangkit Sudrajad

Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Cenderawasih
Jl. Kamp Wolker, Yabansai, Heram, Kota Jayapura

bangkitsudrajad@gmail.com

ABSTRACT

The Nabire Regency area in the northern part of the neck of Papua Island has complex geological conditions and high seismicity due to the interaction of the Australian Continental plate collision and the Pacific Ocean. This gravity method study aims to delineate the fault structure due to the presence of extensional mechanisms in the area through horizontal derivative analysis based on GGMplus gravity anomaly data. The horizontal derivative analysis used to delineate the contact density boundary of the structure is carried out in the first horizontal derivative and second horizontal derivative which is then correlated with the focal mechanism data. The results of the delineation show that from the horizontal derivative analysis on 7 sections that intersect the existing fault structure in the study area, 31 density contact limits are obtained on predicted faults and rock lithological boundaries. This density contact is in accordance with the data on the structure and lithological boundaries of rock formations, it is also in accordance with the distribution of earthquake seismicity.

Keywords: Delineation; gravity anomaly; horizontal derivative analysis; first horizontal derivative; second horizontal derivative

ABSTRAK

Wilayah Kabupaten Nabire di bagian Utara leher Pulau Papua memiliki kondisi geologi kompleks dan seismisitas tinggi akibat interaksi tumbukkan lempeng Benua Australia dan Samudra Pasifik. Penelitian metode gravitasi ini bertujuan untuk mendelineasi struktur patahan akibat hadirnya mekanisme ekstensional di daerah tersebut melalui analisis horisontal derivatif berdasarkan data anomali gravitasi GGMplus. Analisis horisontal derivatif yang digunakan untuk mendelineasi batas kontak densitas struktur dilakukan dalam orde pertama (*first horizontal derivative*) dan orde kedua (*second horizontal derivative*) yang kemudian dikorelasi dengan data mekanisme fokus (*focal mechanism*). Hasil deliniasi menunjukkan bahwa dari analisis horisontal derivatif pada 7 penampang yang memotong struktur patahan yang ada di wilayah penelitian diperoleh 31 batas kontak densitas pada patahan-patahan prediksi dan batas litologi batuan. Kontak densitas ini selain sesuai dengan data struktur dan batas litologi formasi batuan juga bersesuaian dengan sebaran seismisitas gempabumi yang juga mengkonfirmasi keberadaan struktur patahan di wilayah tersebut.

Kata kunci: Delineasi; anomali gravitasi; analisis horisontal derivatif; *first horizontal derivative*; *second horizontal derivative*

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) license



1. Pendahuluan

Kabupaten Nabire berada pada bagian Utara Leher Burung Papua di mana terdapat patahan sungkup *Weyland* (*Weyland Overthrust*) yang melingkupi daerah ini. Di dalam daerah ini banyak segmen patahan-patahan kecil yang menyebar dengan struktur geologi berupa patahan normal, patahan naik, patahan geser dan beberapa patahan yang masih berupa prediksi (Gambar 1). Aktivitas patahan-patahan ini menyebabkan gempabumi dengan magnitudo mencapai 7 Skala Richter (SR) dengan kedalaman sumber yang dangkal (kurang dari 33 km) sehingga menimbulkan potensi bencana yang besar[1]. Lebih lanjut dari Peta Gempabumi Nabire yang dibuat berdasarkan data rekaman gempabumi USGS, diketahui bahwa di sepanjang struktur

ekstensional (*Continental Rift Boundary*) dimana gempa besar secara berurutan yang pernah terjadi pada zona ini antara lain pada tanggal 5, dan 8 Februari 2004 silam dengan magnitudo berturut-turut 7,0 dan 6,7 SR serta pada tanggal 26 November 2004 dengan kekuatan 7,1 SR[2].

Seismisitas yang tinggi di zona deformasi ekstensional ini membuat struktur-struktur patahan di wilayah tersebut menjadi menarik untuk dikaji secara geofisika.

Deliniasi adalah salah satu cara yang dapat dilakukan untuk identifikasi struktur geologi. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mendelineasi struktur bawah permukaan adalah metode gravitasi. Metode gravitasi sensitif terhadap struktur geologi yang menjadi sumber

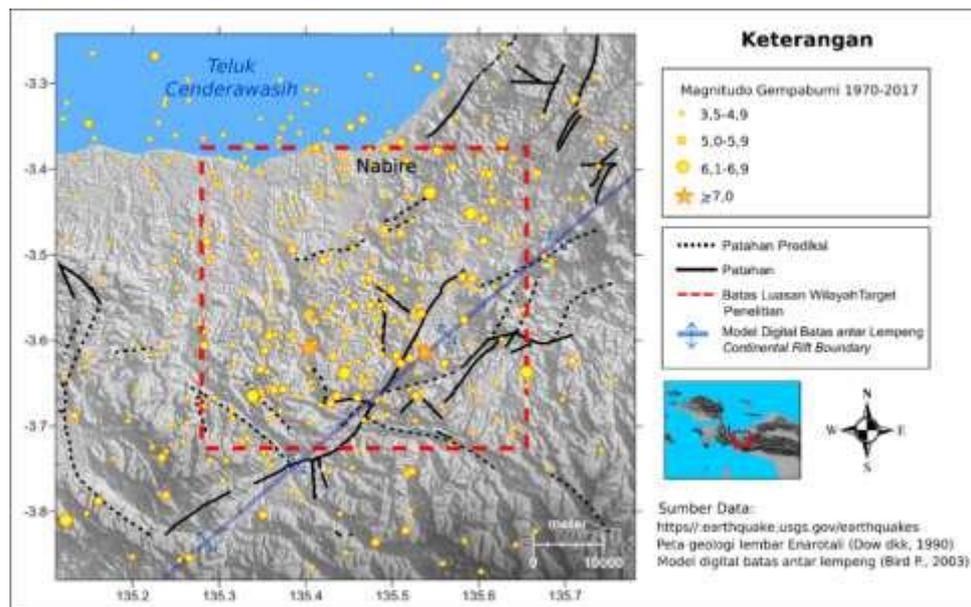
gempabumi khususnya patahan naik, patahan turun, dan obligate. Delineasi pada metode gravitasi dapat dilakukan dengan analisis horisontal derivatif yang bertujuan untuk mencari batas kontak densitas yang dapat dijadikan parameter guna mengidentifikasi patahan-patahan prediksi yang masih dalam satu litologi.

Penelitian metode gravitasi dapat dilakukan dengan menggunakan data sekunder. GGMplus merupakan data sekunder model gravitasi global (*Global Gravity Model*) yang memiliki resolusi tinggi, dengan spasi grid antar titik data ~200 m pada arah Utara-Selatan[3]. Data GGMplus melingkupi hampir 80% massa permukaan bumi. Data ini merupakan hasil kombinasi data satelit GRACE dan GOCE dengan EGM2008 atau GGE (GRACE, GOCE, EGM2008) yang kemudian ditingkatkan resolusinya dengan mengkombinasikan hasil pemodelan maju (*forward modelling*) dari gravitasi topografi pada suatu bidang geopotensial berdasarkan ekspansi harmonik bola (*spherical harmonic expansion*). GGMplus sebagai data

sekunder dengan resolusi sangat tinggi (*ultra-high resolution*) dapat memberikan gambaran lebih detail tentang kondisi medan gravitasi di suatu tempat yang berarti dapat digunakan dalam pemodelan dengan metode gravitasi di daerah penelitian[3].

2. Metode

Dalam penelitian ini, data gravitasi GGMplus dapat diakses melalui <http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/GGMplus>. Data elevasi titik grid data GGMplus diperoleh dari model elevasi digital ERTM2160 diakses melalui <http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/ERTM2160/data/>. Data *focal mechanism* USGS diakses melalui <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. Adapun luas daerah yang menjadi target penelitian ± 1.518,09 km² (berbentuk luasan persegi dengan panjang sisi ± 38,96 km) dibatasi antara 3,37°-3,72° LS dan 135,28°-135,63° BT. Peta daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Gempabumi Nabire di bagian Utara leher burung Pulau Papua periode 1970-2017 dan luas target wilayah yang diteliti.

Data gravitasi GGMplus yang diolah dalam penelitian ini adalah percepatan atau medan gravitasi (g_a) yang dijadikan nilai medan gravitasi observasi (g_{obs}). Dengan demikian perlu dilakukan pengurangan dengan nilai medan gravitasi normal (γ_Q) di geoid referensi, dan beberapa koreksi yaitu koreksi udara bebas, koreksi Bouguer sederhana, serta koreksi terrain guna memperoleh Anomali Bouguer Lengkap (ABL). Nilai ABL yang diperoleh masih merupakan anomali total yang mengandung anomali lokal dan regional, sehingga dilakukan

pemisahan anomaly lokal dan regional ini melalui metode kontinuitas ke atas (*low pass filter*). Dengan mengurangi anomali total dengan anomali regional maka diperoleh anomali lokal. Anomali gravitasi yang bersifat lokal inilah yang dianalisis horisontal derivatif guna memperoleh batas kontak densitas struktur.

Delineasi struktur secara lateral menggunakan analisis horisontal dilakukan dalam orde pertama atau *frist horizontal derivative* (FHD) dan orde kedua atau *second horizontal derivative* (SHD) terhadap data penampang profil anomali lokal. Sehingga apabila diambil penampang profil anomali lokal, FHD maupun SHD dapat

mendeteksi keberadaan struktur bawah permukaan sepanjang penampang tersebut. Proses analisis horisontal derivatif pada penelitian ini dilakukan secara diskret dengan mengekstrak data grid dari penampang hasil sayatan peta kontur anomali lokal. Sayatan penampang diambil berdasarkan pola anomali dan keberadaan sesar-sesar pada peta geologi secara tegak lurus terhadap strike (jurus sesar).

Data penampang profil anomali lokal kemudian di analisis derivatif horisontal secara diskret melalui perhitungan dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel. Pada analisis FHD dan SHD dalam bentuk penampang, data anomali gravitasi berubah sepanjang penampang (arah r), sehingga persamaan yang digunakan dalam perhitungan FHD secara diskrit. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan FHD secara diskrit adalah sebagai berikut:

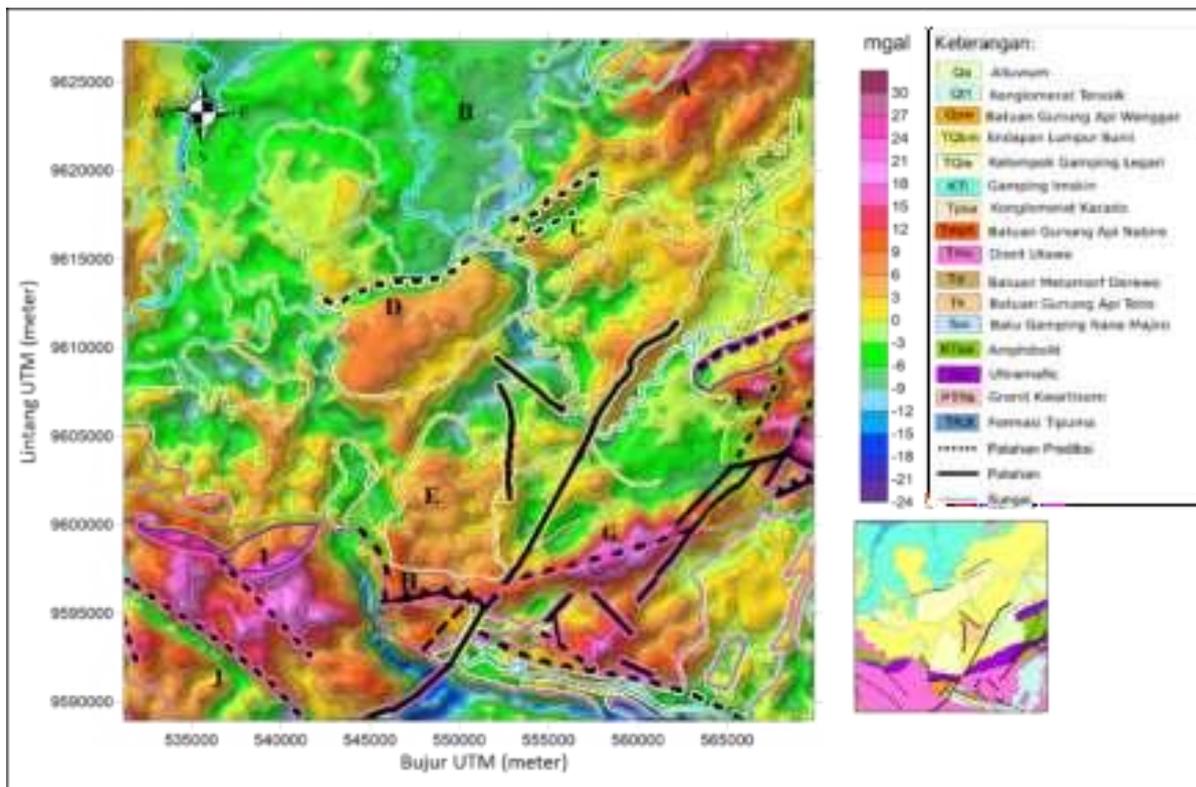
$$\frac{\partial \Delta g}{\partial r} \approx \delta_r^- \Delta g \equiv \frac{\Delta g_{i,j} - \Delta g_{i-1,j}}{\Delta r} \quad (1)$$

Sedangkan untuk perhitungan SHD secara diskrit menggunakan hasil FHD yang diperoleh sebelumnya adalah sebagai berikut:

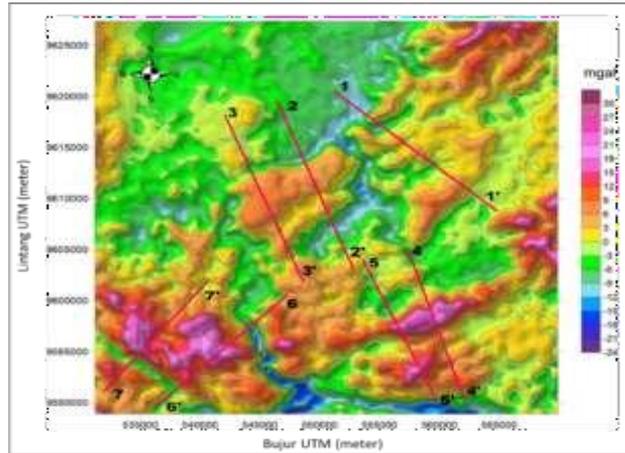
$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial r^2} \approx \frac{\{\delta_x^+ \Delta g - \delta_x^- \Delta g\}}{\Delta r} \approx \left\{ \frac{\partial \Delta g}{\partial r} - \frac{\partial \Delta g}{\partial r} \right\} \quad (2)$$

Hasil perhitungan FHD dan SHD kemudian diplot dalam bentuk grafik dan di interpretasi berdasarkan informasi geologi dan mekanisme fokus (*focal mechanism*) guna mendeteksi dan mengkonfirmasi keberadaan struktur bawah permukaan seperti patahan atau batas litologi secara lateral.

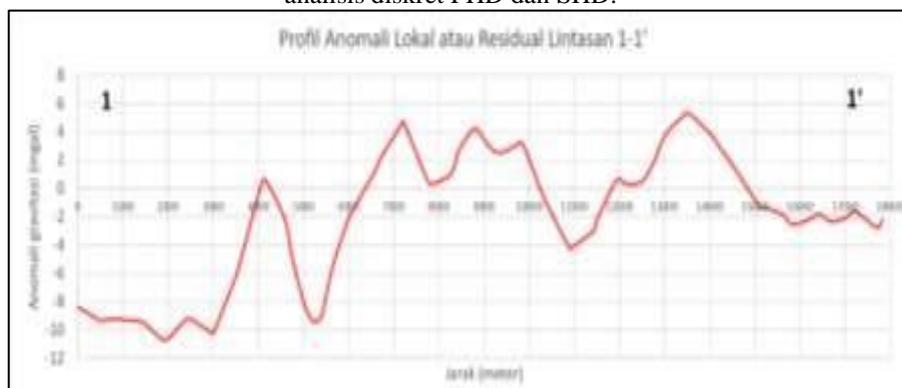
3. Hasil Dan Pembahasan



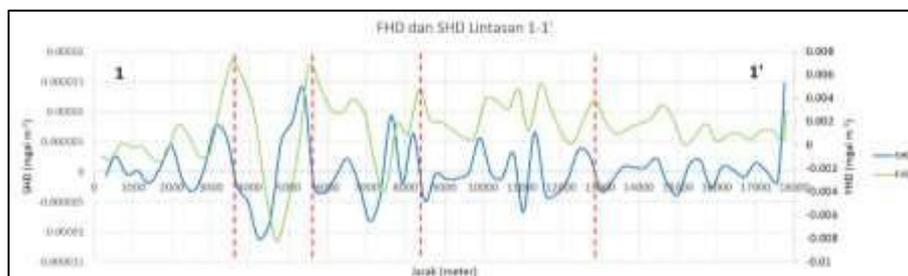
Gambar 2. Peta kontur anomali lokal *overlay* dengan garis batas litologi dan struktur patahan dari peta geologi daerah penelitian.



Gambar 3. Peta Kontur Anomali Lokal daerah penelitian dan garis lintasan sayatan profil anomali untuk analisis diskret FHD dan SHD.



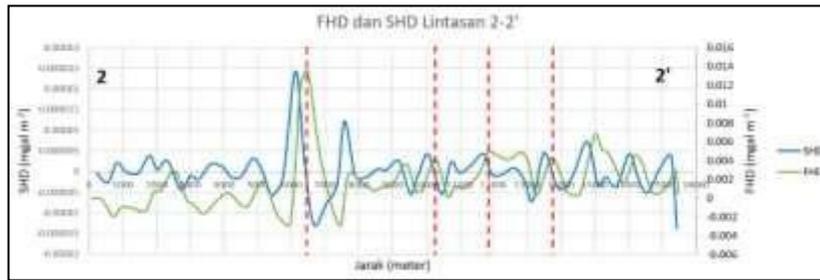
Gambar 4. Grafik Profil Anomali Lokal Lintasan 1-1'.



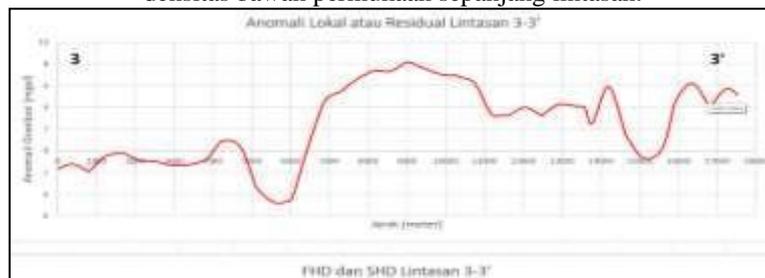
Gambar 5. Grafik FHD dan SHD Lintasan 1-1', dengan garis merah putus-putus menunjukkan batas kontak densitas bawah permukaan sepanjang lintasan.



Gambar 6 Grafik Profil Anomali Lokal Lintasan 2-2'.



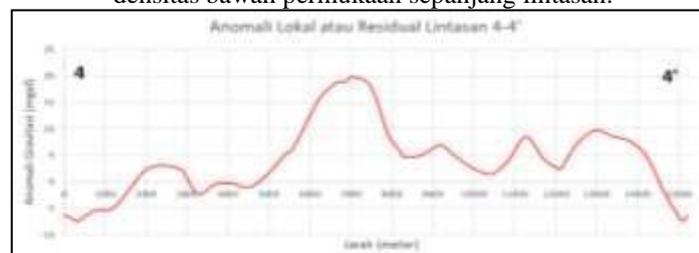
Gambar 7. Grafik FHD dan SHD Lintasan 2-2', dengan garis merah putus-putus menunjukkan batas kontak densitas bawah permukaan sepanjang lintasan.



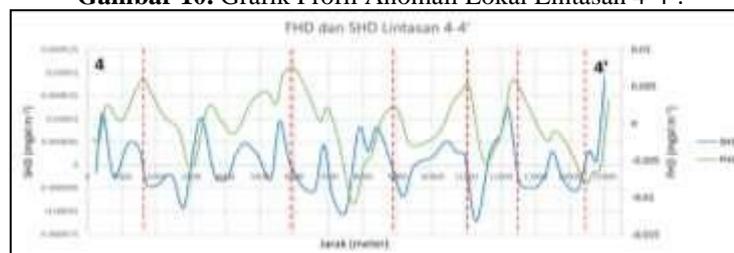
Gambar 8. Grafik Profil Anomali Lokal Lintasan 3-3'.



Gambar 9. Grafik FHD dan SHD Lintasan 3-3', dengan garis merah putus-putus menunjukkan batas kontak densitas bawah permukaan sepanjang lintasan.



Gambar 10. Grafik Profil Anomali Lokal Lintasan 4-4'.



Gambar 11. Grafik FHD dan SHD Lintasan 4-4', dengan garis merah putus-putus menunjukkan batas kontak densitas bawah permukaan sepanjang lintasan.



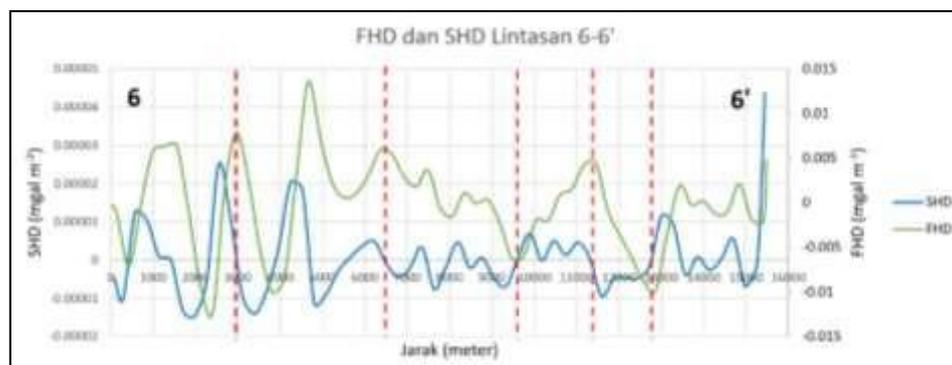
Gambar 12. Grafik Profil Anomali Lokal Lintasan 5-5'.



Gambar 13. Grafik FHD dan SHD Lintasan 5-5', dengan garis merah putus-putus menunjukkan batas kontak densitas bawah permukaan sepanjang lintasan.



Gambar 14. Grafik Profil Anomali Lokal Lintasan 6-6'.



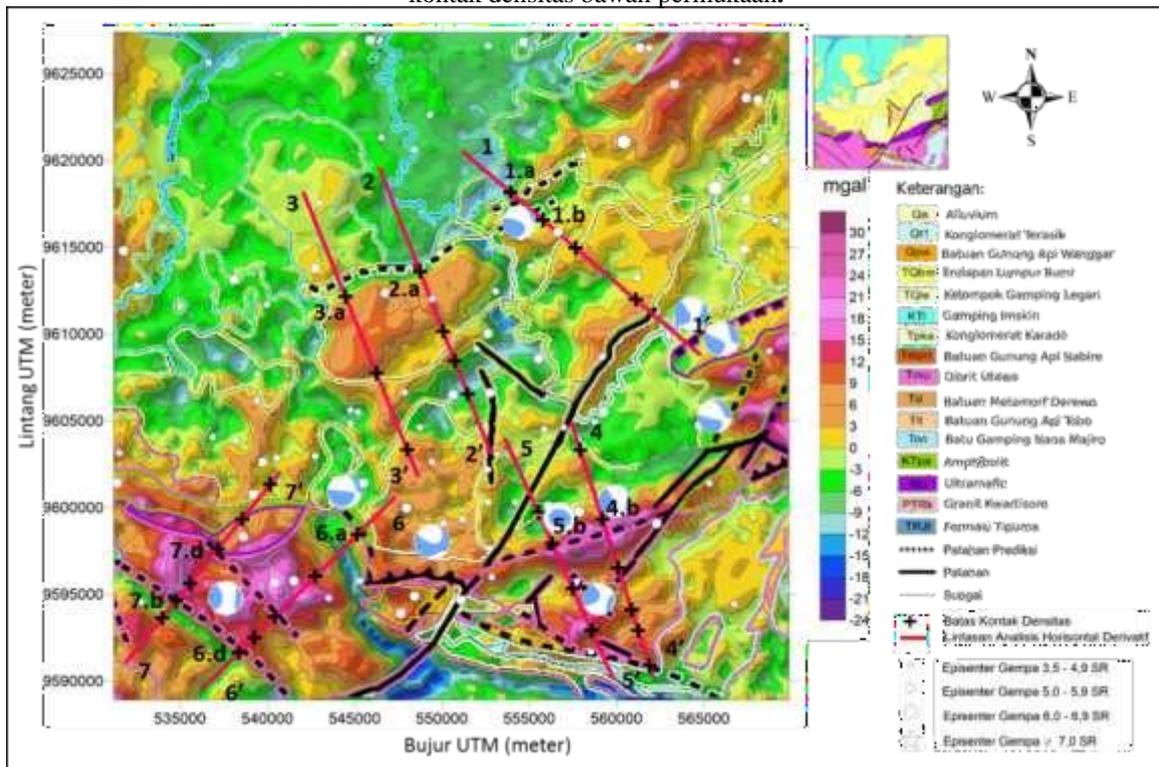
Gambar 15. Grafik FHD dan SHD Lintasan 6-6', dengan garis merah putus-putus menunjukkan batas kontak densitas bawah permukaan sepanjang lintasan.



Gambar 16. Grafik Profil Anomali Lokal Lintasan 7-7'.



Gambar 17. Grafik FHD dan SHD Lintasan 7-7', dengan garis merah putus-putus menunjukkan batas kontak densitas bawah permukaan.



Gambar 18. Batas kontak densitas (simbol +) hasil analisis horisontal derivatif (FHD dan SHD) overlay Peta Kontur Anomali Lokal, struktur patahan, seismisitas dan mekanisme bola fokus dari katalog gempa bumi USGS.

Hasil pengurangan medan gravitasi observasi GGMplus dengan medan gravitasi normal serta dengan memperhitungkan seluruh

aspek koreksi data gravitasi maka diperoleh Peta Kontur Anomali Bouguer Lengkap daerah penelitian. Nilai ABL di daerah penelitian berkisar

antara -40 mgal hingga 130 mgal. Anomali gravitasi total (ABL) tertinggi pada bagian Selatan daerah penelitian merupakan mandala geologi jalur peralihan yang didominasi batuan terobosan seperti batuan gunungapi wanggar, batuan diorit, dan batuan ultrabasa (ofiolit), serta batuan malihan seperti ampibholit dan satuan batuan malihan derewo. dan anomali gravitasi total terendah berada di bagian Utara merupakan mandala kerak Samudra yang didominasi oleh satuan batuan gamping dan endapan sedimen laut.

Anomali lokal di daerah penelitian berkisar pada rentang nilai -24 sampai 30 miligal (Gambar 2). Anomali tinggi di bagian Selatan daerah penelitian terdapat di sepanjang zona litologi Batuan Ophiolit yang merupakan batuan dengan densitas paling tinggi dan anomali tinggi di bagian Utara (Mandala Kerak Samudra) terdapat pada litologi Batuan Lumpur Bumi dan Batuan Gunung Api Nabire. Adapun Anomali rendah di daerah penelitian di bagian Utara terdapat pada Formasi Gamping Imskin dan di bagian Selatan (Mandala Jalur Peralihan) terdapat pada litologi Aluvium tertoreh di sekitar aliran Sungai Utawa[4].

Lintasan sayatan profil anomali 1-1', 2-2', 3-3', 4-4', 5-5', 6-6', dan 7-7' diambil secara tegak lurus terhadap strike sesar-sesar prediksi sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3. Tujuh sayatan profil anomali lokal ini kemudian dianalisis horisontal derivatif secara diskret berdasarkan perubahan nilai anomali lokal atau residual sepanjang lintasan guna mendelineasi atau mencari batas kontak densitas struktur geologi. Berikut ini disajikan grafik penampang profil anomali gravitasi, FHD, dan SHD untuk masing-masing penampang. Grafik profil anomali lokal ketujuh lintasan ditampilkan pada Gambar 4, 6, 8, 10, 12, 14 dan 16. Sedangkan hasil analisis horisontal derivatifnya (FHD dan SHD) dapat dilihat pada Gambar 5, 7, 9, 11, 13, 15, dan 17.

Analisis horisontal derivatif pada lintasan 1-1' bertujuan untuk mendelineasi batas kontak densitas patahan prediksi (C) yang masih berada dalam satu litologi yang sama yaitu Formasi Gamping Legari (Gambar 2). Dari hasil FHD dan SHD (Gambar 5) berdasarkan perubahan profil anomali lokal sepanjang lintasan 1-1' (Gambar 4), diperoleh 5 titik batas kontak densitas antara lain pada koordinat: 135,485 °BT, 3,454° LS; 135,502 °BT, 3,468° LS; 135,519° BT, 3,483° LS; dan 135,550 °BT, 3,510° LS.

Analisis horisontal derivatif pada lintasan 2-2' dan 3-3' bertujuan untuk mendelineasi batas kontak densitas patahan prediksi (D) yang bersentuhan dengan batas litologi Formasi Gamping Legari dan Formasi Gamping Imskin (Gambar 2). Dari hasil FHD dan SHD pada lintasan 2-2' dan 3-3'(Gambar 7 dan Gambar 9)

berdasarkan perubahan profil anomali lokal sepanjang kedua lintasan tersebut (Gambar 6 dan Gambar 8), pada lintasan 2-2'diperoleh 4 titik batas kontak densitas antara lain pada koordinat: 135,439 °BT, 3,496° LS; 135,451 °BT, 3,527° LS; 135,468 °BT, 3,542° LS; dan 135,464 °BT, 3,560° LS. Sedangkan untuk lintasan 3-3'diperoleh 3 titik batas kontak densitas pada koordinat: 135,401 °BT, 3,509° LS; 135,416 °BT, 3,549° LS; dan 135,432 °BT, 3,588° LS.

Analisis horisontal derivatif pada lintasan 4-4' dan 5-5' bertujuan untuk mendelineasi batas kontak densitas pada batas litologi batuan akresi pada zona divergensi atau zona deformasi ekstensional. Batuan akresi yang dimaksud adalah batuan ofiolit yang merupakan batuan ultrabasa yang berasal dari mantel. Hasil FHD dan SHD pada lintasan 4-4' dan 5-5' (Gambar 11 dan Gambar 13) berdasarkan perubahan profil anomali lokal sepanjang kedua lintasan tersebut (Gambar 10 dan Gambar 12), diperoleh 6 titik batas kontak densitas pada lintasan 4-4' antara lain pada koordinat: 135,522 °BT, 3,589° LS; 135,533 °BT, 3,625° LS; 135,541 °BT, 3,650° LS; 135,548 °BT, 3,672° LS; 135,552 °BT, 3,683° LS; dan 135,557 °BT, 3,701° LS. Sedangkan untuk lintasan 5-5'diperoleh 4 titik batas kontak densitas yaitu pada koordinat: 135,499 °BT, 3,621° LS; 135,507 °BT, 3,637° LS; 135,518 °BT, 3,661° LS; dan 135,527 °BT, 3,682° LS.

Analisis horisontal derivatif pada lintasan 6-6' dan 7-7' bertujuan untuk mendelineasi batas kontak densitas pada sesar prediksi (J) yang masih berada dalam satu litologi yang sama yaitu Formasi Diorit Utawa yang berada di barat daya wilayah penelitian (Gambar 2). Hasil FHD dan SHD pada lintasan 6-6' dan 7'(Gambar 15 dan Gambar 17) berdasarkan perubahan profil anomali lokal sepanjang kedua lintasan tersebut (Gambar 14 dan Gambar 16), diperoleh 5 titik batas kontak densitas pada lintasan 6-6' antara lain pada koordinat: 135,407 °BT, 3,633° LS; 135,385 °BT, 3,655° LS; 135,364 °BT, 3,676° LS; 135,354 °BT, 3,686° LS; dan 135,346 °BT, 3,694° LS. Sedangkan untuk lintasan 7-7'diperoleh 6 titik batas kontak densitas yaitu pada koordinat: 135,306 °BT, 3,676° LS; 135,313 °BT, 3,667° LS; 135,320 °BT, 3,658° LS; 135,335 °BT, 3,640° LS; 135,347 °BT, 3,624° LS; dan 135,362 °BT, 3,607° LS.

Koordinat batas kontak densitas hasil delineasi dengan FHD dan SHD secara lateral pada 7 sayatan atau lintasan yang memotong tegak lurus struktur patahan (1-1', 2-2', 3-3', 4-4', 5-5', 6-6', dan 7-7') kemudian diplot dalam peta overlay anomali lokal dengan garis batas litologi dan struktur sesar dari peta geologi (Gambar 18). Dengan demikian total diperoleh 31 batas kontak densitas yang menunjukkan kesesuaian dengan struktur patahan prediksi dan batas litologi. Lebih

lanjut dilakukan dengan overlay data pendukung posisi episenter gempabumi yang diperoleh dari USGS dengan Peta Batas Kontak Densitas (Gambar 18) terlihat bahwa batas kontak densitas hasil FHD dan SHD sesuai dengan posisi episenter gempabumi yang pernah terjadi di daerah penelitian. Hal ini ditunjukkan dengan keberadaan episenter gempabumi pada batas kontak densitas di titik 1.b, 1.e, 4.b, dan 5.b. Informasi diagram *beach ball* pada episenter gempabumi tersebut menunjukkan informasi tentang arah orientasi bidang sesar yang sesuai dengan batas kontak densitas dari analisis horisontal derivatif metode gravitasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil delineasi struktur bawah permukaan menggunakan metode gravitasi dengan analisis horisontal derivatif orde pertama dan orde kedua diperoleh 31 batas kontak densitas yang bersesuaian dengan struktur patahan dan batas kontak litologi formasi batuan. Adapun 31 kontak densitas diperoleh dari lintasan 1-1' sebanyak 4 batas kontak densitas; lintasan 2-2' sebanyak 4 batas kontak densitas; lintasan 3-3' sebanyak 3 batas kontak densitas; lintasan 4-4' sebanyak 5 batas kontak densitas; lintasan 5-5' sebanyak 4 batas kontak densitas; lintasan 6-6' sebanyak 5 batas kontak densitas, dan lintasan 7-7' sebanyak 6 batas kontak densitas. Lebih lanjut beberapa kontak densitas yaitu di titik 1.b, 1.e, 4.b, dan 5.b yang bersesuaian dengan keberadaan patahan prediksi secara geologi dan distribusi seismisitas gempabumi di wilayah Nabire.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bappeda Kota Nabire, 2006, *Rencana Tata Ruang Kawasan Perkotaan Kota Nabire (RTRKP) Tahun 2006-2026*, Pemerintah Daerah Kabupaten Nabire, Nabire.
- [2] Bird, P., 2003, *An Update Digital Model of Plate Boundaries*, AGU and the Geochemical Society. Vol 4(3), California.
- [3] Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R. dan Rexer, M., 2013, *New Ultra-High Resolution Picture of Earth's Gravity Field*, Geophysical Research Letter, Vol 40, Western Australian Centre for Geodesy, Curtin University, Perth.
- [4] Dow, D.B., Harahap, B.H. dan Hakim A.S., 1990, *Peta Geologi Lembar Enarotali Irian Jaya*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung