

PEMODELAN BIDANG BATAS LEMPENG SUBDUKSI DAN STRUKTUR REGIONAL BAWAH PERMUKAAN BUMI BERDASARKAN DATA ANOMALI GRAVITASI (STUDI KASUS GEMPABUMI PAPUA 15 JUNI 2016)

Dedy Irjayanto¹

¹Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Angkasapura - Jayapura

ABSTRACT

The geographical position of Indonesia is located between two continents and two oceans that lie on the equator and is located between the confluence of three tectonic plates that have the potential to earthquakes and tsunamis. Analysis of the subsurface structure is done by using the gravity method. This method is based on the Earth's gravitational field variations due to differences in density between the rocks that are closely related to the structure of the subsurface geology. Data processing is done by reducing the gravity data observation until complete Bouguer anomaly values obtained in the topography. Shallow depth of field boundary anomalies (local) located at a depth of 3592 meters and a depth of field boundary anomalies in the (regional) located at a depth of three-dimensional meter. Pemodelan 36017 shows that the structure of the subsurface geology is quite complex research area contained the folding pathways and basin.

Keywords : Gravity anomalies, Modeling, Structural Geology.

PENDAHULUAN

Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Klas I Angkasapura Jayapura mencatat telah terjadi gempa bumi di Papua dengan magnitude 5,2 SR, pada Rabu (15/6) pukul 07:09:28 WIT dengan pusat gempa di 122 km Tenggara Mimika – Papua dengan kedalaman 30 km. gempa bumi tersebut dirasakan oleh penduduk yang tinggal dekat sumber gempa tersebut.

Wilayah Papua merupakan Daerah yang berkembang akibat adanya pertemuan antara Lempeng Indo - Australia yang bergerak ke utara dengan Lempeng Pasifik yang bergerak ke barat. Papua memiliki tingkat seismisitas tinggi karena adanya gaya tekanan yang terus menerus dari kedua lempeng yang menyebabkan jalur patahan aktif dan jalur lipatan pada pegunungan tengah Papua.

Informasi mengenai parameter sumber gempa bumi seperti episenter, magnitude, mekanisme fokus dan durasi *rupture* perlu diketahui sedini mungkin setelah terjadi

gempabumi. Dari studi kasus gempa bumi yang terasa di Timika pada tanggal 15 Juni 2016, didapatkan sumber gempa bumi berada pada lintang $-4,66^{\circ}$ LS dan $137,99^{\circ}$ BT dengan kedalaman 30 km, magnitude 5,2 SR dengan pola mekanisme fokus *oblique thrust fault*.

Analisis tektonik di wilayah Papua berdasarkan pola mekanisme fokus menunjukkan pengaruh penunjaman lempeng Indo – Australia terhadap lempeng Pasifik lebih dominan dibandingkan pengaruh pensesaran mendatar. Dari analisis sumbu maksimum kompresi P diketahui gaya *stress* maksimum berasal dari Barat Laut (NW) dan Tenggara (SE)

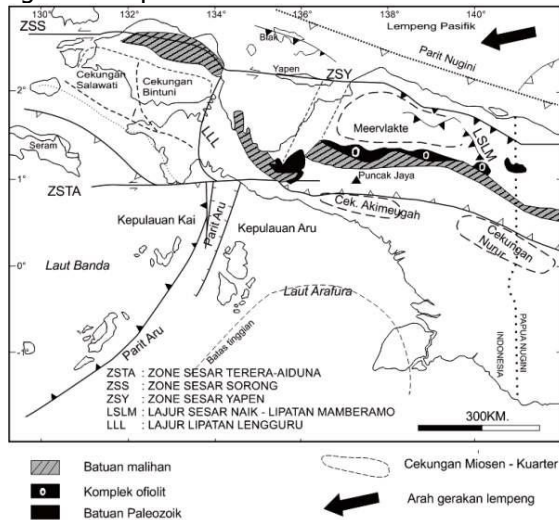
Dari peta tektonik Papua (Gambar 1), terlihat bahwa konvergensi busur Melanesia dan lempeng Indo – Australia menghasilkan banyak sesar lokal, jalur sesar pegunungan tengah yang memanjang dari barat ke timur di bagian tengah pulau Papua, cekungan utara Papua dan pengangkatan di pesisir utara Papua dan di pegunungan Jayawijaya.

Reservoir hidrokarbon adalah bagian kerak bumi yang mengandung minyak dan gas bumi. Minyak dan gas bumi adalah sumber energi fosil dari campuran kompleks senyawa hidrokarbon yang terbentuk di dalam batuan induk melalui proses pematangan dan migrasi

*Alamat korespondensi :

Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah V Jayapura
e-mail : dedy_irjayanto@yahoo.co.id

hingga terakumulasi di dalam batuan reservoir. Identifikasi persebaran reservoir hidrokarbon merupakan bagian penting yang akan memudahkan eksplorasi hidrokarbon. Pembentukan sistem hidrokarbon tidak terlepas dari proses sedimentasi, keadaan lingkungan dan sejarah geologi di suatu daerah. Konfigurasi geologi di bawah permukaan bumi juga mempengaruhi kandungan sumber daya alam sehingga informasi keberadaan dan ketebalan batuan tersebut sangat penting untuk keperluan kegiatan eksplorasi hidrokarbon.



Gambar 1. Peta Tektonik Regional Wilayah Papua (Bahrie, S. 2014)

Eksplorasi geofisika memiliki metode yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan di suatu daerah penelitian. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode gravitasi. Metode gravitasi menggunakan variasi medan gravitasi bumi akibat perbedaan rapat massa (densitas) antar batuan. Variasi ini berhubungan erat dengan struktur geologi bawah permukaan dan jenis litologinya.

Dalam survei gravitasi pada suatu lokasi, data percepatan gravitasi yang terukur di lapangan secara umum masih dipengaruhi oleh banyak keadaan mulai dari letak titik pengamatan (latitude), pengaruh topografi di sekitarnya dan keadaan geologi di daerah pengamatan (kerapatan batuan). Adanya suatu sumber yang merupakan suatu zona massa di bawah permukaan bumi akan menyebabkan suatu gangguan pada medan gravitasi, gangguan ini disebut anomali gravitasi.

Anomali gravitasi yang diperoleh dari metode ini merupakan penjumlahan dari semua

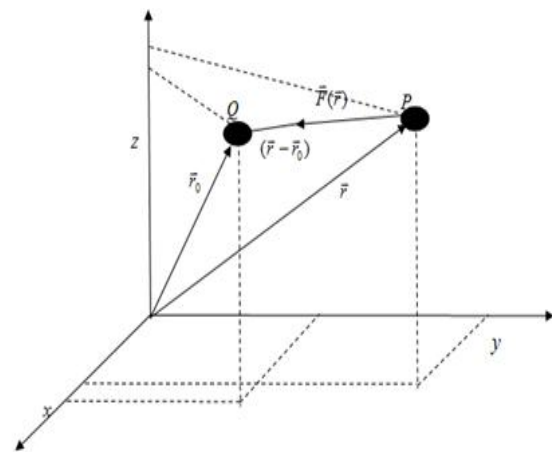
kemungkinan sumber anomali yang ada di bawah permukaan, baik anomali yang bersifat dangkal dan anomali yang bersifat dalam. Di antara sifat fisis batuan yang mampu membedakan antara satu macam batuan dengan batuan yang lainnya adalah massa jenis batuan. Distribusi massa jenis yang tidak homogen pada batuan penyusun kulit bumi akan memberikan variasi nilai medan gravitasi di permukaan bumi.

Variasi nilai medan gravitasi di permukaan bumi tidak hanya disebabkan massa jenis yang tidak merata, tetapi juga oleh posisi titik amat di permukaan bumi. Hal ini disebabkan oleh adanya bentuk bumi yang tidak bulat sempurna dan relief bumi yang beragam.

LANDASAN TEORI

a) Prinsip Dasar gravitasi dan Medan potensial Gravitasi

Prinsip dasar fisika yang mendasari metode gravitasi adalah hukum Newton tentang gaya tarik menarik antar partikel bermassa. Hukum Newton tersebut menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua partikel dengan massa m_Q dan m_P yang terpisah sejauh $\vec{r} - \vec{r}_0$ dari pusat massanya (gambar 2) adalah sebanding dengan hasil perkalian kedua massa tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya.



Gambar 2. Ilustrasi Gaya tarik-menarik antara dua benda

Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut (Grant dan West, 1965):

$$\vec{F}(\vec{r}) = -G \frac{m_P m_Q}{|\vec{r} - \vec{r}_0|^2} \frac{(\vec{r} - \vec{r}_0)}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (1)$$

Dengan $\vec{F}(\vec{r})$ merupakan gaya yang dialami oleh partikel bermassa m_p akibat dari partikel bermassa m_Q . G adalah konstanta gravitasi universal yang bernilai $6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

Kuat medan gravitasi bumi dari massa m_1 pada sembarang titik berjarak r adalah :

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{m_p} = -G \frac{m_Q}{|\vec{r} - \vec{r}_0|^2} \hat{r} \quad (2)$$

Jika kita meninjau m_Q adalah massa bumi (M), dengan menganggap bahwa bumi homogen, berbentuk sferoid dan tidak berotasi, maka besarnya percepatan gravitasi g dipermukaan bumi adalah :

$$g = -G \frac{M}{R^2} \quad (3)$$

Nilai percepatan gravitasi g di permukaan bumi adalah 980 cm/s^2 . Satuan g dalam CGS adalah Gal ($1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2$).

Karena Medan gravitasi bersifat konservatif, maka medan gravitasi dapat dinyatakan sebagai *gradien* dari suatu fungsi potensial skalar $U(r)$:

$$\vec{E}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r}) \quad (4)$$

dengan $U(\vec{r}) = -\frac{GM}{R}$ merupakan potensial gravitasi massa m_Q .

Potensial gravitasi yang disebabkan oleh elemen massa dm pada jarak r dari titik P di luar elemen massa tersebut merupakan suatu bentuk integral. Jika massa terdistribusi secara kontinyu dengan densitas ρ di dalam bentuk volume V , maka potensial gravitasi pada sembarang titik P di luar benda adalah :

$$U_p(\vec{r}) = -\int \frac{Gdm}{|\vec{r} - \vec{r}_o|} = -G \int_V \frac{\rho(\vec{r}_o) d^3\vec{r}_o}{|\vec{r} - \vec{r}_o|} \quad (5)$$

dimana pengintegralan meliputi V , volume sebenarnya dari massa. Sedangkan P merupakan titik pengamatan.

b) Reduksi data gravitasi

Pengambilan data di lapangan dilakukan pada area penelitian yang telah disurvei. Data yang diperoleh di sekitar titik pengukuran masih dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah efek topografi, garis lintang, elevasi dan pasang surut. Oleh karena itu, perlu dilakukan koreksi terhadap data hasil pengukuran dari efek-efek tersebut, sehingga dapat diketahui anomali yang sesungguhnya (Telford, 1990).

c) Anomali Medan Gravitasi di Topografi

Selisih nilai anomali medan Gravitasi hasil pengukuran terhadap anomali medan Gravitasi teoritis. Anomali medan Gravitasi menunjukkan variasi densitas, sehingga dapat diketahui bentuk struktur bawah permukaan (*subsurface*). Secara matematis dapat dituliskan :

$$\Delta g(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - g_{teori}(x, y, z) \quad (6)$$

Dengan $\Delta g(x, y, z)$ adalah anomali medan gravitasi, $g_{obs}(x, y, z)$ adalah medan gravitasi observasi, $g_{teori}(x, y, z)$ adalah medan gravitasi teoritis.

Dari koreksi lintang dan koreksi udara bebas memberikan Anomali medan Gravitasi Udara bebas (*Free-Air Anomaly*) :

$$\Delta g_{fa}(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - [g_\phi + g_{fa}] \quad (7)$$

Selanjutnya dari koreksi Bouguer memberikan Anomali Bouguer Sederhana:

$$\Delta g_{BS}(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - (g_\phi + g_{fa} + g_{BC}) \quad (8)$$

Sedangkan dari koreksi Medan memberikan Anomali Bouguer Lengkapsebesar :

$$\Delta g_{BL}(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - (g_\phi + g_{fa} + g_{BC} - TC) \quad (9)$$

Data anomali Bouguer lengkap masih tersebar pada permukaan topografi dengan ketinggian yang berbeda, sehingga perlu dilakukan reduksi ke suatu bidang datar dengan ketinggian yang sama menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa (Dampney, 1969).

d) Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Dari data anomali yang diproyeksi ke bidang datar dilakukan pemisahan efek lokal dan regional dengan metode kontinuitas ke atas dengan bantuan paket program MAGPICK. Persamaan yang digunakan dalam melakukan kontinuitas ke atas (Blakely, 1995) adalah

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2]^{3/2}} dx' dy' \quad (10)$$

Persamaan ini menunjukkan cara penghitungan nilai medan potensial pada sembarang titik di atas permukaan dimana harga-harga medan yang diketahui.

Kemudian dilakukan pemodelan dari respon tersebut untuk menduga benda anomali. Pemodelan dari benda anomali dilakukan dengan berdasar pada respon anomali lokal

menggunakan model 2D dengan metode poligonyang diajukan oleh Talwani,dkk (1959).

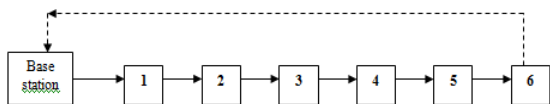
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Juni 2016 dengan menggunakan data sekunder yang berasal dari BMKG dan TOPEX yang dilakukan di Wilayah Papua. Secara administratif daerah penelitian termasuk wilayah Pegunungan Tengah, Papua (Gambar 3). Dan pengolahan data dilakukan di Stasiun Geofisika Klas 1 Angkasapura – Jayapura (BMKG).



Gambar 3. Peta lokasi Penelitian

Sedangkan pengambilan data dilakukan secara looping (Gambar 4).



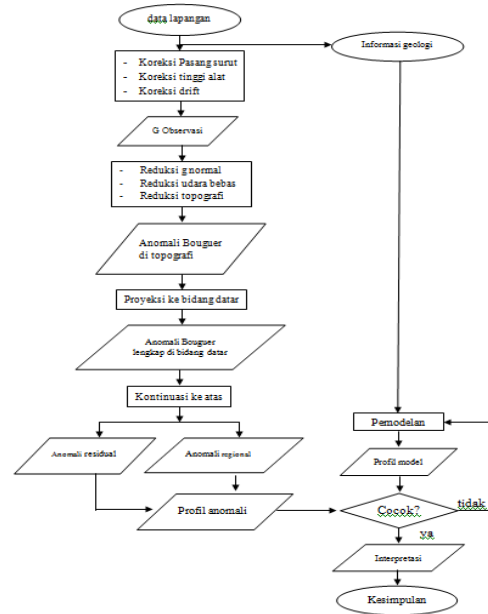
Gambar 4. Pengambilan data dengan metode *looping*

Pengolahan data gravitasi pada dasarnya berawal dari pembacaan nilai alat di lapangan sampai mendapatkan nilai anomali Bouguer di setiap titik amat. Akan tetapi, harga pembacaan nilai gravitasi masih dalam bentuk skala. Sehingga untuk mendapatkan nilai bacaan dalam satuan miligal perlu dilakukan konversi dalam miligal yang didasarkan pada tabel khusus konversi yang dimiliki oleh setiap peralatan *Gravimeter*.

Data gravitasi yang diperoleh dari hasil pengukuran masih banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal maupun internal alat, sehingga belum bisa langsung dilakukan interpretasi. Oleh karena itu, maka perlu

dilakukan tahapan pengolahan data untuk mendapatkan nilai anomali medan gravitasi di permukaan yang bebas dari pengaruh-pengaruh tersebut, sehingga data lapangan siap untuk diinterpretasi.

Secara garis besar, penelitian ini dilakukan seperti diagram alir seperti pada Gambar 5. berikut:

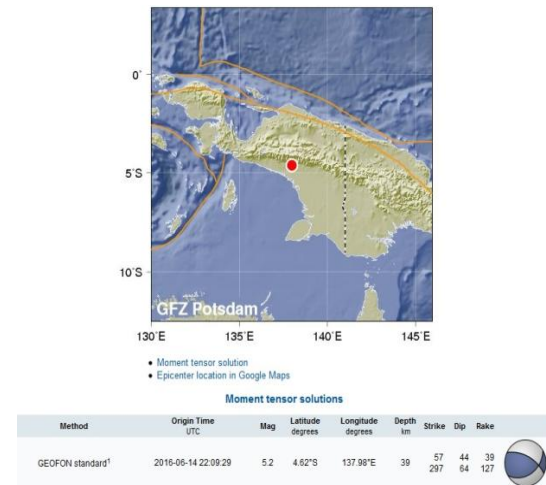


Gambar 5. Diagram alir pengolahan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Mekanisme Sumber Gempabumi

Gambar 6 memperlihatkan hasil mekanisme sumber gempa yang dibuat oleh GFZ setelah beberapa menit setelah gempa papua terjadi.

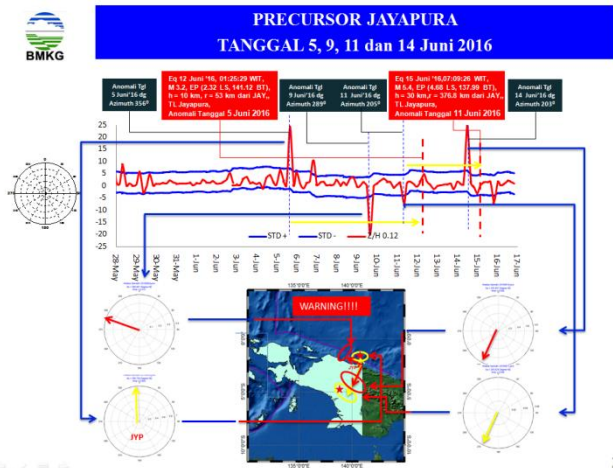


Gambar 6. Mekanisme Sumber gempa

Berdasarkan moment tensor tersebut dapat dipastikan bahwa gempa bumi Papua yang terjadi pada tanggal 15 Juni 2016 disebabkan oleh Sesar Naik (*Thrust Fault*) namun agak sedikit miring (*oblique*). Orientasi bidang patahan tersebut memiliki arah jurus (*strike*) ke arah 297 dari Utara dengan sudut kemiringan patahan 64 derajat.

B. Anomali Magnet

Gambar 7 memperlihatkan adanya anomali magnet yang tercatat di Stasiun Geofisika Klas 1 Angkasapura – Jayapura sebelum terjadinya gempa.



Gambar 7. Anomali Magnet sebelum terjadinya gempa

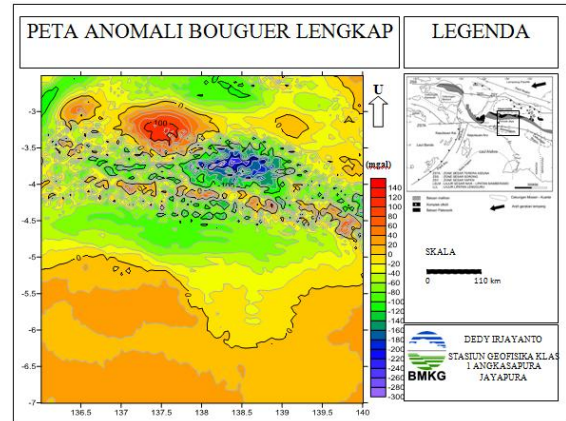
Selama rentang waktu 21 hari dari tanggal 28 Mei 2016 sampai dengan 17 Juni 2016 telah terjadi 4 kali anomaly magnet bumi yang tercatat di Stasiun Geofisika Klas 1 Angkasapura Jayapura yaitu tanggal 5 juni 2016 dengan aimuth 356°, tanggal 9 Juni 2016 dengan azimuth 289°, tanggal 11 Juni 2016 dengan Azimuth 205° dan tanggal 14 Juni 2016 dengan Azimuth 203°. Anomali tersebut diperkirakan bersesuaian dengan gempa tanggal 15 Juni 2016 dengan lokasi episenter 4,68 LS dan 137,99 BT dengan Magnitude 5,4 SR dan kedalaman 30 Km serta jarak dari Stasiun Geofisika Jayapura terhadap pusat gempa yaitu 376,8 Km dengan azimuth sebesar 207°.

C. Anomali Gravitasi

a. Anomali Bouguer

Gambar 8 memperlihatkan peta kontur anomali Bouguer lengkap di topografi pada daerah penelitian. Reduksi Bouguer

menggunakan model koreksi Bouguer dengan suatu koreksi kelengkungan topografi yang dikembangkan oleh Whitman (1991), dimana pada slab Bouguer massa topografi dianggap terdistribusi secara merata di atas bidang spheroid, tetapi pada kenyataannya topografi melengkung berbentuk cangkang bola (*Spherical shell*) yang melingkupi bumi. Untuk melengkapi reduksi Bouguer yang memperhitungkan bukit dan lembah maka perlu dilakukan reduksi medan (*terrain correction*). Hasil dari reduksi medan menghasilkan anomali yang disebut dengan Anomali Bouguer Lengkap (ABL) atau *Complete Bouguer Anomaly* (CBA). Peta ini memperlihatkan pola kontur yang berorientasi dari barat laut – tenggara dengan anomali tinggi 160 mgal dan anomali rendah -300 mgal.



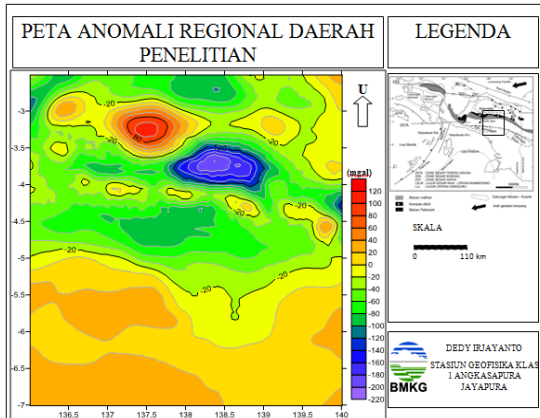
Gambar8. Peta kontur Anomali Bouguer Lengkap di topografi

b. Kontinuitas ke atas

Anomali medan gravitasi yang dihasilkan dari proses koreksi masih merupakan kombinasi antara anomali regional dan anomali lokal. Pada penelitian ini dilakukan kontinuitas ke atas secara bertahap hingga diperoleh anomali regional dengan pola kontur yang cenderung tetap, pada proses yang dilakukan, anomali regional yang memiliki profil yang cenderung tetap berada pada ketinggian 3500 meter (Gambar 9).

Peta anomali regional memberikan gambaran lateral distribusi massa atau batuan di bawah permukaan bumi. Nilai anomali regional berkisar dari 120 sampai dengan -220 mgal. Nilai anomali tinggi berkisar 80 - 120 mgal menempati di bagian barat laut daerah penelitian yang diperkirakan daerah

tersebut tersusun batuan yang memiliki densitas tinggi, daerah anomali rendah berkisar -120 sampai dengan -220 mgal menempati di bagian timur yang diperkirakan daerah tersebut tersusun atas batuan yang memiliki densitas rendah dekat dengan permukaan.

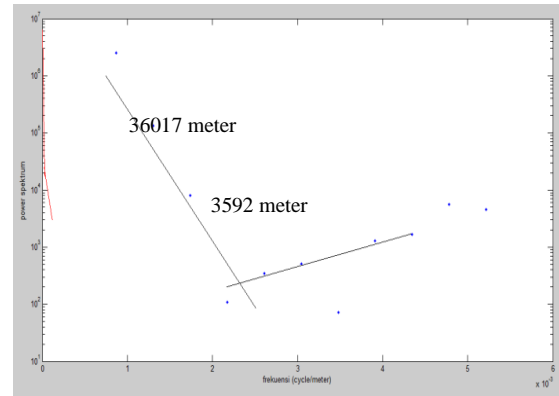
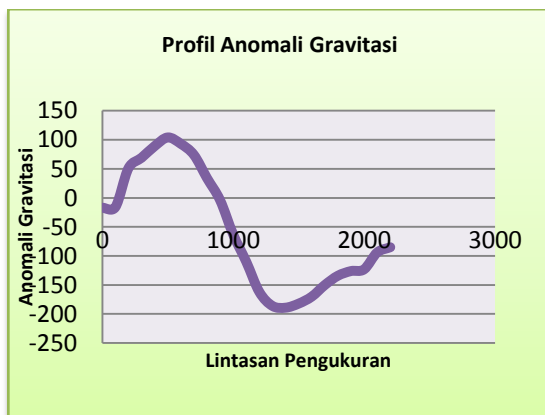


Gambar 9. Peta anomali Regional dengan pengangkatan 3500 m di atas referensi sferoida

Anomali Regional pada ketinggian 3500 meter dari dpl dilakukan analisa power spektrum 1 D. Analisis spektrum anomali yang digunakan terpampang pada satu penampang lintang (*cross section*) atau irisan pada peta kontur anomali regional tersebut.

Profil dari masing – masing lintasan kemudian diproses dengan menggunakan DFFT 1-D (*one Dimensional Discrete Fast Fourier Transform*) dengan bantuan software Matlab untuk mendapatkan kedalaman bidang batas anomali.

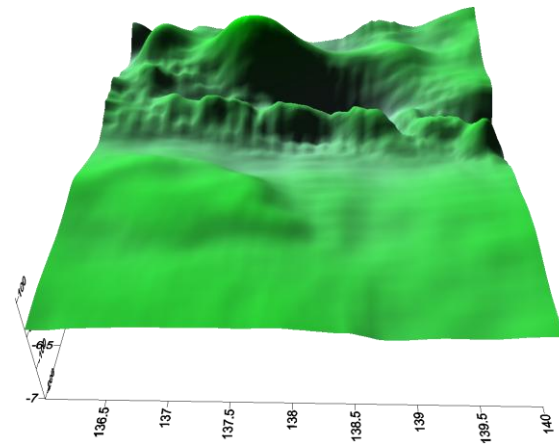
Berdasarkan analisis power spectrum logaritmik (Gambar 10) didapatkan kedalaman anomali dangkal berada pada kedalaman 3592 meter dan anomali dalam 36017 meter.



Gambar 10. Hasil analisa spektrum lintasan. (Atas) Profil anomali regional, (Bawah) estimasi kedalaman

D. Pemodelan

Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan memodelkan benda penyebab anomali berdasarkan pada anomali Bouguer lengkap Regional di bidang datar yang merupakan hasil dari kontinuitas ke atas, pemodelan 3 dimensi menunjukkan bahwa struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian yang cukup kompleks dimana terdapat adanya jalur lipatan pengunungan dan cekungan (Gambar 11).



Gambar 11. Pemodelan Anomali Gravitasi pada daerah penelitian

Berdasarkan pemodelan tersebut bahwa kegiatan tektonik di daerah penelitian didominasi oleh proses konvergensi antara kerak benua Australia di selatan dan kerak Samudera Pasifik di utara. Kegiatan tektonik konvergensi telah menghasilkan beberapa cekungan yang berhubungan dengan deformasi pensesaran. Lajur struktur lipatan dan sesar naik yang terbentuk sangat penting untuk pembentukan perangkat struktural hidrokarbon.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa di daerah penelitian dapat dijumpai adanya proses tektonik berupa adanya lajur struktur lipatan/ pengangkatan dan cekungan yang dihasilkan dari deformasi batuan. Himpunan batuan yang dijumpai dalam lajur pengangkatan / pegunungan dalam pemodelan ini berupa batuan opiolit yang terbentuk diatas kerak samudera. Pembentukannya diperkirakan akibat pengikisan lempeng yang menyusup dan menempel pada lempeng diatasnya sebagai mélange chaotic dengan perlipatan dan pensesaran yang kompleks. Struktur deformasi tersebut diakibatkan oleh adanya gaya kompresi. Sedangkan cekungan yang dihasilkan dari deformasi pensesaran dianggap bahwa kerak bumi banyak mengalami kompresi lateral yang menyebabkan bagian daripada kerak itu melipat kebawah karena adanya tarikan gaya berat (gravitasi) yang diakibatkan oleh adanya batuan – batuan yang mempunyai rapat massa kecil yang menyusup kedalam litosfer. Di dalam cekungan tersebut terdapat beberapa formasi batuan yang berfungsi sebagai batuan induk migas berupa batupasir serta batu gamping.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Kedalaman bidang batas anomali lokal berada pada kedalaman 3592 meter dan kedalaman bidang batas anomali dalam berada pada kedalaman 36017 meter.
2. Pemodelan 3 dimensi menunjukkan bahwa struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian yang cukup kompleks yang terdapat adanya jalur perlipatan dan cekungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1995, *Petroleum Geology of Indonesia Basins, Vol.2*, Pertamina BPPKA.
- Anonim., 2006 , *Central Sumatera (1991), Indonesia : Oil and Gas Field Atlas*, Indonesian Petroleum Association.
- Arafin, S., 2004, *Relative Bouguer Anomaly, The Leading Edge*, Vol. 23(9), P.850-851.

- Asikin, S., 2002, *Geologi Struktur Indonesia*, Laboratorium Geologi Dinamis-geologi Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Bachri, S., 2014, *Kontrol Tektonik dan Struktur Geologi Terhadap Keterpadatan Hidrokarbon di daerah Papua*. Jurnal Geologi dan Sumber Daya Mineral Vol. 15 No.3 Hal 133 - 141
- Barber, A.J., Crow, M.J., and Milson, J.S., 2005, *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*, London: Geological Society Memoir 31
- Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA.
- Bullard, E.C., 1936, *Gravity Measurements in East Africa*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 235 (757), P. 445-531.
- Bullard, E.C., and Cooper, R.I.B., 1948, *The Determination of the Masses Necessary to Produce a Given gravitational Field*, Proc. R. Soc. Lond., A194, 332-347.
- Dampney, C.N.G., 1969, *The Equivalent Source Technique*, Geophysics, Vol.34(1), P.35-39.
- Dermawan, A, 2010, *Rekonseptualisasi dan Pemrograman Reduksi Data Gravitasi serta Pemetaan ke Koordinat Teratur (Gridding) Menggunakan Bahasa Pemrograman Visual Basic*, Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Dzakiya, N, 2013, *Pemodelan Tiga Dimensi (3-D) Bawah Permukaan Bumi di SubCekungan Jambi Pada Lapangan "Zuhro" Berdasarkan Analisis Data Anomali Gravitasi*, Thesis S-2, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Eubank, R T. and Makki, A. C, 1981, *Structural Geology of The Central Sumatra Back Arc Basin*, Proceeding Indonesian Petroleum Association, 10 Annual Convention, Jakarta.
- Featherstone, W.E., 1995, *On The Use of Australian Geodetic Datums in Gravity field Determination*, Geomatics Research Australasia, Vol.62,P.17-36.
- Grandis, H., 2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika ITB*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Jakarta.
- Grant, F.S., and West, G.F., 1965, *Interpretation Theory in Applied Geophysics*, McGraw-Hill Inc, New York.
- Hammer, S., 1939, *Terrain Corrections for Gravimeter Stations*. *Geophysics* 4, 184-194.
- Harahap, D., 1999, *Modul Pendahuluan Geofisika, Akademi Meteorologi dan Geofisika*, Jakarta.

- Heidrick, T.L. and Aulia, K., 1993, *A Structural and Tectonic Model of The Coastal Plains Block, Central Sumatra Basin, Indonesia*, Proceeding of Indonesian Petroleum Association 22nd Annual Convention.
- Heryanto. R dan Heri. H., 2006, *Potensi Batuan Sumber (Source Rock) Hidrokarbon di Pegunungan Tigapuluh, Sumatera Tengah*, Jurnal Geologi, Vol.1(1),P.37-48
- Jatnika, M.Y, Tri, S.I, Handri,U dan Wawan, G.A.K., 2007, *Survey Microgravity Untuk Monitoring Pengaruh Injeksi dan Produksi Sumur di Lapangan Sago-Lirik Riau*, Proceeding Simposium Nasional IATMI, UPN Veteran, Yogyakarta.
- Kane, M.F., 1962, A Comprehensive System of Terrain Corrections Using a Digital Computer, *Geophysics*, Vol. 27 (4), P. 455-462.
- Kadir, A., 2000, *Eksplorasi Gaya gravitasi dan Magnetik*, Program Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Karl, J.H., 1971, *Short Notes: The Bouguer Correction for the Spherical Earth*, *Geophysics*, Vol.36(4), P.761-762.
- Kirbani, S.B., 2001, *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika:Metode Gravitasi*, Laboratorium Geofisika Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- LaFehr, T.R., 1991, *Standardization in Gravity Reduction*, *Geophysics*, Vol.56 (8), P.1170-1178.
- Longman, I.M., 1959, *Formulas For Computing The Tidal Acceleration Due to Moon and The Sun. Journal Geophysical Research Vol.64*, 2351-2355.
- Menke, W., 1984, *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, Academic Press, Inc., Orlando, Florida.
- Nettleton, L.L., 1942, *Determination of density for Reduction of Gravimeter Observation*, *Geophysics*, Vol.42, P.117-134.
- Reynolds, J.M.,1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley and Sons Inc., England.
- Safani, J., 2000, *Analisis Anomali Medan Gravitasi di Atas Sferoid Referensi*, Thesis S-2, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sakti, A. P., 2009, *Interpretasi Data Gravitasi Untuk Melokalisir Jebakan Minyak Bumi Pada Zona Patahan Di Daerah X Cekungan Sumatera Tengah*, Skripsi S-1, Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Sarkowi, M., Ahmad,Z., dan Rifai A., 2013, *Pemodelan Struktur dan reservoir Lapangan Panas Bumi Borjol Dari Anomali Gayaberat*, Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, Lampung.
- Seigel, H.O.,1994, *"A Guide To High Precision Land Gravimeter Surveys"*, Ontario Geological Survei, Canada.
- Suwarna, N., Budhitrisna, T., Santosa, S., dan Andi Mangga, S., 1994, *Peta Geologi Lembar Rengat, Skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Suyanto, I, 2011, *Pemodelan Bawah Permukaan Gunung Merapi dan Merbabu Berdasarkan Analisis Data Gravitasi*, Laporan Penelitian Dosen, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Telford, W.A., Geldart, L.P., Sherif, R.E.,1990 *"Applied Geophysics Second Edition"*, Cambridge University Press, London.
- Thunggara, W., 2012, *Perhitungan Volume Batubara Berdasarkan Distribusi Lithofasies Studi Kasus: Formasi Muara Enim Lapangan "P" Riau*, Skripsi S1, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Whitman, W.W., 1991, *A Microgal Approximation for the Bullard B-earth's curvature Gravity Corrcction*, *Geophysics*, Vol. 56(12),P.1980-1985.
- Zhou X.,Zhong B.,Li X.,1990, *"Gravimetric Terrain Correction by Triangular Element Method, Geophysics, Vol.55, PP.232-238"*.