

Aplikasi Satellite GEOSAT dan ERS Sebagai Metode Alternatif Pengukuran Gravity Ground Pada Cekungan Hidrokarbon di Pulau Timor

M.Yanis^{1*}, Marwan^{1,2} dan Nuzul Kamalia¹

¹ Teknik Geofisika, Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh, 2311, Indonesia. ² Jurusan Fisika, Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh, 2311, Indonesia.

*Email koresponden: yanis@unsyiah.ac.id

Direvisi: 2019-01-03. Diterima: 2019-08-27
©2019 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

Abstrak Gravitasi merupakan metode awal yang digunakan untuk mempelajari basement pada area potensial hidrokarbon. Pada umumnya metode gravitasi diukur melalui darat dengan peralatan Scintrex maupun LaCoste & Romberg, teknik ini membutuhkan waktu dan finansial yang relative banyak. Padahal secara prinsip pengukuran, metode ini tidak membutuhkan kontak langsung dengan tanah, sehingga dimungkinkan untuk diukur melalui airborne dan satelit. Oleh karena itu untuk mempelajari akurasi data gravitasi satelit, maka pada penelitian ini data satelit akan dibandingkan dengan pengukuran darat yang telah diakuisisi pada area hidrokarbon di Pulau Timor. Data gravitasi pengukuran darat telah diakuisisi sejak tahun 1948-1989 oleh beberapa perusahaan minyak, sedangkan gravitasi satelit yang digunakan berupa Geodetic Satelit (GeoSat) dan European Remote Sensing (ERS) tahun 2011 dengan resolusi 1.85 km/px. Perbedaan waktu pengukuran yang relative jauh dari kedua data tersebut, maka data gravitasi darat ditransformasikan ke model standar ellipsoid baru dari International Terrestrial Reference Frame ITRF (WGS84). Data bouger anomali dari kedua data tersebut menunjukkan pola yang relative sama, disisi utara didominasi oleh anomali yang tinggi (90 s/d 185 mGal), sedangkan sisi selatan anomali yang rendah (-75 s/d 90 mGal). Pada beberapa tempat yang diduga terdapat hidrokarbon; ditunjukkan oleh syncline, anticline, rembesan oil dan gas maka data gravitasi satelit dapat menunjukkan anomali yang kontras dibandingkan dengan gravitasi pengukuran di darat. Hal ini diakibatkan oleh resolusi data satelit yang bersifat regional dibandingkan dengan gravitasi darat.

Kata kunci: gravitasi satelit, cekungan minyak, gravitasi permukaan

Abstract Gravity is the frontier method used for mapping the basements in hidrokarbon areas. In general, the method is measured from the ground surface using the Scintrex or LaCoste & Romberg instrument, but for a large area the ground gravity is highly cost and financial resources in data observation. In principle, the gravity method does not require direct contact with the ground that will be possible to measure from airborne and satellite. Therefore, we study the accuracy of satellite data that potential used for hidrokarbon investigation. In this research, we compare the satellite data with the ground surveys that have been acquired on the island of Timor. The Ground survey data was acquired from 1948-1989 by several oil companies, while the satellites used is Geodetic Satellites (GeoSat) and European Remote Sensing in 2011 with a resolution of 1.85 km/px. The Ground survey data is transformed into a new ellipsoid standard model from the International Terrestrial Reference Frame ITRF (WGS84), this is due to the difference in measurement time that is relatively far from the two data. Based on the results, it can be shown that the anomaly bouger from both data shows a very similar pattern, where the north side is dominated by high anomalies (90 to 185 mGal) while the southern side of the anomaly is low (-75 to 90 mGal). In some places that are suspected to have hidrokarbons; indicated by syncline, anticline, oil and gas seepage, satellite gravity data can show contrast anomalies compared to ground surveys. This is caused by satellite data resolution which is regional compared to ground survey.

Keywords: Gravity satellite, hidrokarbon, ground survey gravity

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan potensi shale hidrokarbon yang mencapai 349.5 trillion cubic feet (tcf) untuk gas dan 242.3 miliar barrel untuk minyak, tetapi tingkat produksi minyak di Indonesia secara bertahap menurun (Koning et.al, 2003). Salah satu usaha untuk meningkatkan produksi minyak yaitu melalui pemetaan lokasi basin terburu, terutama pada kawasan yang belum terekplorasi seperti

Pulau Timor dengan potensi jebakan fluida minyak dan gas. Pada sisi timur diindikasikan sebagai minyak bumi, sedangkan wilayah barat lebih didominasi oleh gas (Charlton, et.al. 2001). Gravitasi merupakan metode terdepan dalam eksplorasi geofisika untuk mempelajari cekungan hidrokarbon, metode ini digunakan untuk perkiraan kedalaman basement berdasarkan variasi nilai percepatan gravitasi (Erviantari,

et.al, 2014). Data graviti juga dapat digunakan sebagai informasi utama dalam penentuan lokasi pengukuran seismik secara 2D. Pada sisi lain, metode ini juga telah diaplikasikan pada beberapa potensi basin seperti di Sinchau untuk mengetahui kedalaman basement China (Hui, et.al, 2018) dan Oruc et.al, (2013) di Basin Erzurum, Turki. Metode graviti tidak hanya digunakan untuk skala regional, tetapi juga telah banyak digunakan untuk area yang relative kecil seperti studi benda arkeologi dibawah permukaan (Ismail, et.al, 2018).

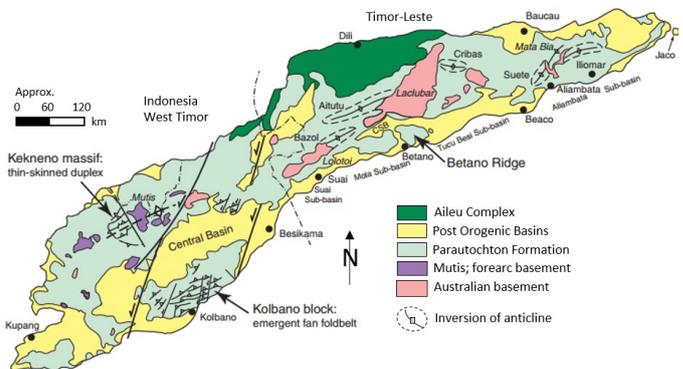
Merujuk kepada Kaye (1989) bahwa pengukuran graviti di Pulau Timor telah diakuisisi selama 4 dekade dari tahun 1948-1989 untuk keperluan pemetaan basemen menggunakan peralatan La Coste & Romberg yang diukur diatas permukaan. Survey ini telah dilakukan sebanyak 8 kali dengan jumlah 3.025 titik data untuk mengcover seluruh kepulauan Timor. Jika dilihat dari durasi akuisisi data, graviti ini akan menghabiskan waktu dan finansial yang relatif banyak (Hwang, et.al, 2006), sehingga tidak efektif digunakan di negara berkembang seperti Indonesia. Padahal berdasarkan konsep pengukuran, sensor peralatan graviti tidak membutuhkan kontak langsung dengan permukaan tanah ketika proses akuisisi data, hal ini memungkinkan metode graviti tidak hanya diukur diatas permukaan tanah tetapi juga melalui udara seperti *airbone* dan satelit. Salah satu keuntungan pada pengukuran *airborne* dan satelit graviti dapat mengcover area yang sangat luas dengan durasi waktu yang singkat, namun untuk saat ini pengukuran graviti *airbone* relatif sangat mahal sehingga tidak terjangkau untuk semua wilayah, sedangkan data pengukuran graviti satelit tersedia gratis melalui Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego dengan resolusi 1.8 km untuk satu *pixel*. sedangkan ketelitian data anomali gravitasi ini sebesar 0.1 mGal (Sandwell, et.al, 2009). Untuk area survei yang bersifat regional, maka resolusi data satelit ini memungkinkan untuk diaplikasikan pada area potensi hidrokarbon di Pulau Timor.

Pada lokasi lain graviti satelit telah digunakan untuk mempelajari struktur dan tektonik dari subduksi Andaman (Rao, et.al, 2001) dan juga telah diaplikasikan untuk pemetaan zona rekahan di Scotia Ridge, Antarctica (Flores-Márquez, et.al, 2003), aplikasi data Geosat dan ERS juga telah menunjukkan struktur patahan Segment Aceh dan Seulimum dengan sangat baik berdasarkan transformasi *tilt derivative* pada metode graviti (Yanis, et.al, 2019), selain itu data graviti satelit juga telah menunjukkan kontras anomali yang relatif sama dengan data pengukuran darat pada Kepulauan Tanimbar, Propinsi Maluku (Yanis, et.al, 2019). Hasil penelitian Chatterjee et.al, (2007) menunjukkan bahwa respon data satelit berasosiasi terhadap data graviti laut yang diukur dengan shipborne, namun referensi tentang perbandingan antara data satelit dengan pengukuran darat sangat sedikit sumber yang didapat. Oleh karena itu sebagai upaya untuk mempelajari efektivitas penggunaan graviti satelit, maka pada

penelitian ini data satelit akan dibandingkan dengan data pengukuran darat yang telah disurvei pada cekungan hidrokarbon di Pulau Timor. Dalam tulisan ini, kami menyajikan struktur geologi pada lokasi hidrokarbon Pulau Timor menggunakan data misi altimeter Graviti radar dari satelit Geosat dan ERS-1 yang tersedia dalam anomali *free air*. Sehingga data satellite ini dibutuhkan beberapa koreksi data untuk memperoleh data percepatan gravitasi dalam bentuk Bouger anomaly.

Pulau Timor merupakan sebuah pulau di Asia Tenggara yang berada pada busur Indonesia bagian Selatan. Pulau Timor berbatasan dengan Laut Savu, Flores dan Banda di bagian utara. Sedangkan pada bagian selatan berbatasan dengan Laut Timor dan Arafura. Pulau timur merupakan bagian luar dari busur Banda sebagai tempat tumbukan antar lempeng Benua Australia.

Secara geologi, Charlton (2001) menyatakan bahwa Pulau Timur dapat dikelompokkan kedalam tiga jenis satuan tektonostratigrafi; yaitu formasi parautochthon yang didominasi oleh batuan dari tepi barat daya benua Australia, formasi kedua yaitu alokton yang terdiri dari batuan luar Banda, sedangkan formasi yang ketiga adalah fasies Timor yang terbentuk akibat tumbukan antar lempeng. Sedangkan pada lokasi dimana terdapat potensi hidrokarbon ditunjukkan oleh distribusi basin. Selain itu Pulau Timur juga terdapat formasi Maubisse yang didominasi batuan gunung api. Gambar 1 menunjukkan peta Geologi kepulauan Timor.



Gambar 1. Peta geologi dan distribusi potensi hidrokarbon regional Pulau Timor, yang ditunjukkan dengan basin berwarna kuning pada peta (Charlton, 2001).

METODE PENELITIAN

Graviti merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang digunakan untuk mengukur variasi medan gravitasi bumi, yang terjadi akibat adanya perbedaan rapat massa antar batuan dibawah permukaan, dan juga dipengaruhi oleh perbedaan topografi diatas permukaan bumi. Metode graviti bekerja berdasarkan konsep hukum Newton yang menunjukkan besarnya gaya tarik menarik antara dua buah benda berbanding lurus terhadap massa dan berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antar pusat masa benda. Secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan:

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

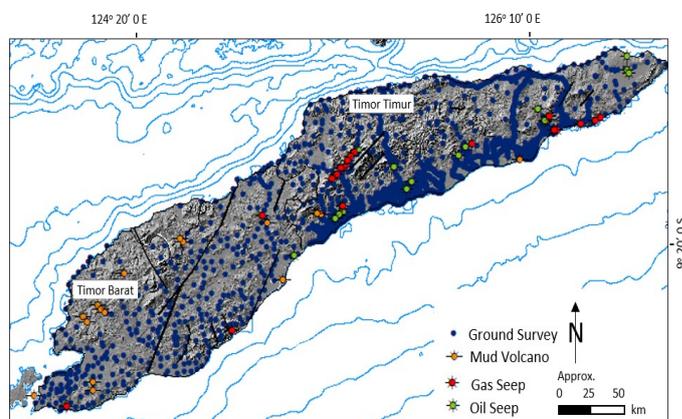
Dimana F merupakan gaya antara dua buah benda, G konstanta gaya berat ($6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$), m_1 dan m_2 sebagai masa benda sedangkan r merupakan jarak antar pusat masa kedua benda. Data hasil pengukuran graviti diatas permukaan belum bisa digunakan secara langsung untuk interpretasi kondisi bawah permukaan, data tersebut perlu dilakukan beberapa koreksi untuk memperoleh anomali bouger sederhana seperti koreksi pasang surut, koreksi apungan, udara bebas, dan koreksi Bouger. Sedangkan untuk memperoleh anomaly Bouger lengkap yang memperhitungkan medan gravitasi dibawah permukaan bumi dan pengaruh topografi maka dibutuhkan koreksi medan melalui persamaan Hammer Chart (Telford, 1990). Metode graviti sering digunakan dalam berbagai eksplorasi awal baik secara 2D atau 3D untuk sumber daya alam (Oruc, et.al, 2013). Namun berdasarkan prinsip pengukuran graviti yang tidak membutuhkan kontak langsung dengan permukaan tanah, maka akuisisi data gravitasi dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu melalui daratan (*ground*), laut (*shipborne*), dan udara (*airborne* dan *satellite*) dengan instrumentasi yang berbeda.

Berbeda halnya dengan metode graviti pengukuran darat, graviti satelit bekerja dengan memanfaatkan peralatan altimeter berupa sensor *electromagnetic pulse*. Ada berbagai jenis satellite altimetri yang tersedia secara bebas diinternet, namun Geodetic Satelit (GeoSat) dan European Remote Sensing (ERS-1) merupakan salah satu satelit graviti dengan resolusi yang relative tinggi yaitu 1.85 km/px. GeoSat merupakan satelit observasi bumi milik U. S. Navy, sedangkan satelit ERS-1 adalah satelit observasi bumi pertama yang diluncurkan Badan Antariksa Eropa (Sandwell, et.al, 2009).

Data anomali gravitasi citra satelit Pulau Timor diperoleh dari website TOPEX, adapun data graviti pengukuran darat pada wilayah ini telah diakuisisi sebanyak 8 kali mulai dari tahun 1948-1976. Karena berada pada wilayah negara yang berbeda, maka pengukuran graviti darat dibagi menjadi dua wilayah; pertama di Timur Timor yang telah diakuisisi oleh Shell (1948), Timor Oil (1959-1962), Flinders University, Australia (1974) Imperial College London (1976) dan Missao Geografica de Timor (1978), sedangkan di wilayah Timor Barat yang disurvei oleh Badan Geologi Bandung (1977-1979). Secara keseluruhan diperoleh data graviti pengukuran darat sejumlah 3.025 titik; 366 di Timor barat dan 2659 di Timor Timur. Sedangkan graviti Satelit dengan resolusi 1.8 km mampu menghasilkan data dengan jumlah 29.358 titik di seluruh area Pulau Timor (Kaye, 1989).

Selain itu perbedaan waktu pengukuran antara graviti darat dan satelit yang relative jauh akan menyebabkan kedua data tersebut menghasilkan pola anomali yang berbeda, hal ini disebabkan oleh berbagai faktor topografi pada saat data diperoleh, terutama dalam gravitasi satelit; anomali udara bebas hanya terkait dengan data topografi dari wilayah sur-

vei. Dalam penelitian ini, data bouguer dari dari pengukuran darat akan direduksi dengan menggunakan model standar ellipsoid baru dari data gravitasi; anomali itu relatif ini merujuk kepada International Terrestrial Reference Frame ITRF (WGS84). Secara lengkap sebaran titik data pengukuran graviti didaratan ditunjukkan oleh Gambar 2.



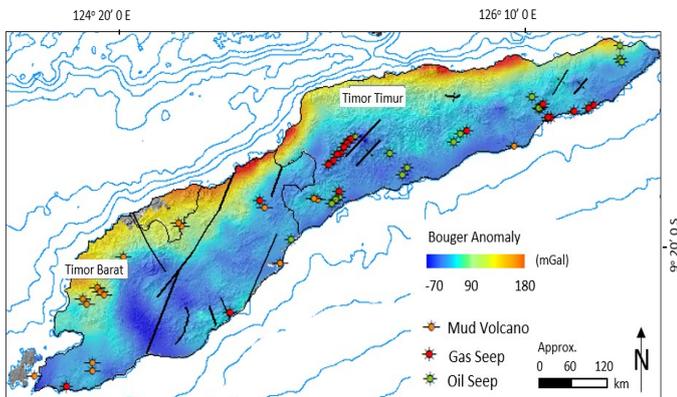
Gambar 2. Sebaran titik pengukuran graviti daratan dari tahun 1948-1976. Lokasi yang berpotensi terdapat hidrokarbon ditunjukkan oleh rembesan minyak dan gas (*Gas and Oil Seep*). Data rembesan minyak dan gas diperoleh dari Charlton, (2001).

Variasi percepatan gravitasi dari Satelit dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk hidrologi permukaan-tanah, proses gempa bumi, serta proses atmosferik dan samudera. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian untuk melihat sejauh mana perbandingan antara data graviti pengukuran darat dengan satelit, sehingga menghasilkan efektivitas penggunaan data satelit pada cekungan hidrokarbon, terutama di Pulau Timor.

HASIL DAN PENELITIAN

Data pengukuran graviti didaratan yang relatif lama yaitu tahun 1940-an dapat mengakibatkan perbedaan respon anomali terhadap kondisi topografi sekarang ini, sehingga dibutuhkan proses reduksi pada anomali *free air* agar dapat dilakukan perbandingan dengan data satelit yang diakuisisi pada tahun 2011. Anomali *free air* pada metode graviti merupakan data percepatan gravitasi yang hanya berasosiasi terhadap kondisi topografi daerah penelitian, sehingga dibutuhkan koreksi bouger dan terrain untuk menghilangkan efek topografi pada data (Burger, 1982), selain itu proses ini dilakukan untuk menghasilkan nilai percepatan gravitasi terhadap densitas material bawah permukaan. Nilai densitas 2.67 g/cm³ digunakan pada data graviti darat sebagai representasi dari batuan beku dibawah permukaan. Gambar 3 menunjukkan anomali bouger lengkap dari pengukuran graviti darat yang telah direduksi elipsoid. Anomali ini bervariasi antara -70 mGal sampai 180 mGal, anomali yang relative rendah diperoleh pada sisi Selatan dari Pulau Timor, sedangkan anomali yang tinggi diperoleh pada sisi Utara dari Pulau Timor, hal ini diakibatkan oleh aktivitas tektonik pada

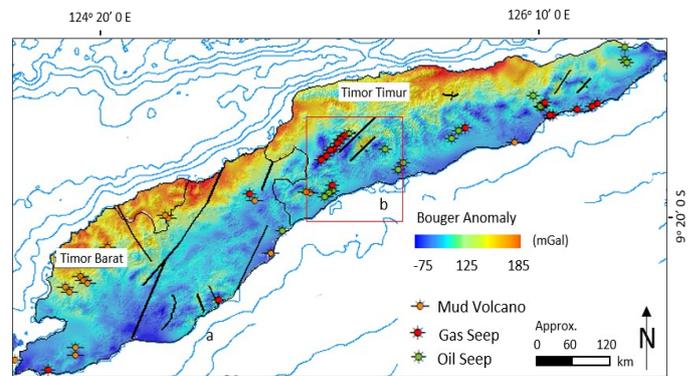
bagian luar dari busur Banda sebagai tempat tumbukan antar lempeng Benua Australia. Hal ini juga bersesuaian dengan kondisi geologi, dimana pada sisi tersebut terdapat beberapa struktur patahan yang menunjukkan aktivitas tektonik bawah permukaan.



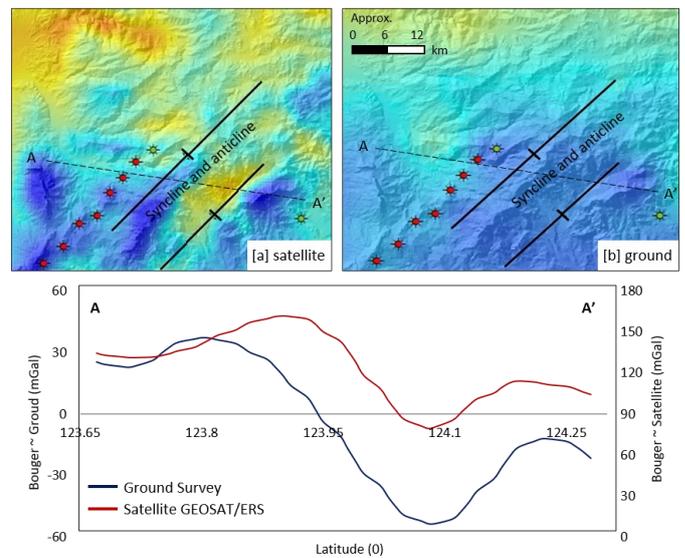
Gambar 3. Anomali bouger dari pengukuran graviti darat di Pulau Timor yang telah disusun dengan jejak potensi hidrokarbon, seperti rembesan oil dan gas serta struktur geologi untuk kemudahan interpretasi.

Pada beberapa lokasi yang diperkirakan terdapat potensi hidrokarbon didominasi oleh nilai bouger anomali yang relative rendah (-70 sampai 80 mGal). Selain itu pada sisi ujung dari Timor Barat terdapat pola anomali berbentuk oval yang juga diperkirakan sebagai respon dari sedimentasi basin dengan densitas yang rendah, anomali ini bersesuaian dengan distribusi basin dari peta geologi. Pada lokasi rembesan minyak; oil dan gas seep juga didominasi oleh nilai bouger yang rendah, namun pola anomali yang dihasilkan tidak menunjukkan perbedaan yang sangat kontras, hal ini diakibatkan oleh distribusi antar titik pengukuran pada metode graviti darat yang relatif dekat, sehingga menyebabkan data bouger dipengaruhi oleh respon anomali dekat permukaan. Berbeda dengan pengukuran darat, prinsip pengukuran graviti satelit didasarkan pada waktu perpindahan satelit altimetry dalam pengambilan data. Satelit Geosat dan ERS-1 mengcover area dengan spasial posisi lintang dan bujur sebesar 1 menit/grid, sehingga diperoleh data graviti dengan resolusi 1.8 km untuk 1 pixel. Data percepatan gravitasi yang diperoleh dari satelit tersebut masih bersifat free air, sehingga juga dibutuhkan koreksi bouger dan terrain dengan sumsi densitas yang sama (2.67 g/cm³). Gambar 4 menunjukkan bouger anomali lengkap dari data graviti satelit pada Pulau Timor.

Berdasarkan Gambar 4 anomali bouger satelit bervariasi antara -75 sampai 185 mGal, dimana secara keseluruhan respon anomali bawah permukaan menunjukkan pola yang sama dengan survei graviti darat. Pada sisi utara diperoleh nilai yang relative tinggi sedangkan rendah pada sisi Selatan. Pada lokasi yang diperkirakan terdapat basin, maka data graviti satelit ditunjukkan oleh anomali bouger yang bervariasi dari -75 sampai dengan 90 mGal, anomali ini secara kese-



Gambar 4. Anomali bouger dari graviti satelit yang juga dioverlay dengan rembesan minyak dan gas serta patahan dari kepulauan Timor.



Gambar 5. Perbandingan respon anomali bouger pada data satelit dan pengukuran darat; (a.) data satelit dan (b.) data graviti darat pada kawasan rembesan minyak dan gas, sedangkan (c.) merupakan data sayatan pada area yang diperkirakan terdapat daerah terperangkap minyak dan gas seperti *syncline* dan *anticline*.

luruhan sama dengan data graviti darat, namun pada beberapa seperti struktur patahan, data gravitasi satelit dapat menunjukkan pola kelurusan yang bersesuaian dengan struktur geologi pada sisi barat dari Pulau Timor. Gambar 5.a dan b menunjukkan perbedaan respon nilai anomali bouger pada salah satu area potensi hidrokarbon.

Berdasarkan Gambar 5 maka dapat ditunjukkan bahwa pada beberapa kawasan yang berpotensi hidrokarbon; pada peta geologi terdapat singkapan berupa rembesan minyak dan gas, maka data graviti satelit dapat memetakan kawasan tersebut dengan lebih baik dibandingkan dengan graviti pengukuran darat, seperti pada sisi Barat terdapat pola kelurusan dengan nilai bouger rendah yang juga berasosiasi terhadap kawasan rembesan minyak, sedangkan pada graviti pengukuran darat nilai bouger tidak menunjukkan anomali yang kontras. Selain itu pada lokasi struktur *syncline* dan *anticline*, maka data bouger graviti juga mampu memetakan kontras anomali, dimana terdapat bouger tinggi yang dihimpit oleh

nilai anomali rendah, sedangkan data gravitasi darat tidak menunjukkan kontras anomali pada lokasi tersebut.

Secara keseluruhan data bouger anomali dari kedua metode pengukuran ini relatif sama, Gambar 5.c menunjukkan data sayatan dengan *trend* yang sama antara data gravitasi satelit dengan gravitasi pengukuran darat, bahkan pada lokasi latitude 123.65° sampai dengan 123.8° diperoleh respon anomali bouger yang relatif sama. Selain itu pola *trend* dari kedua data juga bersesuaian dari jarak latitude 123.8° sampai 124.25°, namun nilai bouger gravitasi Geosat yang lebih tinggi dibandingkan dengan data pengukuran gravitasi darat. Perbedaan respon ini diakibatkan oleh distribusi titik pengukuran gravitasi darat yang fluktuatif dibandingkan dengan gravitasi satelit, sehingga mengakibatkan data pengukuran darat dipengaruhi oleh efek anomali dekat permukaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data bouger dari kedua metode tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan data gravitasi satelit menghasilkan pola respon yang sama dengan gravitasi pengukuran darat, hal ini ditunjukkan oleh anomali yang rendah pada sisi selatan dan anomali tinggi pada sisi utara. Pada area yang diperkirakan terdapat cekungan hidrokarbon di Pulau timur, kedua data ini dapat menunjukkan pola anomaly dengan nilai yang relative rendah (-70 s/d 90 mGal). Sedangkan pada beberapa lokasi singkapan lapangan seperti daerah rembesan minyak, syncline dan anticline data gravitasi satelit dapat menunjukkan kontras anomali yang lebih baik dibandingkan dengan data gravitasi pengukuran didarat, begitu juga pada area struktur patahan data satelit dapat menunjukkan batasan struktur tersebut dengan baik. Hal ini diakibatkan oleh resolusi data satelit yang bersifat regional (1.85 km) untuk pemetaan basement pada area potensi hidrokarbon di Pulau Timur.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis ke-1 berkontribusi dalam melakukan analisis perbandingan data satelit dan gravitasi darat, serta membuat naskah publikasi; Penulis ke-2 melakukan analisis dan koreksi data gravitasi pengukuran darat; Penulis ke-3 melakukan analisis dan koreksi data satelit serta membantu dalam membuat naskah publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Burger, H. R., Burger, D. C., & Burger, H. R. (1992). *Exploration geophysics of the shallow subsurface* (Vol. 8). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Chatterjee, S., Bhattacharyya, R., Michael, L., Krishna, K. S., & Majumdar, T. J. (2007). Validation of ERS-1 and high-resolution satellite gravity with in-situ shipborne gravity over the Indian offshore regions: accuracies and implications to subsurface modeling. *Marine Geodesy*, 30(3), 197-216.
- Charlton, T. R. (2001). The petroleum potential of West Timor.
- Erviantari, D. (2014). Studi identifikasi struktur bawah permukaan dan keberadaan hidrokarbon berdasarkan data anomali

- gaya berat pada daerah cekungan Kalimantan Tengah. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(01), 13-20.
- Flores-Márquez, E. L., Suriñach, E., Galindo-Zaldívar, J., & Maldonado, A. (2003). Three-dimensional gravity inversion model of the deep crustal structure of the central Drake Passage (Shackleton Fracture Zone and West Scotia Ridge, Antarctica). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B9).
- Hwang, C., Guo, J., Deng, X., Hsu, H. Y., & Liu, Y. (2006). Coastal gravity anomalies from retracked Geosat/GM altimetry: improvement, limitation and the role of airborne gravity data. *Journal of Geodesy*, 80(4), 204-216.
- Ismail, N., Yanis, M., Abdullah, F., Irfansyam, A., & Atmojo, B. S. W. (2018). Mapping buried ancient structure using gravity method: A case study from Cot Sidi Abdullah, North Aceh. In *Journal of Physics: Conference Series*.
- Koning, T. (2003). Oil and gas production from basement reservoirs: examples from Indonesia, USA and Venezuela. *Geological Society, London, Special Publications*, 214(1), 83-92.
- Kaye, S. J. (1990). *The structure of Eastern Indonesia: an approach via gravity and other geophysical methods*.
- Liu, K., Hao, T., Yang, H., Wen, B., Hu, W., He, E., & Xu, Y. (2018). 3D gravity anomaly separation method taking into account the gravity response of the inhomogeneous mantle. *Journal of Asian Earth Sciences*, 163, 212-223.
- Rao, N. P., Rao, C. N., Hazarika, P., Tiwari, V. M., Kumar, M. R., Singh, A., & Sharkov, E. V. (2011). *Structure and tectonics of the Andaman subduction zone from modeling of seismological and gravity data* (pp. 249-268). Intech Publisher, Rijeka, Croatia.
- Sandwell, D. T., & Smith, W. H. (2009). Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge segmentation versus spreading rate. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B1).
- Telford, W. M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., (1990). *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press. USA
- Oruç, B., Sertçelik, I., Kafadar, Ö. & Selim, H. H. (2013). Structural interpretation of the Erzurum Basin, eastern Turkey, using curvature gravity gradient tensor and gravity inversion of basement relief. *Journal of Applied Geophysics*, 88, 105-113.
- Yanis, M., Marwan. (2019). The potential use of Satellite Gravity Data for Oil prospecting in Tanimbar Basin, Eastern Indonesia, The 3rd International Conference on Natural and Environmental Sciences (ICONES).
- Yanis, M., Marwan., Ismail, N. (2019). Efficient use of Satellite Gravity Anomalies for mapping the Great Sumatran Fault in Aceh Province. *Indonesian Journal of Applied Physics*, Vol 9, No. 02