

Delineasi Cekungan Sedimen dan Interpretasi Geologi Bawah Permukaan Cekungan Tanimbar berdasarkan Analisis Data Gayabarat

Sedimentary Basin Delineation and Subsurface Geological Interpretation of Tanimbar Basin based on Gravity Data Analysis

Imam Setiadi¹ dan Arenda Reza Riyanda²

¹Pusat Survei Geologi, Jalan Diponegoro 57 Bandung 40122

²Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

E-mail: setiadi_i@yahoo.com

Naskah diterima : 10 Juni 2016, Revisi terakhir : 10 Agustus 2016, Disetujui : 10 Agustus 2016

Abstrak - Produksi migas Indonesia semakin menurun secara bertahap, untuk kembali meningkatkan produksi migas diperlukan pencarian cadangan-cadangan baru dengan cara melakukan penelitian pada cekungan-cekungan sedimen frontier. Salah satu metoda geofisika yang dapat digunakan untuk mendelineasi cekungan sedimen adalah metoda gayabarat. Metode gayabarat mengukur variasi percepatan gravitasi yang disebabkan karena perbedaan densitas antar batuan bawah permukaan. Penelitian gayabarat dilakukan di daerah Kepulauan Tanimbar dengan tujuan untuk mengetahui Anomali Bouguer, pola sub-cekungan, pola tinggian, struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian melalui pemodelan 2,5D dan inversi 3D. Pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian meliputi: analisis spektral, analisis SVD, pemodelan 2,5D dan pemodelan inversi 3D untuk mengetahui struktur bawah permukaan daerah penelitian dan model/pola sub-cekungan Tanimbar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Daerah penelitian memiliki rentang anomali Bouguer antara -46,4 mGal hingga 9,6 mGal dengan anomali rendah pada bagian tengah, anomali sedang pada bagian tepi Pulau Yamdena, sedangkan anomali tinggi pada bagian tenggara dan barat laut daerah penelitian. (2) Jumlah sub-cekungan sedimen yang dapat diinterpretasi adalah sebanyak 6 sub-cekungan. (3) Pola tinggian (*basement high*) mempunyai arah relatif timur laut-barat daya. (4) Hasil pemodelan bawah permukaan 2,5D menunjukkan, a) batuan pengisi dari setiap sub-cekungan adalah batuan sedimen Tersier, yaitu Anggota Napal Formasi Batimafudi (Tmbm) nilai densitas 2,38 gr/cc, Formasi Batimafudi (Tmb) dengan densitas 2,37 gr/cc, Formasi Tangustabun (Tpt) dengan densitas 2,42 gr/cc dan batuan yang mengalasi sub-cekungan adalah batuan Pra-Tersier yakni basal dengan densitas 2,7 gr/cc dari Kompleks Molu (M), b) Analisis SVD menunjukkan letak patahan pada model 2,5D relatif sama dengan grafik SVD yang diperoleh dari peta anomali SVD.

Kata kunci - gayabarat, anomali bouguer, cekungan sedimen, model bawah permukaan, Tanimbar

Abstract - Indonesian oil and gas production has declined gradually, to increase oil production it need to search the new reserves by doing a research on frontier sedimentary basins. One of the geophysical methods that can be used to delineate the sedimentary basin is gravity method. Gravity Method measuring the variation of gravity acceleration caused by the density difference between the rocks beneath the surface. This research carried out in the area of Tanimbar Islands with the purpose to find out : Bouguer anomalies, patterns of sub-basins, pattern of basement high, subsurface geological structure of the research area through 2.5D modeling and 3D inversion. Data processing were done in this study include: spektral analysis, SVD analysis, 2.5D modeling and 3D inversion modeling, to determine the subsurface structure of the study area and the model of Tanimbar sub-basin. The results showed that: (1) The study area has a Bouguer anomaly between -46.4 mGal to 9.6 mGal with low anomaly at the center; the medium anomalies in the edge part of Yamdena Island, and high anomalies in the southeast and northwest of research areas, (2) The number of sub-sedimentary basins which can be interpreted is six sub-basins, (3) basement high has a relative direction northeast-southwest, (4) 2,5D subsurface modeling results show that : a) Sedimentary rock from each sub-basin is a Tertiary sedimentary rocks, namely the Napal Member Batimafudi Formation (Tmbm) density value of 2.38 g/cc, the Batimafudi Formation (Tmb) with a density of 2.37 g/cc, the Tangustabun Formation (Tpt) with density of 2.42 g/cc and basement is the basaltic with a density of 2.7 g/cc from Molu Complex (M). b) Analysis of SVD shows the location of the fault on the model 2,5D relatively similar to the graph obtained from the SVD anomaly map.

Keywords - gravity, bouguer anomaly, sedimentary basin, sub surface modelling, Tanimbar

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak dan gas bumi, Indonesia pernah mencapai kejayaan pada tahun 1980an dengan produksi minyak dan gas bumi mencapai 1,6 juta barel per hari (bph), namun seiring berjalannya waktu produksi minyak dan gas bumi Indonesia semakin menurun secara bertahap disebabkan rasio penggantian cadangan migas tidak sebanding dengan migas yang dikeluarkan akibatnya cadangan minyak terus merosot. Tahun ini *lifting* minyak bumi Indonesia diperkirakan hanya mencapai 812 ribu barel per hari (bph) sementara konsumsi minyak nasional mencapai 1,6 juta barel per hari, untuk menutupi kekurangan itu pemerintah terpaksa harus mengimpor. Penurunan produksi migas kemungkinan disebabkan karena cekungan-cekungan migas di Indonesia belum di ekspolarasi secara optimal. Indonesia adalah salah satu negara yang mempunyai potensi hidrokarbon yang besar di dunia, hal ini terlihat dari peta cekungan sedimen (Badan Geologi, 2009) yang berhasil memetakan jumlah cekungan sedimen berdasarkan data-data geologi dan geofisika, yakni kurang lebih ada 128 cekungan sedimen yang mempunyai potensi ekonomi geologi.

Ada dua langkah untuk meningkatkan produksi migas di Indonesia, yang pertama, yaitu dengan mengoptimalkan produksi cekungan-cekungan sedimen yang sudah terbukti menghasilkan hidrokarbon dengan cara memanfaatkan teknologi-teknologi canggih untuk mengeluarkan hidrokarbon dari perut bumi, yang kedua adalah diimbangi dengan pencarian cadangan-cadangan baru dengan cara melakukan penelitian-penelitian cekungan-cekungan *frontier* di daerah-daerah yang belum pernah dieksplorasi atau masih sedikit data-data geologi ataupun geofisika (Setiadi dr., 2010).

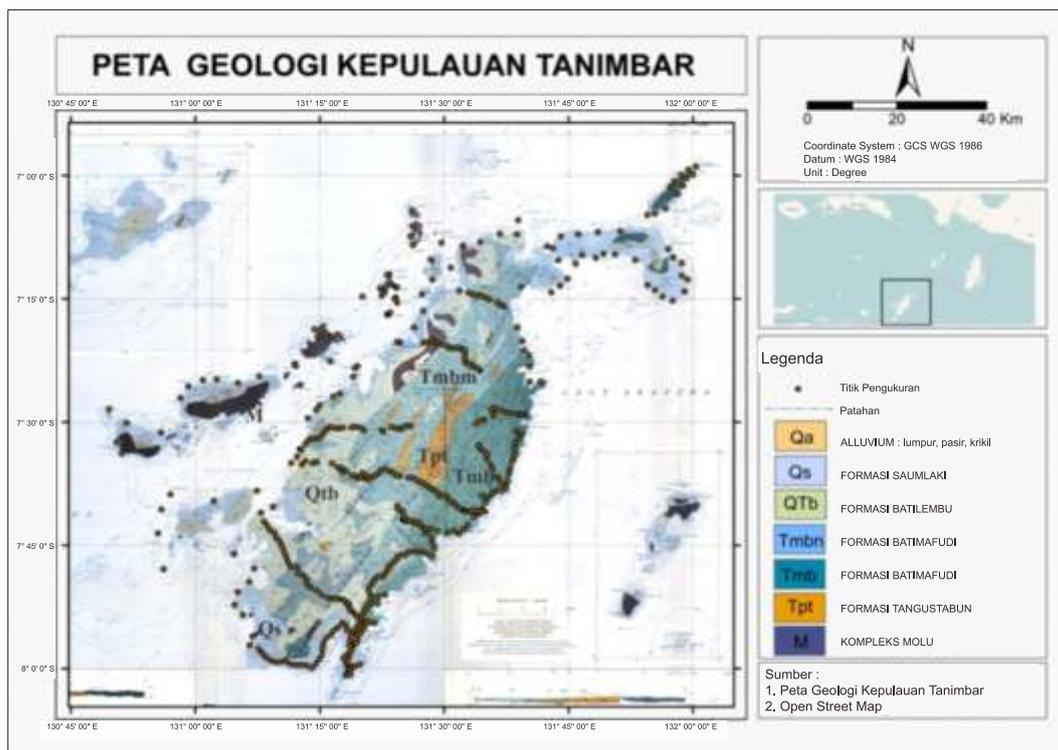
GEOLOGI REGIONAL

Kawasan Timur Indonesia, termasuk Busur Banda adalah tempat berinteraksinya lempeng-lempeng aktif di dunia yakni Lempeng Filipina (bagian Lempeng Asia), Lempeng Laut Banda, Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik (de Smet, 1999). Rezim tektonik pada interaksi tersebut melahirkan sesar-sesar besar yang berasosiasi dengan vulkanisme dan struktur-struktur perlipatan. Salah satu akibat lainnya dari interaksi beberapa lempeng tersebut adalah terbentuknya rangkaian busur luar, busur dalam (busur vulkanik) dan cekungan-cekungan sedimentasi, disertai dengan kompleksitas deformasi litologi. Walaupun di tempat-tempat tertentu seperti di Kepulauan Tanimbar subdaksinya hanya

melibatkan dua lempeng, namun rezim tektonik yang bekerja berasal dari tiga yaitu Lempeng Laut Banda, Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik. (Charlton, 2004) secara tektonik, Kepulauan Tanimbar merupakan bagian dari rangkaian pulau-pulau yang berada pada jalur Busur Banda bagian luar (*Outer arc*) yang memanjang melengkung mulai dari Pulau Timor, Babar, Kepulauan Tanimbar, Kepulauan Kei, P. Seram sampai ke Pulau Buru. Audley-Charles *et al.* (1974), berpendapat bahwa jalur penunjaman (zona subdaksi) di Busur Banda berada di sebelah utara Pulau Timor dan di sebelah selatan Pulau Seram menerus hingga Palung Weber membentuk setengah lingkaran (busur). Demikian pula hasil rekaman kegempaan dan analisa mekanisme *vocal* gempa (Cardwell and Isacks, 1978), menyatakan bahwa jalur tunjaman terletak di sebelah utara Pulau Timor dan di selatan Pulau Seram. Sedangkan menurut Hamilton (1979) Jalur penunjaman terletak di sebelah selatan Pulau Timor dan di sebelah utara Pulau Seram di mana pulau-pulau tersebut dianggap sebagai *non-volcanic outer arc* dengan pulau-pulau gunung apinya terdapat di sekeliling Laut banda seperti Pulau Wetar hingga Pulau Banda. Benua Australia bergerak ke utara dengan kecepatan 7 cm/tahun (Genrich *et al.*, 1996), dan telah menunjaman di bawah Kepulauan Timor-Tanimbar sejak 5 Juta Tahun yang lalu (Charlton, 1991). Pulau Seram dan Busur Banda terletak diantara Tektonik Pasif Margin Paparan Baratlaut Australia dan Tektonik Aktif Margin New Guinea yang keduanya telah memainkan peranan penting dalam struktur geologi, distribusi facies dan daerah prospek hidrokarbon (Kevin, 2005). Informasi geologi Kepulauan Tanimbar ini dapat diperoleh dari publikasi peta geologi Lembar Tanimbar, Maluku skala 1 : 250.000 (Gambar 1) Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung (Sukardi dan Sutrisno., 1989).

METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan untuk analisa delineasi cekungan sedimen daerah penelitian adalah data anomali gayaberat (anomali Bouguer) hasil pengukuran tahun 2010 (Setiadi, 2010) dan data geologi sebagai pendukungnya. Metodologi yang digunakan yaitu menganalisis data gayaberat dengan menggunakan konstrain informasi geologi daerah penelitian. Adapun analisis yang digunakan terhadap data gayaberat diantaranya adalah analisa spektrum untuk mengestimasi lebar jendela dan kedalaman sumber anomali serta untuk *filtering* menggunakan *Moving Average* dan *Second Vertical Derivatif* (SVD). Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *2.5D forward modelling* dan *3D Inverse modelling*. Tahapan pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 2).



Sumber : Sukardi dan Sutrisno, 1989

Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian Postmap Titik Pengukuran

Analisis Spektral

Analisis spektral dilakukan untuk mengestimasi lebar jendela serta estimasi kedalaman anomali gayaberat. Analisis spektral dilakukan dengan cara mentransformasi Fourier lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur Anomali Bouguer Lengkap. Secara umum, suatu transformasi Fourier adalah menyusun kembali/mengurai suatu gelombang sembarang ke dalam gelombang sinus dengan frekuensi bervariasi dimana hasil penjumlahan gelombang-gelombang sinus tersebut adalah bentuk gelombang aslinya (Kadir, 2000). Pada metode gayaberat, spektrum diturunkan dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal (Blakely, 1996), dimana transformasi Fouriernya sebagai berikut :

$$F(g_z) = 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)}, \quad z_1 > z_0$$

$$A = C e^{|k|(z_0-z_1)}$$

$$\ln A = \ln 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)}$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c$$

dimana ln A sebagai sumbu y |k| sebagai sumbu x, (z₀-z₁)

sebagai kemiringan garis (gradien). Oleh karena itu, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal. |k| sebagai sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya cycle/meter, dengan λ adalah panjang gelombang. Lebar jendela dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x}$$

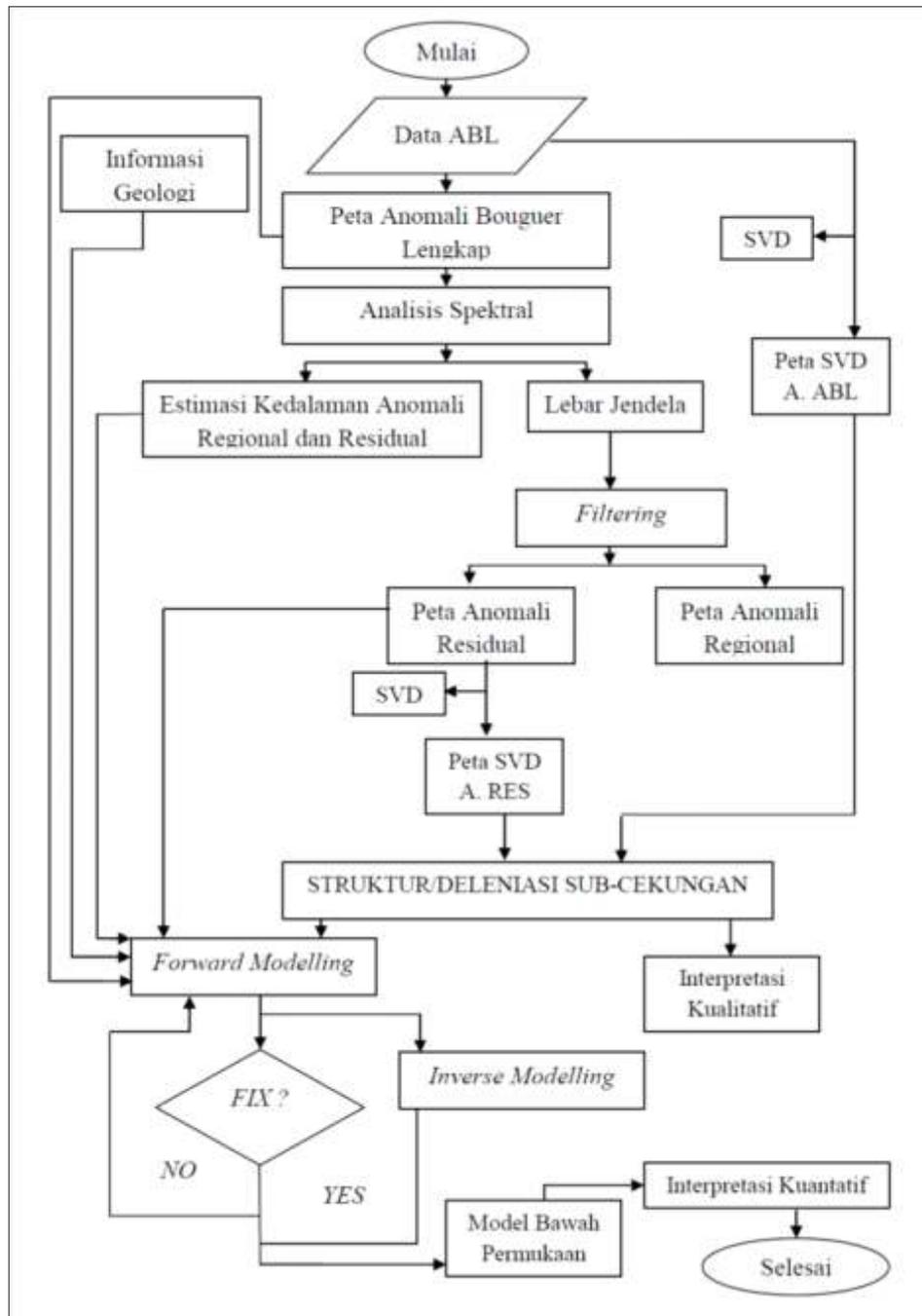
Pemisahan Regional-Residual

Data yang diperoleh setelah melakukan koreksi-koreksi adalah data anomali Bouguer. Anomali Bouguer merupakan total dari anomali residual dan anomali regional , dimana secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$G_{bouguer} = G_{reg} + G_{res}$$

Dimana, $G_{bouguer}$ adalah Anomali Bouguer, G_{reg} adalah Anomali Regional dan G_{res} adalah Anomali Residual. Sehingga untuk memperoleh anomali residual yang merepresentasikan benda-benda anomali di kedalaman dangkal, maka perlu dilakukannya pemisahan antara anomali regional dan residualnya dengan cara mengurangi anomali Bouguer dengan anomali regionalnya (Fitriana, 2011).

$$G_{res} = G_{bouguer} - G_{reg}$$



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pada dasarnya metode pemisahan dilakukan untuk memisahkan anomali-anomali berdasarkan frekuensi yang berhubungan dengan kedalaman sumber anomali tersebut. Anomali residual berhubungan dengan frekuensi tinggi, sedangkan anomali regional berhubungan dengan frekuensi rendah (Sari, 2012). Tujuan dilakukan proses pemisahan ini adalah untuk memperoleh nilai anomali residual dan regional yang representatif dengan keadaan bawah permukaan yang sebenarnya.

Filter Moving Average

Nilai gayaberat yang terukur di permukaan merupakan penjumlahan dari berbagai macam anomali dan struktur dari permukaan sampai inti bumi, sehingga anomali Bouguer yang diperoleh merupakan gabungan dari beberapa sumber anomali dan struktur (Diyanti, 2014). Pemisahan anomali ini salah satunya dapat dilakukan dengan *filter moving average*. *Moving average* dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai

anomalnya. Hasil perata-rataan ini merupakan anomali regionalnya, sedangkan anomali residualnya diperoleh dengan mengurangkan data hasil pengukuran gayaberat dengan anomali regional.

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N}$$

Dimana, i adalah nomor stasiun, N adalah lebar jendela, N adalah nilai bilangan N dikurangi satu dan dibagi dua dan Δg_{reg} adalah besarnya anomali regional.

Second Vertical Derivative (SVD)

Second Vertical Derivative (SVD) dilakukan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya dan untuk menentukan batas-batas struktur yang ada di daerah penelitian. Secara teoritis metoda ini dirurunkan dari persamaan Laplace's (Telford et al., 1976). Second Vertical Derivative digunakan untuk memunculkan sifat-sifat anomali yang bersifat lokal/dangkal yang ditunjukkan untuk mengetahui dikontinuitas dari suatu struktur bawah permukaan, khususnya patahan. Filter SVD dibuat berdasarkan prinsip dasar dan teknik perhitungan Elkins (1951), filter ini dianggap sebagai filter terbaik, yang dapat melihat posisi patahan yang paling mendekati patahan sebenarnya pada peta geologi, jika dibandingkan dengan filter lainnya. Filter Second Vertical Derivative (SVD) dengan operator Elkins filter 2-D ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Operator Elkins filter SVD

Operator filter SVD menurut Henderson and Zeitz (1949)				
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
-0.0838	-2.6667	17.0000	-2.6667	-0.0838
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
Operator filter SVD menurut Rosenbach (1952)				
0.0000	+0.0416	0.0000	+0.0416	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	-0.7500	+4.0000	-0.7500	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	+0.0416	.0.0000	-.0.0416	0.0000
Operator filter SVD menurut Elkins (1951)				
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-.0667	-0.0833
0.0000	-0.0334	+1.0668	-0.0334	0.0000
-0.0833	0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000

Sumber : Elkins, 1951

Forward Modelling 2.5D dan Inverse Modelling 3D

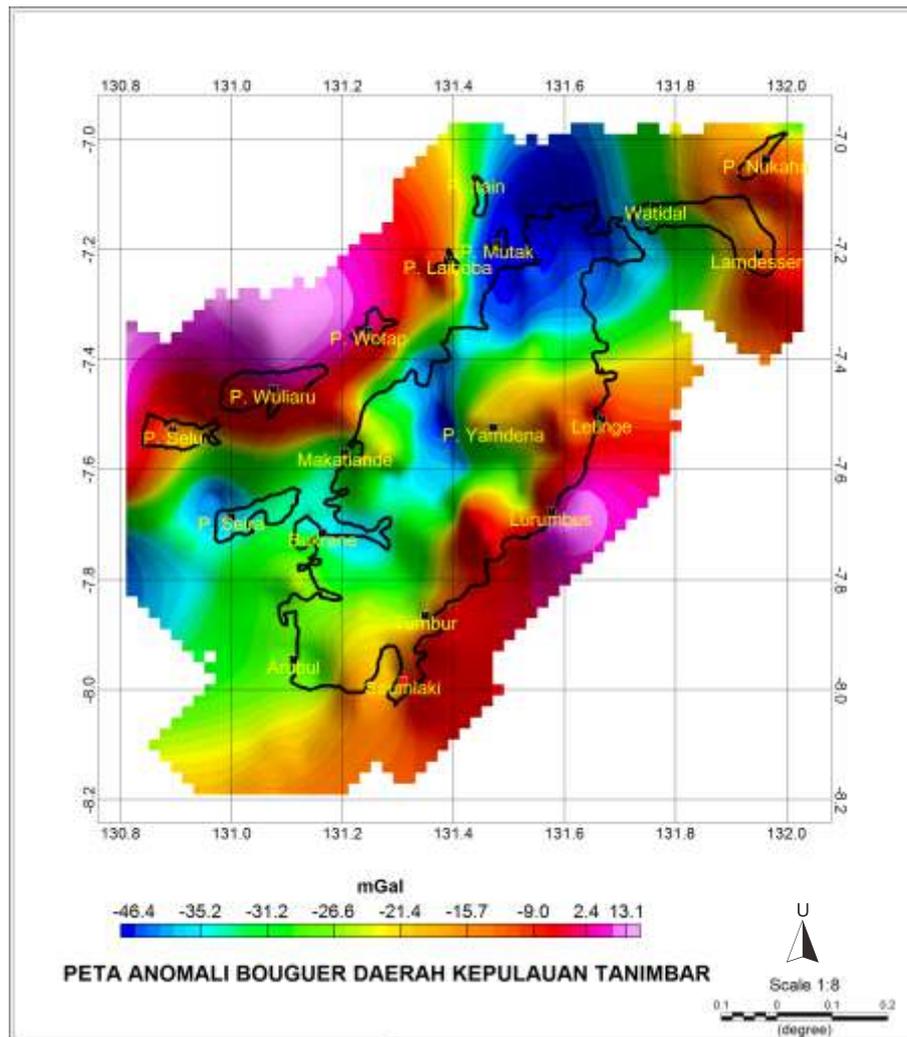
Pemodelan ke depan (*Forward Modelling*) untuk menghitung efek gayaberat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu poligon berisi n dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon (Talwani, 1969). Nilai densitas yang digunakan untuk pembuatan model bawah permukaan pada *forward modelling 2.5D* ini adalah berdasarkan referensi dari (Telford et al., 1990). *Inverse Modelling* adalah pemodelan berkebalikan dengan pemodelan ke depan. Pemodelan jenis ini sering disebut data *fitting* atau pencocokan data karena proses di dalamnya dicari parameter model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan (Grandis 2009). Untuk melakukan proses ini penulis melakukan pemodelan 3D, penulis dibantu dengan perangkat lunak GRAV3DC. Pemodelan inversi 3D dilakukan dengan input parameter pembuatan, yaitu data anomali residual (*.grv) dan *mesh* (*.txt), sehingga didapatkan *output* berupa model 3D daerah penelitian yang mendekati keadaan mendekati yang sebenarnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Bouguer

Hasil peta anomali Bouguer Gambar 3 menunjukkan rentang nilai anomali antara -46,4 mGal sampai 9,6 mGal, hasil tersebut merupakan respon variasi rapat massa batuan yang ada pada daerah tersebut. Nilai anomali rendah dengan rentang nilai anomali antara -46,4 sampai -34,4 mGal, tersebar pada bagian tengah daerah penelitian yang memanjang dengan arah relatif timurlaut-baratdaya, anomali sedang dengan rentang nilai anomali antara -34,4 sampai -23,6 mGal berada pada bagian tepi Pulau Yamdena bagian selatan, barat dan timurlaut daerah penelitian, nilai anomali tinggi dengan rentang nilai antara -23,6 sampai pada 9,6, tersebar pada bagian tenggara dan baratlaut daerah penelitian memanjang dengan arah relatif timurlaut-baratdaya. Anomali rendah pada daerah penelitian diinterpretasikan sebagai deposenter dari sub-cekungan sedimen yang berada pada Cekungan Tanimbar dan juga anomali rendah diduga disebabkan pada bagian tengah daerah penelitian masih kerak asli Pulau Yamdena belum terpengaruh oleh aktifitas tektonik seperti pada daerah tenggara dan barat laut daerah penelitian.

Anomali sedang pada daerah penelitian diduga disebabkan karena batuan transisi antara tinggian (*basement high*) dengan deposenter sub-cekungan,



Sumber : olahan Penulis

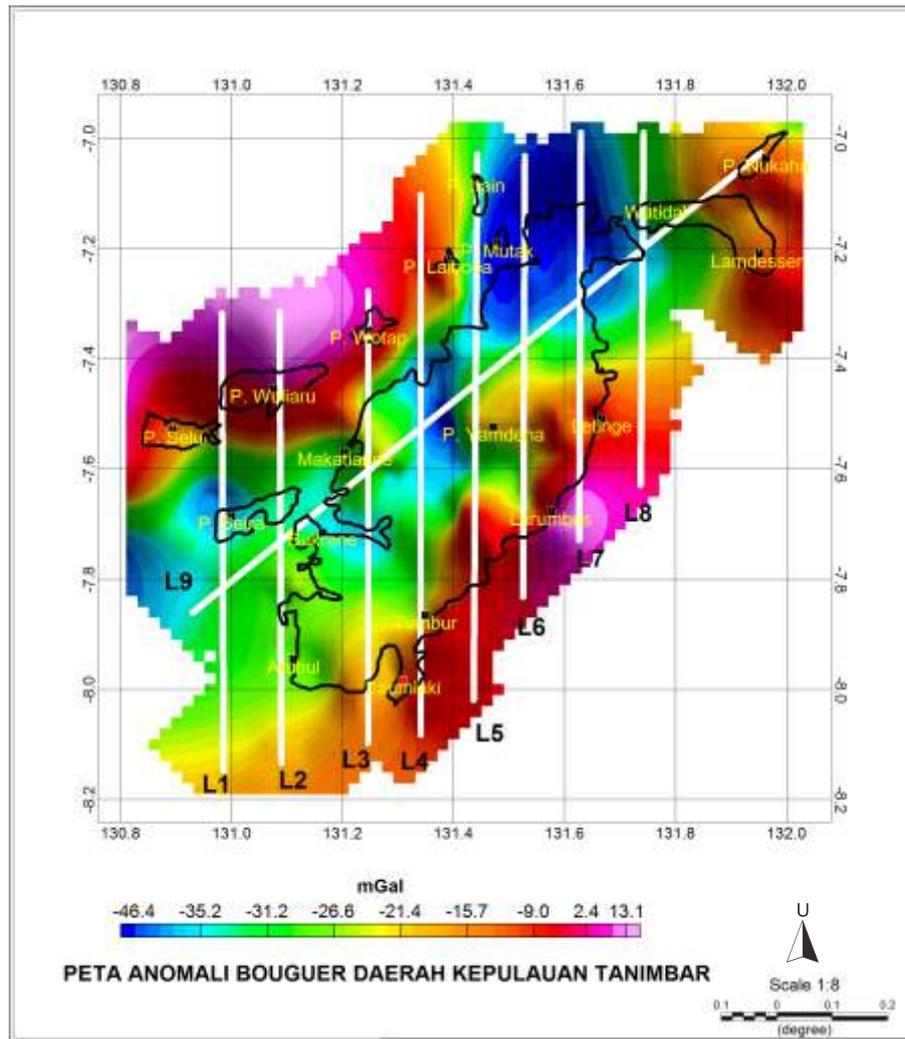
Gambar 3. Peta Anomali Bouguer Daerah Penelitian

selain itu anomali rendah diduga karena endapan permukaan batuan sedimen Tersier hingga Kuartar seperti Tpt (Formasi Tangustabun), Tmbm (Formasi Batimafudi), Qtb (Formasi Batilembuti), Qs (Formasi Saumlaki) dan lain-lain. Anomali tinggi pada daerah penelitian diinterpretasikan akibat batuan dasar yang mengalami pengangkatan atau pendangkalan, hal itu disebabkan oleh aktifitas tektonik diketahui pada bagian tenggara merupakan daerah subduksi Lempeng Australia yang bertumbukan dengan Busur Banda bagian luar. Sedangkan nilai anomali tinggi pada daerah barat laut juga disebabkan aktifitas tektonik, yaitu pertemuan antara Busur Banda bagian dalam dan Busur Banda bagian luar dan juga pada daerah tersebut terendapkan batuan M (Komplek Molu) yang dulunya disebut batuan banchu atau batuan campur aduk. Dari anomali Bouguer dapat diketahui daerah penelitian secara umum merupakan daerah cekungan yaitu, Cekungan Tanimbar.

Analisis Spektral

Analisis spektral dilakukan pada lintasan terpilih Gambar 4, nilai yang diperoleh dari semua lintasan dirata-ratakan seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai rata-rata kedalaman bidang diskontinuitas dalam (regional) adalah 18,04 km, hasil tersebut diinterpretasikan sebagai rata-rata kedalaman bidang batas antara kerak atas dan kerak bawah, sedangkan rata-rata kedalaman bidang diskontinuitas dangkal (residual) adalah 3,19 km, kedalaman anomali residual diinterpretasikan sebagai zona batas antara batuan dasar (*basement*) dengan batuan sedimen. Hasil dari analisis spektral selain untuk menghitung bidang diskontinuitas dalam dan dangkal, juga digunakan untuk menentukan bilangan gelombang kc (*cut-off*) Tabel 3, yang digunakan untuk menentukan lebar *window* (jendela).



Sumber : olahan Penulis

Gambar 4. Penampang lintasan Pada Peta Anomali Bouguer Lengkap

Tabel 2. Kedalam Bidang Anomali Penampang Lintasan 1-8

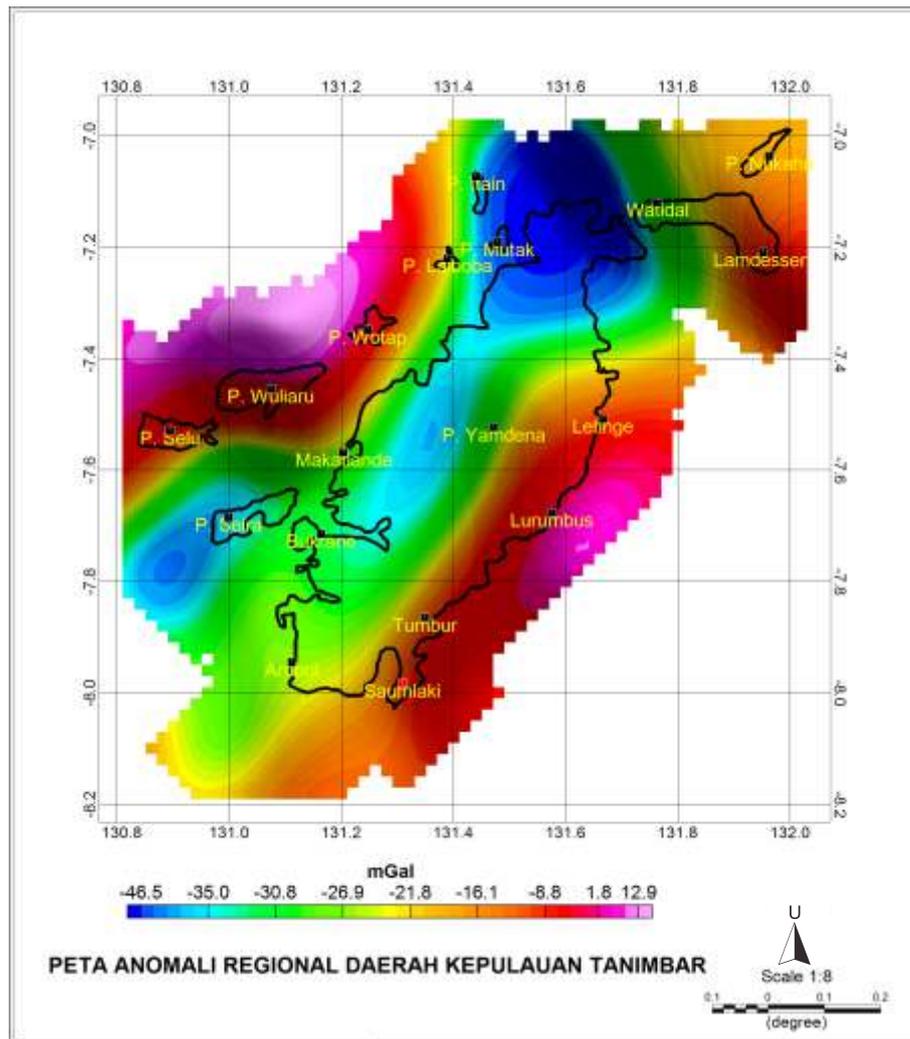
No	Lintasan	Kedalaman Bidang Anomali dalam (km)	Kedalaman Bidang Anomali dangkal (km)
1	Lintasan 1	19,10	2,99
2	Lintasan 2	19,33	2,96
3	Lintasan 3	19,90	3,55
4	Lintasan-1	19,14	4,68
5	Lintasan 5	17,35	3,62
6	Lintasan 6	21,82	3,14
7	Lintasan 7	15,34	2,52
8	Lintasan 8	11,32	2,08
	Rata-rata	18,04	3,19

Sumber : olahan Penulis

Tabel 3. Bilangan gelombang (kc) dan Lebar Jendela (N)

No	Lintasan	Bilangan Gelombang (kc)	Lebar Jendela (N) $N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x}$
1	Lintasan A	0,13	16,10256
2	Lintasan B	0,14	14,95238
3	Lintasan C	0,14	14,95238
4	Lintasan D	0,12	17,44444
5	Lintasan E	0,17	12,31373
6	Lintasan F	0,12	17,44444
7	Lintasan G	0,16	13,08333
8	Lintasan H	0,2	10,46667
	Rata-rata	0,14	14,7949

Sumber : olahan Penulis



Sumber : olahan Penulis

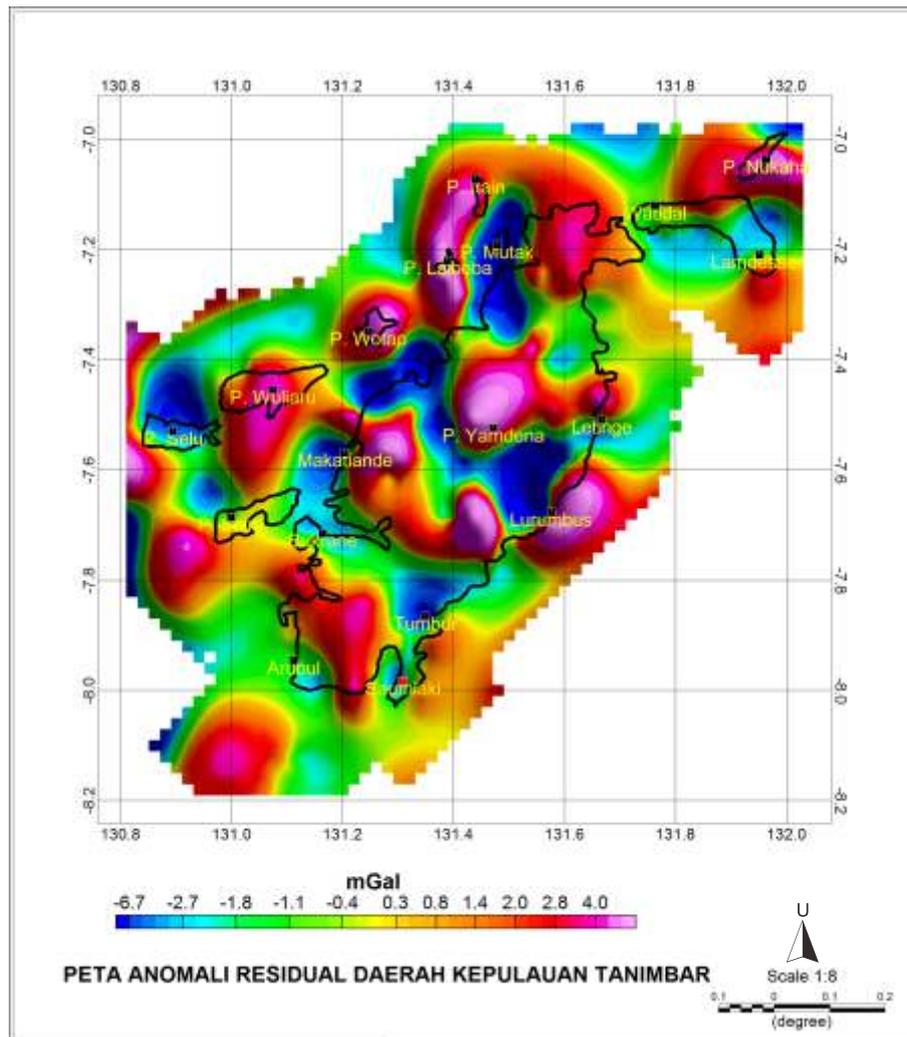
Gambar 5. Peta Anomali Regional Daerah Penelitian

Dari hasil analisis spektral diketahui nilai rata-rata bilangan gelombang *cut-off* rata-rata yang dihitung dari semua lintasan adalah sebesar $kc=0,14$. Sedangkan lebar *window* (N) rata-rata yang dihitung dari semua lintasan yang dianalisis adalah sebesar $N=15$.

Anomali Regional

Proses penapisan dilakukan dengan *filter moving average*, dengan menggunakan lebar jendela yang ditentukan dari proses analisis spektral yang optimal daerah penelitian adalah (45×45) km. Lebar jendela tersebut akan menjadi nilai input pada proses penapisan, salah satu hasil dari proses penapisan ini adalah peta anomali regional Gambar 5. Anomali regional merupakan anomali dalam, yaitu anomali yang bersumber dari bagian dalam bumi dengan panjang gelombang yang lebih panjang misalnya struktur undulasi kerak bumi, anomali ini dicirikan dengan

frekuensi rendah. Gradasi warna pada peta menunjukkan variasi nilai anomali yang terdapat pada daerah penelitian. Peta anomali regional menunjukkan rentang nilai anomali sebesar $-46,5$ sampai $7,8$ mGal. Dari peta regional dapat diketahui anomali rendah ditunjukkan dengan warna biru tua dan biru muda dengan rentang nilai antara $-46,5$ sampai $-34,2$ mGal, anomali rendah terdapat pada bagian tengah daerah penelitian yang memanjang dengan arah relatif timur laut-barat daya. Anomali sedang ditunjukkan dengan warna hijau dan kuning dengan rentang nilai $-34,2$ sampai -24 mGal, anomali sedang terdapat pada bagian tepi Pulau Yamdena di bagian selatan, barat dan timur laut daerah penelitian. Anomali tinggi ditunjukkan dengan warna jingga, merah dan merah muda dengan rentang nilai -24 sampai $7,8$ mGal, anomali tinggi tersebar pada bagian tenggara dan barat laut daerah penelitian memanjang dengan arah relatif timur laut-barat daya.



Sumber : olahan Penulis

Gambar 6. Peta Anomali Residual Daerah Penelitian

Pola anomali regional ini menggambarkan pengaruh dari struktur batuan pada posisi yang lebih dalam, skala kerak hingga kerak bawah (*lower crust*). Anomali rendah diduga disebabkan karena pada tengah Pulau Yamdena masih atau merupakan kerak asli dari Pulau Yamdena Kepulauan Tanimbar yang tidak terpengaruh oleh aktivitas tektonik pada bagian barat dan tenggara Pulau Yamdena. Anomali tinggi diduga disebabkan karena adanya aktivitas tektonik pada bagian barat dan tenggara Pulau Yamdena yang merupakan zona subduksi atau zona pertemuan lempeng. Pada bagian barat merupakan zona pertemuan antara lempeng Busur Banda bagian dalam dan Busur Banda bagian luar sedangkan pada bagian tenggara, merupakan zona pertemuan antara Lempeng Busur Banda bagian luar dan Lempeng Australia.

Anomali Residual

Hasil dari pola anomali Bouguer dan anomali regional belum dapat menggambarkan atau menunjukkan secara detail pola depositer dari Sub-cekungan yang ada di

Cekungan Tanimbar. Untuk mengetahui pola sub-cekungan dari pengaruh struktur yang lebih dangkal, maka dilakukan penapisan (*filtering*) untuk mendapatkan pola anomali residual. Anomali residual didapatkan dari pengurangan anomali Bouguer dengan anomali regional. Anomali residual yang diperoleh mempunyai rentang nilai antara -6,7 sampai 6,5 mGal Gambar 6. Peta anomali residual menunjukkan pola anomali yang lebih kompleks dibandingkan dengan anomali regional, karena menggambarkan pola anomali dengan panjang gelombang yang lebih pendek yang mencerminkan efek benda anomali yang lebih dangkal, anomali ini dicirikan dengan frekuensi tinggi. Pola anomali ini dibagi ke dalam tiga lajur anomali yang berbeda. Anomali rendah ditunjukkan dengan warna biru tua dan biru muda, dengan rentang nilai antara -6,7 sampai -2,2 mGal. Anomali rendah menunjukkan adanya batuan dengan kontras rapat massa yang rendah, yang diinterpretasikan sebagai sub-cekungan yang terdapat pada Cekungan Tanimbar.

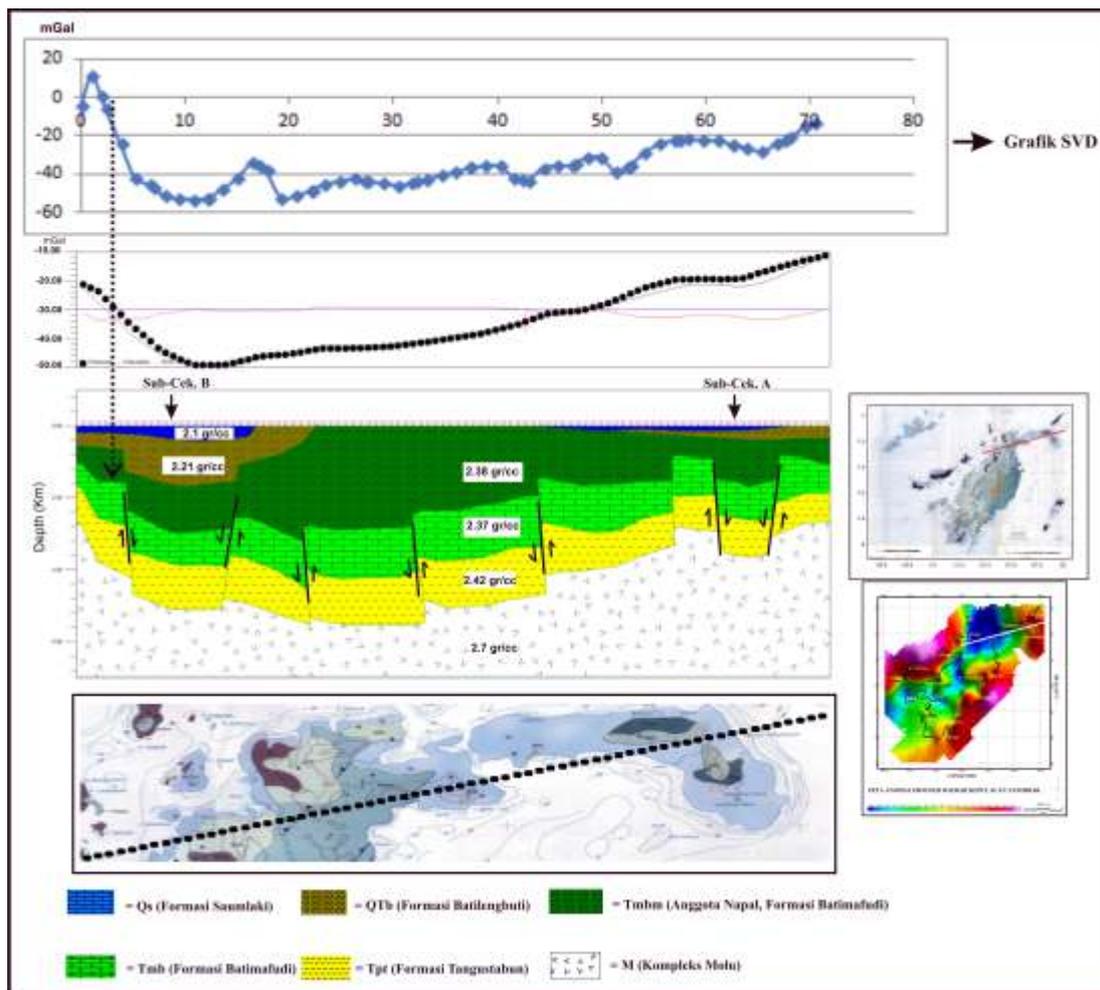
Pola tinggian yang terdapat pada daerah penelitian mempunyai arah tegaklurus dengan arah tumbukan (*collision*) dari lempeng tepi Benua Australia. Secara tektonika tinggian ini kemungkinan terbentuk karena adanya gaya dorong dari arah tenggara Cekungan Tanimbar yang berasal dari Lempeng Australia yang menumbuk Lempeng Banda yang mempunyai nilai kontras densitas relatif tinggi sehingga terbentuklah struktur tinggian dengan arah relatif timurlaut-baratdaya. Secara tektonika, cekungan pada daerah penelitian ini disebabkan oleh aktivitas tumbukan antar lempeng, yang mengakibatkan gaya kompresi, dan kemudian diikuti fase ekstensi yang menyebabkan terjadinya pola bukaan (*rifting*), dan terbentuklah graben sebagai cekungan sedimen di daerah penelitian. Berdasarkan analisis anomali residual, Peta SVD residual dan pola tinggian yang memisahkan sub-cekungan satu dengan yang lainnya, secara kualitatif pola sub-cekungan pada daerah penelitian yang muncul berdasarkan analisis gayaberat sebanyak enam sub-cekungan sedimen, Yaitu sub-cekungan A yang terletak di timur laut Pulau Yamdena,

Sub-cekungan B yang terletak di dekat Pulau Laibobar dan Pulau Ungar, sub-cekungan C yang terletak di tengah Pulau Yamdena, sub-cekungan D yang terletak di dekat Pulau Selu, sub-cekungan E yang terletak di tengah agak selatan Pulau Yamdena dan Sub-cekungan F yang terletak di selatan Pulau Yamdena.

Kemungkinan arah migrasi jika terdapat hidrokarbon pada cekungan tersebut seperti ditunjukkan oleh anak panah pada (Gambar 9).

Forward Modelling 2,5D Anomali Bouguer

Pemodelan 2,5D pada anomali Bouguer dilakukan untuk melihat pola cekungan daerah penelitian secara umum. Penampang lintasan A-A' pada anomali Bouguer memanjang dengan arah relatif barat daya-timur laut (Gambar 10) memotong bagian utara daerah penelitian. Penentuan titik awal pemodelan 2,5D menggunakan data hasil analisis spektral yang memperlihatkan kedalaman rata-rata bidang anomali dangkal sekitar 3-4 km.



Sumber : olahan Penulis

Gambar 10. Model Bawah Permukaan Anomali Bouguer 2,5D Lintasan A-A'

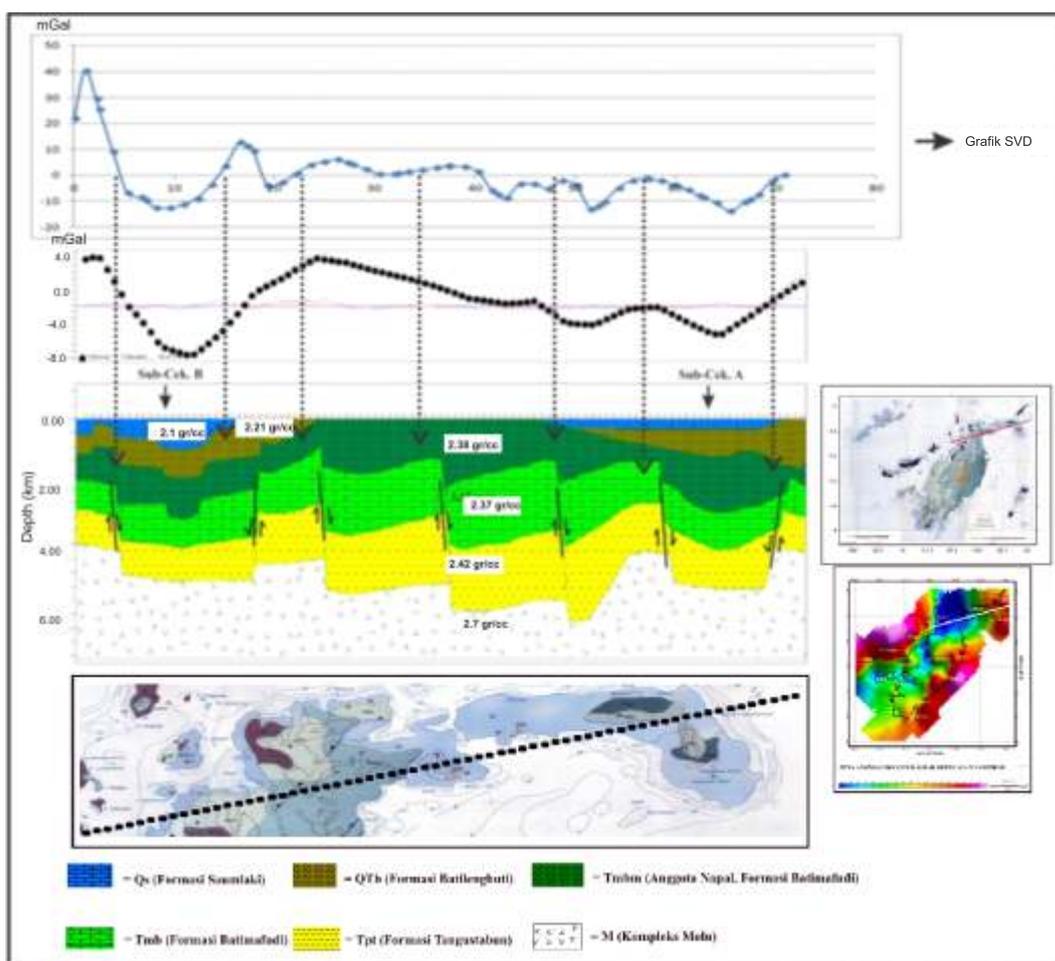
Penampang lintasan AA' memiliki panjang lintasan 72 km. Dari informasi geologi lintasan ini melewati 6 formasi yaitu Formasi Saumlaki (Qs) yang terdiri atas batugamping koral dengan nilai densitas 2,1 gr/cc, Formasi Batilembuti (QTb) yang terdiri dari batuan Napal dengan nilai densitas 2,21 gr/cc, Anggota Napal, Formasi Batimafudi (Tmbm) yang terdiri dari batunapal yang bersisipkan batugamping dengan nilai densitas 2,38 gr/cc, Formasi Batimafudi (Tmb) yang terdiri dari perselingan batugamping, napal, dan batupasir gampingan dengan nilai densitas 2,37 gr/cc, Formasi Tangustabun (Tpt) yang terdiri dari perselingan antara batulempung, tufakaca, rijang, batupasir kuarsa dan batugamping dengan nilai densitas 2,42 gr/cc dan Kompleks Molu (M) yang diinterpretasikan sebagai basal dengan nilai densitas 2,7. Parameter penentuan densitas batuan mengacu pada pada tabel densitas (Telford *et al*, 1990). Dari Model 2,5D lintasan A-A' menunjukkan pendangkalan batuan dasar pada bagian tenggara dan timurlaut daerah penelitian yang mencapai kedalaman sekitar 2 km dari permukaan, pendangkalan batuan dasar diakibatkan karena aktifitas

tektonik yaitu pertemuan antar lempeng seperti yang dijelaskan sebelumnya, pendangkalan pada tenggara dan barat laut daerah penelitian membentuk cekungan pada daerah tengah penelitian.

Model 2,5D lintasan A-A' juga menunjukkan patahan yang letaknya relatif sama dengan grafik SVD yang diperoleh dari peta anomali SVD Anomali Bouguer.

Forward Modelling 2,5D Anomali Residual

Anomali residual digunakan mengetahui pola sub-cekungan dari pengaruh struktur yang lebih dangkal. Penampang lintasan A-A' memanjang dengan arah relatif barat daya-timur laut, melewati tinggian dan dua sub-cekungan, yaitu Sub-cekungan B dan sub-cekungan A (Gambar 11). Penentuan titik awal pemodelan 2,5D menggunakan data hasil analisis spektral yang memperlihatkan kedalaman rata-rata bidang anomali dangkal sekitar 3-4 km. Penampang lintasan AA' memiliki panjang lintasan 72 km.



Sumber : olahan Penulis

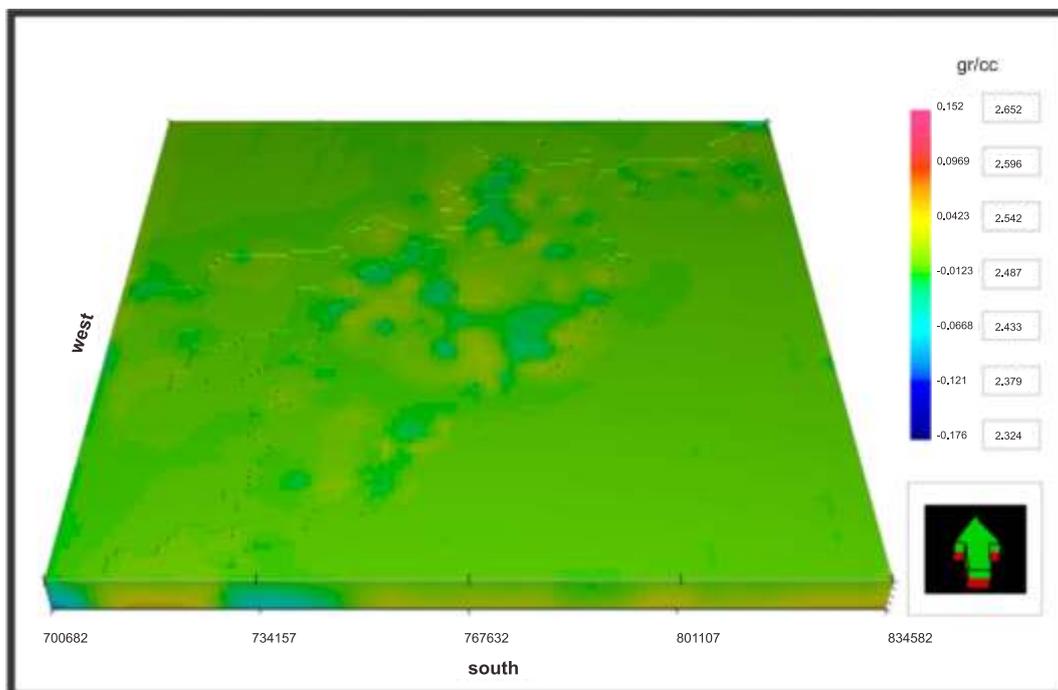
Gambar 11. Model Bawah Permukaan Anomali Residual 2,5D Lintasan A-A'

Penampang ini memotong dua sub-cekungan yaitu Sub-cekungan B dan Sub-cekungan A. Dari informasi geologi lintasan ini melewati 6 formasi yaitu Formasi Saumlaiki (Qs) yang terdiri dari batu gamping koral dengan nilai densitas 2,1 gr/cc, Formasi Batilembuti (QTb) yang terdiri dari batuan Napal dengan nilai densitas 2,21 gr/cc, Anggota Napal, Formasi Batimafudi (Tmbm) yang terdiri dari batunapal yang bersisipkan batugamping dengan nilai densitas 2,38 gr/cc, Formasi Batimafudi (Tmb) yang terdiri atas perselingan batugamping, napal, dan batupasir gampingan dengan nilai densitas 2,37 gr/cc, Formasi Tangustabun (Tpt) yang terdiri dari perselingan antara batulempung, tufakaca, rijang, batupasir kuarsa dan batugamping dengan nilai densitas 2,42 gr/cc dan Kompleks Molu (M) yang diinterpretasikan sebagai basal dengan nilai densitas 2,7. Dari Model 2,5D menunjukkan bahwa batuan pengisi dari sub-cekungan adalah batuan sedimen Tersier dan batuan yang mengalasi sub-cekungan adalah basal (Pra-Tersier) berdasarkan informasi geologi yang didapat penulis terdapat singkapan basal (Kompleks Molu) pada beberapa pulau di Kepulauan Tanimbar hal ini menjadi dasar dimungkinkannya batuan dasar (*basement*) pada daerah penelitian adalah basal. Model 2,5D menunjukkan patahan yang letaknya relatif sama

dengan grafik SVD yang diperoleh dari peta anomali SVD residual.

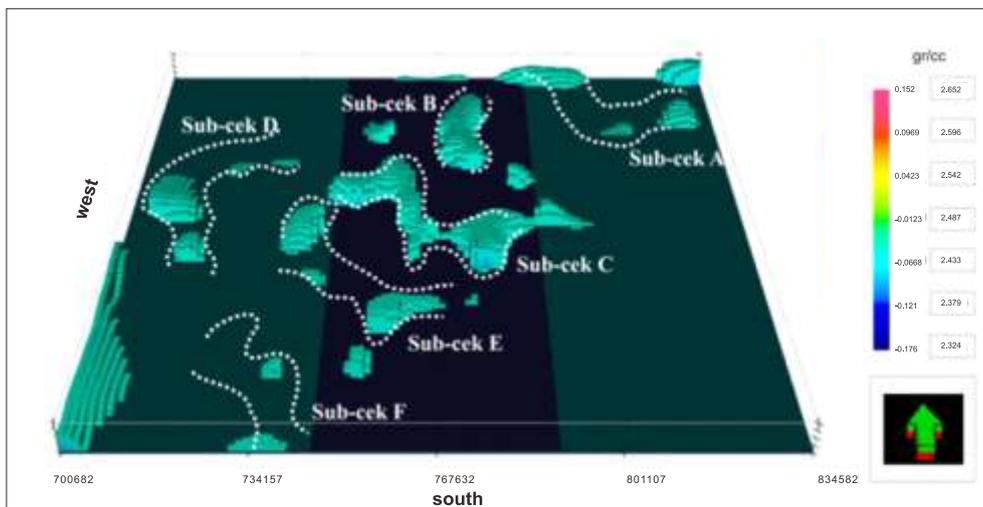
Pemodelan Mundur 3D (3D Inverse Modelling)

Pemodelan 3D ini dilakukan untuk melihat variasi densitas secara 3D, guna mengetahui keberadaan sub-cekungan secara 3D. Hasil dari inversi 3D menjadi sangat pipih karena daerah penelitian yang sangat luas, jika dibandingkan dengan kedalaman yang diinginkan (Gambar 12). *Cut-off* (nilai densitas antara 2,324-2,433 gr/cc), untuk melihat model 3D dari sub-cekungan daerah penelitian (Gambar 13). Sehingga dapat diketahui model 3D dari setiap sub-cekungan yang ada. Dari model 3D sub-cekungan dan analisis anomali Bouguer dapat diketahui sub-cekungan B, C dan F menjadi sub-cekungan yang paling baik atau potensial dilihat dari letak, ketebalan dan dimensi ukuran sebaran densitas rendah dari sub-cekungan tersebut. Selain itu inversi 3D dilakukan untuk melihat keberadaan patahan pada model inversi 3D yang akan dikorelasikan dengan patahan yang ada pada model 2,5D, dan hasilnya patahan yang ada pada model 3D dengan patahan yang ada pada 2,5D memiliki tempat dan keberadaan yang relatif sama selengkapnya dapat dilihat pada (Gambar 14,15,16).



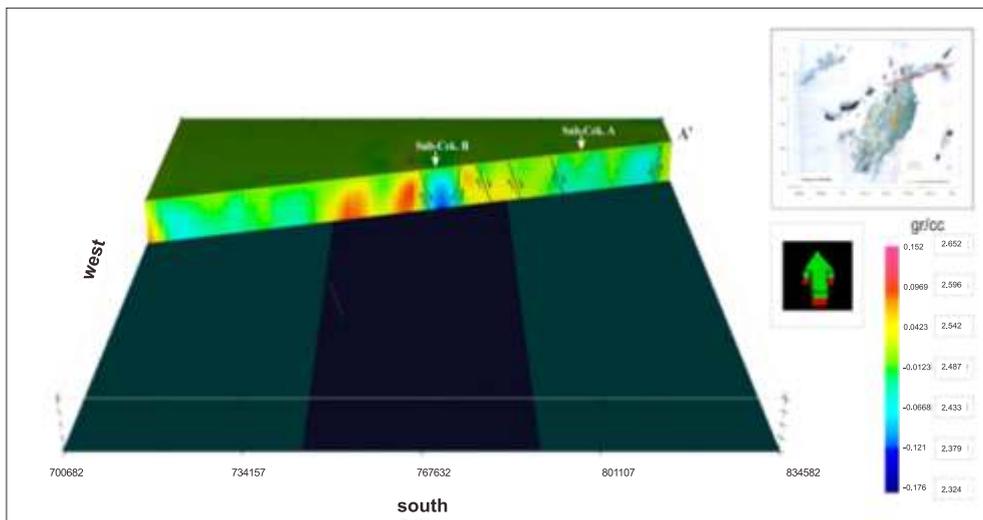
Sumber : olahan Penulis

Gambar 12. Model Inversi 3D Data Gayabarat Cekungan Tanimbar



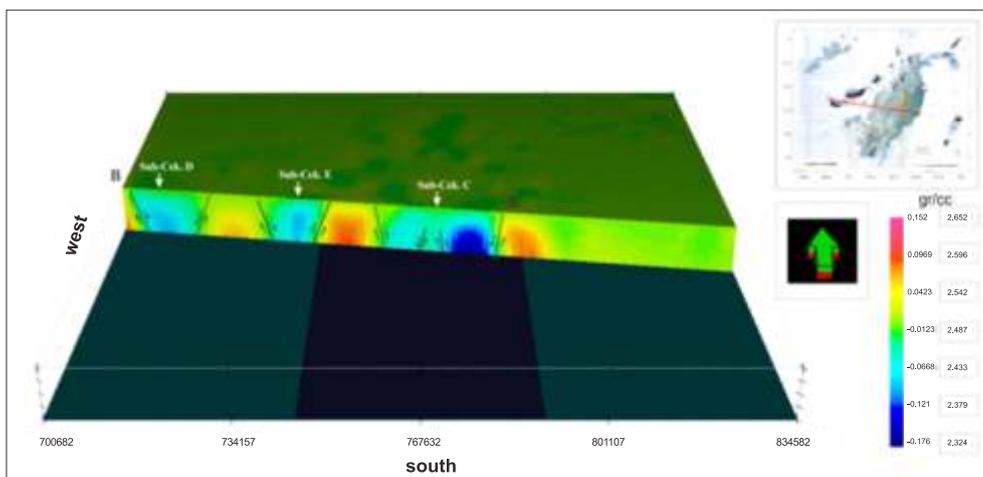
Sumber : olahan Penulis

Gambar 13. Model Inversi 3D hasil *cutoff* densitas tertentu Cekungan Tanimbar



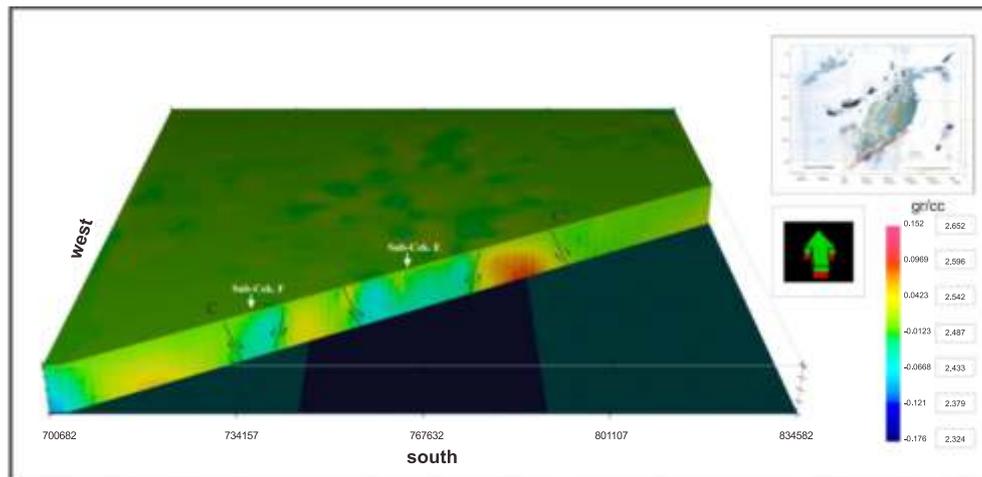
Sumber : olahan Penulis

Gambar 14. Patahan yang Terlihat pada Model 3D Residual Lintasa A-A'



Sumber : olahan Penulis

Gambar 15. Patahan yang Terlihat pada Model 3D Residual Lintasa B-B'



Sumber : olahan Penulis

Gambar 16. Patahan yang Terlihat pada Model 3D Residual Lintasa C-C'

KESIMPULAN

Hasil peta anomali Bouguer menunjukkan bahwa anomali tinggi berada pada bagian tenggara dan barat laut daerah penelitian, sedangkan anomali rendah menempati daerah di sebelah tengah yang memanjang dengan arah relatif baratdaya-timurlaut.

Anomali tinggi di interpretasikan sebagai tinggian (*basement high*) yang disebabkan karena proses tektonik sehingga terangkat ke atas, sedangkan anomali rendah diinterpretasikan sebagai cekungan sedimen yang terdapat pada daerah penelitian.

Secara umum daerah Kepulauan Tanimbar merupakan daerah cekungan dan dari analisa anomal residual jumlah pola sub-cekungan sedimen yang dapat diinterpretasi adalah sebanyak 6 sub-cekungan. Pola tinggian (*basement high*) yang memisahkan sub-cekungan satu dengan sub-cekungan lainnya mempunyai arah relatif timur laut-barat daya.

Hasil pemodelan bawah permukaan 2,5D menunjukkan:

- Letak patahan pada model 2,5D relatif sama dengan grafik SVD yang diperoleh dari peta anomali SVD Bouguer dan residual.
- Batuan pengisi dari setiap sub-cekungan adalah batuan sedimen Tersier Anggota Napal Formasi Batimafudi (Tmbm) nilai densitas 2,38 gr/cc, Formasi Batimafudi (Tmb) dengan nilai densitas 2,37 gr/cc, Formasi Tangustabun (Tpt) dengan nilai densitas 2,42 gr/cc

- Batuan yang mengalasi sub-cekungan adalah batuan Pra-Tersier yang diinterpretasikan sebagai batubasalt dari Kompleks Molu (M)
- Formasi Tangustabun (Tpt) dengan nilai densitas 2,42 gr/cc
- Batuan yang mengalasi sub-cekungan adalah batuan Pra-Tersier yang diinterpretasikan sebagai basal dari Kompleks Molu (M)

Dari hasil pemodelan 3D dan analisa anomali Bouguer dapat diketahui sub-cekungan B, C dan E menjadi sub-cekungan yang paling potensial.

Penelitian dengan data metode geofisika lain, masih berpeluang untuk melihat korelasi dan mengetahui struktur-struktur yang lebih kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi atas arahannya. Tidak lupa ucapkan terima kasih disampaikan kepada rekan-rekan Tim Survei Cekungan Tanimbar Bapak Aris Susilo, Alex Limbong, Rakhmat Fachrudin atas diskusi dan kerjasamanya. Terima kasih juga diucapkan kepada Dewan Redaksi dan para editor, atas kesabaran dalam memberikan masukan dan koreksinya sehingga tulisan ini menjadi lebih baik.

ACUAN

- Audley-Charles, M.G., Carter, D.J. and Barber, A.J., 1974, Stratigraphic basis for the interpretations of the Outer Banda Arc, Eastern Indonesia, *Proc. Indon. Petrol. Assoc., 3rd Ann. Conv.*, Jakarta, pp. 25-44.
- Badan Geologi, 2009, *Peta Cekungan Sedimen Indonesia berdasarkan data Gayaberat dan Geologi*.
- Blakely, R. J., 1996, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Cardwell, K.R. and Isacks, B.L., 1978, Geometry of subducted lithosphere beneath the Banda Sea in Eastern Indonesia from seismicity and fault plane solutions, *J. Geophys. Res.*, 83. 2825-2838.
- Charlton, T.R., 1991. Postcollision extension in arc–continent collision zones, eastern Indonesia. *Geology* 19, 28–31.
- Charlton, T.R. 2004. The petroleum potential of inversion anticlines in the Banda Arc. *AAPG Bulletin* 88, 565-586
- de Smet, M.E.M., 1999. On The Origin of The Outer Banda Arc, Tectonics and Sedimentation of Indonesia, Proc. of the Geology of Indonesia *Book 50th Ann. Mem. Sem.* Authored by R.W. van Bemmmelen, ed.by H.Darman & F.H. Sidi, 81 pp.
- Diyanti, A. 2014. Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gaya Berat. (Skripsi) Prodi Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Elkins, T.A. 1951. The Second Derivative Method of Gravity Interpretation. *Geophysics*, v.23, h.97-127.
- Fitriana, I. 2011. Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisa dan Pemodelan Data Gayaberat, Geophysics Program Study Departement of Physics, University of Indonesia
- Genrich, J.F., Bock, Y., McCaffrey, R., Calais, E., Stevens, C.V., Subarya, C., 1996. Accretion of the southern Banda arc to the Australian plate margin determined by Global Positioning System measurements. *Tectonics* 15, 288–295.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia : Jakarta.
- Hamilton, W., 1979, Tectonic of the Indonesia Region, *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper* 1078, 345 hal.
- Kadir, W. G. A., 2000, Eksplorasi Gaya Berat dan Magnetik, Departemen Teknik Geofisika, FIKTM, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Kevin C.Hill, 2005, Tectonic s and Regional Structure of Seram and the Banda Arc, 30 th Annual Convention and Exhibition, *Proceedings, Indonesian Petroleum Association*, pp 559-578.
- Sari, I.P. 2012. Study Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Regonal dan Residual Dari Data Anomali Bouguer . (Skripsi) Prodi Fisika FPMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Setiadi, I. 2010. Studi Cekungan Tanimbar Menggunakan Metoda Gayaberat. Laporan Penelitian Lapangan Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Setiadi, I., Setyanta, B. dan Widijono. B.S., 2010. Deliniasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Berdaasaarkan Analisa Data Gayaberat. *Geo-Sciences: JSD Geol.* Vol.20 No2.
- Sukardi dan Sutrisno. 1989. *Peta Geologi Lembar Kepulauan Tanimbar, Maluku, skala 1: 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Talwani, M., Worzel, J.L. dan Landisman, M. 1969. Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Aplication to the Mendocino Submaarine Fracture Zone. *Journal of Geophysical Reasearch*: Vol.64 No.1
- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P. 1990. *Applied Geophysics* 2nd ed. Cambridge University Pres, Cambridge.
-

