

POLA ANOMALI GAYABERAT DAERAH TALIABU-MANGOLE DAN LAUT SEKITARNYA TERKAIT DENGAN PROSPEK MINYAK BUMI DAN GAS

GRAVITY ANOMALY PATTERN OF TALIABU-MANGOLE AREA AND SEA SURROUNDINGS INTERRELATED WITH OIL AND GAS PROSPECT

Saultan Panjaitan dan Subagio

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Jl. Diponegoro No. 57, Bandung

Diterima : 12-02-2014, Disetujui : 05-06-2014

ABSTRAK

Anomali gayaberat di daerah penelitian merupakan anomali tertinggi di Indonesia, secara umum dikelompokkan ke dalam 2 (dua) satuan, yaitu: kelompok anomali gayaberat 160 mGal hingga 260 mGal membentuk pola rendahan/cekungan anomali, dan kelompok anomali gayaberat 260 mGal hingga 620 mGal membentuk pola tinggian anomali. Anomali sisa 0 mGal hingga 5 mGal membentuk tinggian anomali, diduga merupakan gambaran antiklin dengan diameter 10 – 15 kilometer. Perangkap struktur migas di daerah Minaluli, Madafuhi dan Lekosula Pulau Mangole berdekatan dengan lokasi rembesan migas, sehingga diusulkan untuk dilakukan pemboran eksplorasi. Sedangkan di Pulau Taliabu, Tolong, Pena, Samuya dan Teluk Jiko masih perlu dilakukan penambahan data. Batuan reservoir terdiri dari batupasir dan batugamping Formasi Tanamu berumur Kapur Akhir, menempati daerah beranomali sisa 0 mGal hingga 5 mGal, dengan rapat massa batuan sekitar 2.65 gr/cm^3 . Batuan induk adalah Formasi Buya umur Jura Tengah - Jura Akhir dari serpih hitam dengan rapat massa 2.71 gr/cm^3 , dan dapur migas terbentuk di sekitar daerah beranomali sisa -4 mGal hingga -28 mGal yang membentuk sub-cekungan di utara lepas pantai Pulau Mangole.

Kata kunci: gayaberat, dapur minyak, cekungan, migas, serpih hitam, anomali sisa, rapat massa, antiklin, batuan induk.

ABSTRACT

The gravity anomaly of research area is the highest anomaly in Indonesia, generally it can be grouped into 2 (two) units, that are 160 mGal up to 260 mGal anomaly groups formed low anomaly pattern, and 260 mGal up to 620 mGal anomaly groups formed high anomaly pattern. 0 mGal to 5 mGal residual anomaly formed high anomaly pattern, it is interpreted as anticline with diameter are 10-15 kilometers. The trap oil and gas structures of this area at Minaluli, Madafuhi, and Lekosula are near the location of oil and gas seepage, that is propose to explore and drill in that area. Whereas in Taliabu Island, Tolong, Pena, Samuya, and Jiko Gulf still need increasing datas. Reservoir rocks consist of sandstones and limestones of Tanamu Formations were Late Cretaceous age, that occupied the location of 0 mGal to 5 mGal residual anomaly with density 2.65 g/cm^3 . Hostrock are Buya Formation are Middle Jurassic - Late Jurassic from black shales with density 2.71 g/cm^3 , and kitchen oil were formed in the area - 4 mGal to -28 mGal residual anomaly that formed low anomaly in the northern offshore of Mangole Island.

Keyword: gravity, oil kitchen, basin, oil and gas, black shales, residual anomaly, density, anticline, hostrocks.

PENDAHULUAN

Penelitian geofisika dilakukan dengan metode gayaberat di daerah Cekungan Taliabu-Mangole Maluku Utara (Gambar 1) dengan interval titik ukur sekitar setiap 100 sampai 2000 meter. Di daerah penelitian terjadi rembesan migas hingga ke permukaan, diduga merupakan indikasi awal kemungkinan perangkap stratigrafi telah terbentuk di daerah ini. Oleh karenanya, perlu

dilakukan penelitian gayaberat yang lebih rinci. Penelitian cekungan di daerah ini dilakukan secara terpadu oleh Pusat Survei Geologi Bandung, melibatkan penelitian stratigrafi, sedimentologi, struktur, dan gayaberat. Dengan dilakukannya pemutahiran data geologi dan geofisika di daerah ini, diharapkan pihak swasta akan tertarik menanamkan investasinya.

LATAR BELAKANG

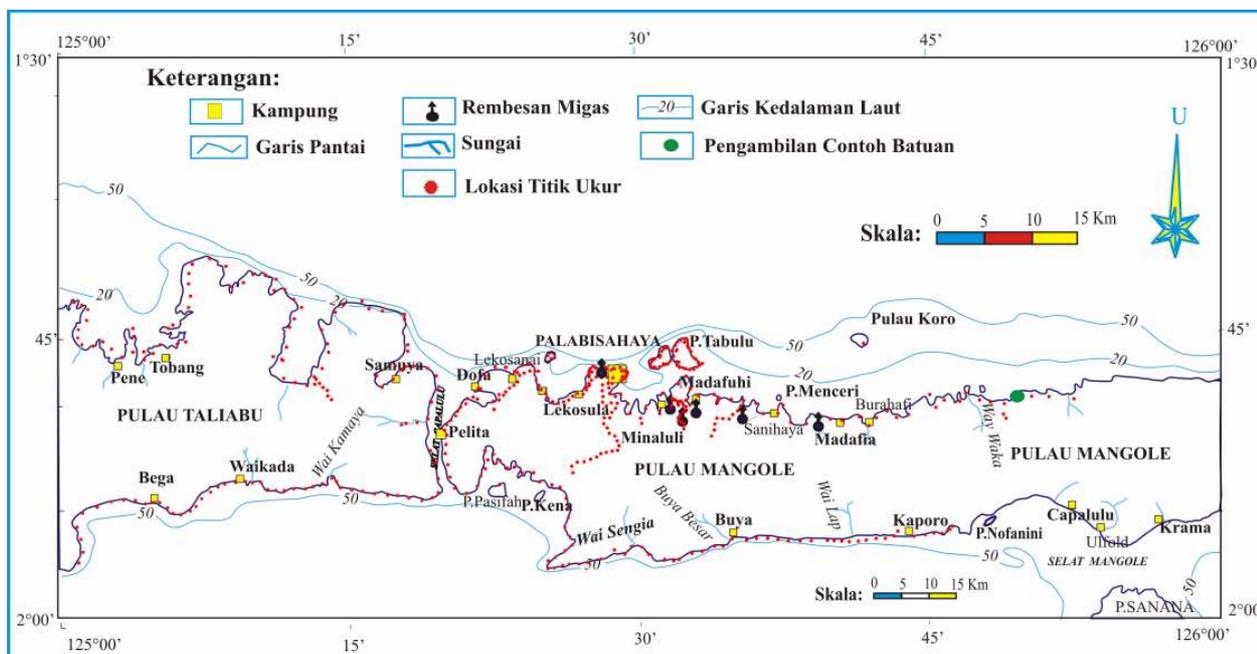
Secara umum daerah penelitian dibentuk oleh lempeng mikro kontinen Benua Australia, menunjam di bawah lempeng Laut Banda yang dikenal sebagai *Banggai Sula Platform*. Akibat subduksi tersebut di daerah penelitian dihasilkan batuan sedimen yang tebal, dan diendapkan di cekungan laut dalam pada cekungan busur muka (*Foreland Basin*). Tunjaman terbentuk pada saat pecahnya Benua Australia dengan Benua Antartika akibat adanya *refting* di dasar samudera pada umur Paleozoikum. Gerakan-gerakan tersebut sudah terjadi pada umur Trias di Sulawesi Selatan, akibat Benua Australia bergerak secara terus-menerus ke arah utara. Dari data paleomagnetik dicerminkan bahwa gerakan Sulawesi Selatan dan Benua Australia bergerak relatif ke arah utara, kemudian bertabrakan dengan Irian Jaya. Peristiwa ini diperkirakan terjadi sejak 5 hingga 10 juta tahun yang lalu, mikro kontinen Banggai Sula tersesarkan oleh sesar mendatar Sorong dengan rotasi 45° - 50° berlawanan arah jarum jam dengan kecepatan 9 - 12 cm/tahun (Andrea dr., 1997). Pergerakan tersebut dapat dilihat pada peta tektonik Indonesia Timur, berupa image di sekitar Laut Banda yang membentuk lengkungan menunjam di bawah lempeng kerak samudera, kemudian mengalami gerakan ke arah barat oleh Sesar Sorong (Gambar 2). Akibat tektonik tersebut

terbentuklah cekungan mikro kontinen Banggai Sula, sehingga kemungkinan Cekungan Taliabu-Mangole terlepas dari kepala burung Irian Jaya.

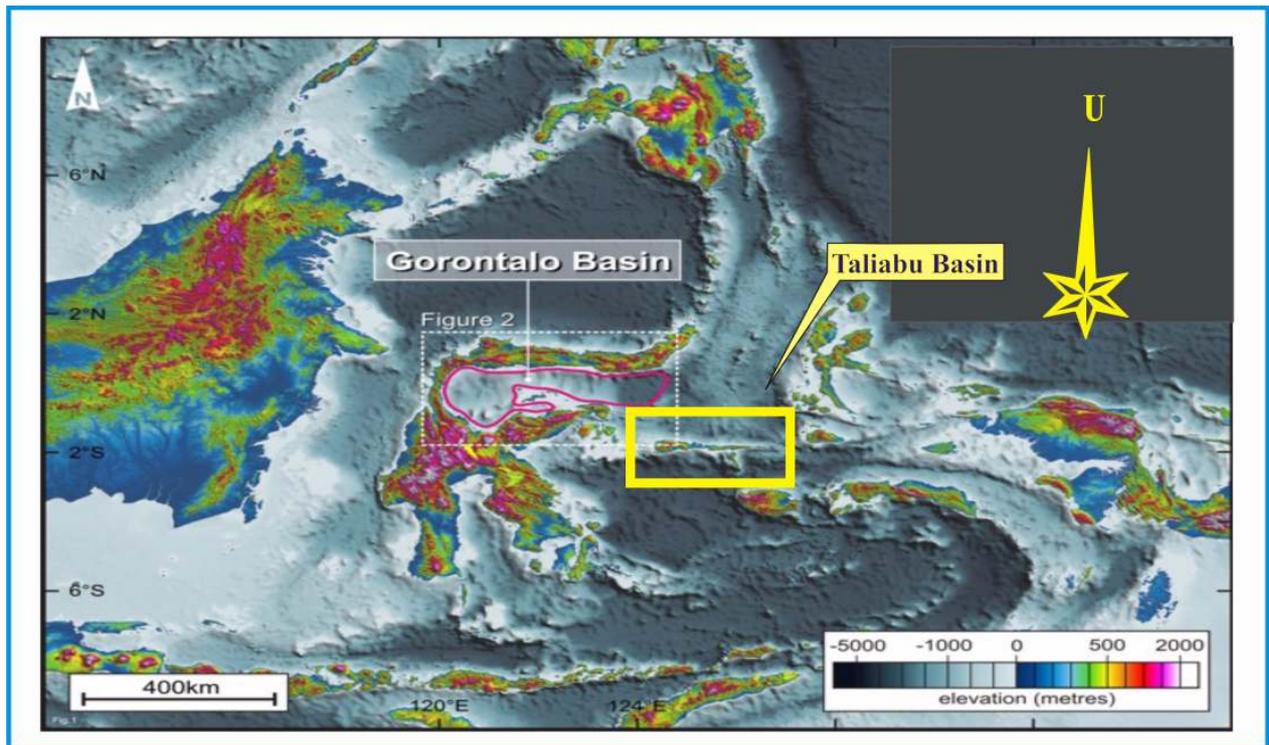
Adanya rembesan migas ke permukaan dipetakan pada tahun 1987 hingga 1988 oleh Pusat Survei Geologi bekerja sama dengan Britoil. Dari hasil penelitian tersebut di informasikan batuan reservoir terdiri dari batupasir, konglomerat dan batugamping terumbu Formasi Buya umur Jura, dan batupasir, batugamping Formasi Tanamu berumur Kapur Akhir. Batuan induk dilaporkan terdiri atas serpih berumur Jura Atas - Kapur Bawah dari Formasi Buya (Garrard dr., 2006). Sebaran batuan sedimen yang diduga terkait dengan adanya migas di daerah ini terdiri atas Formasi Buya menempati hampir 50% dan Formasi Tanamau berkisar 20% daerah utara P.Taliabu-Mangole, selebihnya terdiri dari Granit dan batuan vulkanik (Suro dan Sukarna, 1993)

MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Bertitik tolak dari indikasi tentang dugaan terbentuknya cekungan migas di daerah penelitian ini, maka penelitian gayaberat ini bermaksud untuk menemukan lapangan-lapangan migas baru berdasarkan perkiraan telah terbentuknya perangkat-perangkat struktur dan stratigrafi yang dicirikan oleh adanya tinggian-tinggian pola anomali yang diduga antiklin. Sedangkan tujuannya adalah untuk mengetahui gambaran struktur



Gambar 1. Peta lokasi pengamatan gayaberat berjumlah 390 titik ukur dengan jarak 100-200-500-1000 meter daerah Cekungan Taliabu-Mangole Maluku Utara.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian dan adanya Subduksi Laut di Banda yang memperlihatkan Cekungan Taliabu-Mangole terbentuk memanjang arah baratdaya-timurlaut akibat gerakan Lempeng Mikro Kontinen Banggai Sula dan Sesar Sotrong ke arah barat (Hasanusi, 2014)

bawah permukaan, khususnya mengenai bentuk cekungan, bentuk dan kedalaman batuan dasar, ketebalan batuan sedimen, struktur bawah permukaan berupa antiklin, sinklin, sesar dan rapat massa batuan, maka diharapkan akan dapat melokalisir dan menentukan daerah reservoir migas di bawah permukaan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian didasarkan atas pengukuran tentang adanya perbedaan kecil dari medan gayaberat, yang disebabkan oleh adanya distribusi massa batuan yang tidak merata di kerak bumi. Adanya perbedaan massa jenis dari satu tempat ke tempat lain akan menimbulkan medan gayaberat yang tidak merata, perbedaan inilah yang terukur dipermukaan bumi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan 1 (satu) perangkat Gravimeter LaCoste & Romberg Type G 816 dengan ketelitian 0.01 mgal dan apungan rata-rata kurang dari 1 mgal setiap bulannya sehingga layak pakai.

Pengukuran diikatkan terlebih dahulu ke titik gayaberat DGO Museum Geologi Bandung, kemudian di- ikatkan juga ke titik pangkal di Palabisahaya (Setianta dan Setiadi, 2007; Mirnanda

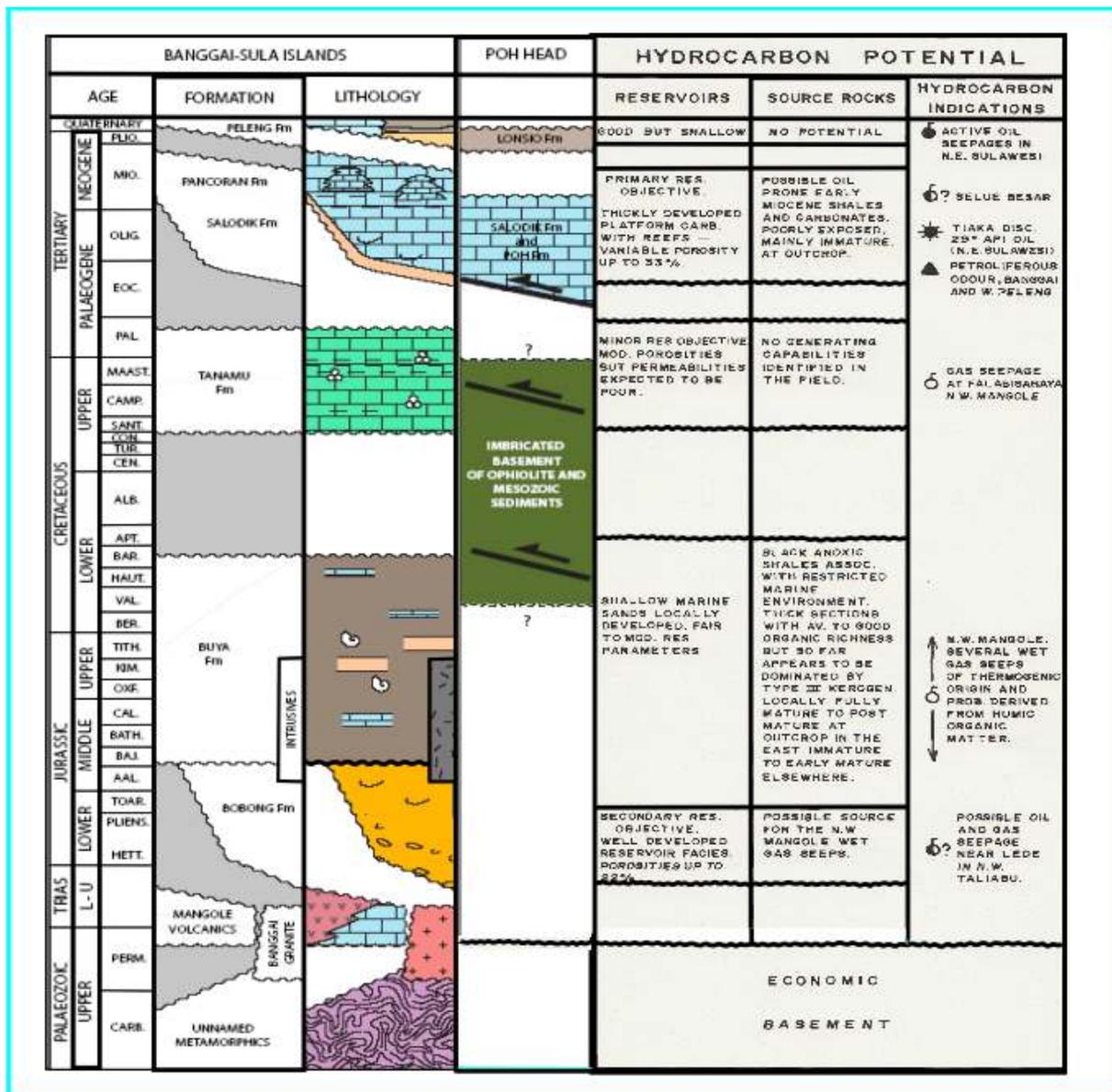
drr.,2004). Kemudian hasil pengukuran diturunkan ke stasiun rujukan (*base station*) di Penginapan Surya Pagi (Palabisahaya, P.Mongole) sebagai titik pangkal pengukuran.

Pengolahan data gayaberat meliputi konversi nilai skala alat ke nilai satuan gayaberat (mGal), kemudian dihitung beberapa koreksi seperti: koreksi pasang surut (*tide correction*), apungan alat (*drift correction*), efek udara bebas (*free air correction*), dan koreksi topografi (*terrain correction*). Hasil akhir dari proses reduksi data ini adalah nilai anomali Bouguer (AB), yang selanjutnya disajikan dalam bentuk peta anomali Bouguer.

$$AB = G_{obs} - G_0 - B.C + FA.C + TC + C$$

Dimana :

- AB : anomali Bouguer
- G_{obs} : nilai gayaberat pengamatan
- G₀ : harga gayaberat pada suatu lintang
- B.C : Koreksi bouguer
- TC : Koreksi medan
- FA : Koreksi udara bebas
- C : Koreksi pasang surut



Gambar 3. Kolom Stratigrafi regional daerah Luwuk Banggai memperlihatkan beberapa formasi terindikasi membentuk rembesan migas (Garrard, drr., 2006)

GEOLOGI REGIONAL

Daerah penelitian termasuk ke dalam Mendala Banggai-Sula. Batuan yang mencirikan adalah batuan malihan, gunungapi, dan granit berumur Paleozoikum-Trias. Ketiga jenis batuan ini tertindih endapan klastika dan karbonat yang berumur Jura-Kapur. Batuan tertua adalah batuan malihan terdiri dari sekis, sekis mika, genes, filit, batupasir malih dan argilit yang berumur Karbon. Di atasnya secara tak selaras terendapkan batuan gunungapi Mangole yang diduga berumur Permo-Trias. Batuanannya terdiri dari tuf terkarsikan, ignimbrit, tuf lapilli dan breksi gunungapi. Pluton granit yang berumur Permo-Trias menerobos batuan malihan itu.

Hubungannya dengan batuan gunungapi Mangole tidak diketahui dengan pasti. Granit yang terdapat di sini disebut granit Banggai terdiri dari granit dan granodiorit. Batuan malihan dan batuan gunung api dalam perkembangan selanjutnya merupakan alas dan sumber dari satuan batuan yang terendapkan kemudian. Secara takselaras batugamping Nofaini menindih batuan alas, terdiri dari batugamping hablur dan batugamping koral diduga berumur Trias. Formasi Bobong, Formasi Buya dan Formasi Tanamu menindih takselaras batuan alas. Formasi Bobong terdiri dari perselingan konglomerat, batupasir dan serpih bersisipan batubara diduga berumur Jura Awal-Jura Tengah. Formasi Buya berumur Jura Tengah-

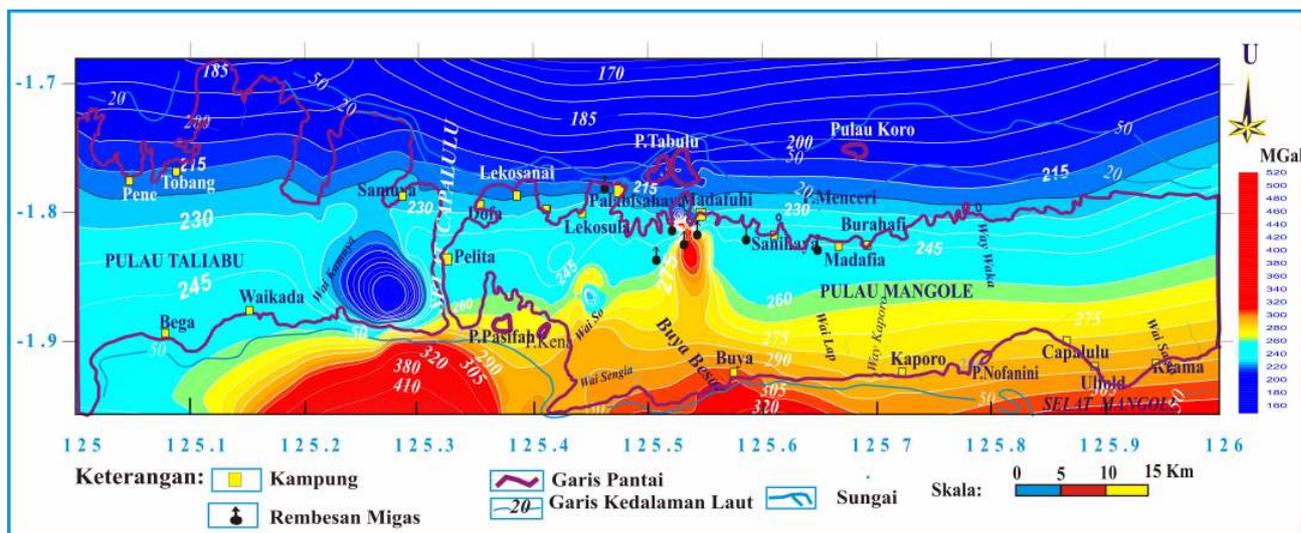
Jura Akhir terdiri dari serpih bersisipan batupasir, batugamping, napal dan konglomerat. Batuan alas Formasi Kabau dan Formasi Buya diterobos oleh tubuh kecil-kecil batuan beku bersusunan basalt dan diabas. Formasi Tanamu berumur Kapur Akhir menindih takselaras Formasi Buya. Batuannya terdiri dari napal, batugamping kapuran dan serpih. Formasi Tanamu tertindih takselaras Formasi Salodik, berumur Miosen Awal-Miosen Tengah. Formasi itu terdiri dari batugamping bersisipan batupasir. Struktur geologi di daerah ini berupa lipatan, sesar dan kekar. Batuan termuda yang ikut tersesarkan adalah Formasi Buya yang dibentuk oleh arah gaya utara - selatan yang membentuk antiklin berarah timur-barat dan sesar geser di dekat Lekokadai P. Mangole arah utara - selatan. Akibat sesar ini Formasi Tanamu yang berumur Kapur Akhir tercenangga dan tergeser. Sesar turun berarah utara-selatan yang diduga terbentuk pada Miosen Awal Miosen Tengah pada waktu terjadinya tumbukan antara Benua Renik Banggai-Sula Sulawesi Timur dan Sulawesi Barat yang sebelumnya saling terpisah.

Sejarah geologi daerah penelitian berawal pada Zaman Karbon, ketika terjadi pemalihan regional. Pada Permo-Trias menyusul pengendapan batuan gunungapi Mangole. Dalam waktu yang sama terjadi penerobosan granit kedalam batuan malihan. Ketiga jenis batuan ini mencirikan batuan asal benua yang diduga merupakan bagian dari lempeng Benua Australia dan merupakan alas dari batuan yang terbentuk

kemudian. Zaman Jura Awal terjadi pengangkatan yang disusul penurunan kembali sehingga terjadi cekungan paparan benua. Pada cekungan ini terendapkan sedimen klastika kasar Formasi Kabauw berlangsung hingga Jura Tengah. Dalam kurun waktu yang sama mulai diendapkan sedimen klastika halus Formasi Buya di dalam cekungan laut dangkal, dan setempat laut dalam. Pada Kapur awal terjadi penerobosan retas diabas dan basal yang diikuti pengangkatan. Pada waktu Kapur Akhir, diendapkan sedimen karbonat Formasi Tanamu. Pada Kala Pliosen terjadi pengangkatan, perlipatan, dan pensesaran. Kemudian pada Miosen Awal terjadi genang laut dan terjadi pengendapan sedimen karbonat dan klastika halus Formasi Pancoran, pengendapan berlangsung terus sampai Miosen Tengah. Stratigrafi di Benua Renik Banggai-Sula sangat mirip dengan batuan seumur dari Kraton Australia di Papua New Guinea yang kini terpisah lebih 1200 km ke timur. Berdasarkan hal tersebut diduga Benua Renik Banggai-Sula berasal dari Kraton Australia yang telah teralih tempatkan lebih dari 2.500 km (Barber dan Wiryosujono, 1979).

Pola Anomali Gayaberat

Peta anomali Bouguer Cekungan Taliabu-Mangole (Gambar 4) dibuat dengan selang kontur 5 mGal. Berdasarkan penafsiran anomali gayaberat yang dikorelasikan dengan data geologi permukaan dan data-data pendukung lainnya,



Gambar 4. Peta anomali Bouguer hasil penelitian memperlihatkan anomali tinggi antara 260 mGal-520mGal arah barat-timur menunjam kearah utara pada anomali 160 mGal sebagai cerminan bahwa lapisan batuan sedimen miring kearah tersebut dan closur anomali positif tampak didaerah rembesan migas.

maka secara garis besar pola anomali dapat dikelompokkan kedalam 2(dua) satuan yaitu:

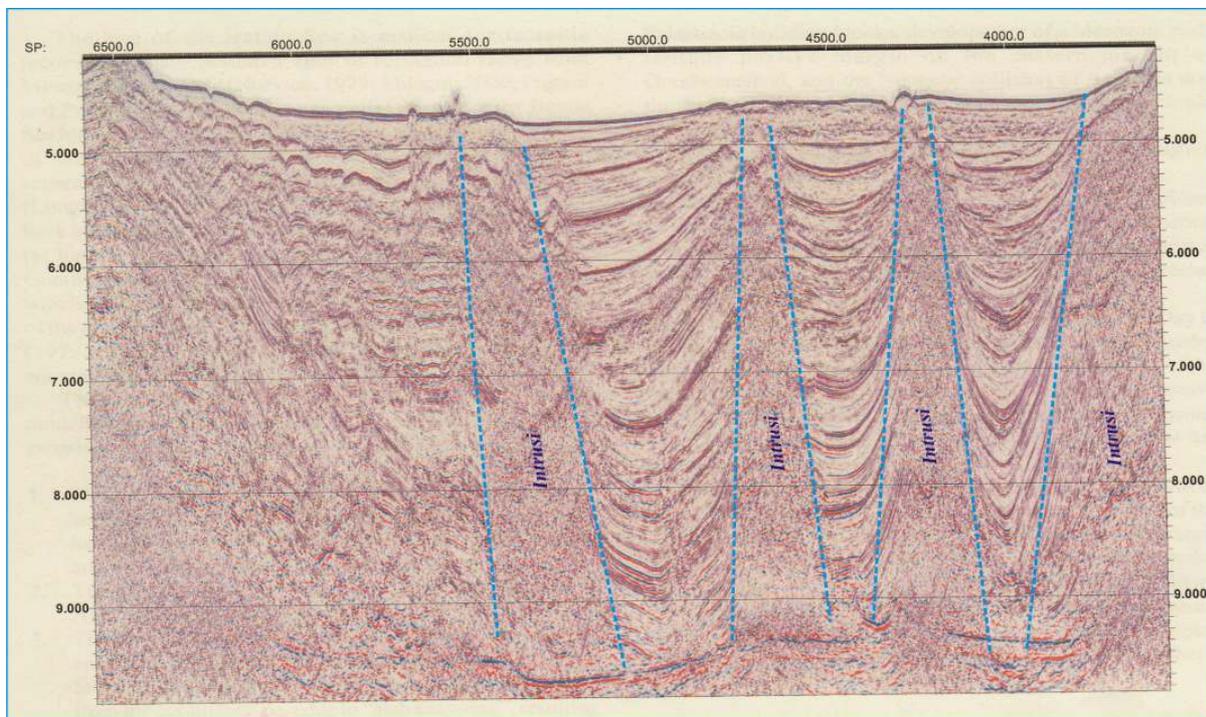
1. Kelompok anomali gayaberat 160 mGal hingga 260 mGal membentuk pola rendahan/cekungan anomali akibat tebalnya batuan sedimen di daerah tersebut
2. Kelompok anomali gayaberat 260 mGal hingga 410 mGal membentuk pola tinggian anomali yang diduga merupakan cerminan dari batuan beku granit Banggai dan batuan vulkanik Mangole.

Daerah yang mempunyai anomali 160 mGal hingga 260 mGal merupakan lokasi cekungan batuan sedimen, sedangkan daerah yang anomalnya tinggi 260 mGal hingga 410 mGal ditempati oleh batuan beku dan vulkanik tua. Peta anomali Bouguer lokal memperlihatkan nilai anomali sekitar 260 mGal hingga 300 mGal disekitar lokasi rembesan migas di daerah Minaluli dan sekitarnya. Tampilan pola anomali gayaberat yang nilainya mengecil dan menunjam ke utara merupakan cerminan bahwa lapisan batuan sedimen mempunyai kemiringan ke arah tersebut. Pola anomali gayaberat yang berarah barat-timur membentuk punggung anomali, kelurusan anomali yang terbentuk oleh punggung tersebut mencerminkan struktur regional kearah tersebut.

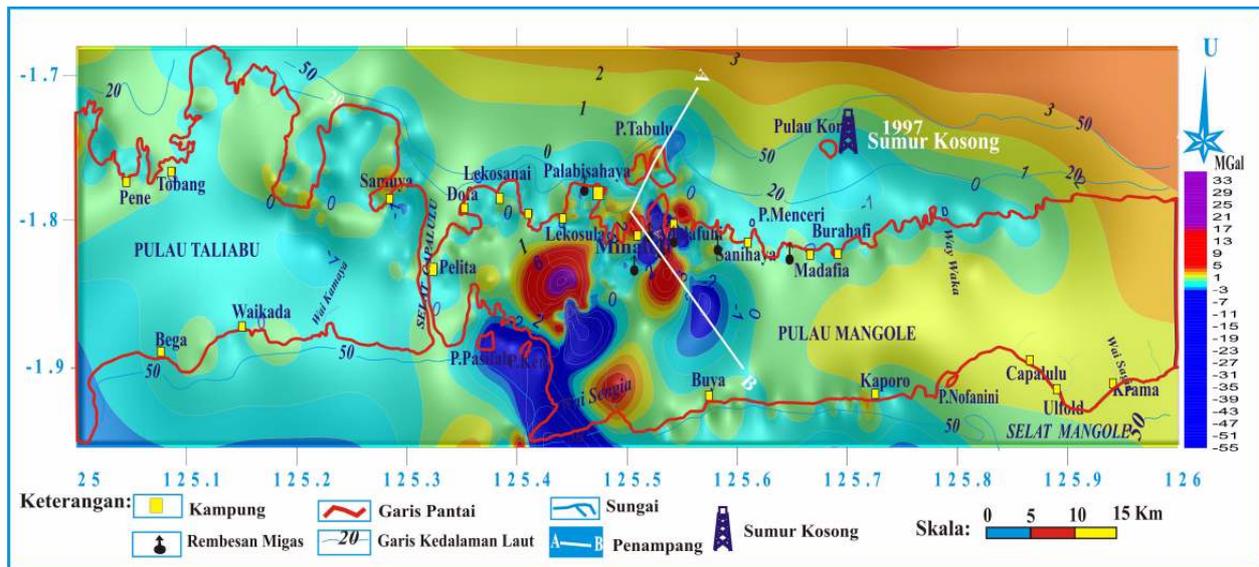
Anomali gayaberat di daerah ini merupakan anomali tertinggi di Indonesia, sehingga konsep cekungan yang selama ini beranggapan pada anomali +40 mGal hingga -10 mGal tidak bisa diterapkan di daerah ini. Anomali tinggi tersebut terbentuk di semua mikro kontinen Cekungan Banggai Sula. Tingginya nilai anomali tersebut diakibatkan adanya lapisan batuan yang kompak, tebal dan keras berumur tua sehingga rapat massanya akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan lapisan batuan yang lebih muda dan kurang kompak. Tebalnya lapisan batuan tersebut disebabkan oleh subduksi dari kontinen Benua Australia menunjam dibawah lempeng Laut Banda sehingga batuan "*Oceanic Crust*" dan "*Continental Crust*" sangat tebal terbentuk diatas "*Upper Mantle*". Indikasi tersebut dapat dilihat pada penampang seismik (Gambar 5) di daerah Kepulauan Aru dan utara Pulau Mangole yang memperlihatkan ketebalan batuan sedimen dan batuan malihan di atas batuan dasar adalah sekitar 10 kilometer (Peter, 1998).

Pola Anomali Sisa

Anomali sisa merupakan anomali yang lebih rinci, diperoleh dengan cara mengurangi anomali Bouguer dengan anomali regionalnya. Anomali sisa (Gambar 6) biasanya dipakai untuk



Gambar 5. Penampang Seismik Aru Trough memperlihatkan ketebalan lapisan batuan sedimen mencapai 10 kilometer yang terlipat akibat beberapa intrusi dengan batuan alas batuan malihan terbentuk di Upper Mantle (Peter., 1998).



Gambar 6. Peta anomali sisa memperlihatkan closure 0 mGal hingga 5mGal membentuk tinggian antiklin di sekitar rembesan migas di Minaluli, Madafuhi, Lekosula di P. Tabulu dan Samuya P. Taliabu yang diduga sebagai perangkat struktur migas pemboran kosong terletak pada sayap lipatan.

analisis struktur yang lebih dangkal berkisar 4 kilometer. Terbentuknya tinggian dan rendahan anomali disebabkan oleh adanya perbedaan rapat masa batuan dan struktur yang bervariasi dibawah permukaan, dengan mengetahui hal tersebut maka bentuk-bentuk cekungan dapat diperkirakan hingga ke batuan dasar.

Pada peta anomali sisa terdapat beberapa pengelompokan antara 0 mGal hingga 5 mGal yang diduga terkait dengan adanya rembesan migas di daerah Minaluli dan sekitarnya. Daerah-daerah tersebut terbentuk pada morfologi pedataran, sehingga koreksi topografi (*Terrain correction*) sangat kecil. Dengan demikian, anomali yang timbul hanya bersumber dari variasi konfigurasi batuan dibawah permukaan saja, tidak terpengaruh morfologi perbukitan.

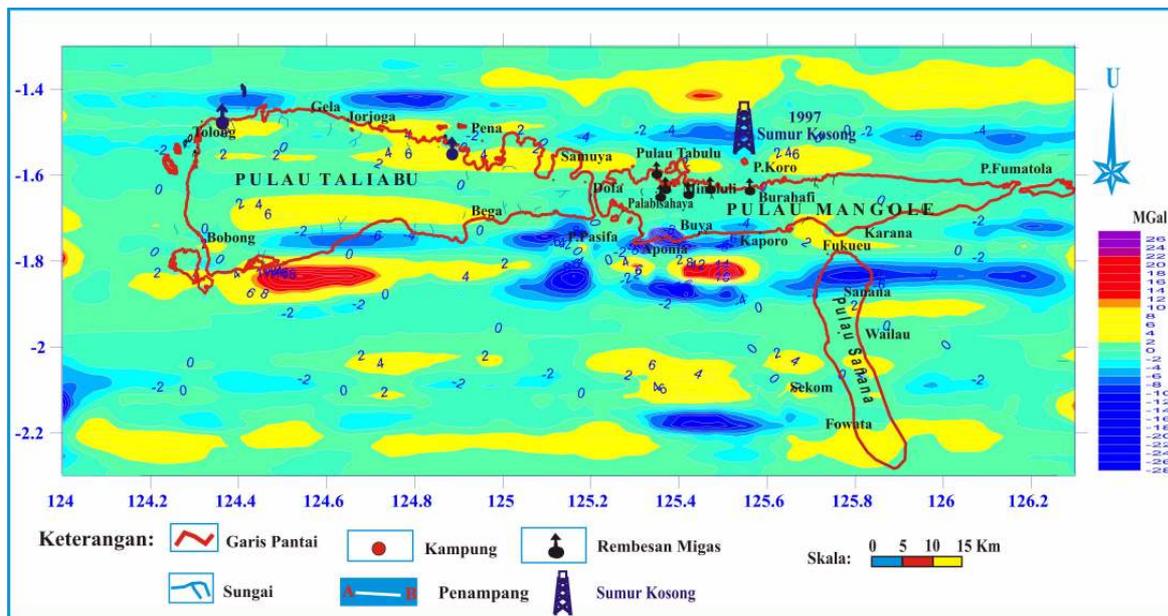
Pengukuran gayaberat di daerah Samuya, P.Taliabu, P.Tabulu dan Palabisahaya sangat rinci, berjarak 100-150-250 meter, dengan nilai anomali sekitar 5 mGal. Daerah ini diyakini sebagai struktur perangkat migas karena pengukuran gayaberat tersebut dilakukan di sekitar rembesan migas. Adanya nilai anomali tinggi hingga 25 mGal di sebelah selatan Lekosula dan sebelah barat Buya diduga diakibatkan oleh batuan granit Banggai yang tersingkap di sebelah barat Buya. Sedangkan anomali rendah di utara Pulau Tabulu (warna biru) membentuk sub-sinklin memanjang arah barat-timur yang kemungkinan terkait dengan dapur migas (*"Oil Kitchen"*).

Peta Anomali Sisa Pulau Taliabu – Pulau Mangole

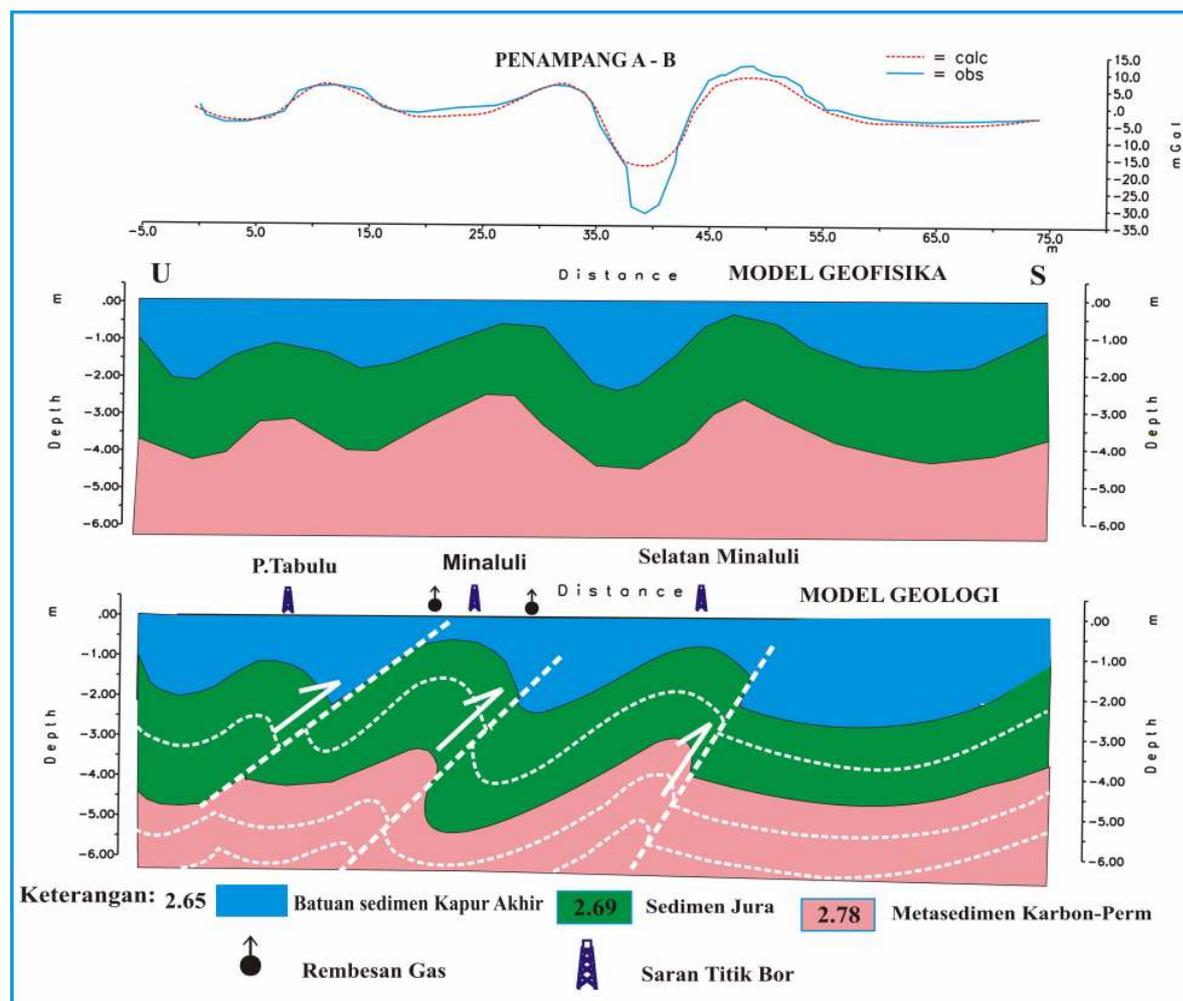
Peta anomali sisa regional bersumber dari basis data Pusat Survei Geologi (Gambar 7) yang dapat dipakai membantu penafsiran anomali yang lebih luas hingga kedaerah lepas pantai. Tinggian anomali gayaberat yang ditafsirkan sebagai gambaran dari antiklin, dan rendahan anomali yang diduga merupakan gambaran dari sinklin berarah barat-timur, sesuai dengan yang ditampilkan pada peta anomali Bouguer. Lokasi rembesan migas di sebelah barat Pena dan di desa Tolong sebelah barat Pulau Taliabu terbentuk di daerah tinggian anomali, sekitar anomali sisa 0 mGal hingga 10 mGal. Tinggian anomali tersebut membentang berarah barat-timur, dari barat Pulau Koro hingga ke Pulau Tabulu, Samuya, Pena, dan Tolong, yang ditafsirkan berasosiasi dengan keberadaan rembesan migas di daerah ini. Dapur minyak migas terbentuk pada anomali 0 mGal hingga -28 mGal di lepas pantai, membentuk sub-cekungan. Dari daerah tersebut migas diduga bermigrasi ke perangkat tinggian anomali di sekitar rembesan. Daerah-daerah tinggian anomali hingga ke daerah lepas pantai yang tidak terukur (karena sulit dijangkau), merupakan rencana penelitian dan eksplorasi migas kedepan.

Penampang Anomali Sisa A – B

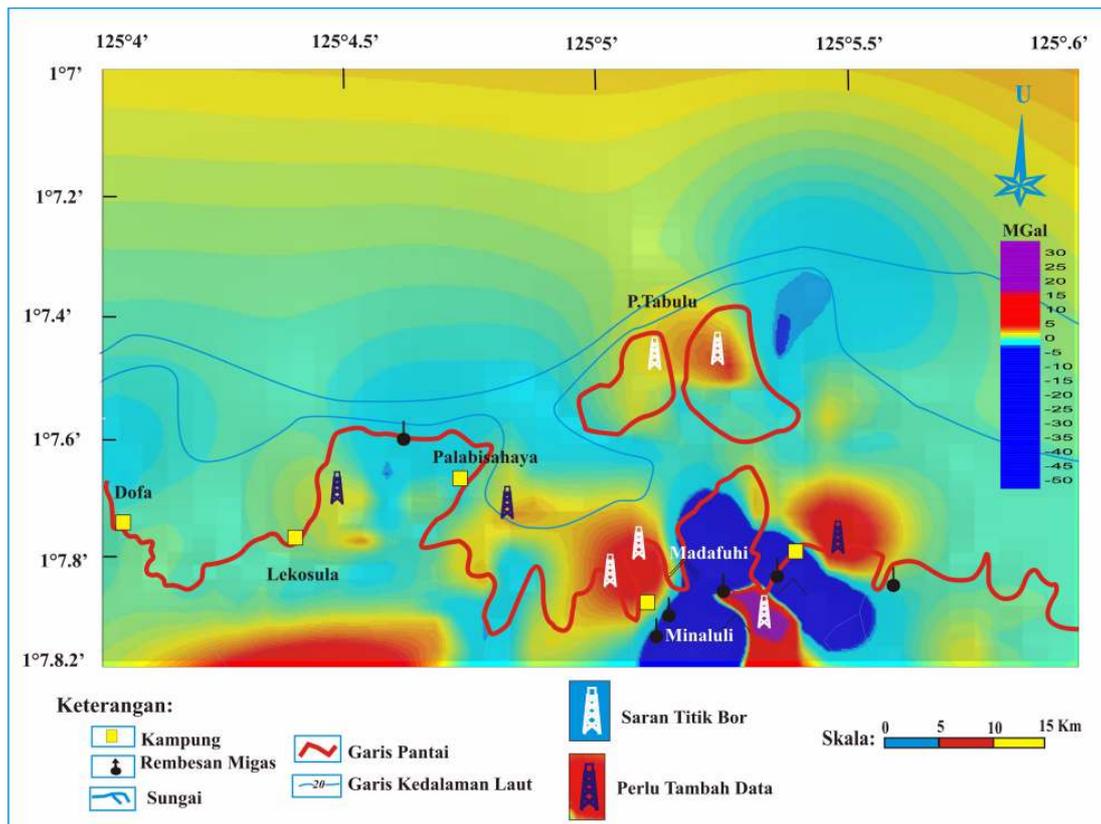
Penafsiran secara kuantitatif dilakukan sepanjang penampang anomali sisa lintasan AB (Penampang AB, Gambar 8), dengan mengkorelasikan data anomali, perubahan rapat



Gambar 7. Peta anomaly sisa darat dan laut diambil dari basis data Pusat Survei Geologi memperlihatkan tinggian dan rendahan arah barat-timur sesuai dengan arah struktur regional, closur positif didekat rembesan migas di P. Taliabu kemungkinan terkait dengan migas, pemboran kosong di P. Koro posisinya sama dengan anomaly sisa lokal (Gambar 6)



Gambar 8. Penampang A-B Tabululu-Buya memperlihatkan beberapa perangkat struktur pada closur antiklin dan sesar diduga terkait dengan rembesan migas Cekungan Taliabu-Mangole Maluku Utara.

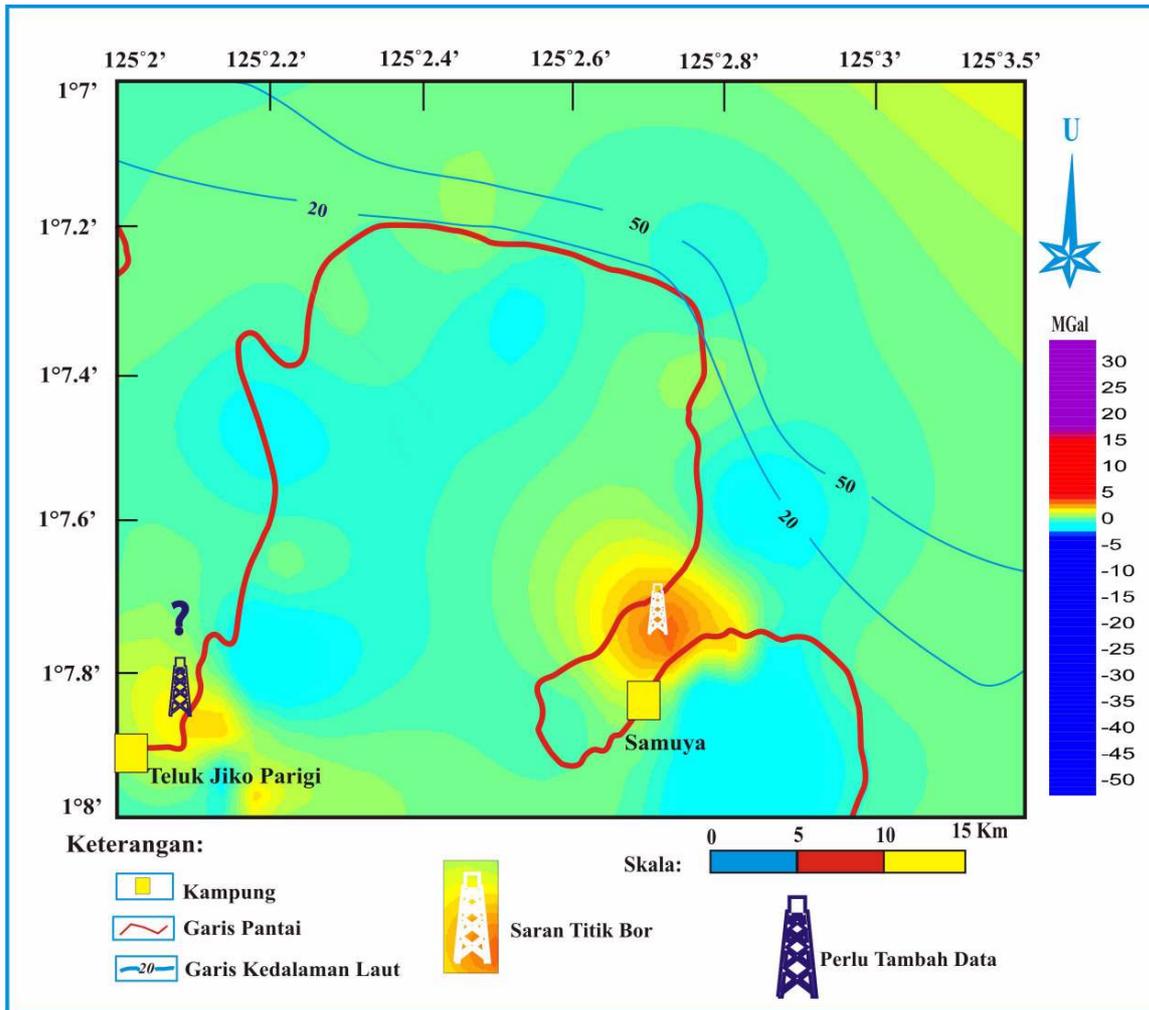


Gambar 9. Peta prospek anomali sisa P. Mangole membentuk closur antiklin yang dianggap sebagai struktur perangkap migas di daerah Minaluli 2 titik di P. Tabulu 2 titik dan di Madafuhi 1 lokasi Cekungan Taliabu-Mangole Maluku Utara

massa batuan, ketebalan perlapisan batuan dibawah permukaan, serta data geologi setempat. Panjang penampang ± 75 kilometer dari Samuya P.Tabulu hingga ke Buya memotong beberapa lokasi tinggian anomali yang dibentuk oleh anomali sisa 0-5 mGal. Secara berurutan lapisan yang muda hingga lapisan tua dikelompokkan berdasarkan rapat massa batuan.

Lapisan Pratersier : mempunyai rapat massa 2.65 gr/cm³ dibentuk oleh Formasi Tanamu berumur Kapur Akhir, terdiri dari napal, batugamping kapuran dan serpih. Ketebalan penampang di puncak-puncak tinggian anomali berkisar 500 meter dan di daerah rendahan anomali bervariasi sekitar 1200 meter. Ketebalan ini tidak sesuai dengan yang terbaca dari peta geologi. Dalam peta tersebut dituliskan bahwa ketebalan formasi sekitar 500 meter, dan hanya tersingkap sekitar 20 % di bagian utara Palabisahaya, Pulau Taliabu, dan Pulau Tanamu. Formasi ini merupakan batuan reservoir dari batupasir dan batugamping, karena dijumpai rembesan migas di daerah Palabisahaya dan Minaluli.

Lapisan Jura : mempunyai rapat massa 2.71 gr/cm³ dibentuk oleh Formasi Buya berumur Jura Tengah - Jura Akhir, terdiri dari serpih bersisipan batupasir, batugamping, napal dan konglomerat. Penafsiran anomali menghasilkan ketebalan formasi ini sekitar ± 2000 meter, sesuai dengan interpretasi geologi. Data geologi menyebutkan bahwa batuan induk terdiri dari serpih hitam (*Black Anoxit Shales*) berumur Jura. Dapur migas (*"Oil Kitchen"*) diduga bersumber dari lepas pantai utara, kira-kira di daerah sub-cekungan yang dibentuk oleh anomali sisa -4 mGal hingga -28 mGal (Gambar 8). Kemungkinan migas bermigrasi dari lapisan-lapisan tersebut melalui perlipatan dan patahan ke daerah antiklin yang ditandai oleh anomali 0-5 mGal. Formasi Buya sebarannya hampir 50 % di Pulau Mangole dan Pulau Taliabu, sedangkan di Pasifah ketebalan yang tersingkap 40 meter tanpa perulangan lapisan. Rembesan migas pada penampang umumnya berasosiasi dengan struktur patahan sehingga direkomendasikan pemboran eksplorasi dilakukan pada daerah-daerah tinggian tersebut.



Gambar 10. Peta daerah prospek anomali 0 MGal hingga 5 mGal di Samuya diduga terkait dengan perangkat struktur dan di Teluk Jiko Parigi perlu penambahan data Cekungan Taliabu-Mangole Maluku Utara

Lapisan Batuan Malihan : mempunyai rapat massa 2.78 gr/cm^3 berumur Karbon terdiri dari genes, skis, amfibolit, filit, batupasir malih dan argillite, tersingkap di daerah sebelah timur Pulau Mangole dan sebagian besar terdapat di Pulau Sanana. Batuan ini mengalami pematahan bongkah pada batuan dasar yang mengakibatkan terbentuknya perlipatan dan pensesaran, sebagai perangkat struktur berupa tinggian antiklin. Sedangkan batuan dasar terdiri dari metasedimen yang diterobos batuan granit Banggai.

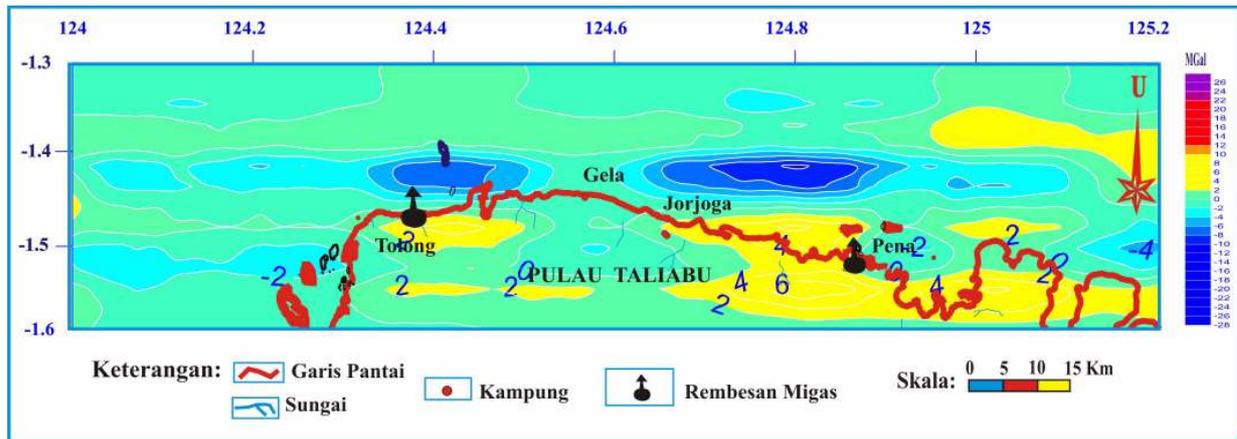
Granit Banggai: mempunyai rapat massa 2.81 gr/cm^3 umur Perem terdiri dari granit, granodiorit, retas diabas dan basal tersingkap sangat luas di Pulau Mangole bagian timur.

Peta Anomali Prospek

Penentuan daerah prospek didasarkan atas dimensi serta nilai tinggian anomali. Cerminan anomali dari 0 mGal hingga 5 mGal ditafsirkan

sebagai closur perangkat struktur terkait dengan ketersediaan rembesan migas disekitarnya. Pemboran eksplorasi direkomendasikan di Pulau Tabulu 2 titik bor, di Minaluli 1 titik bor, dan di Madafuhi 1 titik bor, sedangkan di daerah Palabisahaya masih perlu penambahan data. Semua lokasi titik bor yang disarankan terletak pada morfologi pedataran dan berdekatan dengan rembesan migas. Untuk daerah prospek lainnya di Pulau Taliabu timur di daerah Samuya (Gambar 10), disarankan 1 titik bor, sedangkan di Teluk Jiko Parigi masih diperlukan penelitian lanjutan. Daerah prospek yang lain di Pulau Taliabu barat terdapat di lokasi tinggian anomali dari 0 mGal hingga 10 mGal, yaitu di daerah Pena dan Tolong (Gambar 11).

Anomali sisa yang terbentuk di daerah Pulau Koro (Gambar 6) dengan nilai -1 mGal hingga -2 mGal mencerminkan rendahan anomali yang



Gambar 11. Peta daerah prospek anomali sisa regional dan laut P. Taliabu memperlihatkan rembesan migas terbentuk didaerah closur antiklin terkait dengan struktur perangkap migas Cekungan Taliabu-Mangole Maluku Utara.

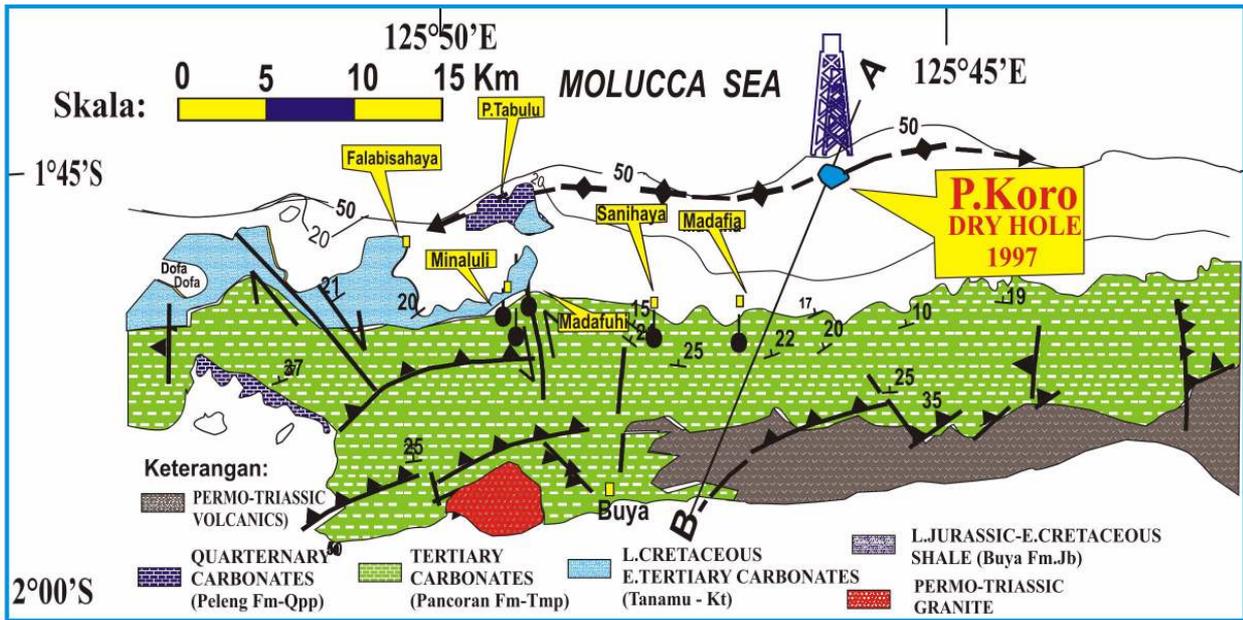
diduga merupakan gambaran dari keberadaan sinklin di lokasi tersebut, ditandai dengan pola kontur memanjang berarah barat-timur. Lokasi pemboran di pulau tersebut pada tahun 1997 terletak di daerah rendahan pada sayap lipatan atau di daerah antiklin yang menonjol dari sisi barat dan timur pulau tersebut. Hasil analisis geologi mempunyai persamaan lokasi antiklin (Gambar 12 dan 13; Garrard, 1988), tetapi tinggian antiklin tersebut tidak menerus melainkan terputus-putus, diduga disebabkan oleh sesar geser arah utara-selatan. Sebaiknya lokasi titik bor digeser ke arah barat atau ke arah timur Pulau Koro pada lokasi tinggian anomali 0 mGal hingga 5 mGal.

Diskusi

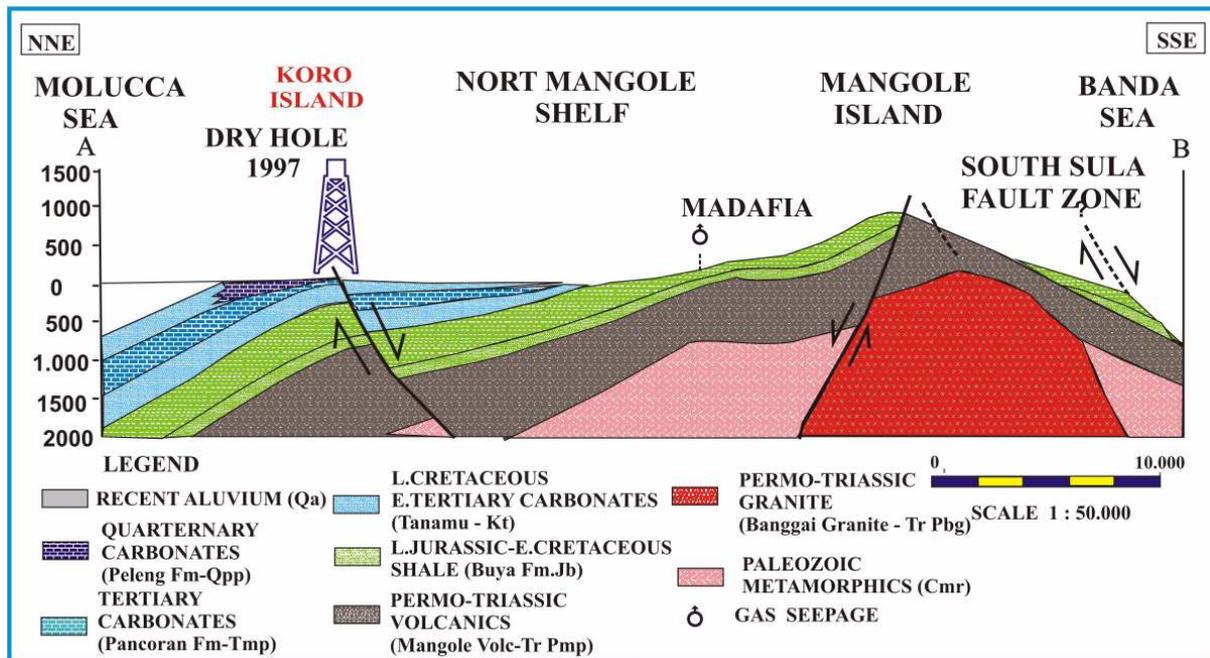
Anomali gayaberat yang terbentuk di daerah penelitian merupakan anomali tertinggi di Indonesia sehingga konsep cekungan yang selama ini dipegang pada nilai 40 mGal hingga -10 mGal tidak bisa diterapkan di daerah ini. Peta anomali Bouguer memperlihatkan anomali tertinggi 620 mGal dan terendah 160 mGal membentuk cekungan dengan pola anomali barat-timur menurun dan menonjol ke utara sebagai cerminan dari lapisan batuan sedimen mempunyai kemiringan kearah tersebut. Anomali tinggi tersebut terbentuk di semua mikro kontinen Cekungan Banggai Sula. Tingginya nilai anomali diakibatkan adanya lapisan batuan yang mempunyai rapat massa lebih tinggi dari granit Banggai atau lapisan meta sedimen dengan rapat massa dari 2.78 – 3.1 gr/cm³. Tebalnya lapisan batuan sedimen disebabkan subduksi dari kontinen Australia menonjol di bawah lempeng Laut Banda, sehingga batuan “*Oceanic Crust*” dan “*Continental Crust*” sangat tebal terbentuk diatas

“*Upper Mantle*” mencapai kedalaman 10 kilometer. Fenomena tersebut dapat dilihat pada penampang seismik di Laut Aru (Gambar 5) yang memperlihatkan batuan sedimen mengalami perlipatan pada sisi barat-timur akibat adanya intrusi. Closur anomali sisa yang terbentuk di daerah ini antara 0 mGal hingga 5 mGal membentuk tinggian anomali merupakan cerminan dari keberadaan antiklin di lokasi tersebut, ditafsirkan sebagai perangkap struktur migas yang berlokasi di sekitar rembesan migas. Perangkap struktur yang membentuk closur positif terdapat di Samuya, Pulau Taliabu, Pulau Tabulu, dan Palabisahaya. Daerah ini dianggap prospek, sehingga disarankan untuk dilakukan pemboran eksplorasi di lokasi tersebut, kecuali di Pulau Taliabu bagian timur sekitar Teluk Jiko Parigi.

Pemboran eksplorasi yang dilakukan tahun 1997 di Pulau Koro tidak menghasilkan migas, penyebabnya diduga karena lokasi bor terletak di daerah rendahan anomali, pada sayap lipatan anomali -1 hingga -2 mGal menonjol dari sisi barat dan timur Pulau Koro. Hasil analisis geologi menunjukkan persamaan lokasi antiklin (Gambar 12 dan 13; Garrard, 1988) tetapi tinggian antiklin tersebut tidak menerus melainkan terputus-putus. Hal ini diduga disebabkan adanya sesar geser berarah utara-selatan. Sebaiknya lokasi titik bor digeser ke arah barat atau ke arah timur Pulau Koro, ke lokasi yang mempunyai tinggian anomali 0 mGal hingga 5 mGal. Batuan reservoir terdiri dari batupasir Formasi Tanamu dan batugamping pada rapat massa 2.65 gr/cm³, umur Kapur Akhir, ketebalan berkisar 500 – 1000 meter. Batuan induk terdiri atas Formasi Buya, umur Jura Tengah - Jura Akhir dari serpih hitam (*Black Anoxit Shales*;



Gambar 12. Peta Geologi memperlihatkan tinggian antiklin di P. Koro sehingga pemboran eksplorasi dilakukan didaerah tersebut sedangkan pada anomali sisa posisinya tidak tepat pada closur antiklin melainkan titik bor terletak di sayap lipatan (Garrad, drr., 1988).



Gambar 13. Penampang geologi melalui P. Koro daerah antiklin tersebut tidak sesuai dengan lokasi antiklin dari penelitian gayaberat dan diduga sebagai penyebab pemboran kosong (Garrad, drr., 1988)

Garrard, 1988) dengan rapat massa batuan 2.71 gr/cm³. Sedangkan dapur migas ("Oil Kitchen") terbentuk pada anomali sisa -4 mGal hingga -28 mGal yang membentuk sub-cekungan di lepas pantai utara Pulau Mangole.

Daerah-daerah tinggian anomali hingga lepas pantai disarankan agar dijadikan sebagai lokasi pengembangan daerah eksplorasi. Batuan dasar untuk daerah penelitian mempunyai rapat massa 2.78 gr/cm³, terdiri dari metasedimen yang diterobos batuan granit Banggai. Tinggian anomali yang merupakan cerminan antiklin terbentuk di daerah ini kemungkinan akibat pematahan bongkah pada batuan dasar sehingga lapisan batuan sedimennya mengalami perlipatan dan terbentuk sebagai perangkap migas.

KESIMPULAN

Anomali Bouguer daerah penelitian dapat dibagi ke dalam 2 (dua) kelompok anomali gayaberat, yaitu anomali rendah dengan kisaran nilai 160 mGal hingga 260 mGal membentuk rendahan anomali, dan anomali tinggi dengan kisaran nilai 260 mGal hingga 620 mGal membentuk tinggian anomali, merupakan cerminan batuan beku granit Banggai, batuan vulkanik Mangole dan metasedimen.

Penafsiran kuantitatif pola anomali Bouguer didasarkan kepada pengelompokan batuan atas dasar persamaan rapat massa batumannya. Atas dasar itu, maka lapisan batuan di bawah permukaan di daerah penelitian dibagi atas 4 bagian yaitu:

- a. Lapisan Pratersier, mempunyai rapat massa 2.65 gr/cm³ dibentuk oleh Formasi Tanamu sebagai batuan reservoir.
- b. Lapisan Jura, mempunyai rapat massa 2.71 gr/cm³ dibentuk oleh Formasi Buya berumur Jura Tengah - Jura Akhir, berfungsi sebagai batuan induk.
- c. Lapisan Batuan Malihan, mempunyai rapat massa 2.78 gr/cm³, berumur Karbon, berfungsi sebagai batuan alas.
- d. Batuan dasar, mempunyai densitas sekitar 2.78 gr/cm³, terdiri dari metasedimen yang diterobos batuan granit Banggai.

Penafsiran secara kualitatif maupun kuantitatif pola anomali sisa menyimpulkan bahwa kisaran anomali sekitar 0 mGal hingga 5 mGal membentuk tinggian anomali, diduga merupakan cerminan dari antiklin berdiameter 10-15 kilometer, berfungsi sebagai perangkap struktur migas di daerah

Minaluli, Madafuhi dan Lekosula Pulau Mangole. Di Pulau Taliabu, daerah Tolong, dan daerah Pena pada umumnya antiklin tersebut berhimpit dengan rembesan migas. Sebagai batuan reservoir adalah batupasir dan batugamping Formasi Tanamu umur Kapur Akhir yang mempunyai rapat massa 2.65 gr/cm³, dicirikan dengan pola anomali sisa 0 mGal hingga 5 mGal. Sedangkan sebagai batuan induk adalah Formasi Buya umur Jura Tengah - Jura Akhir dari serpih hitam (*Black Anoxit Shales*) dengan rapat massa 2.71 gr/cm³. Diduga migas ("Oil Kitchen") terbentuk pada anomali sisa -4 mGal hingga -28 mGal, yaitu di sub-cekungan di utara lepas pantai Pulau Mangole.

Sebagai saran, direkomendasikan untuk dilakukan pemboran eksplorasi di Pulau Tabulu, Pulau Mangole (Minaluli, Madafuhi dan Samuya), sedangkan di Pulau Taliabu (daerah Teluk Jiko Parigi, Pena, dan Tolong) hingga lepas pantai perlu adanya penambahan data sehingga dapat dikembangkan sebagai daerah eksplorasi untuk waktu kedepan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk dapat menggunakan data ukuran bagi keperluan penyusunan makalah ini. Ucapan terima kasih kami tujukan juga kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan yang telah menerima makalah ini untuk ditelaah lebih lanjut, sehingga memungkinkan untuk dapat diterbitkan dalam Jurnal Geologi Kelautan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrea, Walpersdorf, Christophe, V., 1997. GPS Observation of The Tectonic Activity in The Triple Junction Area in Indonesia. *Laboratoire de Geologie Ecole Normale Supérieure 24 rue Lhomond 75231 Paris, France.*
- Barber, A.J., Wiryosujono, S., 1979. The Geology and Tectonics of Eastern Indonesia. *Proceeding of the CCOP – IOC SEATAR working Group Meeting*, Badung, Indonesia.
- Garrard, R.A., Supandjono, J.B., Surono., 1988. The Geology of The Banggai-Sula Microcontinent Eastern Indonesia, *Proceedings Indonesian Petroleum Association Seventeenth Annual Convention*, October 1988 IPA 2006 – 17 th Annual Convention Proceedings.

- Hasanusi, 2004. Prominent Senoro Gas Field Discovery In Central Sulawesi, *Indonesian Petroleum Association, Proceedings Deepwater And Frontier Exploration In Asia & Australia Symposium*, Desember 2004.
- Mirnanda, E., Ermawan, T., Budiman, I., dan Sudarwono, 2004. *Peta Anomali Bouguer Lembar Banggai, Sulawesi, Skala 1 : 250.000*. Pusat Survei Geologi
- Peter, W., 1998. *Geological Development of Eastern Indonesia and the Northern Australia Collision Zone*
- Setianta, B., dan Setiadi, I., 2007. *Peta Anomali Bouguer Lembar Sanana, Maluku, Skala 1 : 250.000*. Pusat Survei Geologi Bandung.
- Surono, dan Sukarna, D., 1993. *Peta Geologi Lembar Sanana, Maluku, Skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.