

Analisis Sudut Kemiringan Lempeng Subduksi di Selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur Berdasarkan Anomali Gravitasi dan Implikasi Tektonik Vulkanik

Rina Dwi Indriana

Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro Semarang

Abstract

Gravitation anomaly research had been done to predict the subduction dip and model. The gravitation research covered East and Central Java, Indonesia. Upward continuation used for regional anomaly mapping. Two dimension modeling from each cross-sectional used grav2poly or grav2dc. From 2D model subduction dip was calculated. The research result were subduction dip various between $3,4^{\circ}$ to $8,2^{\circ}$. There is a suggestion that low magnitude of dip correlated with volcano activity and high magnitude of dip correlated with some depression zone.

Key word: subduction zone, subduction dip, gravitation modeling

Intisari

Telah dilakukan kajian data anomali medan gravitasi yang bertujuan untuk memperkirakan model Subduksi Jawa bagian Tengah dan Timur. Anomali regional diperoleh dengan menggunakan metode kontinuitas ke atas. Pemodelan bawah permukaan 2 dimensi menggunakan metode poligon Talwani dengan program Geomodel. Lempeng yang tersubduksi membentuk sudut subduksi dengan besar sudut bervariasi. Sudut kemiringan subduksi dihitung secara sederhana sebagai antitangen gradien subduksi. Sudut inklinasi kerak samudera di bawah busur luar non vulkanik (outer arc) diperoleh bernilai $3,4^{\circ} - 8,2^{\circ}$. Sudut kemiringan subduksi pada suatu daerah dapat direpresentasikan dengan besarnya nilai anomali gravitasi negatif pada daerah tersebut. Lempeng samudera yang menunjam dengan sudut besar atau subduksi curam berhadapan dengan lipatan yang dalam, sedangkan lempeng dengan sudut penunjaman kecil atau subduksi landai berhadapan dengan pegunungan aktif, sehingga diduga ada korelasi antara sistem subduksi dengan sistem perlipatan dan vulkanisme.

Kata-kata kunci : Sudut penunjaman, zona subduksi, pemodelan gravitasi

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki aktifitas vulkanik dan tektonik yang tinggi. Aktivitas vulkanik dan tektonik ini disebabkan oleh posisi dari gugusan kepulauan Indonesia yang berada di daerah pertemuan antar lempeng tektonik. Ada tiga lempeng tektonik yang bertemu di bawah wilayah Indonesia yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng samudera Pasifik, dan lempeng Eurasia [1]. Lempeng Indo-Australia berinteraksi dengan lempeng Eurasia dan juga dengan lempeng Pasifik. Ketiga lempeng tektonik tersebut memiliki jenis bidang batas lempeng yang sama yaitu bidang batas konvergen yang membentuk zona-zona subduksi. Zona subduksi di Samudera Indonesia merupakan hasil interaksi

lempeng Indo-Australia yang bergerak ke Utara dengan lempeng Eurasia yang bergerak ke Selatan. Subduksi lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia diduga berkorelasi dengan berbagai sistem sesar, lipatan, cekungan dan gunung api aktif yang terbentang dari Sumatra, Jawa, Bali, hingga Nusa Tenggara. Salah satu yang menjadi ciri khas zona subduksi adalah terbentuknya palung laut. Palung laut yang berhadapan langsung dengan pantai selatan Jawa adalah palung Jawa yang merupakan hasil subduksi lempeng Eurasia dan Indo-Australia.

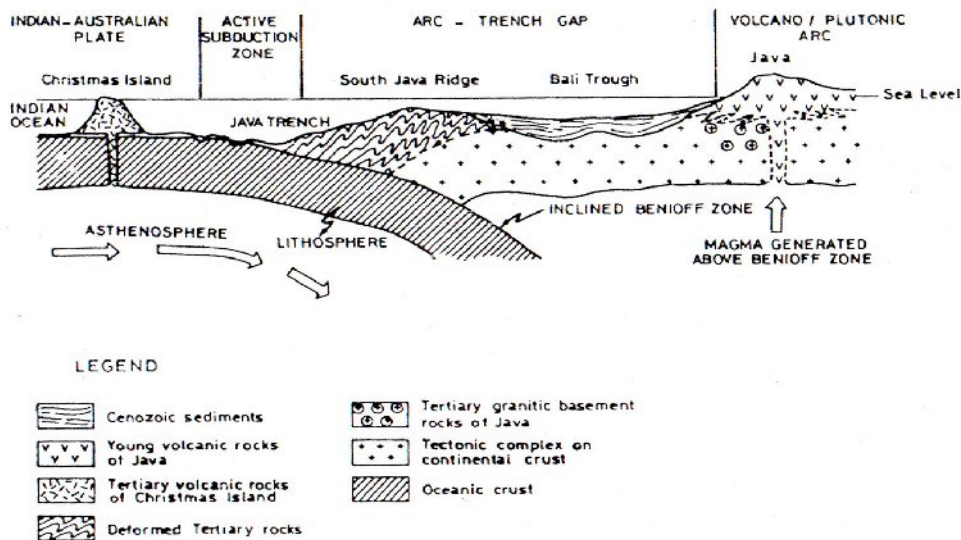
Hasil-hasil penelitian gravitasi yang telah dilakukan dari pesisir Selatan sampai pantai Utara Pulau Jawa yaitu adanya nilai anomali Bouguer positif yang besar di sepanjang pantai Selatan Jawa yang dapat

ditafsirkan sebagai struktur sejenis sembul yang menunjukkan suatu kenaikan terus menerus dan anomali negatif di tengah-tengah Jawa bagian tengah dan timur yang dapat ditafsirkan sebagai penurunan sisa lempeng lautan yang membentuk suatu cekungan geosinklin yang terisi sedimen [2]. Proses sembul ini diduga berkorelasi dengan adanya subduksi di Samudera Indonesia. Hasil penelitian lain menunjukkan adanya beberapa sesar utama yang membentuk kelurusan gugusan gunung api baik yang aktif maupun yang tidak aktif yang semuanya diduga dikontrol oleh sistem subduksi. Menurut teori, gunung api dapat terbentuk pada jarak 125 km sampai 175 km di atas lempeng yang tersubduksi. Di Jawa Tengah dan Timur terdapat beberapa aktifitas vulkanik seperti gunung Merapi, Merbabu, Slamet, Semeru, Bromo, dan Kelud. Beberapa penelitian bawah permukaan yang bersifat lokal telah dilakukan, tetapi penelitian bawah permukaan secara regional yang mencakup Samudera Indonesia sampai Laut Jawa masih sangat jarang dilakukan, karena sulit memperoleh data gravitasi di laut

lepas. Oleh karena itu sangat menarik jika daerah penelitian dilakukan dari palung Jawa (Samudera Indonesia) sampai dengan pantai Utara Jawa Tengah dan Timur dengan mencoba memasukkan data gravitasi laut yang diperoleh dari hasil pemantauan satelit. Model yang diperoleh kemudian digunakan untuk menganalisis korelasi antara sudut subduksi dengan aktifitas vulkanik dan tektonik.

Kerangka Tektonik Lempeng Jawa dan Samudera Indonesia (Katili, 1974)

Model tektonik lempeng Indonesia dalam satu pola konvergen telah dibuat oleh Hamilton (1970) dan Katili (1971). Sistem subduksi Jawa dibentuk oleh subduksi lempeng samudra di bawah lempeng benua. Lempeng ini tipis dan berumur muda, serta seluruhnya hampir terdiri dari batuan *volkano - plutonic* berumur *Tersier* [1]. Beberapa deposit *ignimbrit* dijumpai di Jawa. Batuan magmatik kebanyakan menengah. Lempeng samudra di selatan subduksi tertutup sedimen pelagis dengan ketebalan 200 m. Gambar 1 menunjukkan skema penampang melintang subduksi dan busur pulau Jawa.



Gambar 1 Skema penampang melintang Jawa (Katili, 1974)

Busur luar non-vulkanik Indonesia ditafsirkan sebagai zona subduksi *Tersier*. Penetrasi terdalam dari litosfer di Jawa dan Flores dapat mencapai 400 dan 700 km [1]. Sistem Busur Kepulauan – Palung Jawa [2].

Elemen paling penting kenampakan tektonik di Jawa adalah palung Jawa yang berarah barat laut di depan Sumatra dan berarah timur untuk kepulauan Sunda Lesser. Palung merepresentasikan suatu batas pelat konvergen yang dibengkokkan yang mana berhubungan dengan zona *Benioff* yang berlanjut dengan arah timur menuju busur Banda. Kedalaman zona *Benioff* berubah seketika dari Sumatra menuju Jawa dan sudutnya perlahan-lahan naik dari kepulauan Sunda Lesser menuju ke Busur Banda, (tabel 1). Sudut penunjaman zona *Benioff* tergantung pada kecepatan penunjaman pelat samudera. Le Pichon (1968) memperkirakan kecepatan penunjaman relatif di palung Jawa bagian timur kira-kira 5 cm/tahun. Ketidakwajaran sabuk anomali udara bebas negatif sepanjang sumbu palung diketahui dan secara kualitatif dipahami sebagai

suatu indikasi dari tenggelamnya litosfer samudera dengan densitas tinggi.

Berdasarkan peta sedimen oleh Hamilton (1974a), sedimen lepas pantai yang mengisi palung Bali terbagi kedalam dua bagian, kemungkinan berkaitan dengan pengangkatan struktur *Horse*. Anomali gravitasi yang melintasi *Trench-Arc System* mungkin merupakan efek gabungan yang komplek dari anomali densitas dalam kerak dan mantel atas. Worzel (1976) memperkirakan bahwa efek gravitasi dari subduksi kerak samudera ke dalam mantel atas menghasilkan anomali udara bebas negatif.

Metode Penelitian

Data yang digunakan adalah data digital anomali gravitasi. Selanjutnya adalah pengolahan data yang diawali dengan proyeksi data anomali gravitasi Bouguer ke suatu bidang datar. Metode proyeksi bidang datar yang digunakan adalah metode sumber ekuivalen titik massa [3]. Pada metode ini suatu sumber ekuivalen titik-titik massa diskrit terletak pada suatu bidang datar dengan kedalaman menurut syarat batas di bawah permukaan

Tabel 1 Fitur Busur Sunda; perkiraan karakteristik zona Benioff disusun dari Fitch dkk.,(1970); Hamilton, (1974), Karig dkk., (1976); dan Yoshii, (1977)

Fitur	Sumatra	Jawa & Lesser Sunda	Banda Arc	Northeast Japan
<i>Depth of trench (m)</i>	3500	7400	3500	10.800
<i>Trench-volcanic front spacing (km)</i>	300	250-300		170 - 320
<i>Depth of Benioff under volcanic front (km)</i>		120		90
<i>Dip of Benioff zone (degree)</i>	60	65	75	40
<i>Maximum depth of Benioff zone (km)</i>	200	700	700	600
<i>Province of volcanic rocks *)</i>		H - A		T - H - A

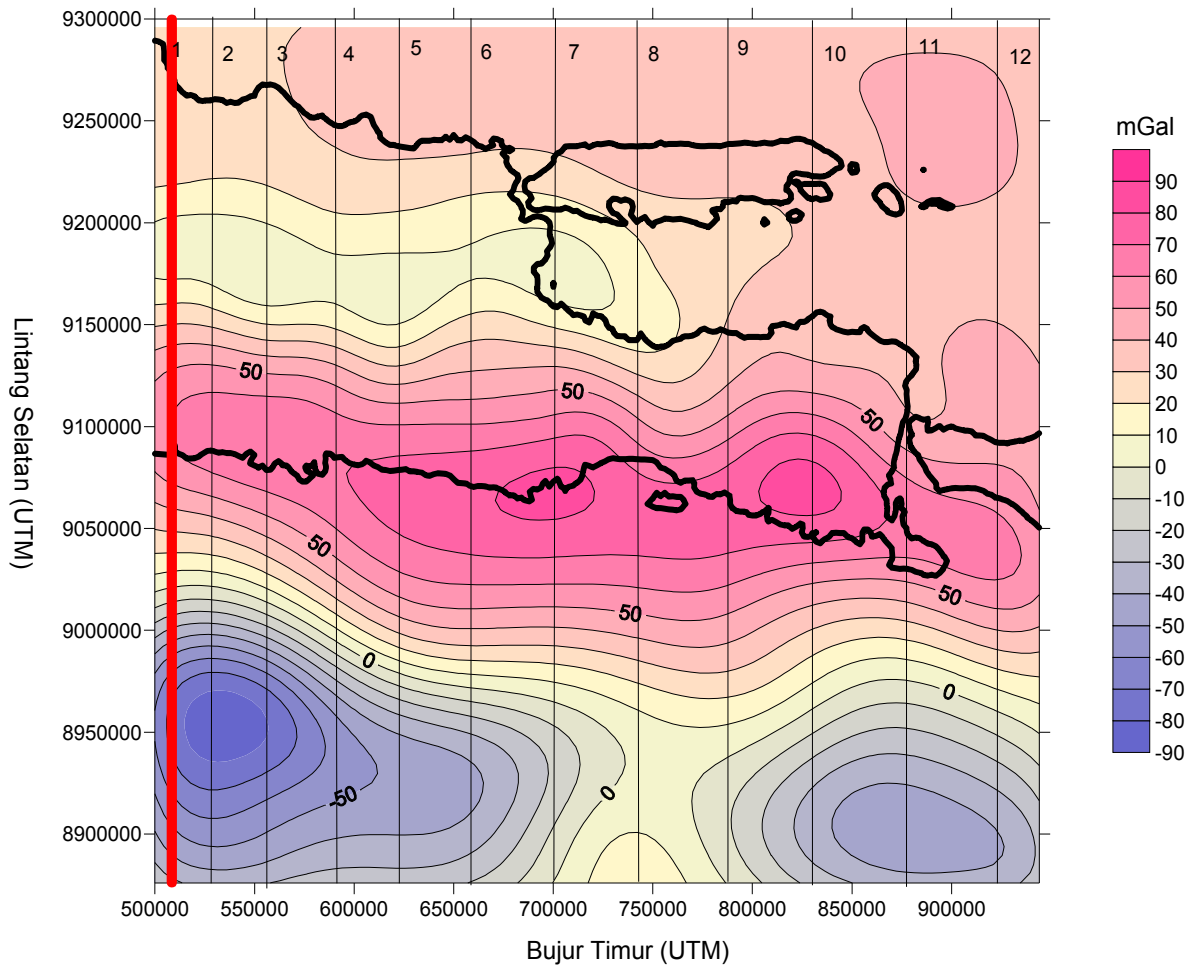
*) T = Tholeitic magma, H = High alumina basaltik magma, A = Alkali basaltik magma.

reference spheroid. Anomali gravitasi dihitung kembali berdasarkan titik-titik massa tersebut ke suatu bidang datar dengan *grid* teratur pada ketinggian tertentu. Proses selanjutnya adalah kontinuitas ke atas yang dilakukan untuk memisahkan anomali regional dan residual. Pemodelan 2D menggunakan metode polygon Talwani (1959) dengan program *Geomodel* yang dibuat oleh Cooper (2004).

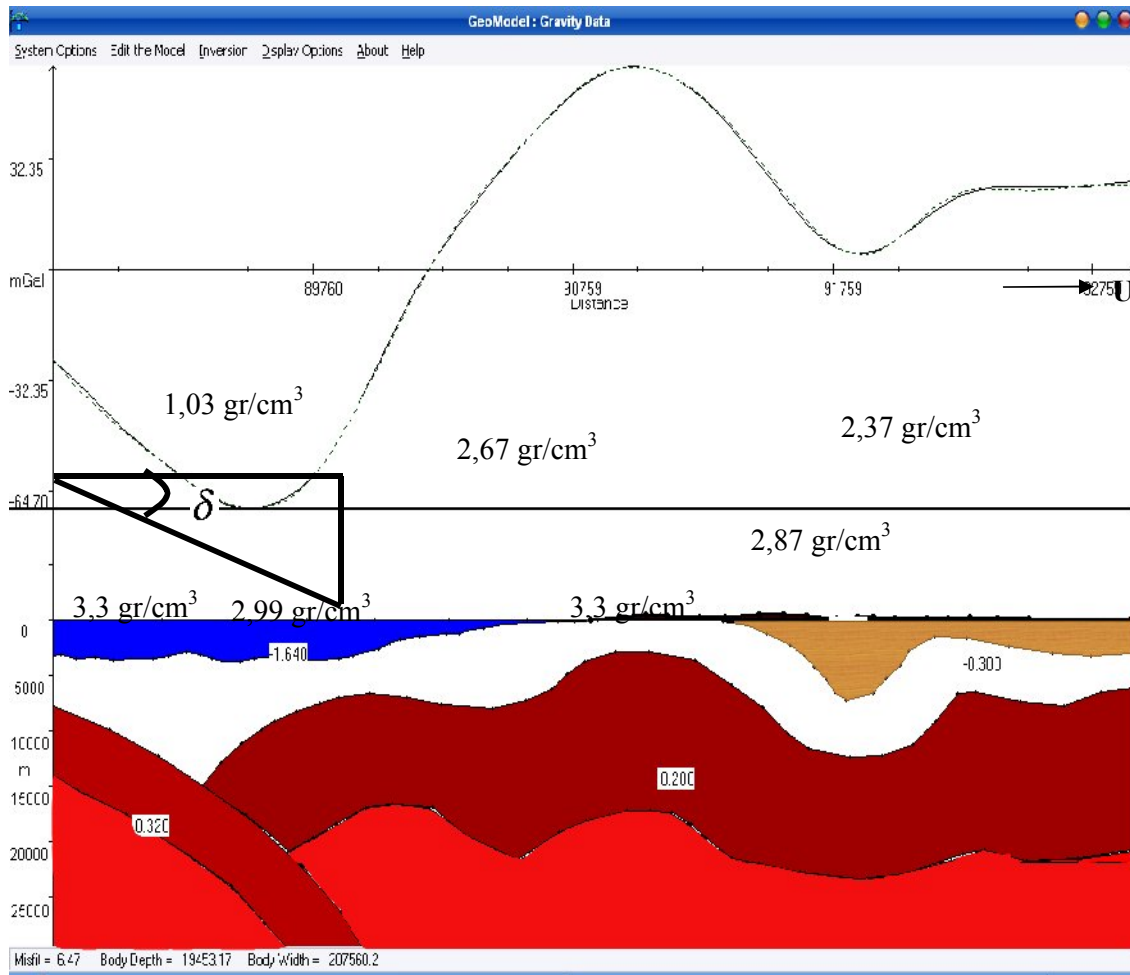
Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengolahan adalah kontur anomali gravitasi. Untuk memperoleh model bawah permukaan dilakukan

pemilihan lintasan penyayatan hingga diperoleh 20 lintasan sayatan pemodelan pada kontur anomali gravitasi regional. Banyak lintasan di Jawa Tengah 10 dan di Jawa Timur 10. Contoh lintasan yang dipilih ditampilkan pada gambar 2. Dari lintasan – lintasan tersebut dibuat profilnya kemudian dimodelkan 2 dimensi dengan bantuan perangkat lunak *Gravpoly* (gambar 3). Dari model yang diperoleh dihitung sudut kemiringan (inklinasi) kerak samudera di bawah busur luar non vulkanik (*outer arc*) menggunakan hubungan invers tangen.



Gambar 2. Peta kontur anomali gravitasi regional Jawa Timur dengan 12 lintasan



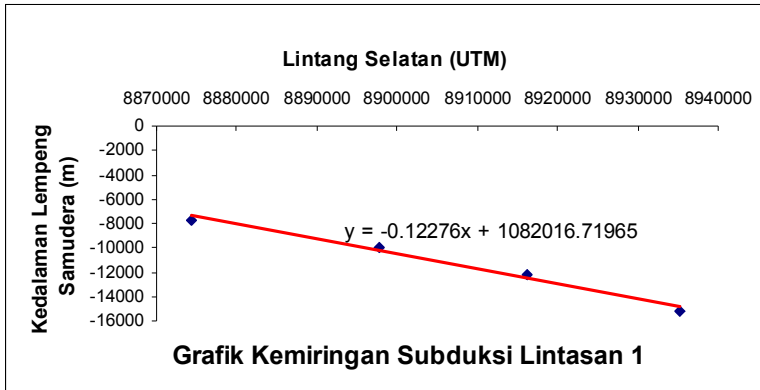
Gambar 3. Model bawah permukaan lintasan 1

Salah satu contoh perhitungan sudut inklinasi kerak samudera di bawah busur luar non vulkanik (*outer arc*) ditampilkan pada gambar 4. Hasil-hasil perhitungan sudut-sudut inklinasi subduksi kerak samudera di bawah busur luar non vulkanik (*outer arc*) ditampilkan dalam tabel 2. Untuk lintasan 11 dan 12 sudut inklinasi subduksi di bawah *outer arc* tidak dapat didefinisikan karena bentangan yang kurang. Dari tabel 2 diperoleh bahwa sudut inklinasi subduksi paling besar adalah pada lintasan 2 yang mana terdapat nilai anomali medan gravitasi negatif yang besar. Sedangkan sudut inklinasi terkecil pada lintasan 8 yang menunjukkan nilai anomali medan gravitasi negatif kecil. Makin besar sudut menunjukkan lempeng

masuk dengan curam. Posisi titik kontak berada pada jalur anomali medan gravitasi negatif yang memanjang dari timur ke barat. Bila ditinjau dari kedalaman titik kontak maka semakin besar kedalaman titik kontak semakin besar pula sudut kontakannya. Seperti pada lintasan 2 kedalaman titik kontak mencapai 16 km dengan sudut inklinasi mencapai $8,2^{\circ}$. Sudut inklinasi kerak samudera di bawah busur luar non vulkanik (*outer arc*) diperoleh bernilai $3,4^{\circ} - 8,2^{\circ}$. Secara umum sudut inklinasi tersebut sesuai dengan hasil yang diperoleh Beck dan Lehner (1974) yaitu antara $5^{\circ} - 10^{\circ}$. Lempeng samudera yang menunjam dengan sudut besar atau subduksi curam berhadapan dengan lipatan yang dalam,

sedangkan lempeng dengan sudut penunjaman kecil atau subduksi landai berhadapan dengan pegunungan aktif,

sehingga diduga ada korelasi antara sudut subduksi dengan sistem perlipatan dan vulkanisme.



$$\text{Sudut inklinasi } \theta = \tan^{-1}(-0,1228) = -7^{\circ}$$

Gambar 4 Contoh perhitungan sudut inklinasi kerak samudera di bawah busur luar non vulkanik (*outer arc*)

Tabel 2 Sudut inklinasi subduksi kerak samudera di bawah busur luar non vulkanik (*outer arc*) untuk lintasan 1-18

No. Lintasan	Bujur Timur (UTM)	Sudut Inklinasi Subduksi(^o)
1	245308	4,0
2	291200	5,0
3	311900	7,5
4	367508	6,5
5	415277	3,5
6	439868	4,0
7	478569	6,8
8	494335	7,2
9	505636	7,0
10	528976	8,2
11	556500	6,3
12	589000	6,9
13	622678	7,3
14	658000	6,5
15	700000	5,5
16	745000	4,4
17	785277	4,8
18	830000	5,3

Kesimpulan dan Saran

Dari hasil dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Sudut inklinasi subduksi lempeng samudera di bawah busur luar non vulkanik (*outer arc*) diperoleh bernilai $3,4^{\circ} - 8,2^{\circ}$.
2. Diduga terdapat korelasi antara sistem subduksi dengan sistem – sistem perlipatan maupun vulkanisme di Jawa Tengah dan Jawa Timur berdasarkan hasil pemodelan, subduksi dengan sudut penunjaman yang besar berhadapan dengan lipatan yang dalam, sedangkan subduksi dengan sudut penunjaman kecil berhadapan dengan pegunungan aktif.

Saran

Dari hasil penelitian perlu dilakukan penelitian lanjut dengan metode geofisika lainnya yang dapat memberikan informasi perlipatan bawah permukaan dalam tinjauan lain, sehingga analisis korelasi antara besar sudut penunjaman dengan tektonik setting dapat lebih lengkap. Pemodelan subduksi dengan metode inversi dapat dilakukan sebagai pembandingan keakuratan pemodelan inversi terhadap metode forward.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan saudara Adib Hasan yang sudah membantu menyelesaikan pemodelan daerah Jawa Timur sehingga penelitian bawah permukaan regional

Indonesia sepanjang zona subduksi di selatan Pulau Jawa dapat diselesaikan oleh penulis.

Daftar Pustaka

[1] Blakely, R. J., 1995, *Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications*, 1st edition, New York, USA, Cambridge University States.

[2] Budiman, I., Nasution, J., Sobari, Simamora, W.H., 2000, *Gravity anomaly map of western part of Indonesia*, Bandung, Indonesia Geological Research and Development Center.

[3] Dampney, C.N.G., 1969, *The Equivalent Source Technique*, Geophysics. V.34, No.1, p.39-53.

[4] Darman, H., Sidi H. F., 2000, *An Outline of The Geology of Indonesia*, IAGI

[5] Fitch, T.J., 1970, *Earthquake mechanism and island arc tectonics in Indonesia –Philippine Region*, Seism. Soc. Amer. Bull., v.60, p 565 – 591.

[6] Katili, J.A., 1973, *Volcanism and Plate Tectonics in Indonesian Island Arc*, Tectonophys., v.26, p 165 – 188.

[7] Lilie, J. R., 1999, *Whole Earth Geophysics : An Introductory textbook for geologists and geophysicist*, New Jersey, Prentice – Hall.

[8] Magetsari, N. A.,-, *Geologi Fisik*, Bandung, Penerbit ITB.

[9] Smyth, H., Hall, R., Hamilton, J., and Kinny, P., 2005, *East Java Cenozoic basin, volcanoes and ancient basement*, Prosceeding Indonesian Petroleum Assco

[10] Smyth, H., Hall, R., Hamilton, J., and Kinny, P., 2008, *Central Java Cenozoic basin, volcanoes and ancient basement*, Geophysics Journal

[11] Sharaf, F.E., 2005, *Biostratigraphy and strontium isotope dating of Oligocene – Miocene strata, East Java, Indonesia*, Stratigraphy, vol, no. 3.

[12] Telford, W. M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys D.A., 1979. *Applied Geophysics 1st edition*. Cambridge University Press.

[13] Telford, W. M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys D.A., 1990. *Applied Geophysics 2st edition*. Cambridge University Press.

[14] Untung, M. , Sato, Y., 1978, *Gravity and Geological Studies in Jawa*,

Indonesia. Geological Survey of Indonesia & Geological Survey of Japan.

[15] Widiyanto, E., 2008, *Penentuan Konfigurasi Struktur Batuan Dasar dan Jenis Cekungan dengan Data Gayaberat serta Implikasinya pada Target Eksplorasi Minyak dan Gas Bumi di Pulau Jawa*, Disertasi S-3 ITB, Bandung.