



PEMODELAN SESAR DI KECAMATAN BANJARMANGU KABUPATEN BANJAR NEGARA BERDASARKAN DATA ANOMALI GRAVITASI

Imam Mustofa¹⁾ dan Sehad¹⁾

¹⁾Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Jenderal Soedirman
sehad.geophysics@gmail.com

Abstrak : Pemodelan sesar di wilayah Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara telah dilakukan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui model struktur sesar di sekitar Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara berdasarkan data anomali gravitasi atau anomali bouguer. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diambil dari Peta Anomali Bouguer Lembar Banjarnegara dan Pekalongan. Nilai anomali bouguer yang dihasilkan berkisar $-4 - 69$ mGal dengan pola kenaikan kontur anomali cenderung berarah timur laut – barat daya. Proses pengolahan data dilakukan dengan mereduksi data anomali bouguer ke bidang datar dan memisahkan data anomali menjadi anomali residual dan anomali regional menggunakan metode pencocokan polinomial. Data anomali residual hasil pemisahan dimodelkan menggunakan perangkat lunak *Grav2DC for windows*. Hasil pemodelan berupa struktur geologi bawah permukaan yang diinterpretasi sebagai sesar naik sepanjang 13 kilometer dengan arah barat laut – tenggara. Sesar ini memanjang dari koordinat $109^{\circ}38'BT$ dan $7^{\circ}16'LS$ hingga $109^{\circ}43'BT$ dan $7^{\circ}20'LS$. Batuan bawah permukaan hasil pemodelan yang diperoleh di daerah penelitian terdiri atas batulempung dengan densitas $1,63 - 2,60$ g/cm³, batupasir dengan densitas $1,61 - 2,76$ g/cm³, batupasir gampingan dengan densitas $1,61 - 2,90$ g/cm³, dan batugamping dengan densitas $1,93 - 2,90$ g/cm³.

PENDAHULUAN

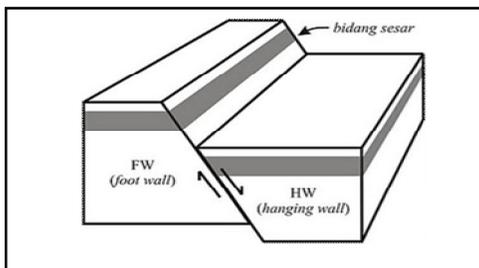
Indonesia merupakan negara yang memiliki aktivitas vulkanik dan tektonik yang tinggi. Aktivitas vulkanik dan tektonik tersebut terkait dengan posisi gugusan kepulauan Indonesia yang berada di daerah pertemuan antar tiga lempeng tektonik besar dunia. Lempeng tektonik besar tersebut adalah Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik (Katili, 1973). 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 diperkirakan merupakan hasil interaksi antara Lempeng Indo-Australia yang bergerak relatif ke utara dengan Lempeng Eurasia yang bergerak relatif ke Selatan. Tuntunan Lempeng Indo-Australia di

bawah Lempeng Eurasia diperkirakan memiliki korelasi yang kuat dengan berbagai sistem sesar, lipatan, cekungan, dan gunung api aktif yang terbentang dari Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara hingga Kepulauan Maluku.

Daerah Banjarmangu, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah merupakan daerah yang termasuk kategori tektonik aktif. Daerah ini dipengaruhi oleh keberadaan struktur geologi regional yang membelah Pulau Jawa. Dua struktur patahan membentang dengan arah barat laut – tenggara dan timur laut – barat daya yang bertemu pada suatu titik di sekitar selatan Kabupaten Kebumen. Sesar dengan arah barat laut – tenggara sampai saat ini masih aktif, sehingga akan sangat berpengaruh terhadap keaktifan sesar-sesar lokal yang salah satunya diperkirakan melewati daerah Banjarmangu

(Satyana, 2009).Bahaya yang timbul akibat aktivitas sesar ini sangat tinggi, mengingat daerah penelitian terdiri dari Pegunungan Serayu Utara yang merupakan daerah-daerah yang labildengan topografi bergelombang, mudah longsor, curam, dan mempunyai berbagai jenis batuan serta struktur geologi yang kompleks, sehingga sangat rentan gerakan tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya tanah longsor(Kinasti, 2014).

Sesar (*fault*) adalah suatu bentuk patahan pada lapisan batuan kerak bumi yang menyebabkan suatu blok batuan bergerak relatif terhadap blok batuan lain. Pergerakan dapat relatif turun, naik, atau mendatar terhadap blok yang lain. Pergerakan tiba-tiba suatu sesar dapat mengakibatkan gempa bumi. Sesar terjadi di sepanjang retakan kerak bumi, yang mengakibatkan terjadinya slip diantara dua sisi sesar tersebut. Sesar dapat terjadi pada segala jenis batuan. Sesar aktif berperandalam “mengontrol”dinamika topografi, aliran air permukaan dan bawah permukaan, perubahan stratigrafi batuan, dan sebagainya.Umumnya tidak mungkin untuk mengetahui berapa besar gerak sebenarnya yang terjadi di sepanjang sesar,serta blok batuan mana yang bergerak dan yang diam, karena pergerakannyatelah berlangsung pada waktu lampau. Pergerakan salah satu sisi melalui bidang sesar membuat salah satu blok relatif naik, turun atau mendatar terhadap lainnya. Blok diatas bidang sesar disebut blok *hanging wall* sedangkan yang dibawah disebut blok *foot wall*(Hertanto, 2009),seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar1. Hanging wall dan foot wall (Hertanto, 2009)

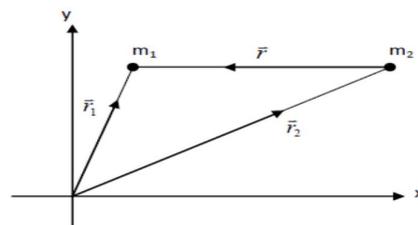
Salah satu upaya memahami perilaku sesar di Kecamatan Banjarmangu adalah dengan

melakukan penelitian terhadap sesar yang terdapat di bawah permukaan daerah penelitian.Dengan mengetahui bentuksesar, maka proses yang mungkin terjadi terkait dengan aktivitas sesar dapat dipahami dengan baik. Untuk mengetahui model struktur sesar, dapat diterapkan berbagai metode survei geofisika untuk menggambarkan kondisistruktur bawah permukaan. Metode geofisika yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode gravitasi. Prinsip dasar dari metode ini adalah mengukur variasi medan gravitasi yang timbul akibat perbedaan rapat massa batuan di bawah permukaan bumi. Metode gravitasi berdasarkan pada hukum Newton tentang gravitasi (Telford *et.al.*, 1990; Adhi *dkk.*, 2011).

Metode gravitasi memiliki kelebihan untuk survei awal eksplorasi geofisika karena menghasilkan informasi yang cukup jelas dan detail tentang struktur geologi dan kontras densitas batuan bawah permukaan.Pemetaan data medan anomali gravitasi di Banjarnegara dan Pekalongan telah dilakukan oleh Dibyantoro dan Sutisna (1975) dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G) Bandung untuk membuat Peta Anomali Bouguer Lembar Banjarnegara dan Pekalongan Jawa yang merupakan sumber data sekunder dalam penelitian ini.

TINJAUAN PUSTAKA

Hukum Newton tentang gravitasi merupakan prinsip dasar dari metode gravitasi yang berkembang hingga saat ini. Pada **Gambar 2** Newton menjelaskan bahwa dua buah massa m_1 dan m_2 yang terpisah sejauh r dari masing-masing pusat massanya akan memiliki gaya tarik menarik sebanding dengan perkalian nilai massa m_1 dan m_2 dan berbanding terbalik dengan nilai kuadrat jaraknya (Telford *et.al.*, 1990).





Gambar 2. Gaya gravitasi antara dua buah titik massa (Telford *et.al.*, 1990).

$$\vec{F}(\vec{r}_1) = -G \frac{m_1(\vec{r}_1)m_2(\vec{r}_2)}{|\vec{r}_1-\vec{r}_2|^2} \frac{\vec{r}_1-\vec{r}_2}{|\vec{r}_1-\vec{r}_2|} \quad (1)$$

dengan G adalah konstanta gravitasi yang besarnya adalah $6,672 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$. Jika persamaan (1) menyatakan gaya tarik yang dialami partikel m_2 akibat partikel m_1 maka tanda negatif menyatakan bahwa gaya tarik tersebut memiliki arah berlawanan dengan \vec{r} yang mempunyai arah dari partikel m_1 menuju m_2 .

Gaya per satuan massa yang mempunyai jarak r dari m_1 disebut medan gravitasi dari partikel m_1 yang besarnya:

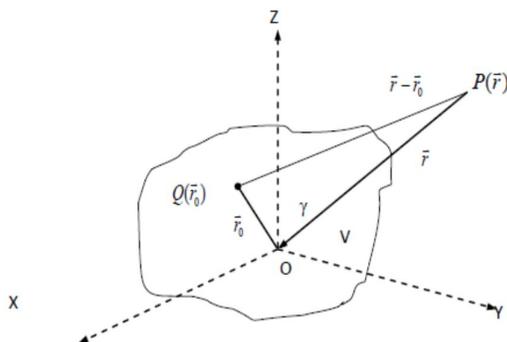
$$\vec{E}(\vec{r}_1) = -G \frac{m_1(\vec{r}_1)}{|\vec{r}|^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad (2)$$

dimana $\vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$

Karena medan ini konservatif, maka medan gravitasi dinyatakan sebagai gradien dari suatu fungsi potensial skalar $U(\vec{r}_1)$ sebagai berikut:

$$\vec{E}(\vec{r}_1) = -\nabla U(\vec{r}_1) \quad (3)$$

dengan $U(\vec{r}_1) = -G \frac{m_1}{r}$ merupakan potensial gravitasi dari massa m_1 . Oleh karena itu potensial di suatu titik pada ruang bersifat penjumlahan, sedang potensial gravitasi dari suatu distribusi massa yang kontinu di suatu titik P diluar distribusi massa tersebut merupakan suatu bentuk integral.



Gambar 3. Potensial tiga dimensi(Telford *et al.*, 1990).

Jika massa yang terdistribusi kontinu tersebut mempunyai rapat massa $\rho(r_0)$ di dalam volume V , maka potensial di suatu titik P diluar V adalah:

$$U_p(\vec{r}) = -\int_V \frac{G dm}{|\vec{r}-\vec{r}_0|} = -G \int_V \frac{\rho(\vec{r}_0) d^3 \vec{r}_0}{|\vec{r}-\vec{r}_0|} \quad (4)$$

dimana $|\vec{r} - \vec{r}_0| = \sqrt{r^2 + r_0^2 - 2rr_0 \cos \gamma}$. Jika integral volume diambil untuk seluruh bumi, kita dapatkan potensial gravitasi bumi di ruang bebas, sedang medan gravitasinya kita dapatkan dengan cara menurunkan potensial tadi. Jika P berada di permukaan bumi, medan gravitasi pada titik P adalah :

$$g_z(\vec{r}) = \frac{\partial U_p(\vec{r})}{\partial z} = -G \int_V \frac{\rho(\vec{r}_0)(z_0-z) d^3 \vec{r}_0}{[(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

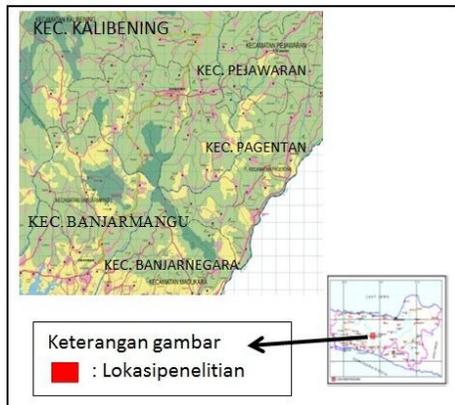
Medan gravitasi g disebut juga percepatan gravitasi atau percepatan jatuh bebas. Satuan g dalam CGS dalam gal, dimana $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/det}^2$. Percepatan medan gravitasi bumi bervariasi di permukaan bumi, dan nilainya bergantung pada distribusi massa di bawah permukaan $\rho(\vec{r}_0)$ dan jaraknya dari pusat bumi. Pada dasarnya anomali bouguer atau anomali gravitasi adalah selisih antara nilai medan gravitasi pengamatan dengan nilai medan gravitasi teoritis yang seharusnya terukur pada titik pengamatan tersebut. Nilai medan gravitasi hasil pengamatan merupakan nilai gravitasi yang terbaca pada alat gravitimeter setelah mengalami beberapa koreksi, antara lain koreksi apungan (*drift correction*) dan koreksi pasang surut bumi (*tide correction*)(Untoro, 2005).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari hingga Juni 2015 di Laboratorium

Geofisika Fakultas MIPA Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto. Data penelitian merupakan data anomali medan gravitasi atau anomali Bouguer sekunder yang meliputi daerah Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara yang dibatasi oleh koordinat geografis 109°37' – 109°48' BT dan 7°15' – 7°26' LS, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4. Daerah penelitian merupakan kawasan yang sering dilanda bencana gerakan tanah dan tanah longsor di Kabupaten Banjarnegara, Propinsi Jawa Tengah.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian (Tjahjono, 2002).

Prosedur Penelitian

a. Akuisisi Data

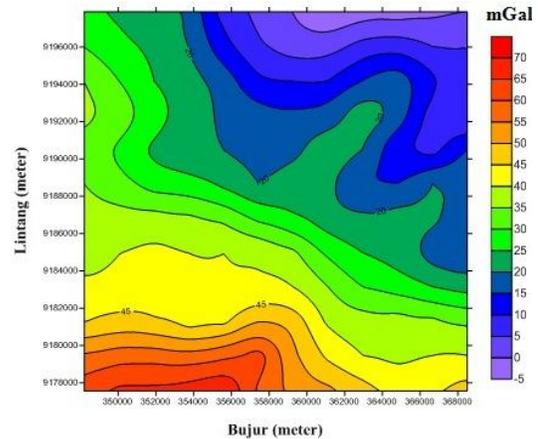
Akuisisi atau pengambilan data anomali bouguer dilakukan dengan mendigitasi Peta Anomali Bouguer Lembar Banjarnegara dan Pekalangan yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G) Bandung. Digitasi adalah proses pengambilan data dari sebuah peta. Dari proses digitasi ini diperoleh 144 data anomali, lengkap dengan posisi bujur dan lintang dengan spasi grid titik survei 1850 meter. Data anomali bouguer yang sudah didigitasi masih terdistribusi di atas permukaan topografi seperti terlihat pada Gambar 5.

b. Pengolahan Data

Data anomali bouguer yang masih terdistribusi pada permukaan topografi harus dibawa ke bidang datar untuk keperluan

pemodelan (Wardana, 2008). Metode yang digunakan untuk membawa data anomali bouguer ke bidang datar adalah menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa (Dampney, 1969). Persamaan dasar proses sumber ekuivalen titik massa ini adalah (Blakely, 1995):

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sigma(\alpha, \beta, h)(h-z) d\alpha d\beta}{\{(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (h-z)^2\}^{3/2}} \quad (6)$$



Gambar 5. Peta kontur anomali bouguer di atas topografi.

dengan $\Delta g(x, y, z)$ adalah data anomali di atas topografi, $\sigma(\alpha, \beta, h)$ adalah distribusi kontras densitas yang meliputi bidang $z = h$, z merupakan sumbu vertikal dengan arah positif ke bawah, dan h adalah kedalaman sumber ekuivalen titik massa dari sferoid referensi. Pada penelitian ini diperoleh kedalaman 7000 meter sebagai sumber ekuivalen titik massanya.

Langkah berikutnya adalah melakukan pemisahan data anomali bouguer yang masih bercampur antara data anomali residual dan anomali regional. Metode pemisahan data anomali residual dan anomali regional adalah menggunakan *polynomial fitting*. Metode ini mengasumsikan bahwa permukaan polinomial dapat diasumsikan sebagai model bidang anomali regional yang halus yang ditentukan berdasarkan orde polinomial (Purnomodkk., 2013). Pada penelitian ini, orde 2 pada *polynomial fitting* dipilih untuk pemisahan anomali residual dan anomali regional, karena telah diperoleh trend bidang anomali regional yang sangat halus. Secara teknis perhitungan pemisahan



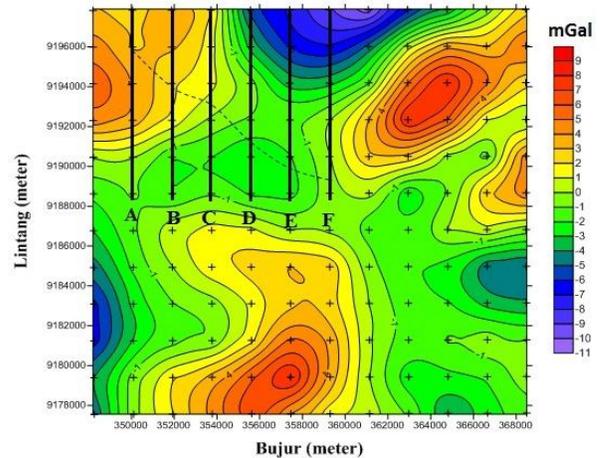
anomali lokal dan regional dengan metode *polynomial fitting* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Matlab* (Nwankwo, 2006).

c. Pemodelan dan Interpretasi Data

Data anomali residual yang diperoleh dimodelkan menggunakan metode poligon Talwani yang dikemas di dalam *software Grav2DC for Windows* (Untung, 2001). Hasil yang diperoleh berupamodelstruktur geologi bawah permukaan secara dua dimensi (2D). Berdasarkan informasi geologi, modelstruktur bawah permukaan tersebut dapat diinterpretasi sebagai sesar dan blok batuan yang terdapat di sekitarnya. Pemodelan ini dilakukan di beberapa lintasan yang dibuat sejajar pada peta kontur anomali residual, sehingga diperoleh beberapa model sesar 2D yang sejajar. Rekonstruksi bentuk sesar secara utuh dilakukan dengan membuat korelasi antar model-model sesar 2D, sehingga terbentuk model sesar 3D.

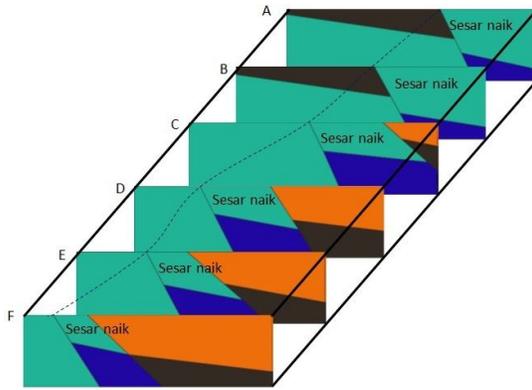
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan sesar bawah permukaan di daerah penelitian dilakukan menggunakan metode poligon Manik Talwani menggunakan perangkat lunak *Grav2DC for Windows*. Pemodelan dilakukan terhadap data anomali pada masing-masing lintasan yang dibuat pada peta kontur anomali residual, yang terdiri atas lintasan A, B, C, D, E, dan F seperti pada Gambar 6. Setelah diperoleh model 2D benda anomali bawah permukaan yang diinterpretasi sebagai sesar pada masing-masing lintasan, maka dibuat rekonstruksi sesar 3D. Rekonstruksi dilakukan dengan cara mengkorelasikan model-model sesar 2D, yaitu dengan menghubungkan titik-titik yang diperkirakan merupakan titik sesar naik.



Gambar 6. Lintasan pemodelan pada peta kontur anomali residual.

Berdasarkan hasil rekonstruksi sesar 3D yang telah dibuat, diperkirakan bahwa sesar tersebut adalah jenis sesar naik (*reverse fault*) yang memiliki panjang kira-kira 13 kilometer dengan arah barat laut – tenggara. Sesar tersebut memanjang dari koordinat 109°38' BT dan 7°16' LS hingga koordinat 109°43' BT dan 7°20' LS. Hasil rekonstruksi sesar 3D secara utuh dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan nilai susceptibilitas magnetik masing-masing blok batuan yang diperoleh dari pemodelan sertaditunjang informasi geologi daerah penelitian (Condon dkk., 1996), interpretasi litologi dilakukan terhadap masing-masing blok batuan untuk masing-masing lintasan pemodelan, dengan hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 7. Rekonstruksi korelasi sesar berdasarkan hasil penyatuan model-model 2D.

Tabel 1. Hasil Interpretasi litologi blok-blok batuan di seluruh lintasan pemodelan di daerah penelitian.

No	Warna Model	Interval Densitas (g/cm ³)	Densitas Rata-rata (g/cm ³)	Jenis Litologi (Batuan)
1		1,63 – 2,60	2,11	Batulempung
2		1,61 – 2,76	2,19	Batupasir
3		1,61 – 2,90	2,26	Batupasir gampingan
4		1,93 – 2,90	2,42	Batugamping

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pemodelan sesar di Kecamatan Banjarnangu Kabupaten Banjarnegara berdasarkan data anomali gravitasi dapat disimpulkan:

1. Nilai anomali bouguer yang diperoleh di daerah penelitian berkisar -4 – 69 mGal yang terdistribusi pada permukaan topografi.
2. Diperoleh model sesar naik di Kecamatan Banjarnangu dan sekitarnya sepanjang 13 kilometer dengan arah barat laut – tenggara. Sesar memanjang dari koordinat 109°38'BT dan 7°16'LS hingga 109°43'BT dan 7°20'LS.
3. Blok-blok batuan bawah permukaan yang membentuk sesar diinterpretasi terdiri atas batulempung dengan densitas 1,63 – 2,60 g/cm³, batupasir dengan densitas 1,61 – 2,76 g/cm³, batupasir gampingan dengan densitas

1,61 – 2,90 g/cm³, dan batugamping dengan densitas 1,93 – 2,90 g/cm³.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G) Bandung atas ketersediaan Peta Anomali Bouguer Lembar Banjarnegara dan Pekalongan Jawa, yang menjadi sumber data sekunder dalam penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada pihak *Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego* yang telah menyediakan data posisi geografis daerah penelitian yang meliputi bujur, lintang, dan ketinggian yang dapat diakses melalui alamat website http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Adhi., Pribadi Mumpuni., Almas Hilman Muhtadi., Panji Achmari., Zamzam Ibnu Sina., Iwan Jaya Aziz., Petrus Fajar Subekti, 2011. *Metode Gaya Berat*. Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press, USA, New York.
- Condon W.H., Pardyanto, L., Ketner, K.B., Amin, T.C., Gafoer, S. dan Samodra H., 1996. *Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Dampney, C.N.G., 1969. *The Equivalent Source Technique*. Geophysics Vol.34 No.1 Hal. 39 – 53.
- Dibyantor, H. dan Sutisna, S., 1975. *Peta Anomali Bouguer Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Hertanto, B., 2009. *Struktur Geologi Sesar*. [http:// geoenviron.blogspot.com](http://geoenviron.blogspot.com), diakses padatanggal 2 Januari 2015 pukul 22.10 WIB.
- Katili, J.A., 1973. *Volcanism and Plate Tectonics in Indonesian Island Arc*, Tectonophys., Vol. 26 Hal. 165-188.
- Kinasti, M.A., 2014. *Pengaruh Struktur Geologi Terhadap Gerakan Tanah di Dusun Windusari, Desa Metawana, Kecamatan Pagentan, Kabupaten Banjarnegrara, Provinsi Jawa Tengah*. Jurnal Ilmiah MTG Vol.7 Hal.2.
- Nwankwo, L.I., 2006. *A Least Squares Plane Surface Polynomial Fit of Two Dimensional Potential Field Geophysical Data using Matlab*. Nig. Journal of Pure and Appl Sci., 21, 2006 – 2013.
- Purnomo, J., Koesuma, S., Yuniyanto, M., 2013. *Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion*. Indonesian Journal of Applied Physics. 3.
- Satyana, A.H., 2009. *Disappearence of Java's Southern Mountains in Kebumen and Lumajang Depressions: Tectonic Collapses and Identations by Java's Tranverse Major Fault Zones*; Proceedind International Conference On Earth Science and Technology; Geological Engineering Departmen, Gadjah Mada University; Yogyakarta; 6-7 Agustus 2009, ISBN: 978-979-17549-4-1.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge, New York.
- Tjahjono, E.J.A., 2002. *Inventarisasi Bitumen Padat Daerah Banjarnegara, Kabupaten Banjarnegar, Jawa Tengah*. Kolokium Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral (DIM).
- Untoro, Y.T., 2005. *Petunjuk Praktikum Gravitasi dan Magnet*. Bandung: Laboratorium Geofisika Terapan ITB.
- Untung, M., 2001. *Dasar-dasar Magnet dan Gayaberat Serta Beberapa Penerapannya*. Jakarta : HAGI.
- Wardana, D., 2008. *Penelitian Gayaberat di Daerah Perbatasan Cekungan Bogor dan Cekungan Jawa Barat Utara*. Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Bandung.