

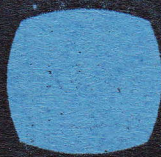
PROCEEDINGS JOINT CONVENTION BALI 2007
The 32nd HAGI, The 36th IAGI, and The 29th IATMI
Annual Convention and Exhibition



JOINT CONVENTION
BALI

13th-16th November 2007

Organized by :



Proceedings sponsored by :



ISBN 978-979-8176-05-5



9 789798 126055

FOREWORDS

“OPTIMIZATION OF MIXED ENERGY RESOURCES FOR NATIONAL ENERGY SECURITY” is the theme of the Joint Convention Bali 2007, The 32nd HAGI, The 36th IAGI, and The 29th IATMI Annual Convention and Exhibition.

This theme addresses the need for Indonesia to secure national energy supply and to sustain the development of energy resources as energy plays a vital role in Indonesia's economic growth. The theme of mixed energy resources is chosen following the needs of energy diversification prior to the projection of Indonesia becoming net-oil importer country. Indonesia is pursuing a sustainable energy development agenda under the National Energy Mix Policy in 2025. Toward the year, Indonesia is implementing short, medium, and long-term policies to address the broader challenges in national energy supply and sustainability. Indonesia is intensifying cooperation activities among the stakeholder with purpose of:

- Enhancing the production of conventional energy
- Exploration and development the new energy resources and supplies
- Diversification of energy and promoting alternate energy resources
- Facilitate energy efficiency and conservation
- Renewable energy campaign

The Joint Convention Bali 2007 host by HAGI (Indonesian Association of Geophysicist), IAGI (Indonesian Association of Geologist), and IATMI (Indonesian Petroleum Engineering Association). The convention held at Westin, Bali International Convention Center at 13-16 November 2007. This convention provides opportunities among earth scientists and petroleum engineer to share ideas, opinions, and experiences as well as their new concept and current technology development. It is also intended to raise awareness among Indonesian earth scientist and petroleum engineer to anticipate the energy reduction with its implications.

Topics:

1. Indonesian Natural Resources
2. Mineral and Energy Resources Management
3. Environmental Issues
4. Hazard Mitigation
5. General Issues (Mix Energy Scenario & Policy)
6. Atmosphere Science, Oceanography, and Marine Geology
7. Development in Sedimentology, and Stratigraphy
8. Geodynamics, Seismology, and Volcanology
9. Exploration, Exploitation, and Development G&G
10. G&G Methods, Technology, and Application
11. Engineering Geology
12. Unconventional G&G

Jakarta, 13 November 2007

Chairman JCB2007
Mohammad Syaiful

No.	REGISTER NUMBER	AUTHOR(S)	TITLE OF PAPER	INSTITUTION(S)	PAGE
50	JCB2007-071	ROS Soty1, Dwikorita Karnawati2, Salahuddin Husein3, Kenji Aoki4,	PROPOSED METHOD FOR EVALUATION ON LONG TERM STABILITY OF A CUT SLOPE AT THE STEEP SLOPE OF KALIBAWANG IRRIGATION CHANNEL KM. 8.5	1AUN/SEED-Net Master Student, Dept of Geological Engineering, Gadjah Mada University, Indonesia 2Department of Geological Engineering, Gadjah Mada University, Indonesia 3Department of Geological Engineering, Gadjah Mada University, Indonesia 4Department o	435-447
51	JCB2007-073	Widodo1, Budi S2, Muhaimin1, Endro1	MODEL OF DISSEMINATING IRON ORE DEPOSIT USING RESISTIVITY 2 D IMAGING	Mining Exploration Program, Institute Technology Bandung Dept. of Mining Engineering, Institute Technology Bandung	448-450
52	JCB2007-074	Arifudin Idrus*, Anastasia Dewi Titisari, Adi Praminta Kurniawan	CHARACTERIZATION, QUALITY IMPROVEMENT AND UTILIZATION OF NATURAL ZEOLITE DEPOSITS FROM YOGYAKARTA, INDONESIA	1 Department of Geological Engineering, 2 Department of Chemical Engineering, and 3 Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University, Yogyakarta - Indonesia	451-457
53	JCB2007-075	Zaenudin, A.1,2, Asy'ari, H.2, Kadir, W.G.A2, Santoso, D.2, Dahrin, D2	3D LINIER INVERSION ANALYSIS ON TIME- LAPSE MICROGRAVITY DATA IN KAMOJANG GEOTHERMAL FIELD	1Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung 2Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung	458-463
54	JCB2007-077	Bukin Dauly and Binarko Santoso	CHARACTERISTICS OF SELECTED SUMATERAN TERTIARY COALS REGARDING THEIR PETROGRAPHIC ANALYSES	R&D Centre for Mineral and Coal Technology	464-470
55	JCB2007-078	Ferian Anggara1 and Subagyo Pramumijoyo2	SINISTRAL STRIKE-SLIP FAULT ALONG KENDENG ZONE, OUTCROP DATA FROM ALAS KOBONG AREA, CENTRAL. JAVA	1) Kaltim Prima Coal 2) Geological Engineering Department, Gadjah Mada University	471-474
56	JCB2007-079	T. Listyani R.A.*), Ag. Isjudarto*), Sari B. Kusumayudha* *), Heru Sigit Purwanto**)	ANALISIS FRAKTAL GEOMETRI KURVA GARIS PANTAI DI PULAU JAWA BAGIAN SELATAN DAN HUBUNGANNYA DENGAN INTENSITAS DAMPAK TSUNAMI	*) Jurusan Teknik Geologi, STTNAS Yogyakarta **) Jurusan Teknik Geologi, FTM, UPN "Veteran" Yogyakarta	475-483
57	JCB2007-080	Thuong Huyen, D1., Hendrayana, H1., and Jinno, K2.	GROUNDWATER MODELING IN YOGYAKARTA URBAN AREA, INDONESIA	1Geological Engineering Department Faculty of Engineering, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia 2Professor in Institute of Environmental Systems Graduate School of Engineering, Kyushu University, Japan	484-493
58	JCB2007-081	Rusalida Raguwanti1), Darwin Tangkalalo2), Ari Naskawan1), Trisakti Kurniawan2)	Innovation Technology Using Acoustic Impedance Modeling For Reservoir Characterization at Tanjung Oil Field, Barito Basin, South Kalimantan,	1) EP Technology Center, Pertamina Upstream 2) Pertamina Tanjung Business Unit, Pertamina EP	494-503

3D LINIER INVERSION ANALYSIS ON TIME-LAPSE MICROGRAVITY DATA IN KAMOJANG GEOTHERMAL FIELD

Zaenudin, A.^{1,2}, Asy'ari, H.², Kadir, W.G.A.², Santoso, D.², Dahrin, D.²

¹Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung

²Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung

Abstract

Gravity inversion problem is a density distribution determination in subsurface from a number gravity measurements on the surface. Some of the inversion solution method conducted, one of them is linier inversion. Inversion solution tested to knowing, how the solution obtained approximated initial model density. The best inversion solution are base on its convergences, stability solution and minimum rms.

There are 5 linier inversion method conducted in this research, namely; simple linier inversion, simple weight linier inversion, damping mixed-determination, damping mixed-determination with priory information and priory weight damping mixed-determination, tested in some of synthetic models. The synthetic models are prism, dipping dyke and horizontal plate created from 3D perpendicular prism models. The result of inversion depend on design model, input parameter and multiply factor of Lagrange.

The mixed-determination linier inversion method is the best method applied the synthetic models. Than the best inversion method obtained applied to time-lapse microgravity data. The time-lapse microgravity data measured from June-November 2007 on Kamojang geothermal field. Microgravity anomaly changes obtained from -200 to 100 microgal. The gravity changes are related to density changes from -0.25 to + 0.30 gram/cc in the 800 m depth of the reservoir. Time-lapse microgravity anomaly distribution and density are controlled by place of the production and injection wells. Time-lapse microgravity anomaly distribution is also controlled by rim-structure and faults in BL-TG (N 140^oE) and BD-TL (N 60^o E) in the Kamojang geothermal field.

Key word : linier inversion, time-lapse microgravity, Kamojang

Pendahuluan

Penerapan metoda gayaberas untuk tujuan pemantauan terus dikembangkan, terutama pada daerah panasbumi, ladang minyak dan gas, hidrologi dan vulkanologi. Ekstraksi fluida (uap panas) yang terus-menerus dari reservoir panasbumi menyebabkan terjadinya pengurangan massa. Pengurangan massa ini biasanya dikompensasi dengan pengisian kembali (*recharge*) baik secara alami maupun secara buatan melalui proses reinjeksi. *Recharge* buatan ini dilakukan dengan cara menginjeksikan air sisa ekstraksi uap melalui sumur-sumur reinjeksi. Dengan demikian, air yang diinjeksikan dapat

diarahkan relatif lebih tepat menuju reservoir. Namun biasanya jumlah reinjeksi lebih kecil dari jumlah produksi, sehingga proses produksi dan reinjeksi pada lapangan panasbumi perlu dipantau untuk menjaga kesetimbangan massa.

Eksplorasi gayaberas mikro untuk tujuan pemantauan mulai dilakukan tahun 1961 untuk memantau dinamika produksi uap pada reservoir panas bumi Wairakei New Zeland (Allis dkk., 2000). Mariita (2000), mengukur dan mengamati perubahan gayaberas akibat produksi uap di daerah lapangan panas bumi Olgaria-Kenya sejak tahun 1983. Di Indonesia penerapan metode gayaberas-mikro untuk pemantauan pertama kali dilakukan oleh Pertamina Divisi Panas bumi

Kamojang sejak tahun 1984, yang memantau produksi uap dan injeksi air di lapangan panas bumi Kamojang (Kamah dkk., 2000).

Lapangan panasbumi Kamojang adalah lapangan panasbumi pertama di Indonesia, telah dikembangkan dan dioperasikan selama 25 tahun mulai dari tahapan eksplorasi hingga produksi listrik 140 MWe saat ini dari cadangan potensial Kamojang 300 MWe. Sekarang sedang dipersiapkan Unit IV (60 MWe) bahkan dimungkinkan untuk ditambah dengan Unit V. Pengembangan eksploitasi dapat mengakibatkan terganggunya keseimbangan reservoir baik tekanan, suhu, dan sistem keseimbangan massa. Penelitian ini bertujuan untuk memonitor keseimbangan massa reservoir Lapangan panasbumi Kamojang akibat eksploitasi tersebut untuk periode pendek (tahunan) berdasarkan data gayaberatmikro antar-waktu. Gambaran perubahan gayaberatmikro ini diperlihatkan sebagai perubahan rapat-massa pada reservoir panasbumi yang dihitung dengan teknik inversi linier.

Gayaberatmikro antar-waktu

Metode gayaberat-mikro antar waktu merupakan pengembangan dari metode gayaberat dengan dimensi keempatnya adalah waktu. Ciri dari metode gayaberat- mikro antar waktu adalah pengukuran gayaberat mikro secara teliti dalam orde μGal dan pengukuran tinggi yang teliti dalam orde mm secara berulang (Sarkowi, 2007). Perkembangan eksplorasi gayaberat-mikro antar waktu sangat dipengaruhi oleh peningkatan akurasi gravimeter dan pengembangan sistem digital. Pada akhir tahun 2000, LaCoste & Romberg mengeluarkan gravimeter digital secara penuh yang disebut 'graviton' dengan akurasi 1 μGal , sehingga dengan adanya gravimeter ini kendala eksplorasi gayaberat-mikro yang berhubungan dengan alat dapat dihilangkan.

Anomali gayaberat yang diamati (komponen vertikal) adalah akibat adanya variasi massa dan besaran suatu material di bawah dan sekitar titik pengukuran. Hubungan ini secara matematik direpresentasikan oleh persamaan (Kadir dkk, 1996) :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = G \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (1)$$

Jika perubahan gayaberat tidak diikuti dengan perubahan geometri dan volume benda, maka dapat didekati dengan :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) \cong K \Delta \rho(x, y, z, \Delta t) \quad (2)$$

Dengan K adalah fungsi Green yang berhubungan dengan geometri dan volume benda anomali. Anomali gayaberatmikro antar waktu (4D) merupakan selisih antara gayaberatmikro pada periode t' dan t .

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = g(x, y, z, t') - g(x, y, z, t) \quad (3)$$

Perhitungan anomali gayaberat-mikro antar waktu dilakukan dengan mengurangi gayaberat observasi, anomali Bouguer sederhana ataupun anomali Bouguer lengkap tergantung dari perubahan yang terjadi di daerah tersebut. Anomali Bouguer lengkap merupakan selisih antara nilai gayaberat pengamatan dengan gayaberat teoritik yang didefinisikan pada titik pengamatan bukan pada bidang referensi, baik ellipsoid maupun muka laut rata-rata.

Anomali gayaberat-mikro antar waktu pada umumnya disebabkan oleh dinamika fluida bawah permukaan dan perubahan titik pengukuran (tinggi dan lokasi). Perubahan gayaberat negatif berasosiasi dengan adanya pengurangan massa pada reservoir akibat ekstraksi fluida panas ke permukaan (proses produksi). Sedangkan perubahan gayaberat positif berasosiasi dengan penambahan massa pada reservoir (reinjeksi).

Metoda Penelitian

Untuk menggambarkan perubahan massa di lapangan Kamojang digunakan metoda gayaberatmikro sebagai data dasar. Data gayaberatmikro antar-waktu yang digunakan adalah hasil survey periode pendek, yaitu Juli 2006 dan November 2006. Hasil pengukuran berulang pada 85 benchmark yang tersebar dilapangan ini.

Representasi perubahan massa ini dipetakan sebagai perubahan rapat-massa bawah permukaan. Model perubahan rapat-massa digambarkan secara 3D hasil inversi dari anomali gayaberatmikro yang diukur dipermukaan.

Beberapa metoda solusi inversi dipakai, salah satu diantaranya inversi linier. Solusi inversi kemudian diuji, sampai sejauhmana solusi yang diperoleh mendekati model awal. Solusi terbaik didasarkan

pada konvergensi, kestabilan solusi dan rms minimum.

Pada penelitian ini 5 metoda inversi linier, yaitu; inversi linier sederhana, linier sederhana berbobot, *mixed-determined* teredam, *mixed-determined* teredam dengan informasi *prior*, dan *mixed-determined* teredam berbobot *prior* diuji coba pada beberapa model benda sintetis, yaitu; prisma, *dipping dyke* dan *plate horizontal* yang dibentuk dari model prisma persegi panjang 3D. Metoda yang paling cocok untuk diterapkan pada semua model sintetis di atas adalah metoda inversi linier *mixed determined*. Kemudian metoda inversi linier ini diaplikasikan pada set data gayaberatmikro antar-waktu periode Juni-November 2007 di lapangan panas bumi Kamojang.

Hasil dan Diskusi

Dari kedua pengukuran gayaberatmikro ini didapatkan anomali gayabera mikro antar-waktu periode Juni – November 2006 yang akan menjadi bahan analisa proses ir versi linier data lapangan. Sebelum diinversi, dipilih 76 titik yang memadai, diinterpolasi dengan menggunakan *kriging* dengan jarak spasi terhadap x dan y sebesar 500 m. Gambar 1 menunjukkan nilai anomali gayaberatnya yang di plot dengan struktur geologi Kamojang, *benchmark* titik pengukuran gayaberat, dan sumur-sumur produksi dan reinjeksi.

Inversi dilakukan menggunakan inversi linier *damped least square* dengan faktor pengali Lagrange 10^6 . Dipilih inversi linier ini karena kestabilannya untuk memperoleh RMS yang terkecil baik RMS anomali gayaberatnya maupun RMS rapat massanya ditambah lagi inversi ini memiliki kecenderungan konvergen pada semua iterasi dan jenis model berbeda meskipun menempuh waktu proses yang lebih lama. Informasi *prior* bawah permukaan memakai asumsi 1 lapis reservoir pada kedalaman 800 m dan ketebalan 300 m (rata-rata model numerik Zuhro, 2004). Sebanyak 320 sel prisma (16 x 20 sel) dengan nilai rapat massa 0 gr/cc sebagai informasi *prior* dilakukan sebanyak 100 kali iterasi menghasilkan nilai RMSE akhir 14,405.

Inversi juga dilakukan dengan membagi sel bawah permukaan menjadi 2 dan 3 lapis. Pada batas kedalaman dan ketebalan yang sama, lapisan dibagi menjadi bagian yang sama, 150 m

kedalaman masing-masing untuk 2 lapis dan 100 m untuk 3 lapis. Pada 100 kali iterasi untuk 2 lapis bawah permukaan menghasilkan RMSE akhir 16,195 dan untuk 3 lapis menghasilkan RMSE akhir 17,529.

Anomali gayaberat untuk setiap jumlah lapisan bawah permukaan yang berbeda menghasilkan nilai dan kontur yang hampir sama meskipun pada nilai rapat massa bawah permukaannya memberikan nilai yang agak berbeda (Gambar 2). Distribusi rapat massa dengan membagi lapisan yang lebih banyak akan lebih terkonsentrasi pada permukaan dengan nilai yang paling besar atau yang paling kecilnya berada pada permukaan. Pada proses inversi 1 lapis mempunyai nilai rentang rapat massa yang lebih besar daripada proses inversi pada 2 dan 3 lapis, yaitu sekitar 0.3 gr/cc untuk nilai maksimal dan -0.25 gr/cc untuk nilai minimal. Jadi semakin banyak lapisan akan mempunyai rentang rapat massa yang kecil. Ini dikarenakan sel rapat massa yang diatas mendistribusikannya ke sel yang dibawahnya.

Gambar 3 menunjukkan distribusi rapat-massa hasil inversi 1 lapisan. Tiga (3) sumur injeksi (KMJ-32, KMJ-15, dan KMJ-21) menghasilkan injeksi air pada nilai rapat massa yang berbeda. Penambahan massa yang berlebih besar di sekitar sumur injeksi KMJ-32 di zona sebelah selatan dan sumur injeksi KMJ-15 di zona tengah. Pada KMJ-32 penambahan massa paling besar yaitu sekitar 0.24 gr/cc mengarah ke timur laut yang mengisi kekosongan injeksi air pada daerah tersebut. Sedangkan pada KMJ-15 menambah rapat massa lebih kecil dari KMJ-32 rata-rata 0.12 gr/cc dengan arah penambahan ke utara dan timur dimana banyak terdapat sumur produksi.

Sedangkan pada sumur injeksi KMJ-21 yang terletak pada zona Danau Pangkalan mengurangi rapat massa disekitarnya. Terjadi pengurangan rapat massa sampai dengan -0.12 gr/cc. Ada suatu indikasi nilai rapat massa yang berkurang karena mengisi sumur produksi yang banyak terdapat di daerah timur KMJ-21. Hal lain pengurangan massa juga terjadi karena terdistribusinya uap air ke utara yang menambah suplai uap air yang injeksi oleh KMJ-15, ini sesuai dengan arah lapisan reservoir model numerik yang dibuat oleh A.Zuhro (2004) dengan kemiringan ke lebih dalam ke arah barat dan selatan lapangan panas bumi kamojang.

Letak titik sumur reinjeksi KMJ-32 ada kemungkinan mengisi kekurangan dari sumur

reinjeksi KMJ-21 dengan melihat sedikitnya sumur produksi di sekitarnya. Persebaran ke arah utara dan timur laut dari KMJ-32 disesuaikan dengan sesar normal yang mempunyai arah barat daya – timur laut di sebelah timur dan *rim structure* di sebelah barat. Ini juga ditambahkan dengan kemiringan reservoir ke arah utara dan timur yang semakin dangkal, sehingga uap air akan terdistribusi banyak ke arah utara dan timur. Sedangkan pada KMJ-15 uap air lebih terdistribusi karena memang lebih banyak sumur produksi pada bagian utara dan timur KMJ-15 dengan tidak adanya penghalang berupa sesar-sesar. Pertambahan massa yang lebih sedikit dari KMJ-32 karena memang sumur produksi mendapatkan suplai uap air dari sumur ini ditambah lagi adanya penambahan sedikit dari KMJ-21 yang lebih dikarenakan kemiringan reservoir. Penambahan uap air ke arah timur KMJ-15 juga merupakan faktor kemiringan reservoir.

Kesimpulan

Perubahan anomali gayaberatmikro antara -200 sampai dengan 100 μ gal bersesuaian dengan perubahan rapat-massa -0.25 sampai dengan +0.30 gr/cc di reservoir pada kedalaman 800 m. Distribusi perubahan rapat-massa dikontrol oleh letak sumur-sumur produksi dan reinjeksi, dan juga rim-struktur di sekitar Danau Pangkalan dan sesar-sesar BL-TG (arah N 140^oE) dan BD-TL (arah N 60^o E) di lapangan panasbumi Kamojang.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Manajemen PT PGE yang telah memberikan ijin dipublikasikan tulisan ini. Dan DIKTI melalui Hibah Bersaing 2006 yang telah mendanai penelitian ini.

Pustaka

Allis, R.G., Gettings, P., dan Chapman, D.S. (2000) : Precise gravimetry and geothermal

reservoir management, *Proceedings Twenty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford California.

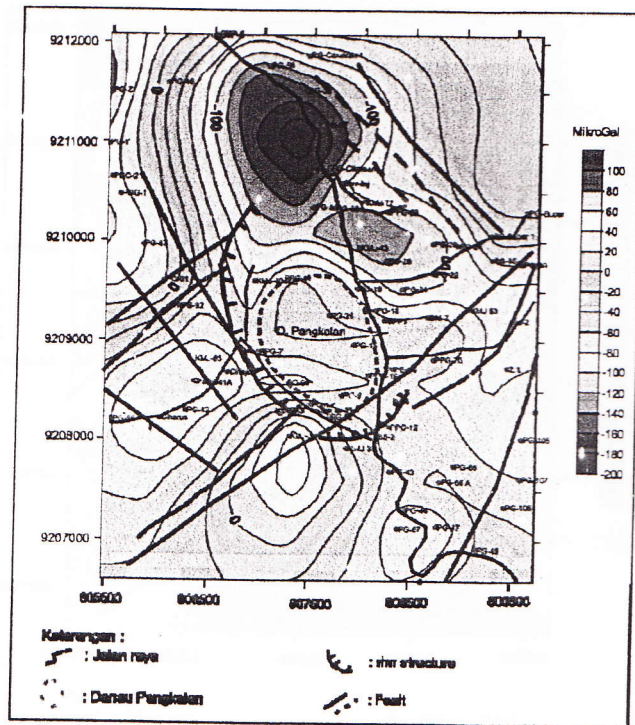
Mariita, N.O.(2000) : Application of Precision Gavity Masurement to Rervoir Mnitoring of Olkaria Gothermal Feld, Kenya, *Proceedings Word Geothermal Congress*, Kyushu-Tohoku, Japan, 2719 – 2724.

Kamah, M.Y., Mutthalib, Negara, C., Silaban, M.S.P., Silitonga, T.H., Leonardus, A.M.N., Pulungan, I., dan Mufroil, H. (2000) : Laporan Survei Gravitasi Presisi Periode1999-2000 Lapangan Produksi Panasbumi Kamojang, Jawa Barat, Div. Panasbumi Pertamina, 1 – 17.

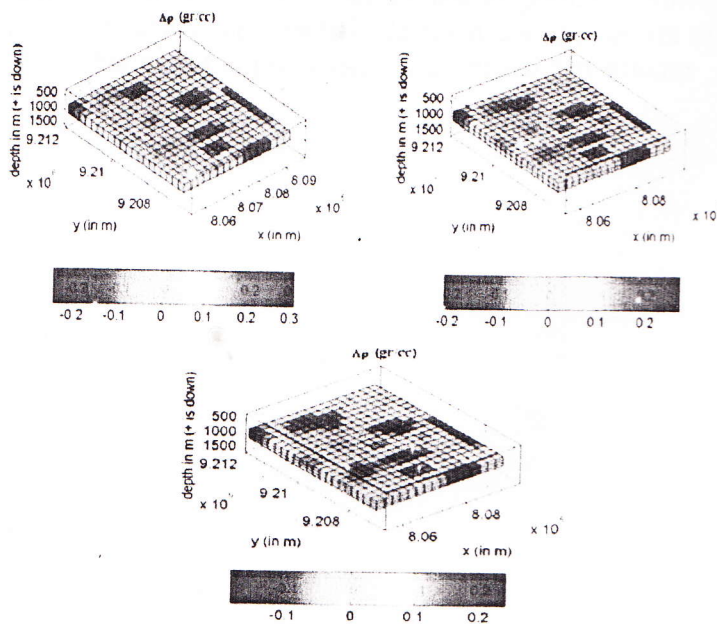
Sarkowi, M., (2007) : Gayaberat-mikro antar waktu untuk analisa inamika air tanah; Studi kasus dataran alluvial Semarang, Disertasi Program Doktor, Institut Teknolgi Bandung, 9-22.

Kadir, W.G.A., (1996) : Dekonvolusi anomali gayaberat Bouguer dan derivatif vertikal orde dua dengan menggunakan persamaan dasar potensial, studi kasus : Pulau Sumatera, *Disertasi Program Doktor*, Institut Teknolgi Bandung, 14 – 49.

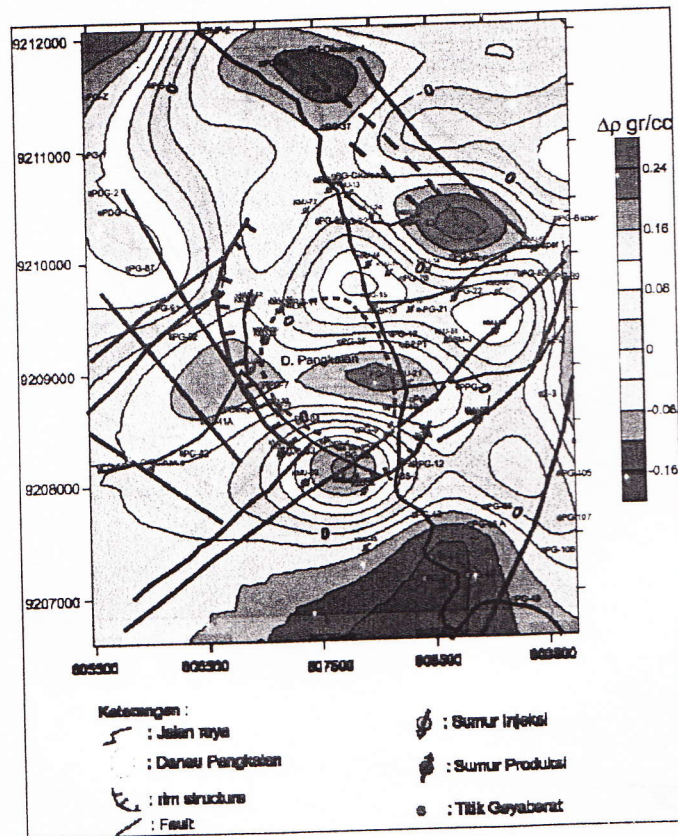
Zuhro, A. (2004) : Numerical Modelling of The Kamojang Geothermal System, Indonesia, *Geothermal Training Programme*, The United Nations University, reports number 20.



Gambar 1. Peta anomali gayaberat mikro periode Juni-November 2006, beserta titik pengukuran gayaberat dan struktur lapangan panas bumi Kamojang



Gambar 2. Rapat massa hasil inversi *damped least square* dengan 100 iterasi pada setiap pembagian lapisan per-kedalaman.



Gambar 3. Peta rapat massa secara lateral periode Juni-November 2006 hasil inversi 1 lapis pada kedalaman 800 m, beserta titik pengukuran gaya berat, sumur produksi, sumur injeksi dan struktur