

REPRINT
Volume 13, No. 2, Agustus 2007

Jurnal Sains MIPA
ISSN 1978-1873

**Terakreditasi Dirjen DIKTI SK No.: 26/DIKTI/Kep/2005 diperbarui dengan
SK No.: 56/DIKTI/Kep/2005**

Terbit 3 kali setahun pada bulan April, Agustus dan Desember berisi tulisan ilmiah hasil penelitian dasar dan telaahan (review) bidang matematika dan ilmu pengetahuan alam.

Penanggung Jawab

Sugeng P. Harianto

Ketua Penyunting

Sutopo Hadi

Wakil Ketua Penyunting

Nandi Haerudin

Penyunting Ahli

H. Kirbani Sri Broto Puspito (UGM)

M. Arif Yudiarto (BPPT Lampung)

Sarjya Antonius (LIPI Bogor)

Wasinton Simanjuntak (Unila)

G. Nugroho Susanto (Unila)

Rochmah Agustina (Unila)

R.Y. Perry Burhan (ITS)

Hendra Gunawan (ITB)

Kamsul Abraha (UGM)

Edy Tri Baskoro (ITB)

Tati Suhartati (Unila)

Wamiliana (Unila)

Akhmaloka (ITB)

Dwi Asmi (Unila)

Warsono (Unila)

Sumardi (Unila)

Warsito (Unila)

Penyunting Pelaksana

Bambang Irawan

M. Kanedi

Karyanto

Amanto

Administrasi/TU

M. Yusuf

Alamat Penyunting dan Tata Usaha

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung

Jl. S. Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Telp. (0721) 701609 Pes. 706 Fax (0721) 704625;

E-mail: jsainsmipa@unila.ac.id, sutopohadi@unila.ac.id dan sutopo_hadi@yahoo.com.au

Rekening Bank BNI 1946 Cabang Unila, a.n. Sutopo Hadi, No. 0070705713.

J. Sains MIPA diterbitkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Terbit Pertama Kali Tahun 1995 dengan nama **Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi**. Pada tahun 2003 berganti nama menjadi **Jurnal sains dan Teknologi (J. Sains Tek.)** dengan ISSN 0853-733X, dan pada tahun 2007 berganti nama kembali menjadi **J. Sains MIPA** dengan ISSN 1978-1873

Jurnal ini terbit di bawah tanggung jawab: Sugeng P. Harianto (Rektor), Pembina/Pengarah: Tirza Hanum (Pembantu Rektor I), John Hendri (Ketua Lembaga Penelitian), Sugeng P. Harianto (Dekan FMIPA)

IDENTIFIKASI ZONA PERUBAHAN MASSA BAWAH PERMUKAAN DAN SUBSIDENCE DENGAN METODE GAYABERATMIKRO 4D, GRADIEN-VERTIKAL GAYABERATMIKRO DAN INVERSI LINIER STUDI KASUS: LAPANGAN PANASBUMI KAMOJANG

A. Zaenudin^{1,2*}, WGA. Kadir¹, D. Santoso¹, I.B. Raharjo³

¹Teknik Geofisika, ITB, ²Fisika FMIPA, Universitas Lampung, ³Geothermal-Pertamina
Alamat surat menurut: zae_unila@yahoo.com

Diterima 8 Februari 2007, disetujui untuk diterbitkan 23 November 2007

ABSTRACT

The major causes of gravity change are mass change in reservoir (subsurface) and vertical ground movement (subsidence). While the observed gravity change, called as time-lapse microgravity anomaly, is as superposition of all the causes, hence how to identify each source is very important because some of causes could have similar response. As example is increase of subsurface density (mass) and subsidence. In order to minimize this uncertainty, time-lapse vertical gradient microgravity associated with its time-lapse microgravity is analyzed. Microgravity and vertical-gradient measurement has been conducted at 87 stations which distributed in geothermal field of Kamojang and analyzed to identify subsurface source. The time-lapse microgravity anomaly of June-November 2006 period showed the anomaly value in the range of -240 to 120 microgal and vertical-gradient in the range of -200 to 240 microgal. The time-lapse microgravity anomaly of June-November 2006 period showed the anomaly value in range of -240 to 120 microGal that relate with the existence of density change in the range of -0.25 to 0.3 g/cc. This density contrast could be used as a representation of not only for fluid and pressure increase for positive density contrast but also fluid and pressure decrease for negative density contrast.

Keywords: microgravity, vertical-gradient, density.

1. PENDAHULUAN

Secara umum diketahui bahwa anomali gayaberat yang terukur dipermukaan adalah superposisi semua sumber anomali, akibat perubahan bawah permukaan dan dipermukaan itu sendiri. Pengurangan massa bawah permukaan sebagai representasi perubahan rapat-massa negatif akan terukur sebagai perubahan gayaberat negatif, sebaliknya penambahan massa yang berasosiasi perubahan rapat-massa positif akan terukur sebagai perubahan gayaberat positif yang terukur dipermukaan. Perubahan permukaan berhubungan dengan perubahan elevasi, yaitu perubahan vertikal permukaan tanah (*subsidence*) akan terukur juga sebagai anomali gayaberat positif. Mengetahui hubungan, jenis dan bagian-bagian dari anomali tersebut adalah penting dalam interpretasi. Untuk kepentingan tersebut pada tulisan ini akan diaplikasikan untuk analisa zonasi perubahan massa dan penambahan massa bawah permukaan dan *subsidence* pada lapangan panasbumi Kamojang berdasarkan anomali gayaberat *time-lapse* dan gradien-vertikalnya.

Dalam indentifikasi perubahan massa dan perubahan sifat fisika bawah permukaan, penerapan metode gayaberat telah digunakan pada daerah panasbumi¹⁻⁴, ladang minyak dan gas⁵⁻⁷, dan hidrologi^{8,9}. Pada

lapangan panasbumi, ekstraksi fluida (uap panas) yang terus-menerus akan menyebabkan terjadinya pengurangan massa dari reservoir. Pengurangan massa ini dapat dikompensasi oleh 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. Namun jumlah produksi biasanya lebih besar dari reinjeksi, sehingga diperlukan pemantauan yang kontinu untuk menjaga kesetimbangan massa pada reservoir.

Perubahan gayaberat akibat pengurangan massa ini sangat kecil sehingga diperlukan metode gayaberatmikro untuk pemantauannya⁴. Metode gayaberatmikro memiliki prinsip yang sama dengan metode gayaberat biasa, namun orde magnitudonya 10 - 100 kali lebih kecil daripada metode gayaberat yang biasa digunakan dalam survey geofisika. Pemantauan perubahan massa pada reservoir dengan metode gayaberatmikro harus dilakukan secara berkesinambungan dengan periode tertentu³. Kelebihan metode gayaberatmikro selain dapat menduga arah pergerakan fluida juga dapat menduga jumlah pengurangan massa akibat produksi dan reinjeksi yang tidak bisa dideteksi dengan metode monitoring lainnya, seperti perunut isotop dan mikro seismik (MEQ).

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. Untuk pengembangan lapangan 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 produksi-reinjeksi.

Selama 16 tahun, total produksi Lapangan Panasbumi Kamojang sebesar 116.78 juta ton. Sedangkan total air dingin yang diinjeksikan sebesar 19,59 juta ton. Dari data curah hujan, terjadi penambahan volume air hujan diperkirakan sebesar 53.34 juta ton selama 15 tahun. Sehingga terjadi pengurangan massa sebesar 43.85 juta ton selama 16 tahun. Sedangkan berdasarkan perhitungan menurut Silitonga *et al.*¹⁰ berdasarkan teorema Gauss terjadi pengurangan massa sebesar 53.78 juta ton. Yang diperlukan bukan hanya identifikasi jumlah massa yang hilang, tetapi zonasi perubahan massa tersebut juga penting, sehingga dapat membantu dalam merencanakan reposisi sumur-sumur produksi dan reinjeksi dalam manajemen lapangan panasbumi.

1.1. Anomali gayaberatmikro time-lapse

Representasi anomali gayaberatmikro time-lapse yang disebabkan perubahan rapat-massa bawah permukaan dan perubahan elevasi titik pengamatan dirumuskan sebagai anomali Bouguer:

$$\Delta g(t_i) = g_{obs}(t_i) - g_{\varphi}(t_i) + a h(t_i) - b\rho h(t_i) + c\rho\Delta h(t_i) \quad (1)$$

dengan $\Delta g(t_i)$, $g_{obs}(t_i)$, $g_{\varphi}(t_i)$, t_i , a , b , dan c masing-masing adalah anomali Bouguer pada t_i , gayaberat observasi pada t_i , gayaberat teoritis pada lintang φ pada t_i , waktu ke- i , konstanta Free-Air, konstanta koreksi Bouguer dan terrain. Untuk perubahan g_{φ} dan koreksi terrain (c) sangat kecil, anomali Bouguer antara waktu t_2 dan t_1 dapat dituliskan sebagai:

$$\Delta g(t_2) - \Delta g(t_1) = [g_{obs}(t_2) - g_{obs}(t_1)] + [a - b\rho]x[h(t_2) - h(t_1)] \quad (2)$$

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

Sedangkan anomali gayaberat akibat kontras rapat-massa $\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)$ dalam selang waktu tertentu (Δt) dirumuskan seperti Persamaan (3) di bawah¹¹.

Jika perubahan gayaberat tidak diikuti dengan perubahan geometri dan volume benda, maka dapat didekati dengan Persamaan 2:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) \cong K \Delta\rho(x, y, z, \Delta t) \quad (4)$$

dengan K adalah fungsi Green yang berhubungan dengan geometri dan volume benda anomali. Anomali gayaberatmikro time-lapse (4D) merupakan selisih antara gayaberatmikro pada periode t dan t .

$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = g(x, y, z, t_2) - g(x, y, z, t_1)$ (5) dengan mensubstitusi Persamaan (2) dan Persamaan (5) akan diperoleh Persamaan (6):

$$[g_{obs}(t_2) - g_{obs}(t_1)] = \Delta g(x, y, z, \Delta t) - [a - b\rho]x[h(t_2) - h(t_1)] \quad (6)$$

Persamaan (6) menunjukkan bahwa anomali gayaberatmikro merefleksikan perubahan massa dibawah permukaan dan perubahan dipermukaan (*subsidence*).

1.2. Gradien-vertikal gayaberat

Gradien-vertikal gayaberat dikembangkan dari besaran gradien diferensial, dimana gradien ditentukan dari pengukuran langsung gayaberat dengan interval tertentu ke arah vertikal. Gradien vertikal hasil pengukuran langsung berbeda harganya dengan nilai gradien yang diturunkan langsung dari rumusan gradien secara matematik, karena gradien-vertikal sangat dipengaruhi oleh topografi disekitar titik pengamatan.

Gradien-vertikal gayaberat ini ditentukan dari dua pengukuran gayaberat $g(1)$ pada permukaan tanah ($h(1)$) dan pengukuran gayaberat $g(2)$ pada ketinggian ($h(2)$) dimana nilainya ditentukan dengan rumusan:

$$\frac{\partial g}{\partial h} = \left(\frac{g(2) - g(1)}{h(2) - h(1)} \right) \text{ mGal/m} \quad (7)$$

Anomali gradien-vertikal gayaberatmikro didapat dari selisih gradien-vertikal hasil pengukuran ke-2 (t_2) dengan gradien-vertikal hasil pengukuran ke-1 (t_1).

Hubungan antara anomali gayaberatmikro time-lapse dengan gradien-vertikal gayaberatmikro time-lapsenya diturunkan dari simulasi data sintetik. Nilai gayaberat dihitung dari model prisma poligon¹² yang diberikan oleh Persamaan (8).

Tabel 1. Hubungan anomali gayaberat 4D dengan gradien-vertikal gayaberatmikro 4D dengan berbagai sumber anomalnya

Nilai Gayaberat <i>time-lapse</i>	Nilai Gradien- vertikal <i>time-lapse</i>	Sumber anomali
(+)	(+)	<i>Subsidence</i> dan penambahan massa atau pengurangan massa bawah permukaan saja
(+)	(0)	<i>Subsidence</i> saja
(+)	(-)	Pengurangan massa bawah permukaan dan <i>subsidence</i> (dominan)
(-)	(-)	Pengurangan massa bawah permukaan saja
(0)	(-)	Pengurangan massa bawah permukaan = <i>subsidence</i>

$$g = G\rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \mu_{ijk} \left[z_k \arctan \frac{x_i y_i}{z_k R_{ijk}} - x_i \log(R_{ijk} + y_i) - y_i \log(R_{ijk} + x_i) \right] \quad (8)$$

dengan

$$R_{ijk} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}$$

$$\mu_{ijk} = (-1)^i (-1)^j (-1)^k$$

Nilai gayaberat mikro dihitung untuk model pengurangan massa bawah permukaan, penambahan massa bawah permukaan dan *subsidence*. Demikian juga nilai gradien-vertikal gayaberatmikronya.

Hubungan antara anomali gayaberatmikro dengan gradien-vertikal gayaberatmikronya untuk model pengurangan massa dan penambahan massa bawah permukaan serta *subsidence* dapat ditabelkan seperti Tabel 1 di atas.

2. METODE PENELITIAN

Secara garis besar penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Forward Modeling* untuk identifikasi amplitudo anomali dari variasi sumber
- Pengukuran gayaberatmikro dan gradien-vertikalnya pada Juni dan November 2006
- Anomali gayaberatmikro 4D dan Gradien-vertikal gayaberatmikro 4D Periode Juni-November 2006
- Analisis anomali gayaberatmikro 4D, anomali gradien-vertikal gayaberatmikro 4D dan distribusi rapat-massa hasil inversi linier.
- Interpreatsi dan zonasi area-area yang diduga mengalami pengurangan massa, penambahan massa bawah permukaan dan *subsidence* di lapangan Kamojang berdasarkan anomali gayaberatmikro antar-waktu, anomali gradien-vertikal antar-waktu periode Juni-November

2006 dan distribusi perubahan rapat-massa hasil inversi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Anomali Gayaberatmikro 4D dan Gradien-vertikal gayaberatmikro 4D

Anomali gayaberatmikro 4D adalah selisih bacaan gayaberatmikro pengukuran ke-2 (November 2006) dengan pengukuran ke-1 (Juni 2006). Demikian juga Anomali gradien-vertikal gayaberatmikro 4D-nya. Anomali gayaberatmikro 4D dan Gradien-vertikal gayaberatmikro 4D masing-masing ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Anomali gayaberatmikro ini menunjukkan perubahan nilai gayaberatmikro yang terjadi selama periode pengukuran, yaitu antara bulan Juni hingga November 2006. Nilainya berkisar antara -240 sampai 160 mikroGal.

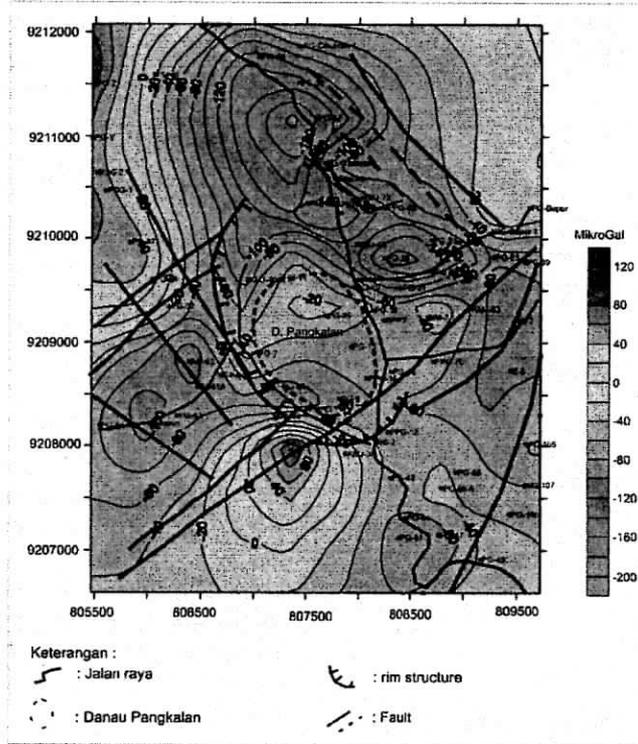
Sedangkan anomali gradien-vertikal gayaberatmikro berkisar antara -200 sampai dengan 240 mikroGal. Nilai anomali ini masih merupakan gabungan beberapa sumber anomali permukaan (akibat *subsidence*) dan bawah permukaan (dinamika fluida bawah permukaan).

Anomali gayaberatmikro 4D ini secara umum bersesuaian Sesar BL-TG (arah N140°E), baik di bagian utara maupun selatan danau Pangkalan. Anomali juga dibatasi oleh rim struktur yang berarah hampir sama di bagian selatan danau Pangkalan. Selain itu di bagian timur lapangan dibatasi oleh sesar-sesar berarah tegaklurus dengan sesar diatas, yaitu sesar BD-TL (arah N60°E).

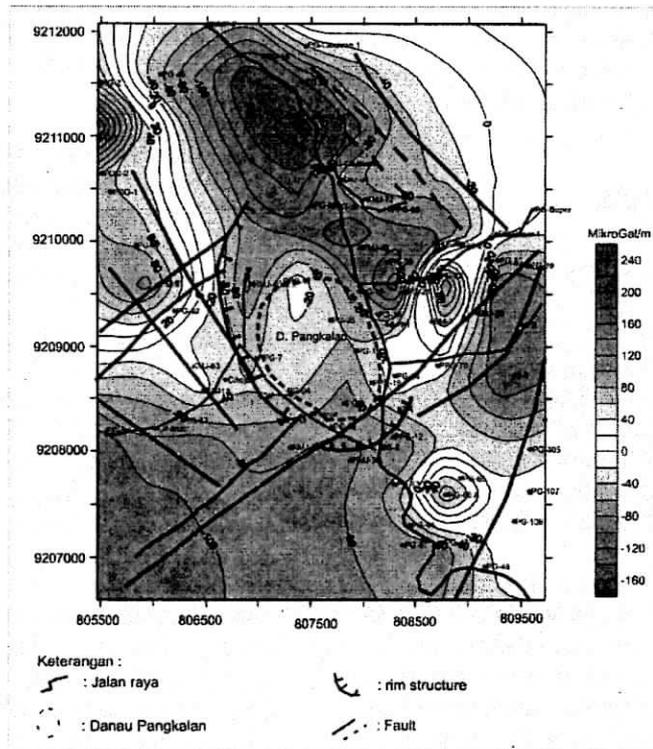
Karena beberapa sumber menunjukkan anomali yang serupa, maka untuk pendugaan sumber penyebab anomali, analisa dengan menggunakan kedua anomali diatas adalah sangat bermanfaat. Hubungan antara anomali gayaberatmikro 4D dan gradien-vertikal gayaberatmikro 4D dalam hubungannya dengan sumber anomali telah dilakukan melalui simulasi data sintetik dan ditabelkan seperti pada Tabel 1 di atas.

Berdasarkan beberapa kemungkinan kombinasi ini dapat diduga zona-zona pengurangan massa, penam-

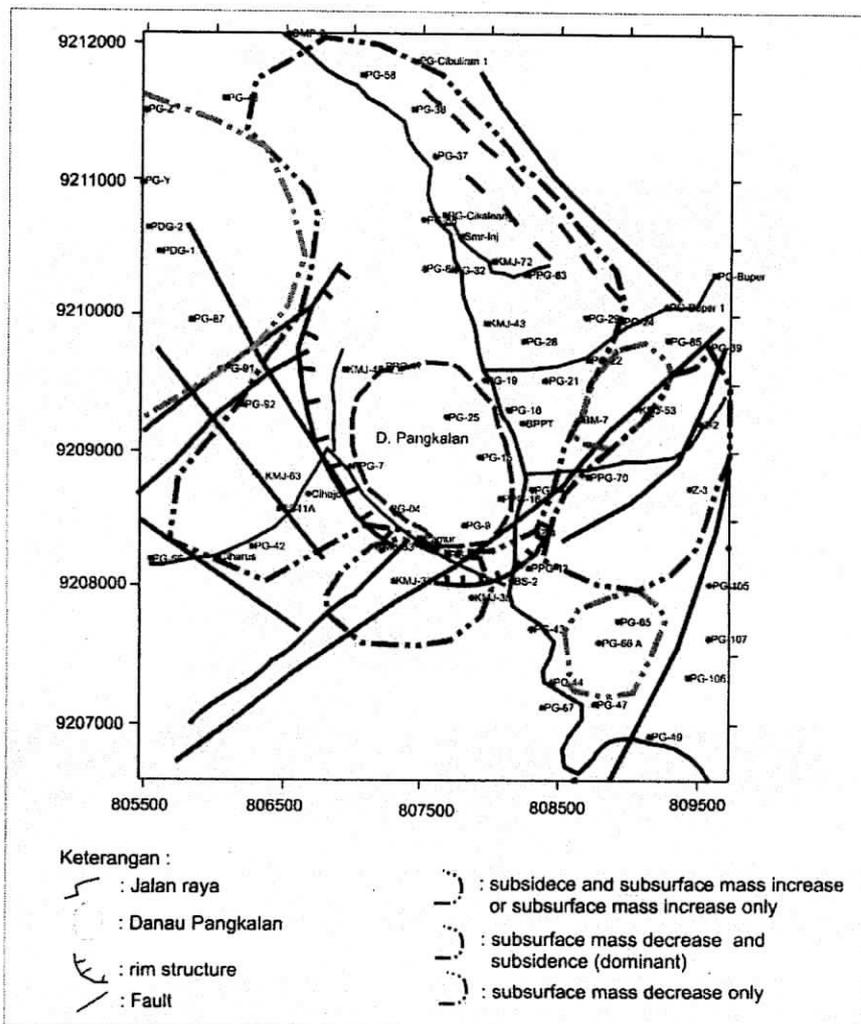
bahan massa bawah permukaan dan *subsidence*, Hasil analisisnya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Peta Anomali Gayaberatmikro 4D Periode Juni-November 2006



Gambar 2. Peta Gradien-Vertikal Gayaberatmikro 4D Periode Juni- November 2006



Gambar 3. Hasil analisis zonasi pengurangan, penambahan massa dan *subsidence* dari anomali gayaberatmikro 4D dan gradien-vertikal gayaberatmikro 4D di lapangan panasumi Kamojang

Area yang ditandai dengan warna merah menunjukkan area dengan pengurangan massa akibat produksi sumur-sumur di area ini. Area ini berhubungan dengan Kluster Kamojang bagian tengah sebagai pusat produksi di sekitar Danau Pangkalan dan sumur-sumur produksi bagian utara sampai ke area Cibuliran, dan dibagian selatan Danau Pangkalan sampai ke area Ciharas. Area pengurangan massa ini dikontrol oleh rim struktur sebagai batas dengan area lainnya, dan bersesuaian dengan sesar BL-TG (arah N140°E). Area dengan warna merah ini juga tampak di bagian timur lapangan, hal ini diduga berhubungan dengan area produksi bagian timur lapangan dan dikontrol oleh sesar U-S (arah N15°E).

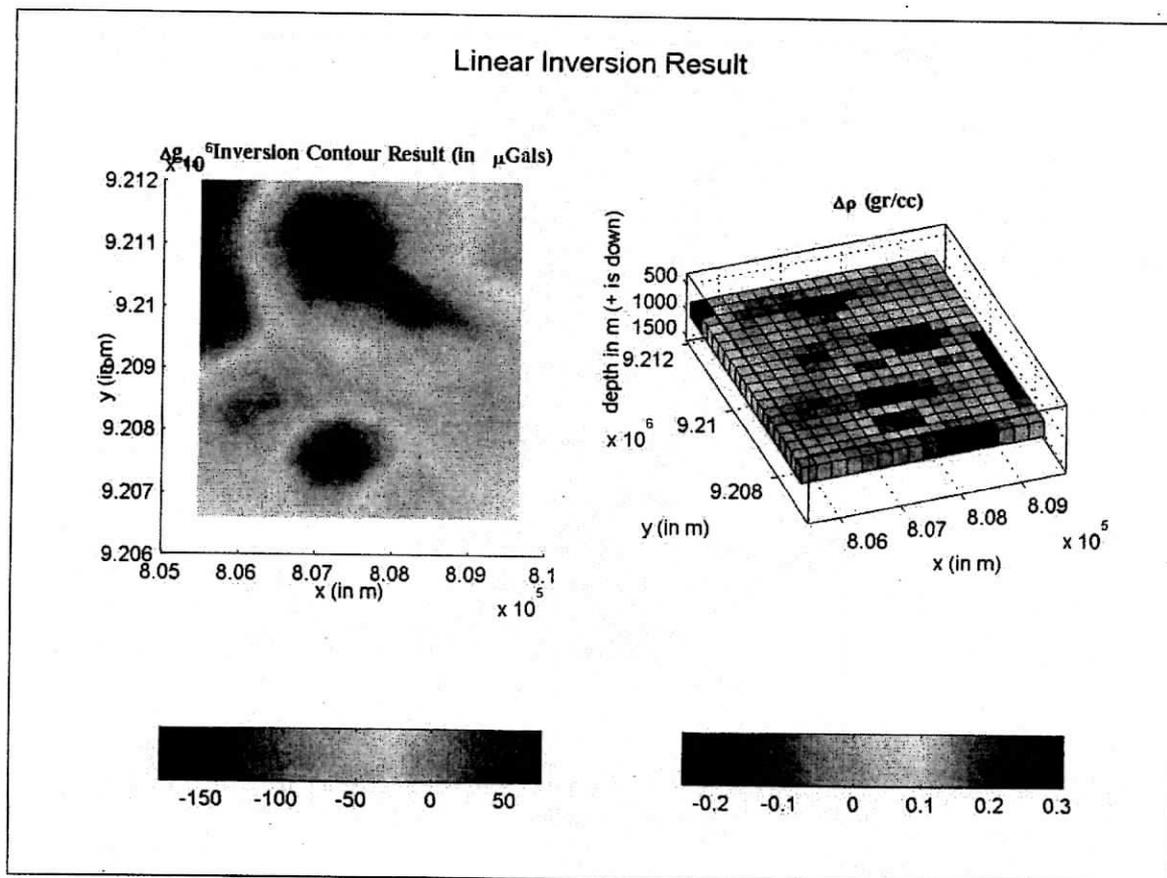
Area dengan warna biru berhubungan dengan pengurangan massa bawah permukaan dan *subsidence* yang dominan. Area ini termasuk area selatan Lapangan Kamojang. Diduga penambahan massa di sumur injeksi KMJ 32 bergerak menuju selatan dan *subsidence* yang lebih dominan di area ini.

Sedangkan warna hijau berhubungan juga dengan *subsidence* dan penambahan massa atau hanya penambahan massa bawah permukaan. Area ini mencakup area tenggara dan barat-laut serta muncul di sekitar BM-7 secara lokal.

3.2. Analisis perubahan rapat-massa reservoir dari model hasil inversi

Pemodelan inversi dilakukan secara langsung dari data gayaberatmikro 4D Periode Juni- November 2006. Pemodelan inversi menggunakan metode inversi linier. Dengan *input parameter grid* 300 x 300 m x 300 m, pada kedalaman reservoir dari 800 – 1100 m. Pemodelan inversi menggunakan Matlab 6.5.

Proses inversi dilakukan dengan 40 iterasi dan *root mean square (rms)* 47.81. Proses iterasi dapat dilanjutkan lebih banyak, tetapi menghasilkan model anomali rapat-massa yang tidak diharapkan, lebih besar dari 1 gram/cc.



Gambar 4. Anomali gayaberatmikro 4D periode Nov-Jun'06 dan distribusi perubahan rapat-massa hasil inversi

Model distribusi anomali gayaberatmikro 4D dan distribusi rapat-massa hasil inversi dari data lapangan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 4 sebelah kiri menunjukkan anomali gayaberatmikro 4D hasil inversi dari data lapangan periode November – Juni 2006 dan sebelah kanan adalah distribusi rapat-massanya.

Warna-warna tersebut menunjukkan perubahan rapat-massa reservoir dalam periode tersebut. Perubahan rapat-massa berkisar antara -0.25 sampai 0.30 gram/cc. Perubahan rapat-massa positif besar (0.3 gram/cc) terjadi di area selatan dan sebagian timur lapangan Kamojang. Hal berhubungan dengan pengurangan massa dan *subsidence* yang dominan seperti juga ditunjukkan oleh Gambar 3.

Anomali perubahan rapat-massa positif kecil (0.1 - 0.2 gram/cc) di sekitar bagian tengah lapangan berhubungan dengan *subsidence* dan penambahan massa bawah permukaan atau penambahan massa saja seperti sudah digambarkan dengan area hijau pada Gambar 3.

Anomali rapat-massa negatif besar (-0.25 gram/cc) dengan area yang luas di bagian utara lapangan berhubungan dengan pengurangan massa yang relatif besar seperti pada Gambar 3.

Anomali gayaberatmikro 4D yang diukur dilapangan menunjukkan perubahan bawah permukaan sebagai representasi perubahan rapat-massa. Perubahan rapat-massa ini juga representasi dari perubahan saturasi fluida dalam hal ini menunjukkan perubahan jumlah kandungan uap-air panas dan air yang terkandung dalam uap panas. Perubahan saturasi ini berhubungan dengan jumlah produksi dan reinjeksi dan keseimbangan dari keduanya. Dari hasil inversi diatas dapat terlihat jelas perubahan rapat-massa pada reservoir di kedalaman 800 – 1100 m dibawah permukaan dimana uap panas diambil melalui sumur-sumur produksi. Perubahan rapat-massa menunjukkan dinamika fluida bawah permukaan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini :

1. Anomali gayaberatmikro 4D yang terdeteksi dilapangan jauh lebih besar dari anomali yang teridentifikasi dengan *forward modeling*. Hal ini disebabkan idealisasi sumber anomali pada *forward modeling* dan superposisi sumber anomali lain belum dapat dipisahkan dari anomali reservoir.

2. Anomali gayaberatmikro 4D dan gradien-vertikal gayaberatmikro 4D periode Juni-November 2006 masing-masing berkisar antara -240 sampai 120 mikroGal dan -200 sampai 240 mikroGal/m.
3. Dari analisis hubungan anomali gayaberatmikro 4D dan anomali gradien-vertikal nya periode Juni-November 2006 dapat diduga zona-zona yang mengalami pengurangan massa, penambahan massa dan *subsidence* yang terjadi di lapangan panasbumi Kamojang dalam periode tersebut.
4. Anomali gayaberatmikro 4D berkisar antara -240 sampai 120 mikroGal berhubungan dengan perubahan rapat-massa antara -0.25 sampai 0.3 hasil inversi. Peta perubahan rapat-massa berhubungan dengan pergerakan fluida di dalam reservoir.
5. Hare, J.L., Fergusson, J.F., Aiken, C.L.V., and Bradly, J.L., 1999. The 4D microgravity method for waterflood surveillance : A model study for the Blakely, R.J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press.
6. Van Galderen, M., Haagmans, R., and Bilker, M., 1999. Gravity changes and natural gas extraction in Groningen, *Geophysical Prospecting*, **47**: 979 – 993.
7. Santoso, D., Kadir, W.G.A., Sarkowi, M., Adriansyah, and Waluyo, 2004. Time-lapse Microgravity Study for Reinjection Water Monitoring of Talang Jimar Field. *Proceeding of th 7th SED International Symposium, Sendai Japan, 24-26 November 2004*.

Penelitian ini perlu dilanjutkan untuk periode berikutnya agar perubahan anomali gayaberatmikro dapat memberikan gambaran lebih lanjut tentang perubahan rapat-massa reservoir dan hubungannya dengan dinamika fluida dalam reservoir. Perlu dikembangkan teknik koreksi terhadap sumber anomali lingkungan yang dapat menutupi anomali dari perubahan reservoir, terutama dari sumber-sumber anomali dekat permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Allis, R.G, and Hunt, T.M. 1986. Analysis of exploration induced gravity changes at Wairakei geothermal field. *Geophysics*, **51**: 1647 – 1660
2. Fujimitshu, Y., Nishijima, J., Shimosako, N., Ehara, S., and Ikeda, K., Reservoir Monitoring by Repeat Gravity Measurements at The Takigami Geothermal Field, Central Kyushu, Japan, *Proceeding Word Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan*.
3. Hunt, T.M. 2001. Five Lectures on Environmental Effects of Geothermal Utilization. Geothermal Training Programme. United Nations University.
4. Mariita, N.O. 2000. Application of Precision Gravity Measurement to Reservoir Monitoring of Olkaria Geothermal Field, Kenya. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, p2719-2724.
5. Goodkind, J.M., 1986, Continuous measurement of non-tidal variation of gravity, *J. Geophy. Res.* **91**: 9125-9134.
9. Kadir, W.G.A., Santoso, D., and Sarkowi, M., 2004, Time Lapse Vertical Gradient Microgravity Measurement for Subsurface Mass Change and Vertical Ground Movement (Subsidence) Identification, Case Study : Semarang Alluvial Plain, Central Java, Indonesia, *SEGJ International Symposium, Japan*.
10. Silitonga, T., Rozaq, Kh., Lubis, I., Satyajit, D., 1995, Relation of Reservoir Condition Change to Precision Gravity Measurement with Contribution 3-D Model in Kamojang Geothermal Field. *World Geothermal Conggres, Florens, Italy*.
11. Kadir, W.G.A., 1999. The 4-D gravity survey and its subsurface dynamics: a theoretical approach, *Proceeding of 24th Indonesian Geophysical Society Annual Meeting, Surabaya*, Pp. 94-99.
12. Plouff, D. 1976. Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections. *Geophysics*, **41**: 727-741.