

**PROSIDING  
SEMINAR NASIONAL SAINS MIPA DAN APLIKASINYA 2009  
(SN SMAP 09)**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
DESEMBER 2009**

# Prosiding Seminar Nasional Sains MIPA dan Aplikasinya Tahun 2009 FMIPA Universitas Lampung

## TEAM PENYUNTING :

Mulyono, Ph.D.  
Sutopo Hadi, Ph.D.  
Dr. Warsito, DEA.  
Bambang Irawan, M.Sc.  
Amanto, M.Si.

## PENERBIT

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

## ALAMAT REDAKSI

Gedung Dekanat Lantai 4  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung  
Jl. S. Brodjonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145  
Telp./Fax: +62-721-704625;  
<http://fmipa.unila.ac.id/>  
E-mail: [seminar-smap@unila.ac.id](mailto:seminar-smap@unila.ac.id)

Prosiding Seminar Nasional  
Sains MIPA dan Aplikasinya FMIPA UNILA:  
penyunting, Mulyono [*et al.*]  
Desember 2009 / — Bandar Lampung  
xvi + 988 + 125 hlm.; 21 x 29,7 cm

**ISSN 2086-2342**  
(Terbit satu kali setahun)



9 772086 234006

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wa Rohmatullahi wa Barokatuhu.

Alhamdulillah dengan perkenan-Nya lah, maka Prosiding Seminar Nasional Sains MIPA dan Aplikasinya tahun 2009 (SN SMAP 09) 16 – 17 November 2009 dengan tema : "Pemberdayaan Sains MIPA dalam Pengelolaan Sumber Daya Alam", telah dapat kami selesaikan. Kegiatan seminar ini merupakan salah satu rangkaian kegiatan dalam rangka Dies Natalis FMIPA UNILA, yang diagendakan dilakukan secara rutin tahunan.

Segecap panitia mengucapkan terima kasih kepada Rektor UNILA Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng P Harianto, M.S. dan Dekan Fakultas MIPA Bapak Dr. Sutyarso, M.Biomed. yang telah memfasilitasi berlangsungnya kegiatan ini. Demikian pula kepada para *Keynote Speakers* : Wagub Provinsi Lampung, Bapak Ir. MS. Joko Umar Said, M.M; Sekretaris DPT Dirjen DIKTI, Bapak Prof. Nizam, Ph.D., Bapak Prof. Dr. Bambang Setiaji dari Universitas Gajah Mada; dan Bapak Prof. Dr. John Hendri dari FMIPA Universitas Lampung, yang telah berkenan memberikan materi pada kegiatan ini.

Kami juga menyampaikan penghargaan dan terima kasih atas apresiasi rekan-rekan akademisi maupun peneliti untuk berkenan mempresentasikan hasil penelitiannya dalam kegiatan Seminar Nasional ini. Seminar ini diikuti oleh berbagai kelompok Sains MIPA dan aplikasinya dalam kategori bidang ilmu Matematika, Fisika, Biologi dan Kimia. Jumlah makalah yang dipresentasikan dalam kegiatan ini sebanyak 116 makalah dan yang masuk dalam prosiding ini adalah sebanyak 139 makalah. Berdasarkan pengelompokan awal sebanyak 4 kelompok masuk dalam 988 halaman dan beberapa makalah yang karena kendala teknis masuk daftar tambahan sebanyak 125 halaman sehingga prosiding menjadi 1113 halaman.

Akhir kata, kami sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung penyusunan prosiding kegiatan seminar ini. Kami juga memohon maaf apabila ada hal-hal yang kurang berkenan selama pelaksanaan kegiatan seminar, ataupun dalam penyusunan prosiding seminar ini. Akhir kata mari kita bersama meningkatkan daya saing bangsa melalui karya nyata dalam bidang Sains MIPA dan Aplikasinya.

Wassalamu'alaikum wa Rohmatullahi wa Barokatuhu.

Ketua Tim Penyunting

Mulyono, Ph.D.

## DAFTAR ISI

	halaman
<b>Kelompok Matematika</b>	
CALCULATION EQUILIBRIUM CHEMICAL COMPOSITION USING MATHCAD AND SAS PROGRAMS Agus Haryanto, Sushil Adhikari, Sugeng Triyono	1 – 6
STUDI PENGEMBANGAN PROGRAM APLIKASI BERBASIS WEB UNTUK ANALISIS KOMPONEN GELOMBANG PASANG SURUT MENGGUNAKAN PHP SCRIPTS Ahmad Zakaria	7 –12
THE USAGE RECURSIVE MODIFIED GAUSSIAN FILTERING (RMGF) TO REDUCE THE NOISE OF A DIGITAL IMAGE Akmal Junaidi, Destario Fidrian, and Rangga Firdaus	13 –18
APLIKASI ANALISIS REGRESI DALAM PENENTUAN WAKTU PRODUKSI OPTIMUM PADA USAHA PEMBIBITAN IKAN JAMBAL SIAM (PANGASIU SUTCHI) SKALA RUMAH TANGGA Angga Lesvian	19 –34
SOLVING SUDOKU USING TRACKING GUESS KEGE BUN SHIN Bima Harian Putra, Wamiliana, and Dian Kurniasari	35 –44
PENGUKURAN QOS JARINGAN KOMPUTER LOCAL AREA NETWORK (LAN) DAN WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS (WLAN). STUDI KASUS: JARINGAN INTRANET KAMPUS UNIVERSITAS LAMPUNG Helmy Fitriawan	45 –48
UJI SCENIC BEAUTY ESTIMATION TERHADAP KONFIGURASI TEGAKAN-TEGAKAN VEGETASI DI KEBUN RAYA BOGOR Imawan Wahyu Hidayat	49 –54
KARAKTERISTIK HIDRO-METEOROLOGI DAS-DAS DI WILAYAH JEMBER-LUMAJANG: APLIKASI STATISTIK UNTUK ANALISA RENTANG WAKTU DATA Indarto, Sri Wahyuningsih, Ishak Affandi	55 –66
PERIODA GAMBAR KUCING ARNOLD, SEBUAH URAIAN SECARA ELEMENTER Loeky Haryanto	67 –72
ANALISIS LONGSOR MENGGUNAKAN SOFTWARE BERDASARKAN DATA IMPIRIS Machudor Y.M. dan Suharno	73 –80
COLOCATION PATTERN MINING USING SEGMENTATION AND FUZZY AR Martinus	81 –88
SATTERTHWAITE APPROXTIMATION PADA ANALISIS UNBALANCED RANDOM MODEL PADA RANCANGAN TERSARANG Mustofa Usman	89 –94
AUDIENCE RESPONSE SYSTEM SEBAGAI ALTERNATIF MEDIA PEMBELAJARAN INTERAKTIF DI UNIVERSITAS Nur Laili	95 –98

TIME-LAPSE MICROGRAVITY UNTUK MONITORING DEFISIT MASSA RESERVOIR PANAS BUMI KAMOJANG Ahmad Zaenudin	225 –234
SIMULASI PERAMBATAN GELOMBANG TSUNAMI AKIBAT MELETUSNYA GUNUNG ANAK KRAKATAU Ahmad Zakaria	235 –246
PEMODELAN KEDEPAN CSAMT UNTUK OPTIMALISASI AKUSISI DATA CSAMT Asep Harja	247 –256
DESAIN ROBOT MANIPULATOR DAN PENGENDALIAN PROPOTIONAL INTEGRAL DERIVATIF UNTUK SATU JOIN Dessy Novita, Fandi krismanto	257 –270
METODA ARTIFICIAL INTELLIGENT DEEPT FIRST SEARCH Dessy Novita, Tuti Aryati D., Irfan Fauzan Rahman	271 –280
EFEK SINTERING TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN KARAKTERISTIK SIFAT LISTRIK KERAMIK ZINC OXIDE (ZNO) Dwi Asmi	281 –288
PEMBENTUKAN OPERATOR HAMILTONIAN BAGI PERDAGANGAN SEKURITAS Dwi Satya Palupi	289 –294
DEGRADASI SINYAL GPS SAAT AKTIVITAS MATAHARI MINIMUM. Effendy	295 –304
SISTEM INFORMASI DEGRADASI SATELITE GPS UNTUK DETEKSI GANGGUAN NAVIGASI DAN KOMUNIKASI SATELIT Effendy, Slamet Supriadi	305 –314
PREPARASI ALLOY MAGNETIK SM-CO MELALUI TEKNIK ARC MELTING FURNANCE Erfan Handoko dan Azwar Manaf	315 –320
DESAIN DAN PENGUJIAN FLOWMETER ULTRASONIC UNTUK PENGUKURAN PADA SALURAN TERBUKA Harris Pirngadi dan Indarto	321 –334
DEPOSISI LAPISAN TIPIS TITANIA (TiO <sub>2</sub> ) DI ATAS SUBSTRAT GELAS DENGAN METODE GEL-SOL TEKNIK SPRAY-COATING Heri Sutanto, Eko Hidayanto, Adi Condro, dan Zakiyah Rahmawati	335 –340
SIFAT LISTRIK PERSAMBUNGAN METAL-SEMIKONDUKTOR-METAL PADA SEMIKONDUKTOR GAN DENGAN VARIASI TEMPERATUR ANIL DAN LUASAN KONTAK Heri Sutanto, Iis Nurhasanah, Tri Windarti, Ahmad Taufani, Luluk Lailatul Badriyah, dan Wahyu Ambikawati	341 –348
SISTEM PEMANTAUAN AKTIVITAS MANUSIA MENGGUNAKAN AKSELEROMETER BERBASIS SD CARD DAN MIKROKONTROLER AVR Idha Rakhmawati	349 –356
GEOMETRI BINTANG BEROTASI PADA KEADAAN KRITIS Iwan Setiawan dan Muhammad Farchani Rosyid	357 –368
PENGARUH SUHU KALSINASI TERHADAP KARAKTERISTIK HIDROKSIA-PATIT YANG TERBUAT DARI CANGKANG TELUR Kiagus Dahlan, Fifia Zulti dan Yessie Widya Sari	369 –374

## TIME-LAPSE MICROGRAVITY UNTUK MONITORING DEFISIT MASSA RESERVOIR PANASBUMI KAMOJANG

Ahmad Zaenudin

Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung  
Bandar Lampung, Indonesia 35145  
email: zae\_unila@yahoo.com

### ABSTRAK

Lapangan panasbumi merupakan sistem dinamis. Eksploitasi uap panasbumi menyebabkan perubahan beberapa parameter fisik, diantaranya massa reservoir. Metoda *time-lapse microgravity* merupakan salah satu metoda yang diterapkan untuk monitoring defisit massa pada Lapangan panasbumi Kamojang. Telah dilakukan pengukuran *microgravity* sebanyak 3 kali, selama tahun 2006-2007 dan pengukuran perubahan elevasi menggunakan GPS tipe geodetik. Dari analisa peta anomali *time-lapse microgravity*, area defisit massa (*dry-out*) ditunjukkan oleh anomali *time-lapse microgravity* negatif (-) dan penambahan massa air-injeksi pada reservoir (*recharge*) ditunjukkan oleh anomali *time-lapse microgravity* positif (+). Anomali *time-lapse microgravity* negatif (-) direpresentasikan sebagai anomali perubahan rapat-massa negatif (-) dan anomali *time-lapse microgravity* positif (+) sebagai perubahan rapat-massa positif. Anomali negatif besar periode Juli'07-Juni'06 terletak dibagian Barat lapangan, disekitar struktur rim, diduga terkait dengan aktifitas sumur produksi (KMJ-22, KMJ-28, KMJ-37, KMJ-41, KMJ-42, KMJ-27 dan KMJ-65). Dari sayatan peta inversi 3D pada kedalaman 1100 m (+ 400 m asl) menunjukkan perubahan rapat-massa negatif antara -0,02 sampai dengan -0,04 gram/cm<sup>3</sup>. Hal ini membuktikan bahwa jumlah injeksi melalui sumur Injeksi KMJ-35, dan KMJ-46 kurang efektif. Anomali *time-lapse microgravity* positif merepresentasikan akumulasi air injeksi dari sumur injeksi dan atau akumulasi air meteorik yang mengalir melalui sesar-sesar. Adanya aliran fluida pada reservoir ini diperjelas dengan hasil analisa *tracer injection* dan gempa-mikro (MEQ).

**Kata Kunci :** *time-lapse microgravity, monitoring, defisit massa*

### PENDAHULUAN

Anomali *time-lapse microgravity* pada lapangan panasbumi diakui sebagai alat yang berharga untuk memetakan redistribusi massa bawah permukaan yang berasosiasi dengan eksploitasi panasbumi. Secara umum, Hunt (2001) membagi sumber anomali *microgravity* utama di lapangan panasbumi terdiri dari komponen: (a) perubahan massa pada reservoir panasbumi, (b) perubahan muka airtanah (*groundwater level change*) dan (c) pergerakan tanah vertikal (*subsidence*). Penggunaan metoda *time-lapse microgravity* telah cukup lama digunakan tetapi memiliki keterbatasan dalam identifikasi perubahan massa pada reservoir panasbumi. Allis dan Hunt (1986) menganalisa perubahan *microgravity* pada eksploitasi panasbumi Wairakei, New Zealand akibat aktifitas produksi dan reinjeksi. Allis et.al. (2000) menggunakan anomali *microgravity* untuk memantau zona *dry-out* dan zona saturasi. Allis et.al. (2001) menggunakan perubahan anomali *microgravity* untuk mendeliniasi perubahan saturasi pada lapangan The Geysers, dan Hunt (2005) memantau pergerakan fluida air injeksi pada lapangan Wairakei, dimana besar anomali *microgravity* berhubungan dengan jumlah massa yang diinjeksi dan tempat air injeksi dimasukan; pada zona *steam, two-phase* atau *deep-liquid*.

Pada perkembangan selanjutnya, pemantauan lapangan panasbumi dengan metoda *microgravity* dihubungkan dengan pengaruh fluktuasi muka airtanah (*groundwater level*) akibat curah hujan dan musim, seperti yang ditunjukkan oleh Allis et.al. (2000), Akasaka dan Nakanishi (2000), Fujimitsu et.al. (2000), Takemura (2000), dan Gettings (2002). Allis et.al. (2000) menghubungkan anomali *microgravity* akibat fluktuasi muka airtanah sebesar 5-10  $\mu\text{Gal/m}$ . Gettings et.al. (2002)

mengukur anomali *microgravity* musiman dan tahunan berkaitan dengan kegiatan produksi, efek perubahan muka airtanah dan deformasi permukaan di The Geysers. Perubahan anomali *microgravity* konsisten dengan produksi musiman dan tahunan dan efek perubahan muka airtanah. Eksploitasi pada lapangan panasbumi dapat pula menyebabkan perubahan muka tanah vertikal (*subsidence* dan atau *inflation*). *Subsidence* umumnya terjadi didekat area produksi, dan kadang-kadang terjadi *inflation* (kebalikan *subsidence*) di area reinjeksi seperti pada lapangan Wairakei. Makalah ini akan membahas penggunaan *time-lapse microgravity* untuk memantau defisit massa reservoir panasbumi. Respon anomali *microgravity* akibat eksploitasi uap pada reservoir telah dapat dipisahkan dari anomali dangkal akibat *subsidence* dan perubahan muka airtanah.

## METODE PENELITIAN

Implementasi metoda *time-lapse microgravity* untuk pemantauan perubahan massa di reservoir panasbumi Kamojang, meliputi :

- a. Pengukuran dan pengambilan data lapangan yang meliputi: data *microgravity*, data ketinggian, dan data kedalaman sumur airtanah.
- b. Pengolahan data *microgravity* hingga diperoleh anomali *time-lapse microgravity*.
- c. Koreksi anomali *microgravity* akibat pergerakan tanah vertikal (*subsidence* atau *inflation*) terhadap anomali *time-lapse microgravity*.
- d. Pemfilteran *stripping* data *time-lapse microgravity* hingga diperoleh anomali *time-lapse microgravity* hasil pemfilteran.
- e. Pemodelan perubahan massa (rapat-massa) reservoir panasbumi Kamojang periode November'06-Juni'06 dan Juli'07-Juni'06. Analisa dan interpretasi perubahan massa (rapat-massa) reservoir panasbumi Kamojang dilakukan untuk periode pendek, yaitu November'06-Juni'06 dan periode Juli'07-Juni'06. Analisa dan interpretasi diharapkan dapat menggambarkan defisit massa pada reservoir panasbumi Kamojang didukung dengan data-data lainnya, sehingga didapatkan kajian yang lebih komprehensif sebagai bahan rekomendasi manajemen reservoir masa mendatang.

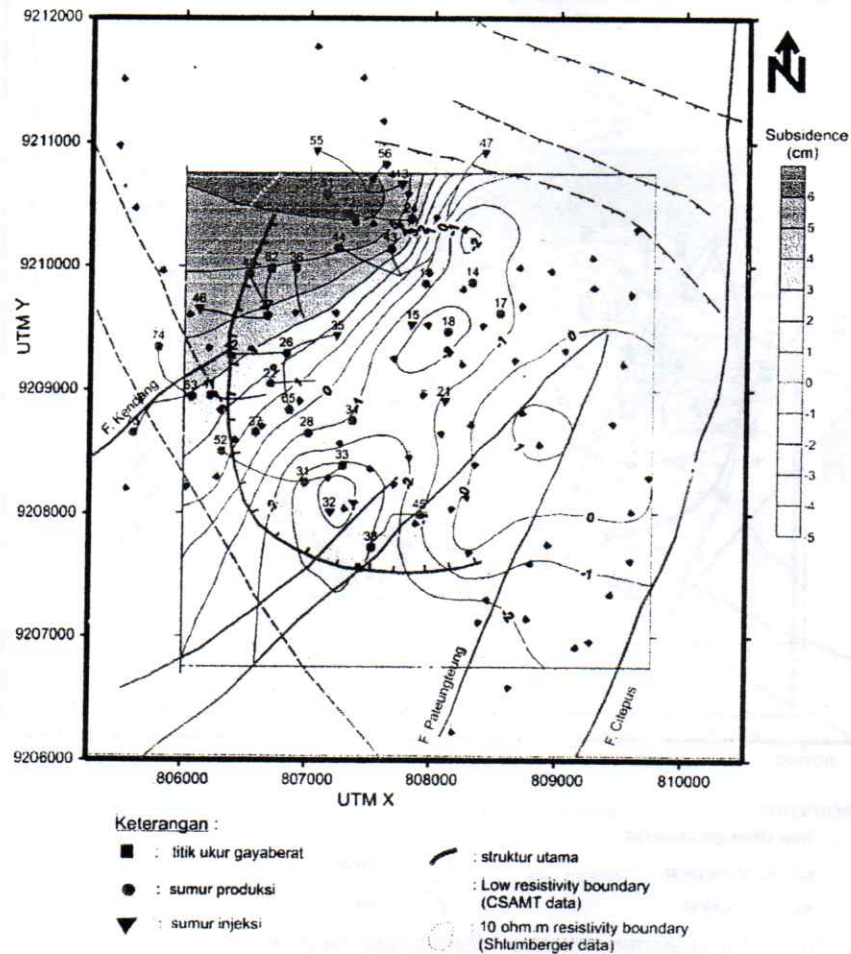
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari 3 kali pengukuran *microgravity* Juni 2006, November 2006 dan Juli 2007 didapat 2 buah anomali *time-lapse microgravity*, yaitu anomali *time-lapse microgravity* periode November 2006-Juni 2006 dan periode Juli 2007-Juni 2006. Kemudian, anomali *time-lapse microgravity* dikoreksi dengan anomali *microgravity* akibat amblesan. Koreksi amblesan dilakukan pada setiap titik pengukuran *microgravity*. Besar laju amblesan Kamojang pada periode Juni 2006 dan Juli 2007 ditunjukkan pada Gambar 1. Anomali *microgravity* setelah dikoreksi dengan anomali *time-lapse microgravity* akibat perubahan muka airtanah dan perubahan massa di reservoir panasbumi.

Anomali *time-lapse microgravity* negatif mengindikasikan adanya pengurangan airtanah (penurunan muka airtanah) dan atau pengambilan uap pada reservoir panasbumi. Anomali positif menunjukkan adanya imbuan airtanah atau injeksi air pada sumur reinjeksi. Anomali total adalah gabungan anomali perubahan muka airtanah dan anomali pengurangan massa reservoir panasbumi. Untuk meminimalkan anomali *time-lapse microgravity* akibat perubahan muka airtanah, maka dilakukan pemfilteran *stripping* terhadap anomali *time-lapse microgravity* totalnya, sehingga anomali sisanya adalah anomali *time-lapse microgravity* akibat perubahan massa pada reservoir panasbumi. Berdasarkan kajian pustaka dan pengukuran sumur penduduk, kedalaman muka airtanah tak tertekan rata-rata lapangan Kamojang adalah 5-10 m. Berdasarkan perhitungan hubungan antara curah hujan dan penurunan muka airtanah didapatkan bahwa

perubahan muka airtanah untuk setiap periode : November 2006-Juni 2006 sebesar -1,5 m; Juli 2007-November 2006 sebesar +1,9 m dan Juli 2007-Juni 2006 sebesar +0,4 m.

Perubahan rapat-massa akulfer dangkal ( $\Delta\rho_s$ ) akibat pengurangan massa airtanah ini adalah perkalian antara rapat massa fluida pengisi batuan (air) dikalikan dengan porositas batuan lapisan ini.



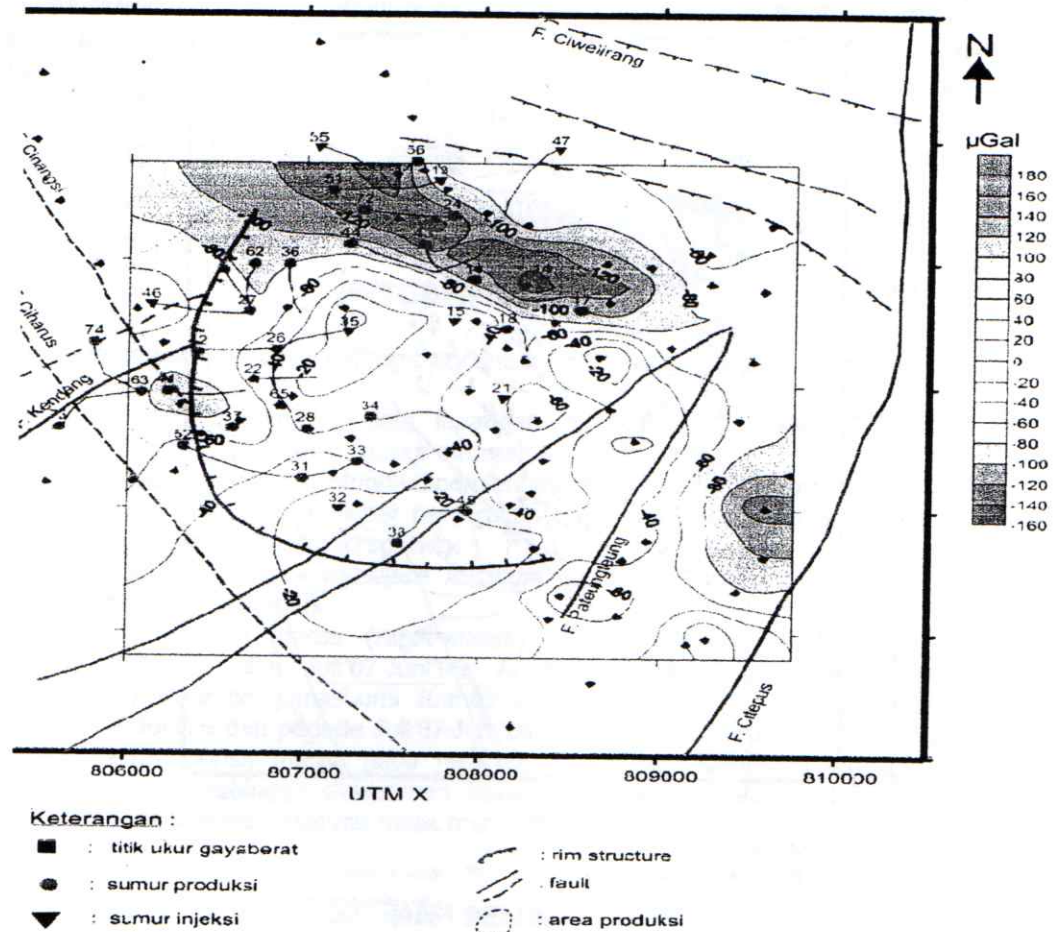
**Gambar 1.** Peta distribusi amblesan area panasbumi Kamojang berdasarkan data pengukuran periode 2006-2007

Perubahan rapat-massa reservoir merupakan perkalian rapat-massa fluida dalam reservoir dikalikan dengan porositas. Dengan rapat-massa fluida reservoir  $0,26 \text{ gram/cm}^3$  dan porositas reservoir rata-rata 7%, maka perubahan rapat-massa pada reservoir  $0,02 \text{ gram/cm}^3$ . Pemfilteran pada anomali *time-lapse microgravity* periode November 2006-Juni 2006 diduga dengan parameter-parameter model dari benda anomali sebagai berikut:  $\Delta\rho_d = -0,02 \text{ gr/cm}^3$ ;  $\Delta\rho_s = -0,30 \text{ gr/cm}^3$ ;  $h_d = 700 \text{ m}$ ;  $h_s = 5 \text{ m}$ ;  $t_d = -200 \text{ m}$ ; dan  $t_s = -1,5 \text{ m}$ . Berdasarkan pola anomali ini, maka digunakan faktor pembobot,  $\Omega = 0,6$ . Dari parameter-parameter ini dibuat spektrum amplitudo filter *stripping*.

Gambar 2 menunjukkan anomali *microgravity* pada reservoir panasbumi yang merefleksikan respon *microgravity* akibat perubahan massa reservoir dalam periode November 2006-Juni 2006. Secara umum, area produksi menunjukkan anomali negatif. Anomali negatif kecil sampai sedang ( $< -80 \mu\text{Gal}$ ) muncul di sekitar area Tengah, Selatan dan Barat lapangan. Anomali nol pada area tersebut menunjukkan terjadi kesetimbangan antara jumlah produksi dan injeksi terlihat sebelah Selatan KMJ-44 dan KMJ-43. Keberadaan sumur injeksi KMJ-35 dapat mempertahankan kesetimbangan massa di reservoir. Terlihat pula keberadaan sumur injeksi KMJ-21 belum efektif dalam menambah jumlah massa.



Anomali negatif besar ( $> -80 \mu\text{Gal}$ ) mendominasi di bagian Utara lapangan. Pada periode ini KMJ-13 belum diaktifkan sebagai sumur injeksi (diaktifkan awal 2007). Sumur-sumur injeksi KMJ-55 dan KMJ-47 belum dapat mempertahankan kesetimbangan massa di area reservoir bagian Utara ini.

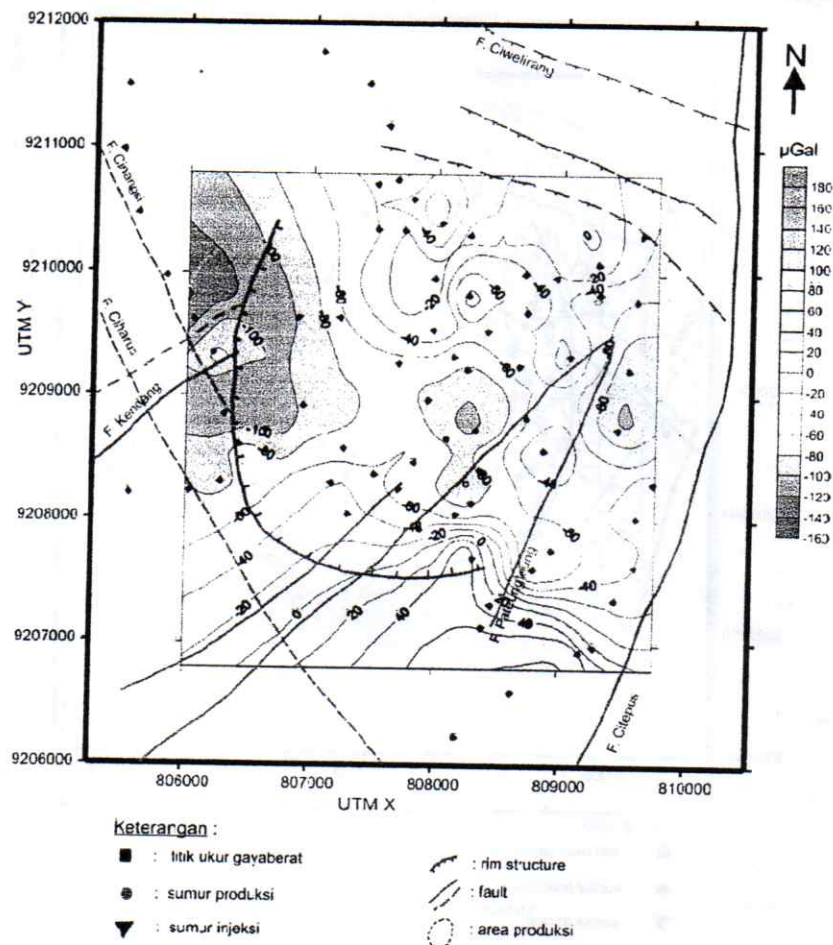


**Gambar 2.** Peta anomali *time-lapse microgravity* reservoir panasbumi Kamojang periode November 2006-Juni 2006 hasil pemfilteran

Anomali negatif besar diduga juga berhubungan kehilangan airtanah pada daerah lereng di bagian Utara ini karena kemiringan lereng yang lebih curam, dimana bagian Utara ini merupakan bagian Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciwelirang. Kehilangan yang besar dimungkinkan karena periode ini berlangsung dari awal kemarin (Juni) sampai akhir kemarin (November). Asumsi pengurangan airtanah yang merata diduga tidak terlalu tepat untuk area ini. Pemfilteran anomali *time-lapse microgravity* periode Juli 2007-Juni 2006 diduga dengan parameter-parameter filter *stripping* sebagai berikut:  $\Delta\rho_a = -0,02 \text{ gr/cm}^3$ ;  $\Delta\rho_s = +0,30 \text{ gr/cm}^3$ ;  $h_d = 700 \text{ m}$ ;  $h_s = 5 \text{ m}$ ;  $t_d = 200 \text{ m}$ ;  $t_s = +0,4 \text{ m}$ . Dari parameter-parameter ini dibuat spektrum amplitudo filter *stripping*. Dan hasil pemfilterannya ditunjukkan pada Gambar 3. Faktor pembobot ( $\Omega$ ) yang digunakan pada bagian Utara 0,4 dan bagian Selatan 0,6. Gambar 3 menunjukkan anomali *time-lapse microgravity* periode Juli 2007-Juni 2006 hasil pemfilteran *stripping*. Anomali negatif mencakup sebagian besar area, anomali positif ada bagian Selatan lapangan saja.

Anomali *time-lapse microgravity* periode Juli 2007- Juni 2006 memiliki nilai negatif lebih besar dari periode-periode sebelumnya, diduga karena periode ini memiliki rentang waktu paling panjang (12 bulan). Anomali negatif yang lebih besar ini menggambarkan pengurangan massa yang lebih banyak untuk jangka waktu yang lebih panjang. Penambahan massa melalui reinjeksi air melalui

sumur injeksi KMJ-35 dan KMJ-46 di bagian Barat lapangan belum efektif mengimbangi pengurangan massa di bagian ini. Demikian juga dengan aktifitas penambahan massa di bagian Utara lapangan melalui sumur injeksi KMJ-13, KMJ-47 dan KMJ-55 belum dapat mengurangi defisit massa.

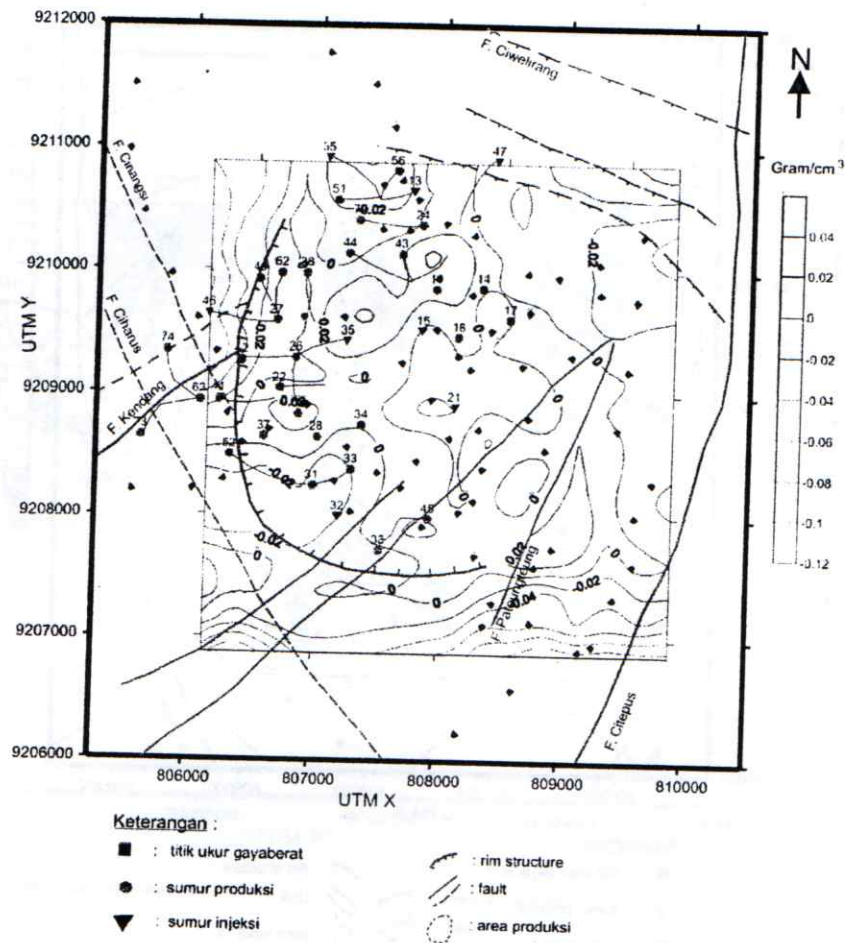


**Gambar 3.** Peta anomali *time-lapse microgravity* reservoir panasbumi Kamojang periode Juli 2007-Juni 2006 hasil pemfilteran

Di bagian tengah lapangan aktifitas penambahan massa melalui sumur injeksi KMJ-21 belum efektif mengurangi defisit massa sehingga menyebabkan anomali negatif  $-70 \mu\text{Gal}$ . Anomali negatif ini diduga akibat sumur injeksi air pada KMJ-21 di kedalaman yang dalam, sehingga menambahkan massa terukur kecil terukur dipermukaan. Metoda interpretasi 3D ini dilakukan dengan menggunakan metoda inversi 3D dengan software Grav3D version 2.0 dari UBC-Geophysical Inversion Facility, University of British Columbia. Model lapisan disesuaikan dengan lapisan reservoir lapangan panasbumi Kamojang, dimana menurut Kamah, dkk (2003) lapisan reservoir terdiri dari dua zona produktif (*feed zones*) utama, *feed zone* atas (FZ I) berada pada +700 sampai dengan +800 m asl (*asl, above sea level*) dan *feed zone* bawah (FZ II) berada pada +100 sampai dengan +600 m asl. Produktifitas FZ II lebih besar daripada FZ I, yaitu 12 sampai 60 ton/jam @ WHP 15 Ksc untuk FZ I dan 30 sampai 87 ton/jam @ WHP 15 Ksc untuk FZ II.

Model perubahan rapat-massa periode November 2006- Juni 2006 dibuat pada FZ II berada, yaitu model perubahan rapat-massa pada elevasi +400 m asl (kedalaman 1100 m). Gambar 4 menunjukkan peta perubahan rapat-massa November 2006-Juni 2006. Peta perubahan rapat-massa ini sebagai menunjukkan perubahan massa reservoir pada kedalaman tertentu. Dari ketiga gambar ini, perubahan rapat-massa di area produksi uap berkisar antara  $-0,02$  sampai dengan  $+0,02 \text{ gram/cm}^3$ . Perubahan rapat-massa negatif pada elevasi +400 m asl berada di

sekitar sumur produksi KMJ-31, KMJ-33 dan KMJ-52 di bagian Barat-Daya dan di sekitar KMJ-51 dan KMJ-56 di bagian Utara lapangan. Sedangkan anomali positif perubahan rapat-massa di sekitar KMJ-11.



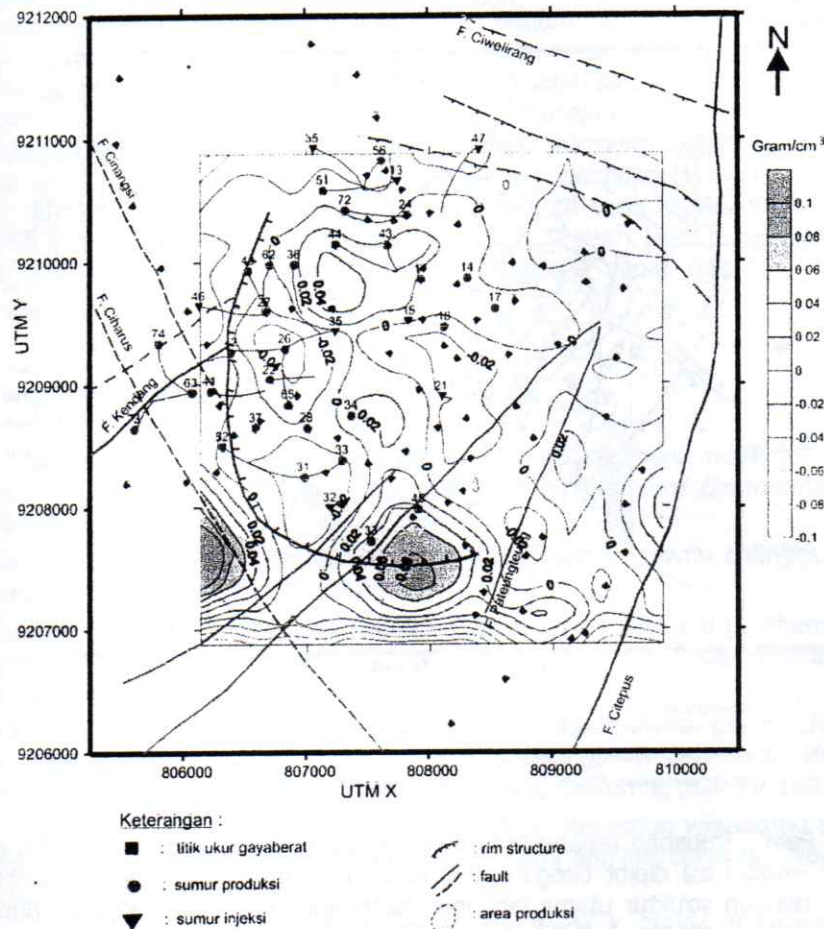
**Gambar 4.** Peta perubahan rapat-massa reservoir panasbumi Kamojang pada elevasi +400 m asi periode November 2006-Juni 2006.

Secara umum, perubahan anomali negatif pada FZ II yang di indikasikan sebagai perubahan rapat-massa akibat kegiatan produksi tersebar di tengah-tengah pusat produksi dimana sebarannya dikontrol oleh *rim-structure* di sebelah Barat, sesar Citepus di sebelah Timur dan struktur runtunan di sebelah Utara. Perubahan anomali di bagian Timur lapangan tidak banyak berubah sepanjang periode ini.

Perubahan rapat-massa pada periode Juli 2007-Juni 2006 ditunjukkan untuk FZ II oleh Gambar 5. Periode ini ditandai dengan meluasnya perubahan rapat-massa negatif di bagian Barat lapangan di sekitar KMJ-22, KMJ-26, KMJ-27, KMJ-28, KMJ-65, hingga ke KMJ-31, KMJ-32 dan KMJ-33, dan di sekitar sumur injeksi KMJ-21. Dimana perubahan rapat-massa negatif tetap mendominasi di bagian Barat lapangan pusat produksi. Periode ini merupakan periode dengan jangka waktu yang lebih panjang sehingga pengambilan massa dalam rentang waktu ini juga lebih banyak. Hal ini diindikasikan oleh perubahan rapat-massa negatif yang lebih besar.

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 nampak bahwa kontrol *rim-structure* di sebelah Barat lapangan sangat jelas terlihat, seolah-olah sebagai pembatas perubahan rapat-massa bagian ini. Di bagian Utara lapangan nampak bahwa aktifitas sumur injeksi KMJ-13 dan KMJ-55 berhasil membantu

menyeimbangkan defisit massa. Perubahan rapat-massa positif di bagian Barat-laut lapangan lebih terkonsentrasi untuk kedalaman yang lebih dangkal (FZ I) di sebelah Timur KMJ-36. Sedangkan aktifitas sumur injeksi KMJ-13 dan KMJ-47 berhasil mempertahankan keseimbangan massa di bagian Utara lapangan pada kedalaman ini, dan perubahan rapat-massa di bagian tengah relatif stabil.

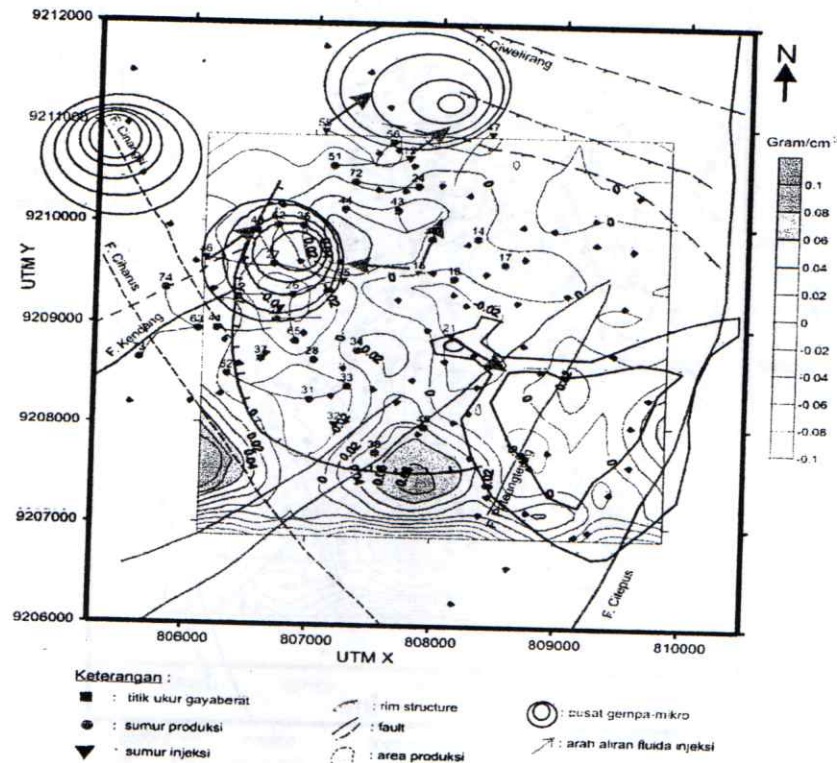


**Gambar 5.** Peta perubahan rapat-massa reservoir panasbumi Kamojang pada elevasi +400 m asl periode Juli 2007- Juni 2006

Sumur injeksi KMJ-21 tidak menunjukkan pengaruh yang berarti di bagian tengah lapangan pada kedalaman ini. Hal ini dimungkinkan karena pada KMJ-21 air diinjeksikan pada kedalaman yang lebih dalam, yaitu =238 m asl, dan menurut peta permeabilitas, sumur ini berada pada permeabilitas rendah, air injeksi tidak mudah bergerak ke bagian lain lapangan. Anomali perubahan rapat-massa positif di bagian Selatan lapangan diduga berhubungan dengan masuknya air melalui bidang pertemuan antara sesar mendatar ( $N 60^{\circ}$ ) dengan *rim-structure* hingga kedalaman reservoir. Air mungkin bergerak ke arah Selatan karena kemiringan lapisan semakin dalam ke arah Selatan. Akumulasi air ke arah Selatan ini juga terbukti dari kenyataan bahwa air injeksi dari sumur injeksi KMJ-32 yang mengalir ke Selatan, sehingga sumur injeksi ini dihentikan pada tahun 2004, karena tadinya diharapkan aktifitas sumur injeksi ini dapat mengurangi defisit massa di area tengah.

Dari pembahasan sebelumnya dapat dianalisa bahwa perubahan *microgravity* (rapat-massa) berhubungan dengan aliran fluida, yang dapat diakibatkan oleh kegiatan ekstraksi fluida (produksi) dan *out-flow* alamiah atau akumulasi fluida dari sumur reinjeksi atau aliran air meteorik melalui sesar-sesar secara alamiah. Dari gambar-gambar sebelumnya dapat dilihat pula bahwa anomali *microgravity* atau perubahan rapat-massa negatif pada kedalaman tertentu berhubungan dengan

sumur produksi dengan kapasitas besar. Analisa arah aliran fluida ini dapat dilihat dari pola aliran fluida yang diduga melalui *tracer injection*. Dari penginjeksian *tracer tritium* pada KMJ-15 tahun 1983 dan 1992 menunjukkan bahwa pola aliran fluida mengarah ke KMJ-26 dengan waktu tempuh 7-8 tahun dan mengarah ke KMJ-14 dengan waktu tempuh 3-4 tahun. Selain itu *tracer tritium* mengarah ke Barat memerlukan waktu 5-6 tahun melalui sesar normal berarah NW-SE dan sesar-mendatar SW-NE (Abidin, dkk, 2000 op cit Suryadarma, dkk, 2005).



**Gambar 6.** Peta perubahan rapat-massa reservoir periode Juli 2007- Juni 2006 pada elevasi +400m asl diplot dengan MEQ dan arah aliran fluida injeksi dan hubungannya dengan struktur utama lapangan Kamojang (kompilasi dengan : Budiarto, 2002; Sofyan, 2006).

Untuk menyeimbangkan defisit massa pada bagian Barat lapangan ditambahkan sumur injeksi KMJ-35 dan KMJ-46 agar waktu tempuh fluida yang relatif lama (7-8 tahun) dapat di atasi. Akan tetapi aliran fluida kedua sumur Injeksi ini belum dapat mengatasi defisit massa area ini. Kemudian, aliran fluida juga dianalisa dari metoda gempa-mikro (MEQ), bahwa kemungkinan fluida dari reinjeksi di pusat reservoir cenderung mengarah ke Timur-Laut (NE) dan Barat-Laut (NW) seperti dikemukakan Sofyan (2006). Aktifitas gempa diakibatkan oleh bertemunya air bertemperatur rendah dengan batuan bertemperatur tinggi sehingga menyebabkan letupan-letupan sebagai sumber gempa, sehingga adanya gempa dapat dipakai untuk menganalisa arah aliran fluida injeksi. Gambaran situasi di atas ditunjukkan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa gempa-mikro di daerah prospek berhubungan erat dengan adanya sumur injeksi, KMJ-35 dan KMJ-46 di bagian Barat, KMJ-21 di bagian Tenggara, dan KMJ-13 dan KMJ-55 di bagian Utara lapangan. Sedangkan gempa-mikro di bagian Barat-Laut disebabkan aliran fluida yang melalui sesar-normal berarah NW-SE (sesar Ciharus dan Cinangsi). Dari keadaan di atas, anomali *microgravity* positif (rapat-massa positif) di Barat-Laut diduga berhubungan dengan akumulasi fluida dari sumur injeksi KMJ-46 dan sisa fluida dari KMJ-15. Arah aliran fluida dari peta rapat-massa ditunjukkan oleh panah warna biru bersama arahnya. Sedangkan anomali akumulasi fluida dari sesar *strike-slip* berarah N 60°.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pengoperasian sumur produksi secara kontinu akan mengakibatkan terkurasnya uap panasbumi sehingga terjadi penurunan produksi. Penurunan ini sangat bergantung pada permeabilitas dan teknik memproduksi uap. Permeabilitas yang tinggi menjamin mudahnya uap yang diproduksi terganti dengan massa air injeksi ke reservoir sehingga keseimbangan massa terjaga. Oleh karena itu pemantauan keseimbangan massa menjadi sangat penting untuk dilakukan secara kontinu. Metoda yang cukup baik untuk pemantauan keseimbangan massa adalah metoda *microgravity*. Namun demikian, metoda *microgravity* hanya merupakan salah satu alat yang dapat digunakan dalam pemantauan kesetimbangan massa reservoir panasbumi, selain *tracer injection*, gempamikro dan yang lainnya. Pemantauan dengan metoda *microgravity* dapat menunjukkan area defisit massa yang ditunjukkan oleh anomali *time-lapse microgravity* negatif atau anomali perubahan rapat-massa negatif. Anomali *microgravity* negatif yang signifikan terjadi disekitar sumur produksi KMJ-26 dengan perluasan kearah Utara dan Selatan. Hasil penentuan area defisit massa pada reservoir panasbumi Kamojang ini selanjutnya dapat dijadikan acuan dalam manajemen reservoir Kamojang.

## DAFTAR PUSTAKA

- ✓ Akasaka, C., dan Nakaniishi, S. 2000. A evaluation of the background noise for microgravity monitoring in the Oguni field, Japan, *Proceeding of 25<sup>th</sup> Stanford Geothermal Workshop*, 24-26 January 2000.
- ✓ Allis, R.G., dan Hunt, T.M. 1986. Analisis of exploration induced gravity changes at Wairakei geothermal field, *Geophysics*, **51**:1647-1660.
- ✓ 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.
- ✓ Allis, R.G., Gettings, P., Isherwood, W.F., dan Chapman. 2001. Precision gravity change at The Geysers geothermal reservoir, 1975-2000, *Proceedings Twenty-sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, California, SGP-TR-168.
- ✓ Budiarto, B., Thamrin, M.H., Nugroho, dan Abidin, Z. 2002. Rejection wellsetting study at The Kamojang Geothermal Field based on geochemical Tracer and Microseismic, *Proceeding IAGI 31th Annual Conference*, Surabaya.
- ✓ Fujimitshu, Y., Nishijima, J., Shimosako, N., Ehara, S., dan Ikeda, K. 2000). Reservoir monitoring by repeat gravity measurements at The Takigami Geothermal Field, Central Kyushu, Japan, *Proceeding World Geothermal Congress*, Kyushu-Tohoku, Japan :573 – 577.
- ✓ Gettings, P., Harris, R.N., Allis, R.G., dan Chapman, D.S. 2002 Gravity signal at The Geysers Geothermal Field, *Proceedings Twenty-seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, California, SGP-TR-171.
- ✓ Hunt, T.M. 2001. Microgravity monitoring. *Five lecture on environmental effect of geothermal utilization*. The United Nations University, Iceland 73 - 103
- ✓ Hunt, T.M. 2005. Using repeat microgravity measurements to track reinjection in liquid-dominated Fields, *Proceedings World Geothermal Congress*, Antalya, Turkey.
- ✓ Sopyan, Y. 2006. *Monitoring pengaruh produksi dan reinjeksi terhadap reservoir geothermal dengan menggunakan metoda microgravity dan microearthquake (MEQ)*, Thesis, Universitas Indonesia.
- ✓ Takemura, T., Shiga, N., Yokomoto, S., Saeki, K., dan Yamanobe, H. 2000. Gravity monitoring in Yanaizu-Nishiyama Geothermal Field, Japan, *Proceeding World Geothermal Congress*, Kyushu-Tohoku, Japan, 2937 – 2941.