



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**MONITORING LAPANGAN PANAS BUMI KAMOJANG  
MENGUNAKAN PENGUKURAN GRAVITASI BERULANG**

**SKRIPSI**

**SATRIO JATI  
0305020837**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM FISIKA  
DEPOK  
MEI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**MONITORING LAPANGAN PANAS BUMI KAMOJANG  
MENGUNAKAN PENGUKURAN GRAVITASI BERULANG**

**SKRIPSI**

**SATRIO JATI  
0305020837**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
KEKHUSUSAN GEOFISIKA  
DEPOK  
MEI 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

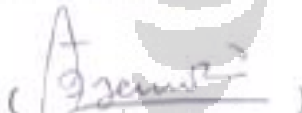
Skripsi ini diajukan oleh :

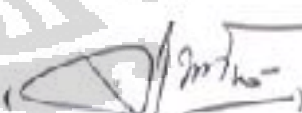
Nama : SATRIO JATI  
NPM : 0305020837  
Program Studi : GEOFISIKA  
Judul Skripsi : MONITORING LAPANGAN PANAS BUMI  
KAMOJANG MENGGUNAKAN PENGUKURAN  
GRAVITASI BERULANG

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. H. M. Syamsu Rosyid, M.si (  )

Pembimbing : Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T. (  )

Penguji : Dr. Eng. Yunus Daud, MSc (  )

Penguji : Dr. Djatmiko P.A. (  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 17 Juni 2009

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'aalamiin. Puji syukur hanya kepada Allah SWT, Yang Maha Pengasih, yang selalu memberikan anugrah terindahNya kepada penulis dan telah menuntun penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam kerinduan kepada sebaik – baik teladan Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabatnya.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dorongan dan doa yang tulus dari banyak pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus - tulusnya kepada:

1. Dr. H. M. Syamsu Rosyid ,M.si. selaku dosen pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
2. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing penulis dalam segala hal, baik dalam ilmu pengetahuan, nasehat, dorongan, semangat serta segala fasilitas yang telah diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Dr. Eng. Yunus Daud, MSc. selaku penguji I, atas saran, masukan, pengarahan dan kritiknya selama penulis menyusun skripsi.
4. Dr. Djatmko P.A. selaku penguji II yang memberikan kemudahan dalam memenuhi administrasi selama sebelum sidang berlangsung.
5. Dr. Bambang S. sebagai ketua sidang yang telah mengatur jadwal sidang.  
Dr. Eng. Supriyanto, MSc. atas nasehat dan motivasinya Yayan Sofyan, S.si., M.si atas kepercayaan data yang diberikan dan kepada seluruh dosen dan karyawan departemen Fisika atas segala ilmu dan bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI.

6. Terkhusus untuk kedua orang tua penulis, yang telah mendidik penulis dengan sangat istimewa. Terima kasih atas kepercayaan dan do'a dan dukungan tiada henti yang kalian berikan. Semoga Allah senantiasa menjaga kalian. Mas Igum serta Mba Wiwien dan Andra yang sangat mendukung dan memotivasi penulis.
7. Keluarga kedua penulis Bapak Sadono S.H., M.M. terima kasih atas doa dan dukungan yang akan menjadi lembaran pelajaran dalam hidup penulis.
8. Kepada Sahabat-sahabat, Seno, Iwan, Bos, mba Ella, Mapeng dll. Team Volley UI Angga, Iwan, Rio70, Ready, Cahyo, Mba dewi, Tata, Mba Utri dll Pendukung setia mba Sonia dan Mili atas doa dan dukungannya.
9. Penghuni BJ 28 di Bandung Junet, Sabeth, Abang, Lydoz, Hotie, Donna dll Terima kasih atas tempat berteduh, bernaung dan semua doa, dukungan dan bantuan selama penyusunan skripsi ini.
10. Special buat semua teman – teman fisika angkatan 2005. Serta teman-teman peminatan geofisika dan khusus untuk Aldi geofisika 06. Terima kasih telah menjadi teman dan sahabat 'belajar' penulis selama 4 tahun ini.
11. Terima kasih untuk semua pribadi yang secara sadar ataupun tidak, telah menjadi 'guru' dalam kehidupan penulis. Semoga Allah mengganjar setiap keikhlasan dari setiap amal shaleh kalian.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi siapa saja yang mengkajinya, serta dapat dikembangkan dan disempurnakan agar lebih bermanfaat untuk kepentingan orang banyak.

Depok, Mei 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Satrio Jati  
NPM : 0305020837  
Program Studi : Geofisika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**MONITORING LAPANGAN PANAS BUMI KAMOJANG  
MENGUNAKAN PENGUKURAN GRAVITASI BERULANG**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 7 Mei 2009

Yang menyatakan

( Satrio Jati )

Nama : Satrio Jati  
Program studi : Fisika

Judul skripsi : Monitoring Lapangan Panas Bumi Kamojang Menggunakan Pengukuran Gravitasi Berulang

## ABSTRAK

Kegiatan monitoring dalam suatu manajemen reservoir sangat penting dilakukan untuk mengetahui perubahan kondisi reservoir akibat kegiatan produksi dan reinjeksi. Metode geofisika yang dapat digunakan untuk kegiatan monitoring salah satunya adalah Microgravity yang sangat teliti hingga mencapai orde microgal. Pengukuran telah dilakukan pada tahun 1984 dan tahun 2008 pada Bench Mark yang sama. Menghasilkan gambaran perubahan nilai medan gravitasi yang terjadi akibat kegiatan produksi dan reinjeksi. Perubahan massa dapat diperoleh dari pembuatan model 3D. Hasil dari interpretasi mengindikasikan perubahan gravitasi positif di daerah utara yang disebabkan oleh saturasi air yang lebih besar dan perubahan gravitasi negatif di daerah Timur yang disebabkan oleh saturasi uap yang lebih besar. Dengan ini, dapat dibuat rekomendasi untuk manajemen reservoir.

Kata kunci : monitoring, microgravity, model 3 dimensi, perubahan massa, rekomendasi manajemen reservoir

Name : Satrio Jati  
Program study : Geophysics  
Title of essay : Monitoring Kamojang Geothermal Field Using Repetition  
Gravity Measurement

### ABSTRACT

Monitoring activities for reservoir management is important for estimating its changes related to production and reinjection. One of Geophysics method commonly used for monitoring activities is precision microgravity, which had accuracy up to the orde micro gal. Microgravity measurement between 1984 and 2008 had the exact Bench Mark. Giving the illustration of gravity changes values during the process of production and reinjection. Mass changes can be calculated by 3D model. The result are positive gravity values distribution in north region by higher domination of water saturation, negative values distribution in east region by higher domination of vapor saturation, therefore recommendation for reservoir management can be made.

Keywords : monitoring, microgravity, 3D model, mass changes, reservoir management recommendation

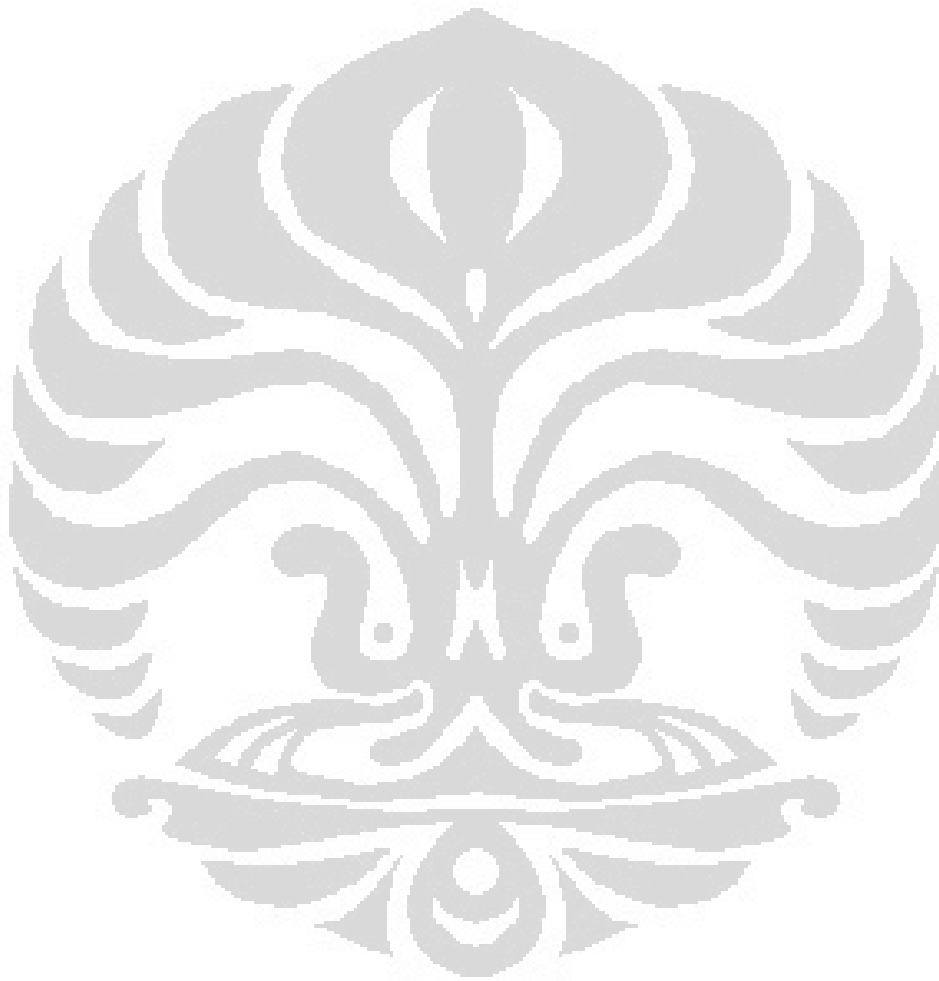


# DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Pembatasan Masalah .....	4
1.5 Metode Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>7</b>
2.1 Metode Gravitasi .....	7
2.1.1 Hukum Newton Tentang Gravitasi.....	7
2.1.2 Percepatan Gaya Berat .....	8
2.1.3 Reduksi dan Anomali Gaya Berat.....	9
2.1.3.1 Konversi Pembacaan Gravity Meter .....	9
2.1.3.2 Koreksi Pengaruh Pasang Surut .....	9
2.1.3.3 Perhitungan Koreksi Apungan (Drift).....	10
2.2 Anomali Gaya Berat .....	11
2.3 Data Geologi .....	17
2.4 Model Geologi Lapangan Panas Bumi Kamojang .....	19
<b>BAB III DATA MONITORING MEDAN GRAVITASI DAERAH GEOHERMAL KAMOJANG .....</b>	<b>22</b>
3.1 Data Monitoring .....	22
3.1.1 Metode Pengukuran .....	22
3.1.1.1 Pengukuran Posisi Koordinat atau Bench Mark .....	23
3.1.1.2 Pengukuran Elevasi dari Bench Mark .....	23
3.1.1.3 Pengukuran Microgravity.....	24
3.2 Pengolahan Data.....	24
<b>BAB IV ANALISIS DAN INTERPRETASI .....</b>	<b>26</b>
4.1 Analisis dan Interpretasi.....	26
4.1.1 Perubahan Medan Gravitasi .....	26
4.1.2 Permodelan benda anomali .....	28
4.1.3 Perubahan massa .....	41

4.1.4 Aliran Fluida .....	45
4.2 Rekomendasi Manajemen Reservoir .....	46
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran .....	49
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>50</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>53</b>



## Daftar Gambar

Gambar 1.1.	Peta lokasi lapangan geothermal Kamojang .....	3
Gambar 1.2.	Diagram alur metode penelitian .....	5
Gambar 2.1.	Gaya aksi-reaksi pada dua.....	8
Gambar 2.1.	Peta jalur vulkanik Jawa Barat.....	19
Gambar 2.3.	Peta geologi lapangan geothermal Kamojang.....	20
Gambar 2.4.	Perlapisan batuan dari satu sumur kmj-63 di lapangan Kamojang .....	21
Gambar 2.5.	Model geologi lapangan panasbumi Kamojang .....	22
Gambar 3.1.	Diagram alur pengolahan data microgravity .....	26
Gambar 4.1.	Peta distribusi perubahan nilai gravitasi periode 1984 – 2008 .....	28
Gambar 4.2.	Peta kedalaman Feed Zone 1 dan 2 .....	30
Gambar 4.3.	lintasan-lintasan untuk membuat model benda 2 dimensi .....	31
Gambar 4.4.	Pemodelan lintasan A-A' daerah Kamojang .....	32
Gambar 4.5.	Penggambaran ulang lintasan A-A' daerah Kamojang .....	33
Gambar 4.6.	Pemodelan lintasan B-B' daerah Kamojang .....	34
Gambar 4.7.	Penggambaran ulang lintasan B-B' daerah Kamojang .....	35
Gambar 4.8.	Pemodelan lintasan C-C' daerah Kamojang .....	36
Gambar 4.9.	Penggambaran ulang lintasan C-C' daerah Kamojang .....	37
Gambar 4.10.	Pemodelan lintasan D-D' daerah Kamojang .....	38
Gambar 4.11.	Penggambaran ulang lintasan D-D' daerah Kamojang .....	39
Gambar 4.12.	Bentuk model 3D KM 1 daerah Kamojang .....	40
Gambar 4.13.	Bentuk model 3D KM 2 daerah Kamojang .....	40
Gambar 4.14.	Model benda 3-Dimensi KM 1 .....	41
Gambar 4.15.	Model benda 3-Dimensi KM 2 .....	42
Gambar 4.16.	Peta distibusi aliran fluida berdasarkan <i>Tracer Injection</i> dan Microearthquake .....	46

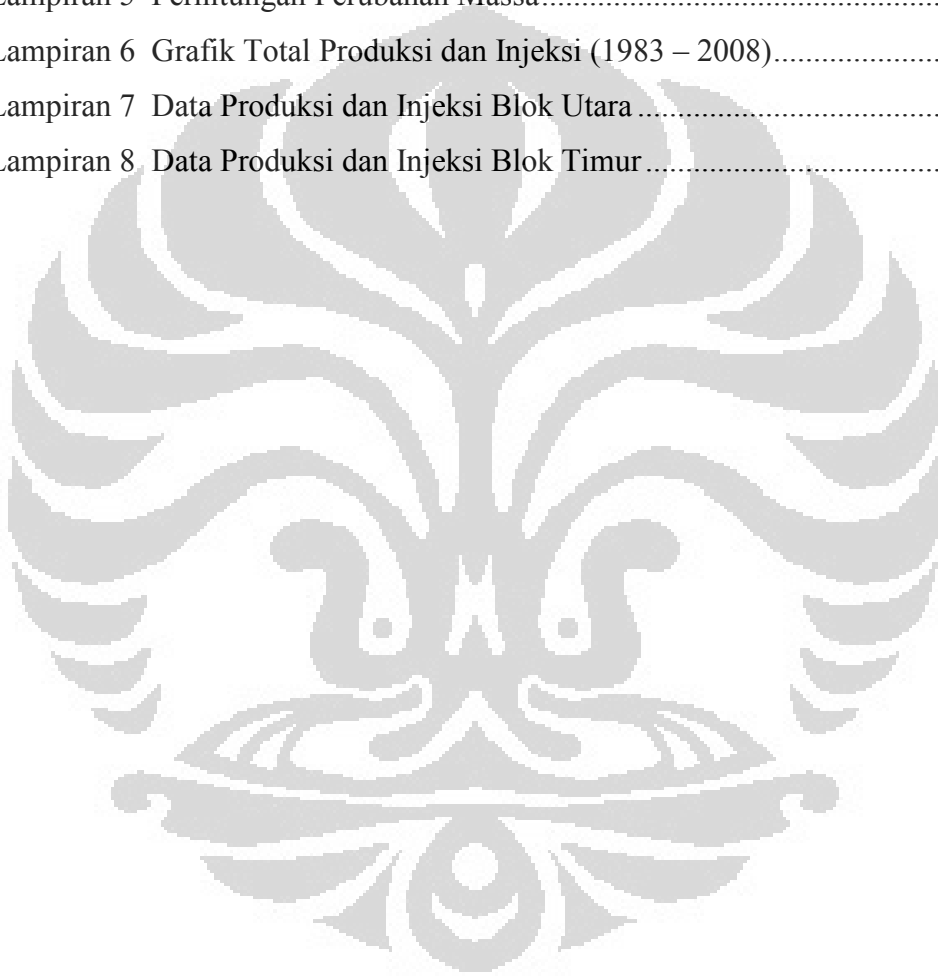
## Daftar Tabel

Tabel 4.1 Data total sumur injeksi dan sumur produksi untuk Blok Utara dan Blok Timur .....	44
---	----



## Daftar Lampiran

Lampiran 1 Data Microgravity.....	53
Lampiran 2 Gambar penampang Selatan – Utara dan Barat –Timur daerah Kamojang .....	54
Lampiran 3 Tabel Hasil Perhitungan Model KM 1 .....	55
Lampiran 4 Tabel Hasil Perhitungan Model KM 2 .....	56
Lampiran 5 Perhitungan Perubahan Massa.....	57
Lampiran 6 Grafik Total Produksi dan Injeksi (1983 – 2008).....	59
Lampiran 7 Data Produksi dan Injeksi Blok Utara .....	60
Lampiran 8 Data Produksi dan Injeksi Blok Timur .....	61



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Daerah geothermal Kamojang berlokasi di Garut, Jawa barat, Indonesia, daerah tersebut secara geografis terletak di  $07^{\circ} 11' 02'' - 07^{\circ} 06' 08''$  lintang selatan dan  $107^{\circ} 44' 36'' - 107^{\circ} 49' 30''$  bujur timur dan ketinggian topografinya bervariasi antara 1400 hingga 1800 m di atas permukaan laut. Usaha pencarian panas bumi Indonesia pertama kali dilakukan di daerah kawah Kamojang pada tahun 1918. Pada tahun 1929-1962, lima sumur eksplorasi dibor sampai kedalaman 66 - 128 meter. Sampai saat ini daerah geothermal Kamojang masih memproduksi uap panas kering.

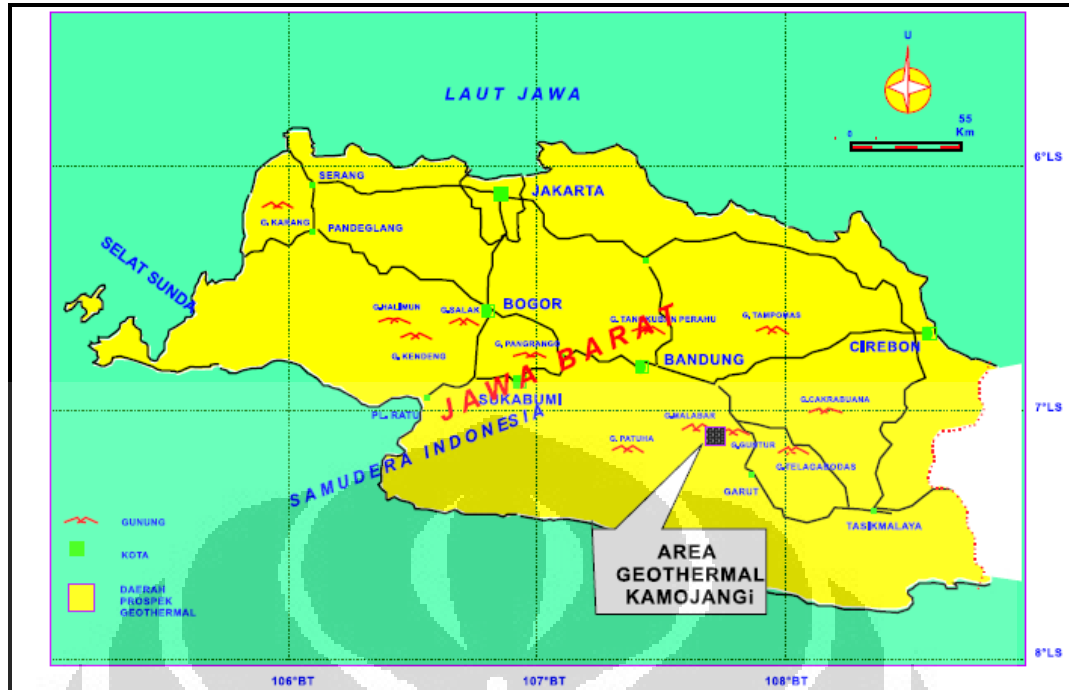
Pada tahun 1972, Direktorat Vulkanologi dan Pertamina, dengan bantuan pemerintah Perancis dan New Zeland, melakukan survey pendahuluan di seluruh wilayah Indonesia, Kamojang mendapat prioritas untuk survei lebih rinci. Pada bulan September 1972 ditandatangani kontrak kerjasama bilateral antara Indonesia dan New Zeland untuk pelaksanaan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi di daerah tersebut. Survey geologi, geokimia, dan geofisika dilakukan pada daerah tersebut. Area seluas  $14 \text{ km}^2$  diduga mengandung fluida panas bumi. Lima sumur eksplorasi (KMJ 6-10) kemudian dibor dengan kedalaman 535-761 meter dan menghasilkan uap kering dengan temperatur tinggi ( $240^{\circ}\text{C}$ ). Uap tersebut kemudian dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik Mono Blok sebesar 0.5 MW yang mulai beroperasi pada 7 November 1978. Pemboran dilakukan lagi sampai Desember 1982. Delapan belas buah sumur dibor dengan kedalaman 935-1800 m dan menghasilkan 535 ton uap per jam

Setelah menilai potensi sumur dan kualitas uap, maka disimpulkan bahwa uap air di Kamojang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Kemudian dibangun PLTP Kamojang sebesar 30 MW dan mulai beroperasi tanggal 7 Februari 1983. Lapangan terus dikembangkan. Unit II dan III masing-masing sebesar 55 MW mulai dioperasikan berturut-turut tanggal 29 Juli 1987 dan 13 September 1987, sehingga daya PLTP Kamojang menjadi 140 MW. Untuk

memenuhi kebutuhan listrik, dimanfaatkan 26 dari 47 sumur. Hingga saat ini awal tahun 2009 jumlah daya terpasang sebesar 200 MW.

Dengan kapasitas produksi saat ini lapangan panas bumi Kamojang yang diperkirakan jika hanya akan mampu beroperasi selama 30 tahun (Grant, 1997) Produksi uap yang sedemikian besar untuk waktu yang cukup lama. Saat ini mengindikasikan perubahan kondisi reservoir yang dilihat oleh penurunan produksi. Oleh karena itu perlu dilakukan tindakan guna mempertahankan kapasitas produksi untuk jangka waktu yang lebih lama. Pengelolaan reservoir geothermal dapat dilakukan dengan baik jika kita telah mengetahui dengan baik keadaan reservoir geothermal, seperti : volume reservoir, sifat fisik reservoir (porositas, densitas, konduktivitas panas), sifat fluida reservoir (tekanan, temperatur, hidrogeologi, jenis fluida) dan sebagainya. Beberapa parameter fisika yang dimiliki oleh reservoir geothermal dapat mengalami perubahan terhadap waktu seiring dengan berlangsungnya proses produksi seperti temperatur, tekanan, densitas, permeabilitas dan sebagainya. Perubahan ini dapat berlangsung dalam ukuran bulan atau dalam ukuran tahun. Tergantung keadaan internal dan eksternal yang mempengaruhinya. Perubahan-perubahan parameter fisika ini akan mempengaruhi secara langsung proses produksi dan lama produksi yang akan berlangsung sehingga perlu diawasi dengan baik melalui kegiatan monitoring geofisika.

Untuk melakukan monitoring pengaruh produksi dan reinjeksi pada reservoir geothermal digunakan metode geofisika, yaitu metode microgravity. Metode ini untuk mengetahui perubahan parameter fisika seperti medan gravitasi densitas dan perubahan massa. Metode microgravity adalah metode geofisika untuk mengukur perubahan nilai medan gravitasi batuan dalam rentang antara 1-500 microgal (0.001 – 0.5 miligal) (Hunt, 2000). Perubahan nilai medan gravitasi batuan ini dapat disebabkan oleh perubahan rapat massa matriks batuan, perubahan rapat massa fluida pengisi pori, dinamika pergerakan massa fluida, perubahan topografi, dinamika *shallow groundwater* dan sebagainya. Perubahan medan gravitasi batuan selama proses produksi dan reinjeksi dapat diamati secara berkelanjutan dengan pengukuran microgravity secara berkala pada titik pengamatan yang sama untuk mengetahui model perubahannya



Gambar 1.1 Peta lokasi lapangan geothermal Kamojang (Kamah dkk, 2003)

## 1.2. Permasalahan

Dalam menjaga keberlangsungan proses produksi uap serta pengisian fluida dalam reservoir dibutuhkan manajemen yang baik. Salah satunya adalah mengamati gejala dan perubahan yang terjadi dalam proses kinerja reservoir yang terlihat dari jumlah uap yang di produksi serta jumlah injeksi dan *natural charge* yang terjadi. Sehingga permasalahan yang akan dibahas dalam studi ini adalah pemetaan distribusi perubahan massa reservoir kegiatan produksi dan injeksi dari tahun 1984 – 2008.

## 1.3. Tujuan Penelitian

- Memahami konsep permodelan microgravity berulang untuk kegiatan monitoring.
- Membuat peta distribusi perubahan microgravity di lapangan panasbumi Kamojang antara tahun 1984 dan 2008.
- Membuat model benda 3D dari perubahan distribusi massa panasbumi Kamojang.



- Memberi rekomendasi terhadap manajemen reservoir panasbumi Kamojang

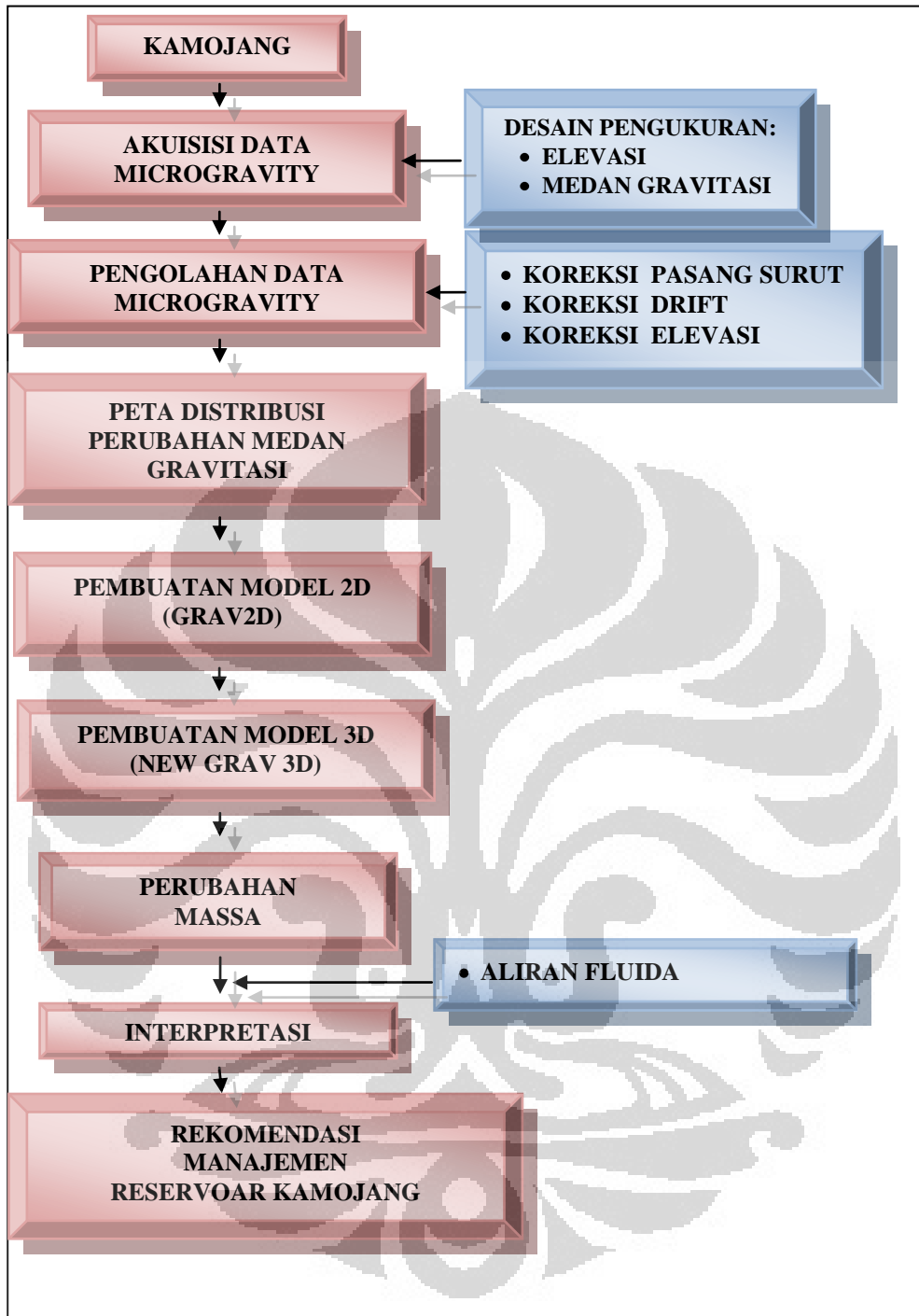
#### **1.4. Pembatasan Masalah**

Data yang digunakan adalah data pengukuran microgravity yang dilakukan pada tahun 1984 dengan data pengukuran microgravity yang dilakukan pada bulan Agustus 2008. Sehingga perubahan massa yang digambarkan dapat diasumsikan sebagai akibat kegiatan produksi dan injeksi selama 25 tahun.

#### **1.5. Metode Penelitian**

Metodologi penelitian untuk tahap awal dari penelitian ini dimulai dengan mencari, mengumpulkan, dan mempelajari studi literatur mengenai sistem panasbumi Kamojang baik dari sejarah kegiatan eksplorasi geofisika serta kegiatan monitoring. Proses akuisisi untuk metode monitoring data mikrogravity pada tahun 1984 menggunakan Lacoste & Romberg type G sedangkan pada tahun 2008 menggunakan Scintrex CG-3. Pengolahan data microgravity dilakukan dengan koreksi elevasi, koreksi drift serta menggunakan software GOTHIC untuk perhitungan koreksi pasang surut hingga mendapatkan nilai medan gravitasi. Selanjutnya dengan Surfer8 dapat di visualisasikan perbedaan nilai-nilai medan gravitasi untuk tahun 1984 dan 2008 tersebut. Tahap selanjutnya adalah dengan menggunakan GRAV2D membuat model 2 dimensi benda yang mempengaruhi nilai medan gravitasi positif dan negatif dengan nilai densitas tertentu, kemudian dengan menggunakan program NEW GRAV-3D mencoba membuat pendekatan bentuk benda 3 dimensi, lalu menghitung volume benda tersebut untuk mendapatkan massa perubahan yang terjadi. Tahapan terakhir adalah membuat interpretasi terpadu dari hasil perbandingan perbedaan nilai gravitasi dan kandungan massa antara tahun 1984 dan 2008 dengan data-data pendukung lain untuk mengetahui perubahan kandungan massa akibat kegiatan produksi secara terus-menerus.

Secara garis besar, metode yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini dapat digambarkan dalam alir berikut :



Gambar 1.2 Diagram alur metode penelitian

## 1.6. Sistematika Penulisan

Pada bab I dituliskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini beserta tujuan yang diharapkan dapat tercapai, pembatasan masalah agar lebih spesifik arah penelitiannya, kemudian metode penelitian sebagai panduan dalam kerangka berpikir ilmiah dan terdapat sistematika penulisan.

Untuk bab II, berisi mengenai tinjauan pustaka yang di dalamnya terdapat teori dasar gaya gravitasi eksplorasi untuk monitoring, koreksi-koreksi untuk mendapatkan nilai medan gravitasi, perhitungan untuk mendapatkan estimasi perubahan massa subsurface dari nilai medan gravitasi yang didapatkan serta data penunjang berupa data geologi.

Pada bab III berisi data monitoring gaya berat yang berisi mengenai desain dan metode pengukuran dalam penelitian ini yang meliputi elevasi dan medan gravitasi.

Pada bab IV berisi analisis yang dibuat berdasarkan hasil dari pengolahan data mengenai perubahan nilai gravitasi yang dapat menggambarkan perubahan massa dalam bentuk benda tiga dimensi yang terjadi akibat kegiatan produksi dan injeksi.

Terakhir di bab V terdapat hasil akhir yang merupakan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan, serta saran yang dibuat dengan pemikiran agar penelitian selanjutnya berkaitan dengan judul ini mendapatkan hasil yang lebih representatif.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Metode Gravitasi

Survei gravitasi adalah usaha untuk menggambarkan bentuk (struktur) geologi bawah permukaan berdasarkan pada variasi medan gravitasi bumi yang ditimbulkan oleh perbedaan densitas (rapat massa) antar batuan. Dalam prakteknya, metode gaya berat ini mempelajari perbedaan medan gravitasi dari satu titik terhadap titik observasi lainnya. Dengan demikian suatu sumber yang merupakan satu zona massa di bawah permukaan, akan menyebabkan satu gangguan dalam medan gravitasi. Gangguan medan gaya berat ini disebut sebagai anomali gaya berat. Karena perbedaan medan gaya berat ini relatif kecil maka diperlukan alat ukur yang mempunyai ketelitian cukup tinggi.

Pada prinsipnya, metode ini digunakan karena kemampuannya membedakan densitas dari suatu sumber anomali terhadap densitas lingkungan sekitarnya. Dengan demikian dari variasi densitas dapat diketahui bentuk struktur bawah permukaan suatu daerah. Hal ini sering diperlukan untuk tahap eksplorasi selanjutnya. Sehingga metode gaya berat banyak digunakan pada tahap penelitian pendahuluan dalam suatu eksplorasi, baik dalam mencari minyak bumi maupun mineral.

##### 2.1.1 Hukum Newton Tentang Gravitasi

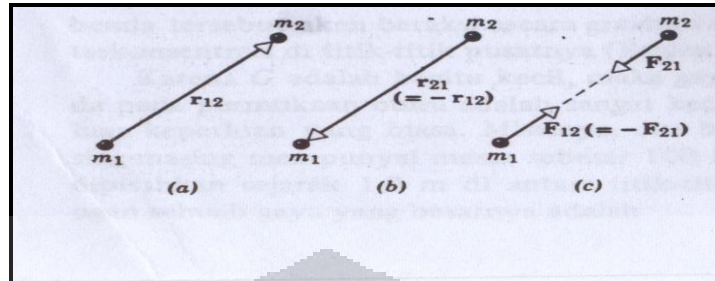
Gaya berat (*Gravitational Force*) diekspresikan dalam Hukum Newton yang merupakan dasar dari Metode Gravitasi. Hukum ini menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara 2 partikel dengan masa  $m_1$  dan  $m_2$  berbanding langsung dengan perkalian massa dan berbanding terbalik dengan kuadrat dari jarak pusat massa. Gaya ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

Dengan :

$$F = -G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \hat{r}_1 \quad (2.1)$$

- F = gaya pada  $m_2$
- $\hat{r}_1$  = vector satuan dari  $m_1$  ke  $m_2$
- r = jarak  $m_1 - m_2$
- G = Universal gravitational Konstanta

Tanda minus muncul karena gaya yang timbul selalu gaya tarik (*Attractive Force*) gaya aksi-reaksi. Dalam unit mks,  $F$  adalah Newton,  $m_1$   $m_2$  dalam kilogram,  $r$  dalam meter.



Gambar 2.1. Gaya aksi-reaksi pada dua benda

Gaya yang dikerahkan pada  $m_2$  (oleh  $m_1$ ),  $F_{21}$ , diarahkan berlawanan dengan pergeseran  $m_2$  dari  $m_1$ , yakni  $r_{12}$ . Gaya yang dikerahkan pada  $m_1$  (oleh  $m_2$ ),  $F_{12}$ , diarahkan berlawanan dengan pergeseran  $m_1$  dari  $m_2$ , yakni  $r_{21}$ .  $F_{21} = -F_{12}$ , yakni gaya-gaya tersebut adalah suatu pasangan aksi-reaksi.

Harga  $G$  adalah  $6.6720 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$  yang sama dengan besarnya gaya dalam Newton antara 2 bola uniform, masing – masing dengan massa 1 kg, dan terpisah pada jarak 1 meter.

Gravitasi adalah salah satu gaya lemah yang terdapat di alam. Dewasa ini orang mulai berpendapat bahwa nilai  $G$  tidak konstan, tapi menurun secara perlahan terhadap waktu.

Banyak kemungkinan tentang konsekuensi dari variasi  $G$  tersebut. Salah satu adalah naiknya radius bumi terhadap waktu. Hal ini, jika benar, suatu saat akan merupakan hal penting dalam pengetahuan tentang sejarah geofisika bumi.

Meskipun demikian, postulat tentang besarnya perubahan  $G$ , jika benar ada, adalah sangat kecil (sekitar 1 % sejak bumi terbentuk,  $4,5 \times 10^9$  th.y.l) sehingga tidak mempunyai efek penting dalam metoda explorasi gaya berat.

### 2.1.2 Percepatan Gravitasi

Dari persamaan (2.1), percepatan dari  $m_2$  yang disebabkan oleh adanya  $m_1$  dapat dihitung dengan membagi  $F$  dengan  $m_2$ . secara khusus, kalau  $m_1$  adalah masa bumi  $M_e$ , percepatan yang dialami suatu massa  $m_2$  di permukaan bumi adalah :

Dengan :

$$g = \frac{F}{m_2} = G \frac{M_e}{R_e^2} \hat{r}_1 \quad (2.2)$$

$g$  = Percepatan Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$F$  = Gaya pada  $m^2$  (N)

$R_e$  = Jari – jari Bumi (m)

$M_e$  = Massa Bumi (kg)

$\hat{r}_1$  = Vektor satuan

Percepatan ini disebut percepatan gaya berat (*Acceleration of Gravity*) dan pertama kali diukur oleh Galileo dengan percobaannya yang terkenal di Pisa. Galileo telah menjatuhkan suatu benda dari puncak menara miring tersebut. Nilai gravitasi dipermukaan bumi adalah sekitar  $9.8 \text{ m/s}^2$ . Dalam SI unit, satuan gravity adalah  $g.u$  (*gravity unit*) dimana  $1 g.u = 10^{-6} \text{ m/s}^2 = 10^{-1} \text{ gal}$ .

### 2.1.3 Reduksi dan Anomali Gravitasi

#### 2.1.3.1 Koreksi Pengaruh Pasang Surut

Koreksi ini disebabkan oleh karena pengaruh gaya tarik yang dialami bumi akibat massa bulan dan matahari. Harganya berubah-ubah setiap waktu secara periodik tergantung dari kedudukan benda-benda langit tersebut. Grafik Pasang Surut adalah besarnya gaya tarik pasang surut yang dialami oleh bumi. Grafik pasang surut dengan arah positif menunjukkan bahwa bumi mengalami tarikan dari posisi normalnya, sedangkan jika nilainya negatif maka hal ini menunjukkan bahwa bumi mengalami dorongan dari posisi normalnya.

Koreksi Pasang Surut adalah koreksi yang harus diberikan kepada bumi untuk menyetimbangkan ke posisi normalnya. Koreksi pasang surut merupakan kebalikan dari nilai grafik pasang surut.

### 2.1.3.3 Perhitungan Koreksi Apungan ( Drift )

Gravimeter biasanya dirancang dengan sistem keseimbangan pegas dan dilengkapi dengan massa (beban) yang tergantung bebas di ujungnya. Karena pegas tidak elastis sempurna, maka sistem pegas tidak kembali ke kedudukan semula. Koreksi karena sifat pegas ini disebut koreksi apungan (*Drift Correction*). Jadi koreksi apungan adalah koreksi yang disebabkan oleh sifat alat itu sendiri yang selalu menunjukkan perubahan harga setiap waktu yang dapat dianggap linear untuk waktu yang relatif pendek. Selain sifat tersebut koreksi apungan dapat juga disebabkan oleh gangguan alat (kejutan, sentakan) selama transportasi atau selama proses pengamatan di lapangan. Perhitungan koreksi apungan pada prakteknya dihitung pada setiap kisaran dengan waktu terpendek setelah dikoreksi dengan koreksi pasang surut bumi.

Untuk mengatasi kesalahan pembacaan gravimeter pada saat pengukuran nilai gravitasi maka perlu dilakukan sistem pengukuran tertutup (*Looping*) pada base station dalam satu kali survey. Pada awal pengukuran diukur nilai gravitasi pada base station dan pada saat akhir survey dilakukan pengukuran ulang di base station. Dari sana dapat dibandingkan antara nilai awal dan nilai akhir. Perbedaan antara nilai awal dan nilai akhir ini disebabkan oleh kesalahan pembacaan gravimeter maka koreksi terhadap alat harus dilakukan. Secara matematis koreksi drift dapat dinyatakan sebagai berikut (Gunawan, 1985):

$$DC_B = \frac{g_A - g_A'}{t_A' - t_A} (t_B - t_A) \quad (2.3)$$

- Dengan
- $DC_B$  = koreksi drift pada stasiun B
  - $g_A$  = harga gravitasi di base stasiun A pada waktu  $t_A$
  - $g_A'$  = harga gravitasi di base stasiun A pada waktu  $t_A'$   
(saat penutupan)
  - $t_A'$  = waktu pengukuran di stasiun A (saat penutupan)
  - $t_A$  = waktu pengukuran di stasiun A (pada pengukuran awal)
  - $t_B$  = waktu pengukuran di stasiun B

## 2.2 Anomali Gravitasi

Distribusi rapat massa yang berbeda akan memberikan nilai medan gravitasi yang berbeda. Arah positif medan gravitasi bumi adalah menuju pusat bumi, jika terdapat anomali benda yang memiliki rapat massa yang sangat berbeda dengan rapat massa di sekitarnya, maka akan terjadi penyimpangan arah medan gravitasi. Resultan dari variasi arah penyimpangan medan gravitasi disebut sebagai anomali gravitasi ( $\Delta g$ ). Anomali gravitasi adalah selisih nilai gravitasi pengamatan dengan gravitasi normal di posisi tersebut di permukaan bumi.

Anomali gravitasi terjadi akibat adanya variasi rapat massa yang berbeda. Dalam microgravity, distribusi anomali gravitasi ini dapat berubah dalam interval waktu tertentu dari perubahan setiap menit sampai periode tahunan. (Hunt, 2000), perubahan distribusi anomali gravitasi sebagai fungsi waktu ini dapat disebabkan oleh:

1. Perubahan massa, misalnya disebabkan adanya eksploitasi baik dari reservoir geothermal maupun minyak dan gas. Sehingga karena ada sebagian massa yang terproduksi keluar, maka massa dalam reservoir tersebut mengalami penurunan.
2. Variasi tingkat kedalaman untuk shallow groundwater, misalkan terjadi penurunan kedalaman muka air tanah.
3. Variasi dalam kelembaban tanah, misalkan disebabkan oleh perubahan tingkat curah hujan, tingkat evaporasi atau tingkat penyerapan air tanah dan tanaman.
4. Perubahan topografi, misalkan pembuatan jalan atau bendungan yang dapat menyebabkan perubahan gravitasi secara signifikan.
5. Penurunan muka tanah atau ground subsidence.
6. Gunung api aktif dapat menyebabkan perubahan anomali gravitasi sampai dengan 400 microgal disebabkan aktifitas magma.
7. Operasi tambang mineral dapat menyebabkan perubahan anomali gravitasi karena ada sebagian besar massa yang hilang karena proses eksploitasi tambang mineral.

Dalam monitoring reservoir geothermal, perubahan nilai medan gravitasi yang ingin diamati adalah karena pengaruh perubahan massa dalam reservoir.



Perubahan nilai medan gravitasi yang ada harus dikoreksi dengan faktor-faktor lain yang mempengaruhi perubahan nilai medan gravitasi, seperti faktor perubahan tingkat kedalaman groundwater, kelembaban tanah, topografi dan penurunan muka tanah.

Perhitungan anomali microgravity antar waktu dilakukan dengan mengurangi nilai gravitasi observasi, anomali Bouguer sederhana ataupun anomali Bouguer lengkap tergantung dari perubahan yang terjadi di daerah tersebut. Anomali Bouguer lengkap merupakan selisih antara nilai gravitasi pengamatan dengan gravitasi teoritik yang didefinisikan pada titik pengamatan bukan pada bidang referensi, baik ellipsoid maupun muka laut rata-rata (Sarkowi, 2007). Anomali Bouguer dinyatakan sebagai:

$$AB = g_{obs} - g_{\phi} - FAC + BC - TC \quad (2.4)$$

$$AB = g_{obs} - g_{\phi} + FAC - BC + TC \quad (2.5)$$

$$AB = g_{obs} - g_{\phi} + (c_1 - c_2)h + c_3 \Delta h \quad (2.6)$$

dengan :

AB : anomali Bouguer lengkap

$g_{obs}$  : Nilai gravitasi observasi

$g_{(\phi)}$  : Nilai gravitasi teoritik pada lintang  $\phi$

$\phi$  : Lintang

FAC : koreksi udara bebas (*free air correction*)

BC : koreksi Bouguer (*Bouguer correction*)

TC : koreksi medan (*terrain correction*)

$c_1$  : konstanta koreksi udara bebas ( $c_1 = 0,308765$  mGal/meter)

$c_2$  : konstanta koreksi Bouguer untuk lempeng terbatas =  $0.04193 \rho$

$c_3$  : konstanta koreksi medan (perubahan koreksi medan akibat perubahan tinggi)

$\rho$  : Rapat massa

h : tinggi (meter)

$\Delta h$  : Beda tinggi titik amat dengan topografi sekelilingnya

Jika anomali microgravity antar waktu merupakan selisih nilai anomali Bouguer lengkap tiap titik pengukuran pada interval waktu tertentu ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ), maka dapat ditulis sebagai:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = AB_{t_2} - AB_{t_1} \quad (2.7)$$

Perubahan rapat massa Bouguer pada persamaan (2.6) akibat pergerakan tanah vertikal biasanya relatif kecil dan dapat dianggap tetap pada dua periode pengukuran, sehingga persamaan (2.7) dapat dituliskan menjadi:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = g_{obs(2)} - g_{obs(1)} + (g_{\phi_2} - g_{\phi_1}) + c_1 - c_2 + c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1) \quad (2.8)$$

dengan :

$\Delta g(x, y, z, \Delta t)$  : anomali microgravity antar waktu

$g_{obs(1)}$  : nilai gravitasi observasi pengukuran ke-1

$g_{obs(2)}$  : nilai gravitasi observasi pengukuran ke-2

$g_{(\phi_1)}$  : nilai gravitasi teori pada lintang  $\phi_1$  pada pengukuran ke-1

$g_{(\phi_2)}$  : nilai gravitasi teori pada lintang  $\phi_1$  pada pengukuran ke-2

$h_1$  : tinggi titik amat pada pengukuran ke-1

$h_2$  : tinggi titik amat pada pengukuran ke-2

$\Delta h_1$  : beda tinggi titik amat dengan topografi sekeliling pengukuran ke-1

$\Delta h_2$  : beda tinggi titik amat dengan topografi sekeliling pengukuran ke-2

Perubahan koreksi medan akibat perubahan tinggi titik amat relatif kecil. Berdasarkan pemodelan matematik (Sarkowi, 2007) menunjukkan bahwa perubahan tinggi titik amat 50 cm menyebabkan perubahan koreksi medan sebesar 3  $\mu\text{Gal}$ , sehingga perubahan koreksi medan akibat perubahan tinggi titik amat dalam orde kecil (beberapa centimeter) dapat diabaikan ( $c_3 \cong 0$ ), maka persamaan (2.8) dapat disederhanakan menjadi :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) \cong g_{obs(2)} - g_{obs(1)} - (g_{\phi_2} - g_{\phi_1}) + (c_1 - c_2)(h_2 - h_1) \quad (2.9)$$

Untuk posisi stasiun titik amat tetap  $\phi_1 \neq \phi_2$ , persamaan (2.9) dapat disederhanakan menjadi :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) \cong g_{obs(2)} - g_{obs(1)} - (c_1 - c_2)(h_2 - h_1) \quad (2.10)$$

$$g_{obs(2)} - g_{obs(1)} \cong \Delta g(x, y, z, \Delta t) - (c_1 - c_2)(h_2 - h_1) \quad (2.11)$$

Kadir (1999) mengungkapkan bahwa untuk benda 3 dimensi dengan distribusi rapat massa  $\rho(x, \beta, \gamma)$ , anomali microgravity antar waktu pada titik  $P(x, y, z)$  pada permukaan diberikan oleh:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) \cong G \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta \rho(x, \beta, \gamma, \Delta t) (x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2}{[x^2 + y^2 + z^2 + \alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (2.12)$$

dengan:

$\Delta g(x, y, z, \Delta t)$  : anomali mikrogravity antar waktu

$G$  : konstanta nilai gravitasi umum =  $6,67 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{kg}.\text{sec}^2$

$\Delta \rho$  : kontras rapat-massa

$\alpha, \beta, \gamma$  : koordinat rapat-massa

$x, y, z$  : koordinat stasiun

$\Delta t$  : selang waktu pengukuran

Dari persamaan 2.12 dan 2.13 diperoleh:

$$g_{obs,2} - g_{obs,1} = G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t) \cos\alpha \cos\beta \cos\gamma}{\left[ \cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma \right]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma - \left( \frac{c}{1} - \frac{c}{2} \right) \left( \frac{h}{2} - \frac{h}{1} \right) \quad (2.13)$$

Persamaan 2.13 menunjukkan bahwa selisih nilai gravitasi hasil pengukuran  $g_{obs,2} - g_{obs,1}$  disebabkan oleh perubahan rapat-massa bawah permukaan akibat dinamika fluida bawah permukaan dan perubahan ketinggian titik amat akibat pergerakan tanah vertikal. Dan jika perubahan ketinggian titik amat ( $h_2 - h_1$ ) akibat pergerakan tanah vertikal terukur, maka selisih gravitasi hasil pengukuran merupakan perubahan rapat-massa bawah permukaan saja.

Efek gravitasi akibat perubahan massa (rapat-massa) pada reservoir panasbumi didapatkan dengan mengoreksikannya dengan efek gravitasi akibat perubahan muka airtanah dan pergerakan tanah vertikal. Dengan ketentuan, penurunan nilai gravitasi (-) berkenaan dengan pengurangan massa (*discharge*) dan penurunan muka airtanah (*groundwater level lowering*) dan kenaikan nilai gravitasi (+) berkenaan dengan penambahan massa (*recharge*) dan kenaikan muka airtanah (*groundwater level upheaval*). Penurunan nilai gravitasi (-) berkenaan dengan penurunan muka tanah (*subsidence*) dan kenaikan nilai gravitasi (+) berkenaan dengan kenaikan muka tanah (*inflation*).

Koreksi gravitasi akibat pergerakan tanah vertikal (perubahan elevasi) titik amat dihitung dengan menggunakan gradien vertikal gravitasi normal, dengan persamaan sebagai berikut:

$$g_{\varphi,h} = g_\varphi + \frac{\partial g_\varphi}{\partial h} h \quad (2.14)$$

dimana:

$$g_\varphi = g_e \left[ 1 + \left( \frac{5}{2} m - f - \frac{17}{14} mf \right) \sin^2 \varphi + \left( \frac{f^2}{8} - \frac{5}{8} mf \right) \sin^2 2\varphi \right] \quad (2.15)$$

adalah nilai gravitasi normal suatu titik di permukaan bumi yang terletak pada lintang  $\varphi$  dan elevasi  $h$  dari elipsoid.

Sehingga didapatkan:

$$\frac{\partial g_{\varphi}}{\partial h} = -\frac{\partial g_{\varphi}}{a} \left( f + m - 2f \sin^2 \varphi \right) \quad (2.16)$$

Untuk  $\varphi = 7.5^0$ , nilai gradien vertikal adalah:

$$\frac{\partial g_{\varphi}}{\partial h} = -0.308765 \text{ mGal/m} \approx 3 \text{ } \mu\text{Gal/cm} \quad (2.17)$$

dengan:

$g_{\varphi}$  : nilai gravitasi normal pada lintang  $\varphi$  dan elevasi 0 dari elipsoid

$g_{\varphi, h}$  : nilai gravitasi normal pada lintang  $\varphi$  dan elevasi  $h$  dari elipsoid

$\frac{\partial g_{\varphi}}{\partial h}$  : gradien vertikal nilai gravitasi normal suatu titik di permukaan bumi yang terletak pada lintang  $\varphi$

$\Phi$  : Lintang

$H$  : elevasi dari elipsoid

$F$  : koefisien pemipihan bumi  $\left( \frac{a-b}{a} \right)$

$a, b$  : radius terpanjang dan terpendek elipsoid bumi

$M$  : konstanta Clairut  $\left( \frac{\omega^2 a^3}{GM} \right)$

$\Omega$  : kecepatan sudut bumi

$G$  : konstanta gayaberat ( $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ sec}^{-2}$ )

$M$  : massa bumi

### 2.3. Data Geologi

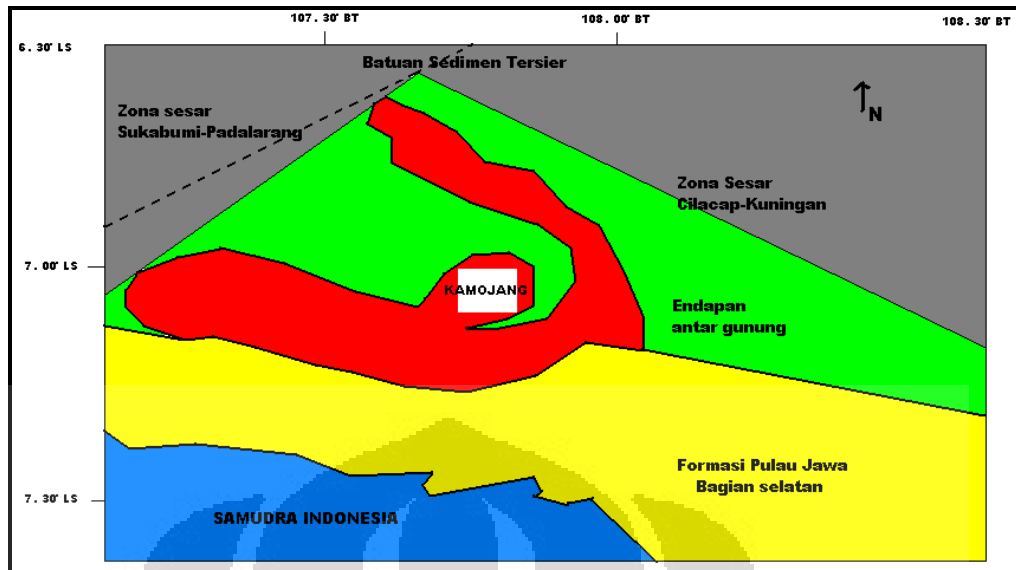
Daerah geothermal Kamojang dengan panjang 15 km dan lebar 4,5 km terletak di rantai vulkanik Rakutak-Guntur. Daerah geothermal Kamojang terdapat di terusan timur-barat Gunung Rakutak-Guntur dengan ketinggian 1500 mdpl. Sistem ini berhubungan dengan produk vulkanik kuarternary 400.000 tahun dari pusat vulkanik Pangkalan dan Gandapura dan merupakan penurunan yang dibentuk oleh lingkaran kaldera Pangkalan bagian timur laut-barat daya di dalam graben patahan Kendeng bagian barat dan patahan Citepus bagian timur. Arah letusan yang terjadi secara berkala mengarah dari barat laut ke arah tenggara.

Gunung Rakutak adalah yang tertua dan Gunung Guntur adalah gunung yang termuda. Kamojang terdiri dari tujuh bagian litologi, dari urutan yang tertua adalah G. Cibautipis (lava andesit hornblende), G. Pangkalan (tufa dan lava larbadorit), G. Gandapura (tufa dan lava andesit pyroxene), G. Kancing (deposit pyroclastic dan lava basalt andesit), G. Guntur (lava pyroxene andesite). Endapan sedimen vulkanik yang terdiri dari colluvial, endapan alluvial dan reruntuhan batu vulkanik terdapat di daerah Danau Pangkalan (Tim Pokja Kamojang, 1995).

Berdasarkan dari *core* dan *cutting workers* (Browne, 1975) litologi batuan Kamojang adalah debu andesit, lava andesit, breccia andesit dan tufa andesit dari 6 sumur yang di teliti (KMJ-7 hingga KMJ-59) berlokasi di penurunan Danau Pangkalan dan (CHR-1) berlokasi di luar penurunan. Kedua daerah tersebut dipisahkan oleh dua struktur, yaitu tepi Pangkalan dan patahan Ciharus.

Secara regional panasbumi kamojang termasuk jalur vulkanik kuarter aktif (Gambar 2.2) (Katili, 1984) yang dibatasi oleh:

- Di sebelah selatan dibatasi oleh Pegunungan Selatan Pulau Jawa
- Di utara dibatasi oleh Zona sesar Cilacap – Kuningan
- Di sebelah barat dibatasi oleh Zona sesar Sukabumi – Padalarang



Gambar 2.2 Peta jalur vulkanik Jawa Barat (Katili, 1984)

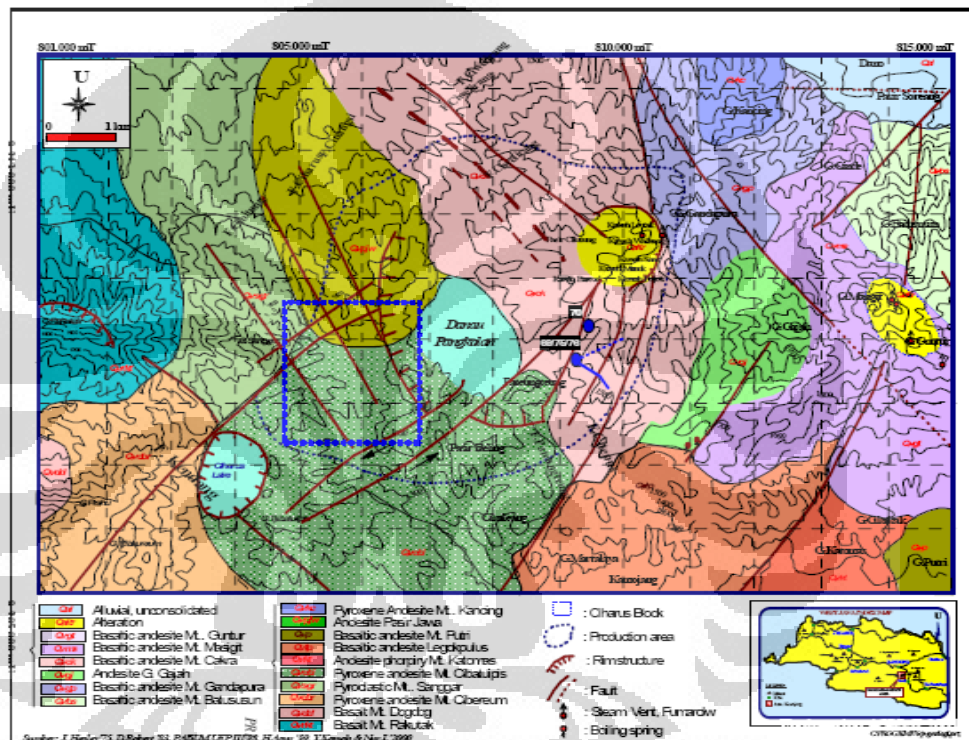
Berdasarkan peta geologi, daerah Lapangan Geothermal Kamojang terdiri dari batuan vulkanik tua, batuan vulkanik sedang dan endapan sedimen vulkanik yang berumur Pleistosen – Holosen. Kelurusan Struktur sesarnya berarah utara – selatan, barat daya – timur laut dan barat laut – tenggara (Alzwar, 1992).

Lapangan geothermal kamojang berada pada jalur vulkanik kuartar aktif dengan permeabilitas rekahan yang dibentuk oleh struktur horst dan graben yang memotong runtuhnya vulkanik (Sudarman dkk, 2000). Secara umum daerah geothermal Kamojang berada pada depresi dangkal, bekas kaldera atau terbentuk dari beberapa kaldera dan ditempati oleh batuan basalt, andesit, batuan alterasi dan alluvium (Taverne, 1926).

Tiga sesar utama di daerah lapangan Kamojang (Gambar 2.3) berdasarkan peta geologi adalah:

- Sesar Kendang, merupakan sesar terpanjang yang membentang dari arah barat daya ke timur laut sejauh kurang lebih 15 km dari pertemuannya dengan Gunung Kendang. Sesar ini diperkirakan mengikuti gugusan vulkanik pada arah tenggara. Gugusan ini diperkirakan memberikan kontrol terhadap keberadaan lapangan geothermal kamojang.

- Sesar kancing, diperkirakan merupakan kelanjutan sesar yang bergerak sepanjang celah Citepus, terletak sejauh kurang lebih 1 km dari Gunung Gandapura. Di sebelah sesar ini merupakan batas timur dari kawasan kawah Kamojang
- Sesar Masigit, terletak sekitar 5 km di sebelah timur lapangan geothermal Kamojang, terletak di Utara dari kelurusan vulkanik Gunung Malang, Gunung Batususu, Gunung Masigit dan berakhir di selatan Gunung Putri.



Gambar 2.3. Peta geologi lapangan geothermal Kamojang (Kamah, 2000)

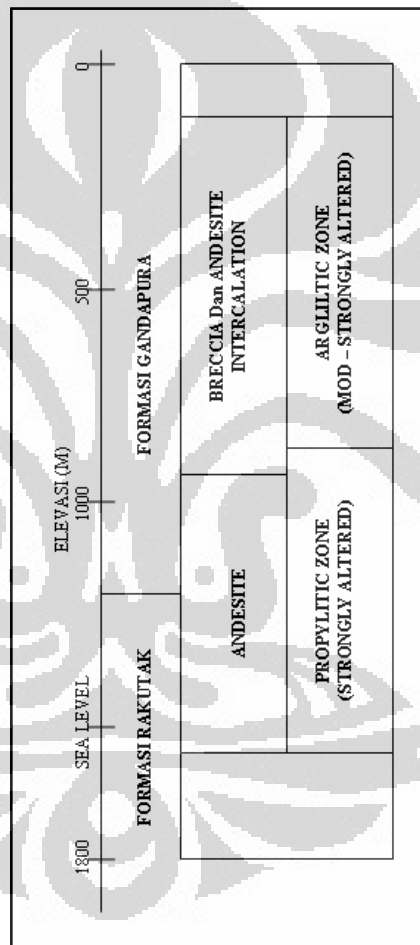
#### 2.4. Model Geologi Lapangan Panasbumi Kamojang

Informasi bawah permukaan yang diperoleh dari sumur di lapangan geothermal Kamojang secara Umum komposisi batuanannya adalah komposisi andesite dengan alterasi hidrothermal. Menurut Supriyatna (2004), stratigrafi bawah permukaan di lapangan Kamojang secara umum dari permukaan paling atas ke bawah adalah:

- Pasir vulkanik tak teralterasi dan endapan danau



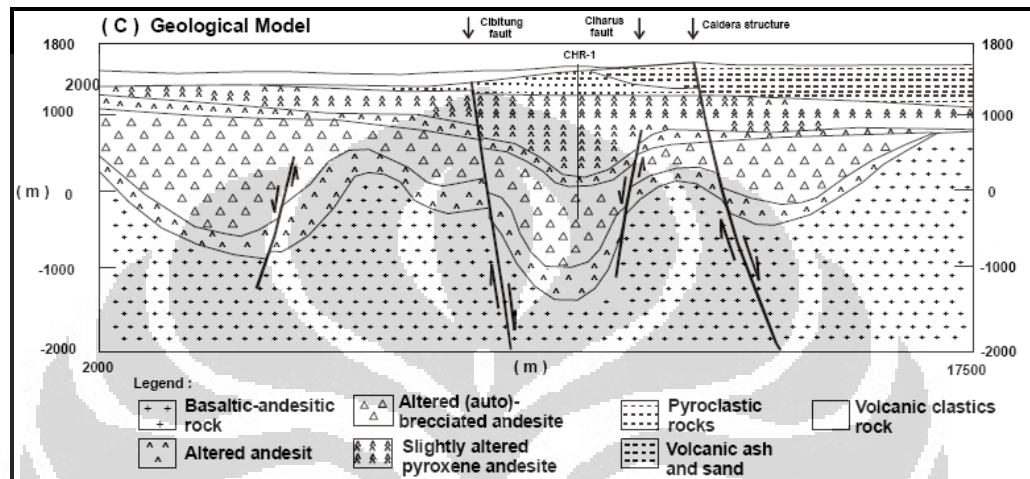
- Andesite- pyroxene tak teralterasi atau alterasi lemah, dengan rapat massa antara 2.628 gr/cc – 2.676 gr/cc
- Lava andesit teralterasi kuat, tuff lapili andesite, tuff andesite teralterasi lemah hingga moderat dan breksi andesit, dengan rapat massa antara 2.605 gr/cc – 2.649 gr/cc
- Andesit basaltik yang teralterasi sangat lemah, dengan rapat massa antara 2.520 gr/cc – 2.649 gr/cc



Gambar 2.4 Perlapisan batuan dari satu sumur KMJ-63 di lapangan Kamojang (Sudarman dkk, 2000)

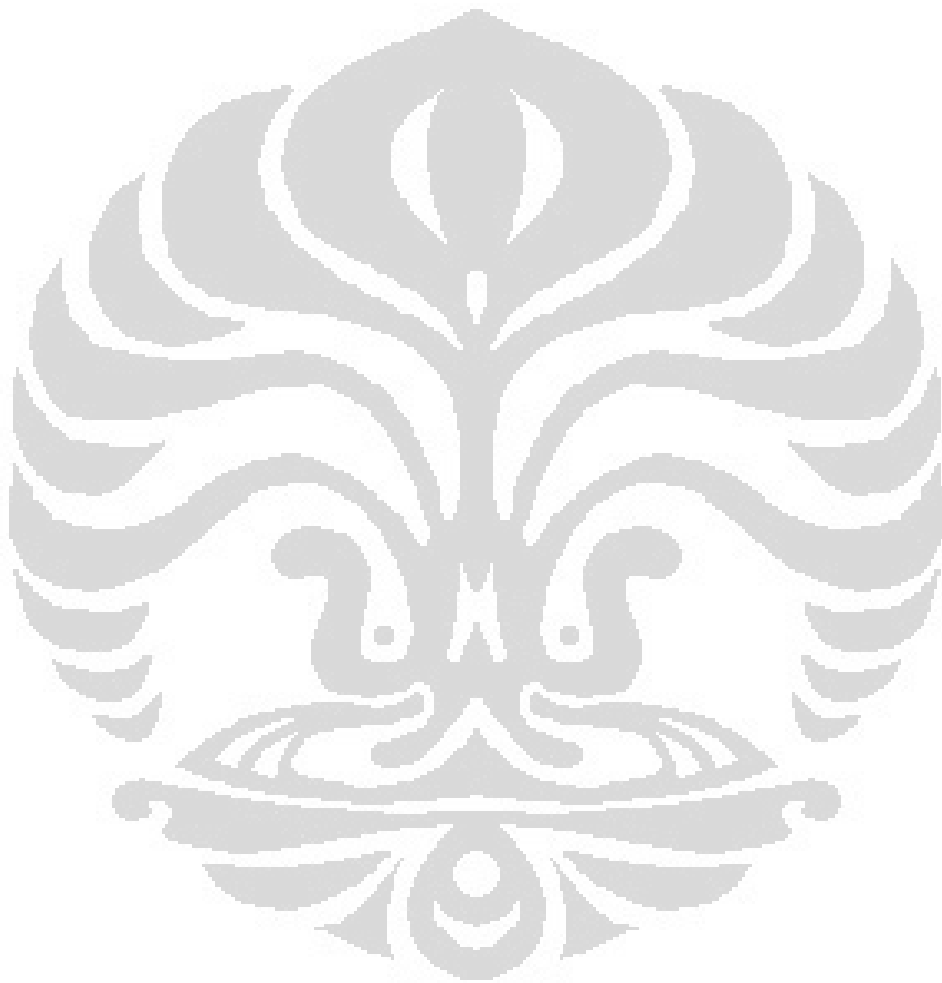
Berdasarkan data-data sumur di lapangan panasbumi Kamojang, reservoir panas bumi berada pada kedalaman antara 600 – 2000 m dengan ketebalan batuan penutup umumnya sekitar 500 – 600 m dan menipis ke arah barat laut menjadi 200 – 300 m (Gambar 2.5). Permeabilitas reservoirnya terjadi akibat adanya

rekahan vertikal dan horizontal. Rekahan vertikal diakibatkan oleh dua sesar utama yaitu sesar Kendang dan Citepus. Lapangan panasbumi Kamojang mempunyai sistem reservoir panasbumi dominasi uap. Sumber panasnya berpusat di daerah Danau Pangkalan yang bersumber dari sumbu magnetik tua arah barat daya – timur laut (Nuraeni, 2004).



Gambar. 2.5 Model geologi lapangan panasbumi Kamojang (Sumintadireja dkk, 2000)

**BAB III**



## **BAB III**

### **DATA MONITORING MEDAN GRAVITASI DAERAH GEOTHERMAL KAMOJANG**

Untuk mengestimasi distribusi kontras rapat massa yang digambarkan oleh perubahan medan gaya berat pada suatu reservoir, diambil studi kasus di daerah Kamojang Garut dengan menggunakan metoda microgravity. Data lapangan yang digunakan untuk penelitian ini adalah data microgravity di titik-titik koordinat posisi yang sama dan diukur dalam waktu yang berbeda.

Dalam studi kasus mikrogravity ini menggunakan data hasil monitoring medan gravitasi presisi tahun 1984 dan 2008, dimana pembahasan proses perolehan data anomali medan gravitasi akan dibahas pada Bab ini.

#### **3.1 Data Monitoring**

Di lapangan produksi geothermal Kamojang, telah dilakukan beberapa kali survei gayaberat, dimulai pada tahun 1984 oleh PT. Alico, kemudian dilanjutkan oleh Dinas Eksplorasi Pertamina pada tahun 1986, 1988, 1992, 1997, 1999, 2005 dan terakhir pada tahun 2008. jumlah titik amat (Bench Mark) untuk pengukuran gravitasi presisi telah mengalami pengurangan akibat faktor hilang dan rusak. Dari jumlah 110 BM yang di buat oleh PT. Alico pada tahun 1984

Pengukuran pada tahun 1984 dilakukan pada bulan Mei yang berasosiasi dengan musim kering (Silitonga, 1999) dan pada tahun 2008 pengukuran dilakukan pada bulan Agustus yang berasosiasi dengan musim kering pula. Dengan asumsi bahwa kedua pengukuran dilakukan pada musim kering dan curah hujan yang relatif tidak jauh berbeda akan mengurangi faktor koreksi perubahan microgravity yang disebabkan oleh muka airtanah, meskipun dalam kurun waktu 25 tahun pola curah hujan relatif berbeda.

##### **3.1.1 Metode Pengukuran**

Didalam pengukuran mikrogravity, untuk memperoleh kualitas data lapangan yang baik, maka pelaksanaan pengukuran dilakukan beberapa tahapan

dan pada pelaksanaan survei medan gravitasi presisi dilakukan 3 kelompok pengukuran penting yang dalam hal ini berkaitan dengan keperluan untuk mengestimasi perubahan medan gravitasi.

### **3.1.1.1 Pengukuran posisi koordinat atau Bench Mark (BM)**

Fisik dari BM adalah benda berbentuk persegi empat yang dibuat di lapangan dan berfungsi untuk mengukur medan dan elevasi. Bench Mark mempunyai spesifikasi (40x40x150) cm dan 110 cm ketinggiannya dari tanah, posisi bidang atas BM harus rata dan sesuai dengan kontrol *water pass*. Kedudukan BM harus kokoh dan kuat pada posisi tetap sehingga koordinatnya senantiasa tidak berubah, karena BM merupakan titik acuan saat pengambilan data microgravity selanjutnya.

### **3.1.1.2 Pengukuran Elevasi dari Bench Mark**

Faktor elevasi sangat memegang peranan penting di dalam penelitian atau pengamatan medan gravitasi. Elevasi memiliki hubungan dengan proses perubahan massa yang akan terjadi di dalam kulit bumi dan termasuk di dalamnya adalah aktifitas pemanfaatan energi panas bumi. Perubahan elevasi dari BM sangat mempengaruhi perubahan nilai medan gravitasi.

Pengukuran elevasi terhadap masing-masing BM dilakukan dengan menggunakan peralatan theodolite jenis *Water Pass NAK 2 Universal automatic level*. Prinsip pengukuran yang dilakukan adalah dengan metode *double stand* (Kamah, 2000) dan untuk mengurangi penyimpangan dari hasil pendataan, digunakan lintasan poligon terbuka, sistem ini hanya menggunakan satu titik amat yang sudah diketahui harganya, yang dijadikan sebagai basis awal perhitungan. Akan tetapi walaupun tanpa titik kontrol, dengan menggunakan metode pengukuran pergi dan pulang “*Double Stand*”, maka kemungkinan untuk mendapatkan kesalahan menjadi sangat kecil. Akurasi peralatan survei topografi jenis *Water Pass NAK*, di uji dengan melakukan pengukuran pada dua titik yang mempunyai jarak minimal 35 mm.

### 3.1.1.3 Pengukuran Microgravity

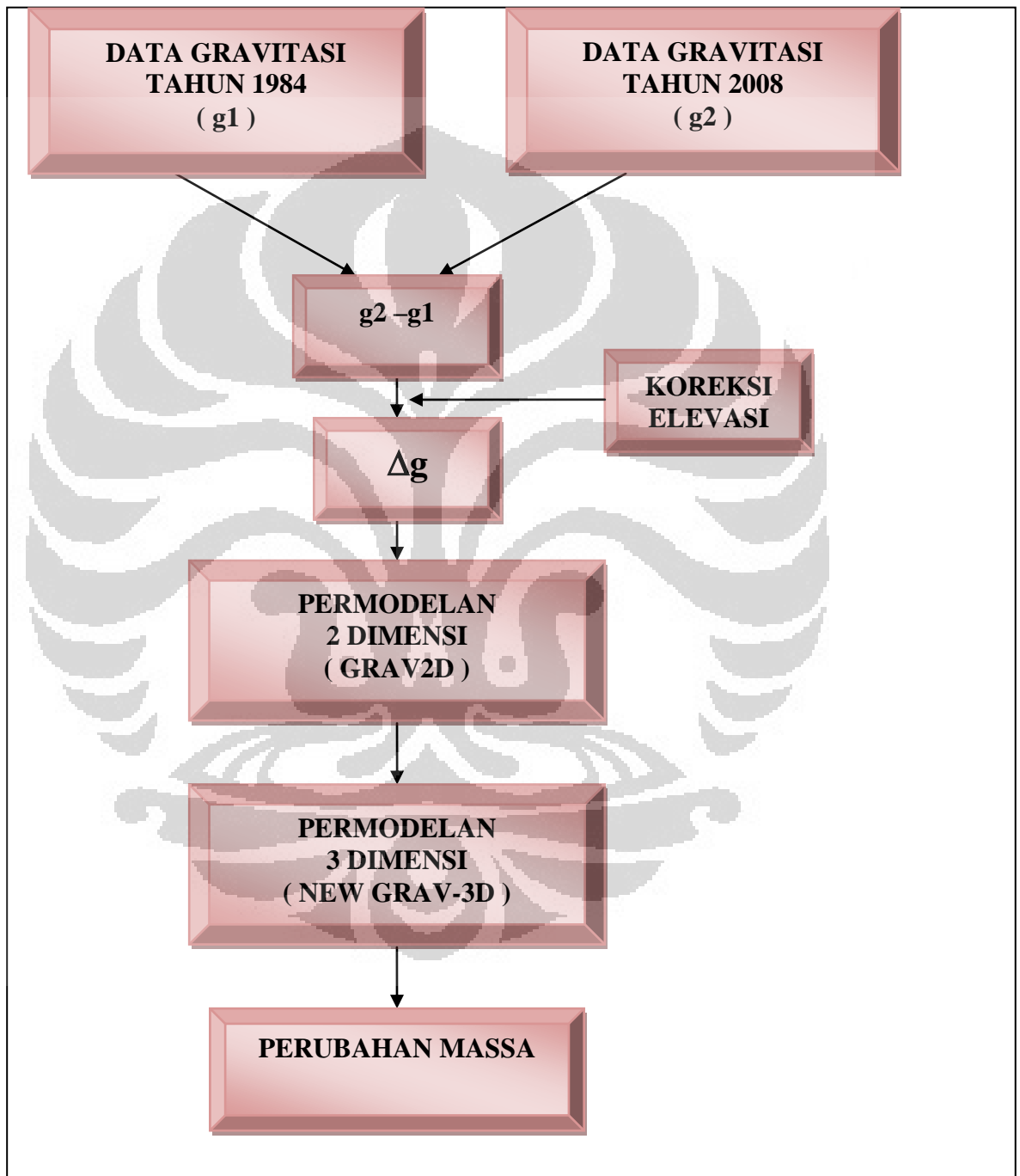
Alat yang digunakan untuk mengukur nilai microgravity pada tahun 1984 adalah gravimeter Lacoste & Romberg type G, sedangkan pada tahun 2008 adalah gravimeter Scintrex type CG-3. Pendataan microgravity ini dilakukan dengan metoda yang berpatokan pada poligon tertutup yakni, pengikatan pada titik BM yang dianggap tetap dan berada di luar daerah produksi. Pengukuran microgravity berupa nilai observasi ini kemudian harus dikoreksi untuk dibandingkan dengan nilai microgravity pada periode yang berbeda.

### 3.2 Pengolahan Data

Proses pengolahan data dilakukan untuk mengetahui estimasi distribusi perubahan nilai microgravity. Pengolahan data dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi beberapa bagian:

1. Memastikan dan memeriksa nilai microgravity masing-masing yang telah dikoreksi pada tahun 1984 dan 2008 di titik amat yang sama dan memiliki nilai elevasi masing-masing. Setelah dilakukan pemeriksaan hanya terdapat 28 titik amat yang mempunyai nilai medan gravitasi dan nilai elevasi. Dapat dilihat di lampiran 1.
2. Melakukan perhitungan besar perubahan nilai gravitasi antara tahun 1984 dan 2008. Perubahan nilai medan gravitasi ini kemudian dikoreksi oleh adanya perubahan elevasi tiap titik amat dengan menggunakan persamaan 2.3 dengan asumsi diawal bahwa pengukuran untuk kedua waktu dilakukan pada musim kering maka asumsi faktor koreksi perubahan ketinggian water level dapat diabaikan.
3. Melakukan looping dan konturing data perubahan nilai medan gravitasi. Program yang membantu proses ini adalah software Surfer-8 dengan menggunakan metode Krigging sehingga metode hasil distribusi estimasi nilai perubahan nilai medan gravitasi akan lebih mudah dianalisis.
4. Membuat model bawah permukaan 2 dimensi menggunakan program GRAV2D dengan terlebih dahulu membuat irisan pada daerah konsentrasi massa positif dan negatif.

5. Membuat model benda anomali 3 dimensi menggunakan program NEW GRAV-3D.
6. Menghitung volume benda anomali untuk mengetahui estimasi perubahan massa yang terjadi.



Gambar 3.1 Diagram alur pengolahan data microgravity

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN INTERPRETASI**

#### **4.1 Analisis dan Interpretasi**

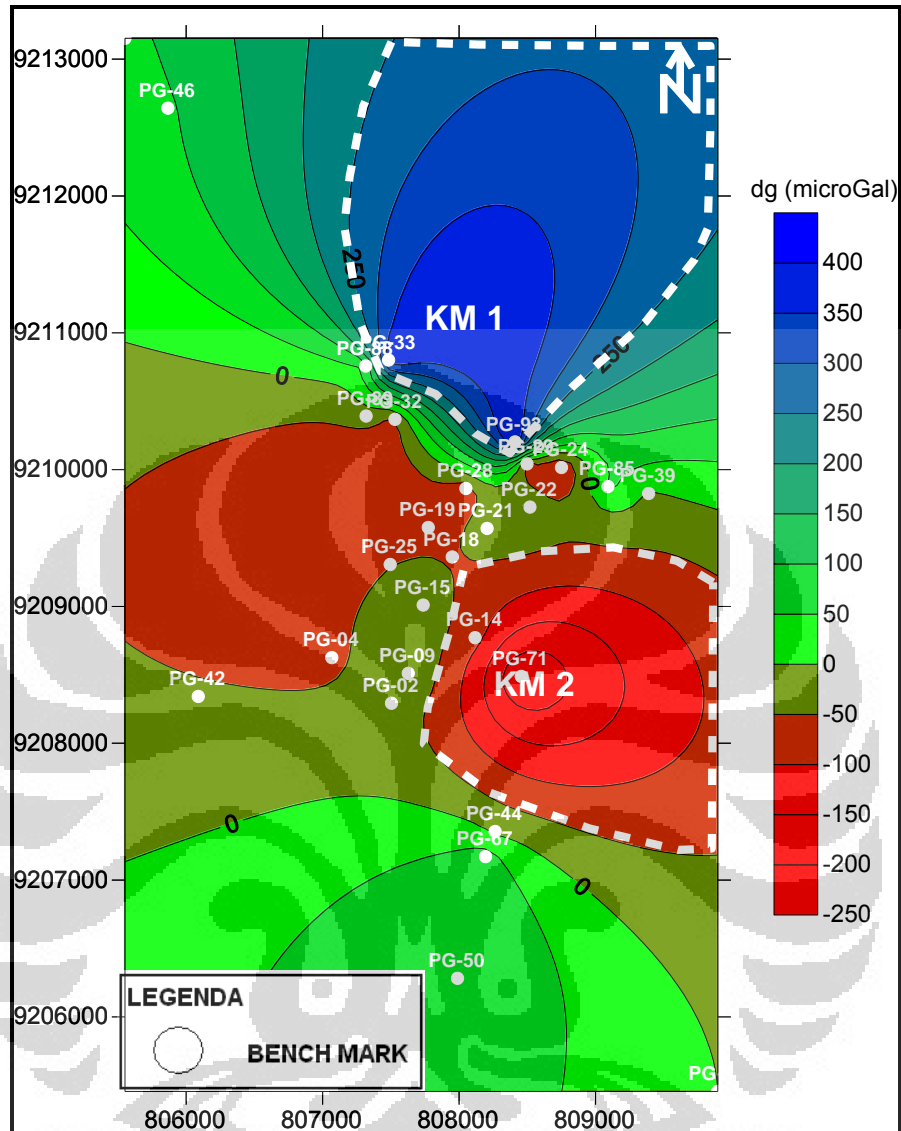
##### **4.1.1 Perubahan Medan Gravitasi**

Hasil pengolahan data microgravity dari 28 Bench Mark yang ada menunjukkan variasi perubahan nilai medan gravitasi positif dan negatif yang persebarannya terkonsentrasi di beberapa daerah. Nilai perubahan ( $\Delta g$ ) bervariasi dari -254.671 microgal hingga 414.560 microgal. Persebaran nilai medan gravitasi yang positif terdapat di daerah utara dengan konsentrasi di titik PG 33 dan PG 93 pada koordinat UTM sekitar (808500 m, 9210000 m) dan (807000 m, 9211000 m) lihat gambar 4.1.

Nilai perubahan medan gravitasi positif yang terjadi dapat diinterpretasikan sebagai perubahan densitas positif pula pada daerah tersebut, perubahan densitas positif ini pertama dapat diartikan sebagai tempat fluida berkumpul sehingga penambahan massa fluida di daerah tersebut terakumulasi tinggi, hal ini dapat diperkirakan dengan dekatnya keberadaan sumur injeksi KMJ-55, KMJ-13 dan KMJ-47 untuk daerah utara. Interpretasi yang kedua, perubahan densitas positif jika dikorelasikan dengan persamaan 2.1 maka besaran massa ( $M$ ) dapat dijabarkan lagi menjadi besaran densitas ( $\rho$ ) dan volume ( $V$ ). Besaran volume sendiri dapat dijabarkan dengan besaran luas permukaan ( $A$ ) dan ketebalan ( $h$ ). Maka nilai densitas akan berbanding lurus dengan besaran ( $A$ ) dan ( $h$ ), jika dengan asumsi bahwa luasan daerah ( $A$ ) reservoir di dalam tidak berubah selama masa produksi, maka perubahan densitas positif yang terjadi dapat diakibatkan nilai ( $\Delta h$ ) yang positif.

Nilai ini dapat diartikan terjadi kemungkinan pemampatan ataupun kompaksi pada lapisan reservoir yang mengakibatkan porositas batuan reservoir mengecil akibat tekanan dari lapisan batuan di atasnya akibat dari pengurangan massa dalam jumlah yang banyak. Analisa ini perlu dibuktikan dengan data lain dikarenakan porositas batuan di dalam reservoir bernilai rata-rata sebesar 7 %, sehingga untuk terjadinya pemampatan kecil kemungkinannya.





Gambar. 4.1 Peta distribusi perubahan nilai microgravity periode 1984 – 2008

Nilai perubahan medan gravitasi positif juga dapat dilihat pada daerah timur laut di titik PG-39 dan PG-85. Hal ini dapat diinterpretasikan sebagai perubahan densitas positif akibat fluida yang mengalir pada daerah tersebut sebagai *natural discharge* dengan manifestasi permukaan berupa kawasan kawah, pada sistem geothermal disebut daerah upflow.

Persebaran nilai medan gravitasi yang negatif terdapat di daerah timur dengan konsentrasi di titik PG-71 dengan koordinat UTM (808500 m, 9208500 m) dan di daerah barat di titik PG-04 dan PG-42. Perubahan nilai medan

gravitasi negatif ini pertama dianalisis akibat kegiatan produksi. Kawasan barat merupakan sumur produksi utama yang menyuplai unit pembangkit I,II, dan III (140MW). Sedangkan kawasan timur adalah daerah utama menyuplai unit pembangkit IV (60MW), sehingga mengakibatkan berkurangnya massa fluida. Analisis kedua akibat mengalirnya massa fluida ke tempat lain dikarena fluida dari sumur injeksi yang kurang tepat sasaran

#### 4.1.2 Permodelan Benda Anomali

Proses permodelan pertama yang dilakukan adalah model benda 2 dimensi dengan metode menentukan lintasan-lintasan daerah yang ingin bawah permukaannya dimodelkan berdasarkan anomali medan gravitasi yang cenderung positif di daerah utara disebut Konsentrasi Massa 1 (KM 1) atau yang cenderung negatif dari daerah tenggara yang disebut Konsentrasi Massa 2 (KM 2). Selanjutnya dengan menggunakan bantuan program Surfer8 membuat *digitize* untuk memperoleh data posisi, nilai gravitasi dan elevasi dari lintasan-lintasan tersebut. Kemudian dengan bantuan program Grav2D pembuatan model *forward modeling* ini menggunakan asumsi bahwa nilai anomali yang terukur dipengaruhi oleh benda yang mempunyai densitas yang relatif sama di bawah permukaan.

Penentuan untuk nilai densitas dari benda tersebut, maka perlu diasumsikan juga bahwa perubahan nilai medan gravitasi antarwaktu yang terjadi tidak disebabkan oleh perubahan litologi batuan melainkan akibat perubahan massa fluida pengisi porositas batuan tersebut. Massa fluida yang berubah di bawah permukaan didominasi oleh uap dan air, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui densitas rata-rata uap dan air di reservoir.

Berdasarkan data dan dengan menggunakan persamaan (Sumardi, 2005) didapatkan bahwa

$$\rho_{\text{rata-rata}} = (\rho_{\text{air}} \times S_{\text{air}}) + (\rho_{\text{uap}} \times S_{\text{uap}})$$

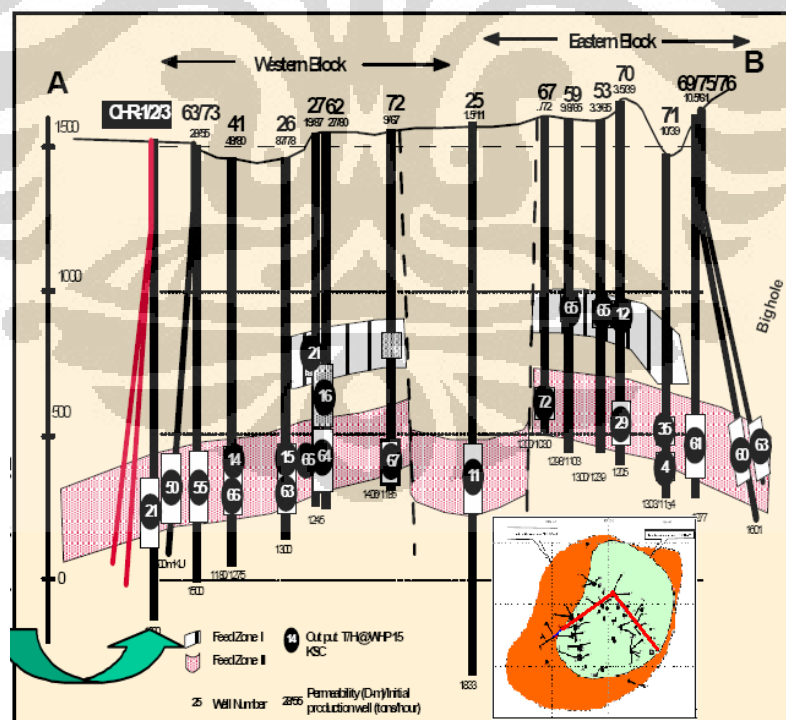
Dengan

$$\Delta\rho = \rho_{\text{rata-rata}} \times \text{porositas} (\phi)$$

$\rho_{\text{air}}$  pada temperatur  $240^{\circ}\text{C}$  sebesar  $0.81 \text{ gr/cm}^3$ ,  $\rho_{\text{uap}}$  pada temperatur  $240^{\circ}\text{C}$  sebesar  $0.017 \text{ gr/cm}^3$ . Saturasi air ( $S_{\text{air}}$ ) di reservoir sebesar 0.30 dan Saturasi uap

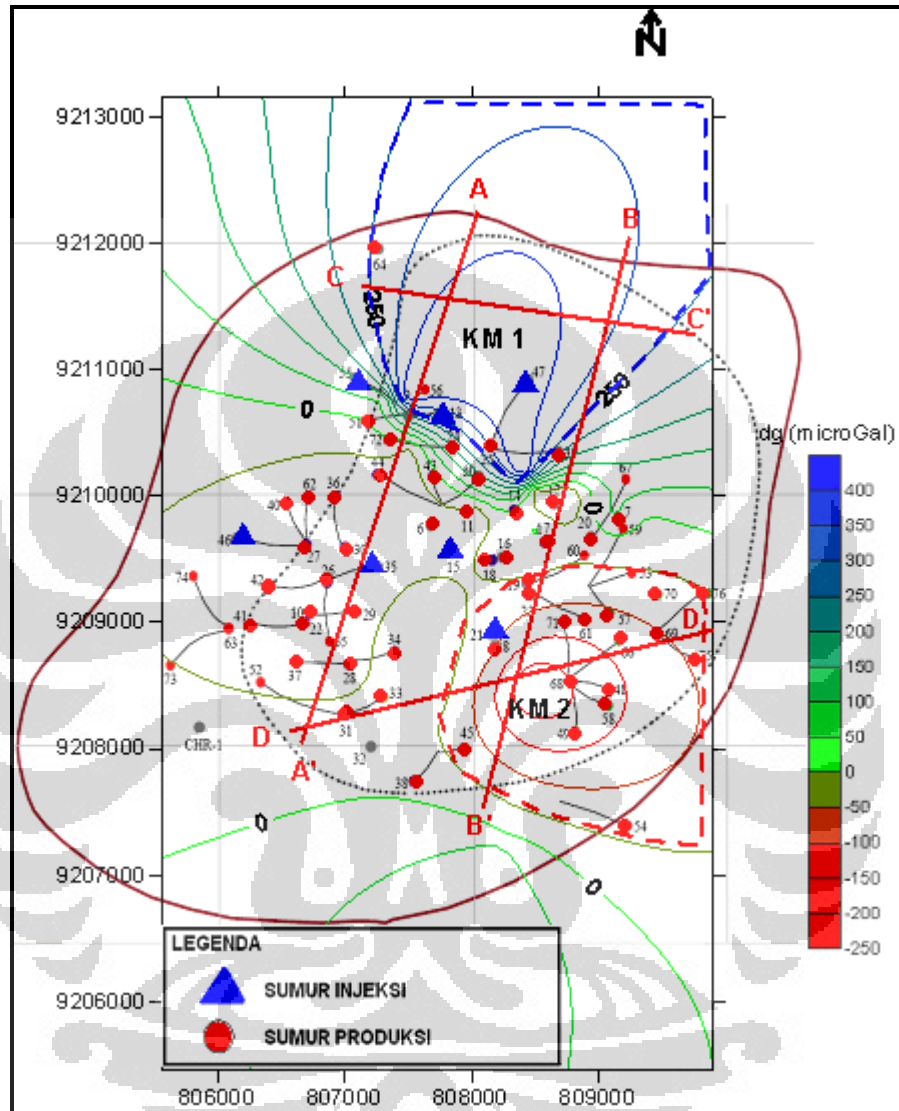
( $S_{uap}$ ) sebesar 0.70 maka  $\rho_{rata-rata}$  uap dan air kurang lebih sebesar  $0.25 \text{ gr/cm}^3$ , dengan nilai rata-rata porositas batuan 7%, maka  $\Delta\rho$  adalah  $0.018 \text{ gr/cm}^3$ .

Selain nilai densitas parameter dalam program Grav2D, juga terdapat parameter kedalaman, sehingga batasan bentuk benda yang dibuat juga perlu ditentukan kedalaman berdasarkan daerah yang utama terjadinya perubahan massa. Sebagai data penunjang untuk membuat model, Secara umum berdasarkan hasil evaluasi data sumur daerah reservoir panasbumi Kamojang mempunyai ketebalan lapisan *cap rock* yang didominasi oleh batuan vulkanik alterasi prophyolitik pada kedalaman 500 – 1000 m dengan semakin ke utara dan timur ketebalannya hanya pada kedalaman 200 – 300 m. Reservoir terdapat pada kisaran kedalaman 600 – 2000 m. Berdasarkan penggunaan metode Spinner pada 16 sumur didapatkan hasil bahwa reservoir kamojang terdiri dari dua *Feed Zones* (FZ) utama (Kamah, 2005). Daerah FZ 1 berada pada ketinggian 700-800 mdpl dan FZ 2 pada ketinggian 100 - 600 mdpl (gambar 4.2). Feed Zone merupakan daerah utama pengambilan massa uap, sehingga perubahan massa sangat dominan terdapat di daerah tersebut.



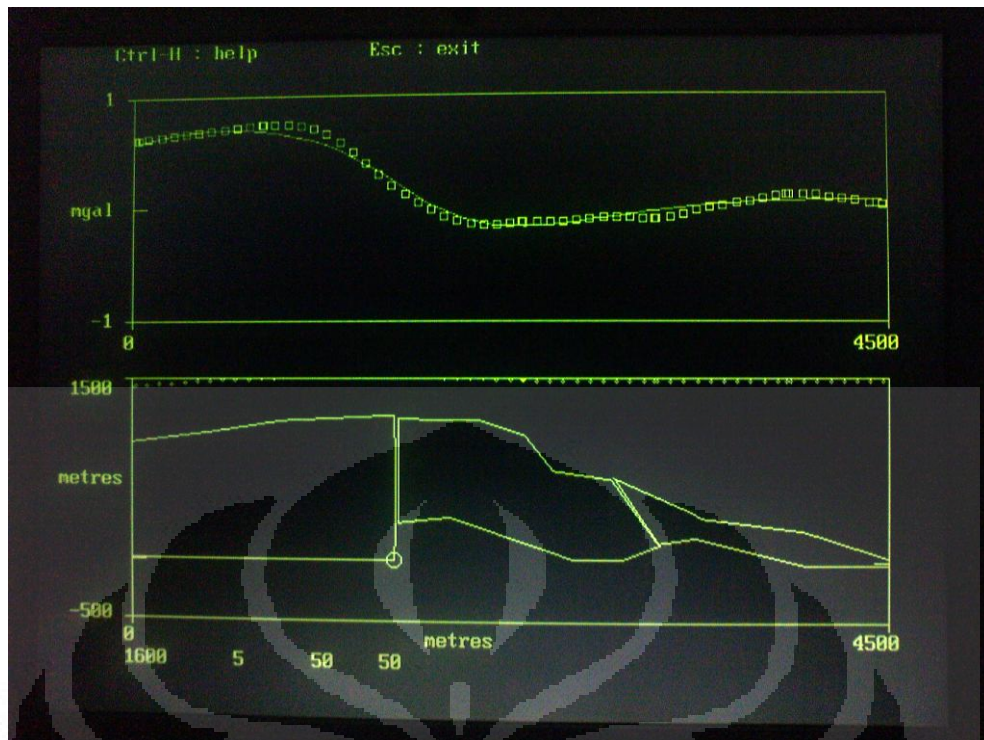
Gambar 4.2 Peta kedalaman Feed Zone 1 dan 2 (Kamah dkk, 2005)

Berdasarkan data pendukung tersebut maka dibuat empat lintasan yaitu A, B, C dan D untuk memperoleh bentuk irisan model benda 2-dimensi di KM 1 dan KM 2 (gambar 4.3).



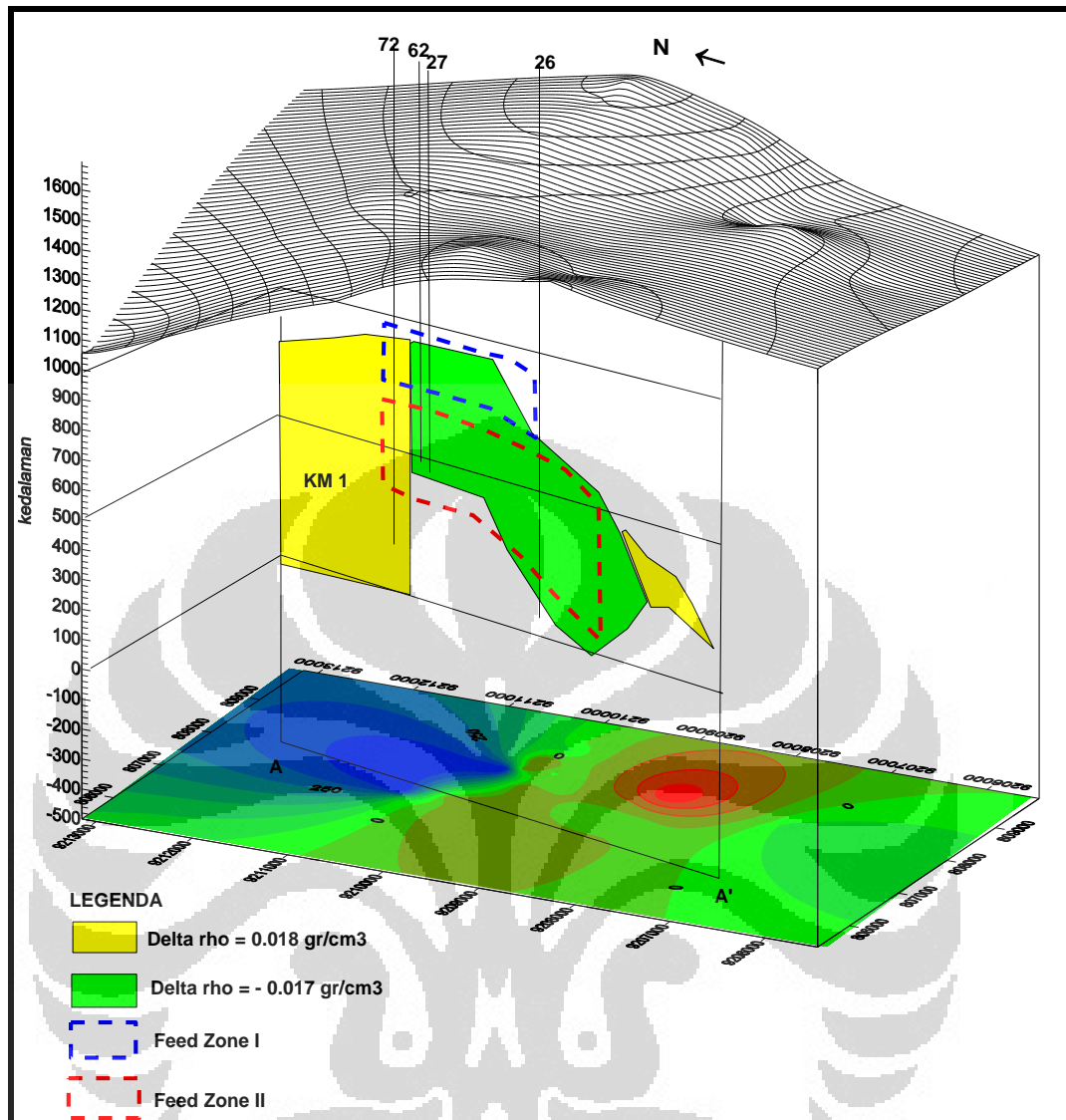
Gambar. 4.3 Lintasan-lintasan untuk membuat model benda 2 dimensi (Rekonstruksi dari Suryadarma, 2005)

Pembuatan model berdasarkan parameter perubahan nilai medan gravitasi dan kedalaman pada program Grav2D untuk lintasan A-A' didapat hasil sebagai berikut (Gambar 4.4).



Gambar 4.4 Pemodelan lintasan A-A' daerah Kamojang

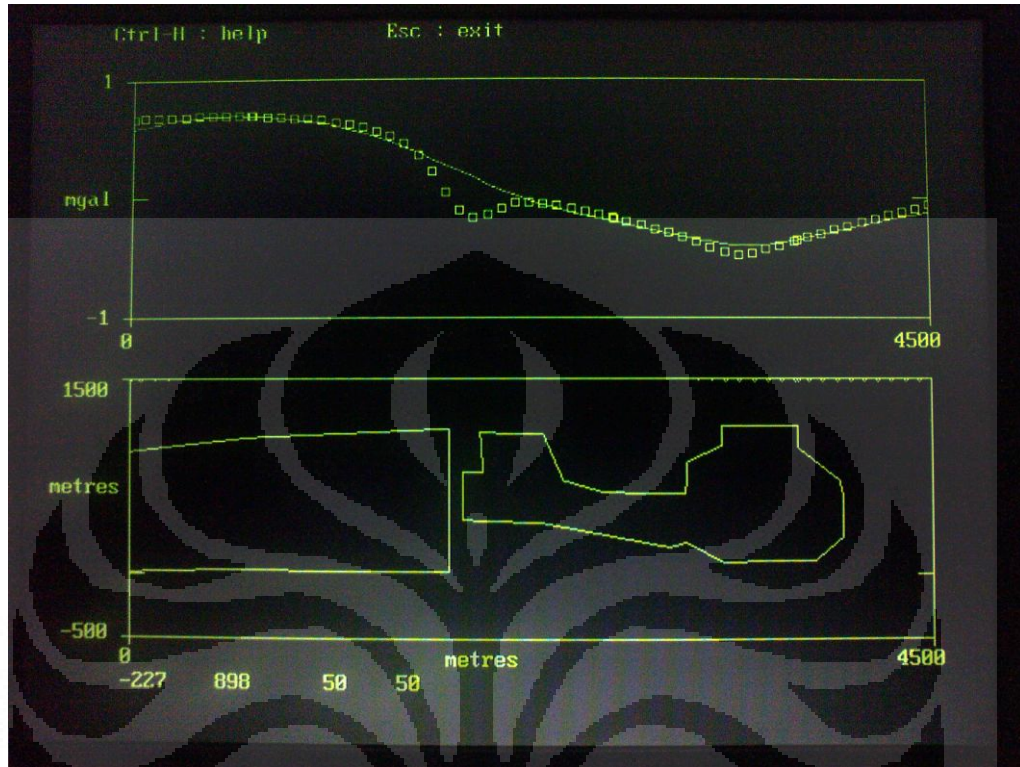
Dari model 2-Dimensi (Gambar 4.4) terlihat terdapat tiga benda anomali. Kurva gravitasi positif dipengaruhi oleh dua benda dengan nilai densitas positif yang sama dan kurva gravitasi negatif dipengaruhi oleh nilai densitas negatif. Kecenderungan model yang didapat memperlihatkan trend dari selatan (A') ke utara (A) semakin dangkal. Lintasan A-A' hanya dapat memperlihatkan irisan benda positif KM 1. Penambahan parameter data sumur yang dekat dengan lintasan menunjukkan bahwa daerah FZ I dan FZ II meliputi sumur KMJ 72, 62 dan 27 dengan variasi kedalaman 600 – 1200 m, dan untuk sumur KMJ 26 daerah FZ II mencapai kedalaman 1500 m. Agar lebih jelas model dari Grav2D di gambar ulang dengan menambahkan parameter densitas dan korelasi sumur terhadap daerah Feed Zone (gambar 4.5). Dari penggambaran ulang dapat dilihat bahwa untuk besaran luasan yang mengalami perubahan densitas positif di daerah utara mempunyai ketebalan sekitar 800 m dengan batas lapisan atasnya pada kedalaman 600 m dari permukaan topografi.



Gambar 4.5 Penggambaran ulang lintasan A-A' daerah Kamojang

Luasan daerah yang mengalami nilai medan gravitasi negatif dengan warna hijau (gambar 4.5) menunjukkan daerah yang mengalami pengurangan massa. Pengurangan massa yang terjadi akibat perubahan densitas negatif yang dapat diartikan sebagai gambaran bahwa daerah tersebut memiliki komposisi saturasi uap yang jauh lebih besar daripada saturasi airnya. Sehingga daerah tersebut masih memiliki potensi kapasitas uap yang besar sebagai daerah produksi dan dapat didukung dengan data bahwa blok Barat sebagai produksi uap utama untuk menyuplai uap pembangkit 140 MW.

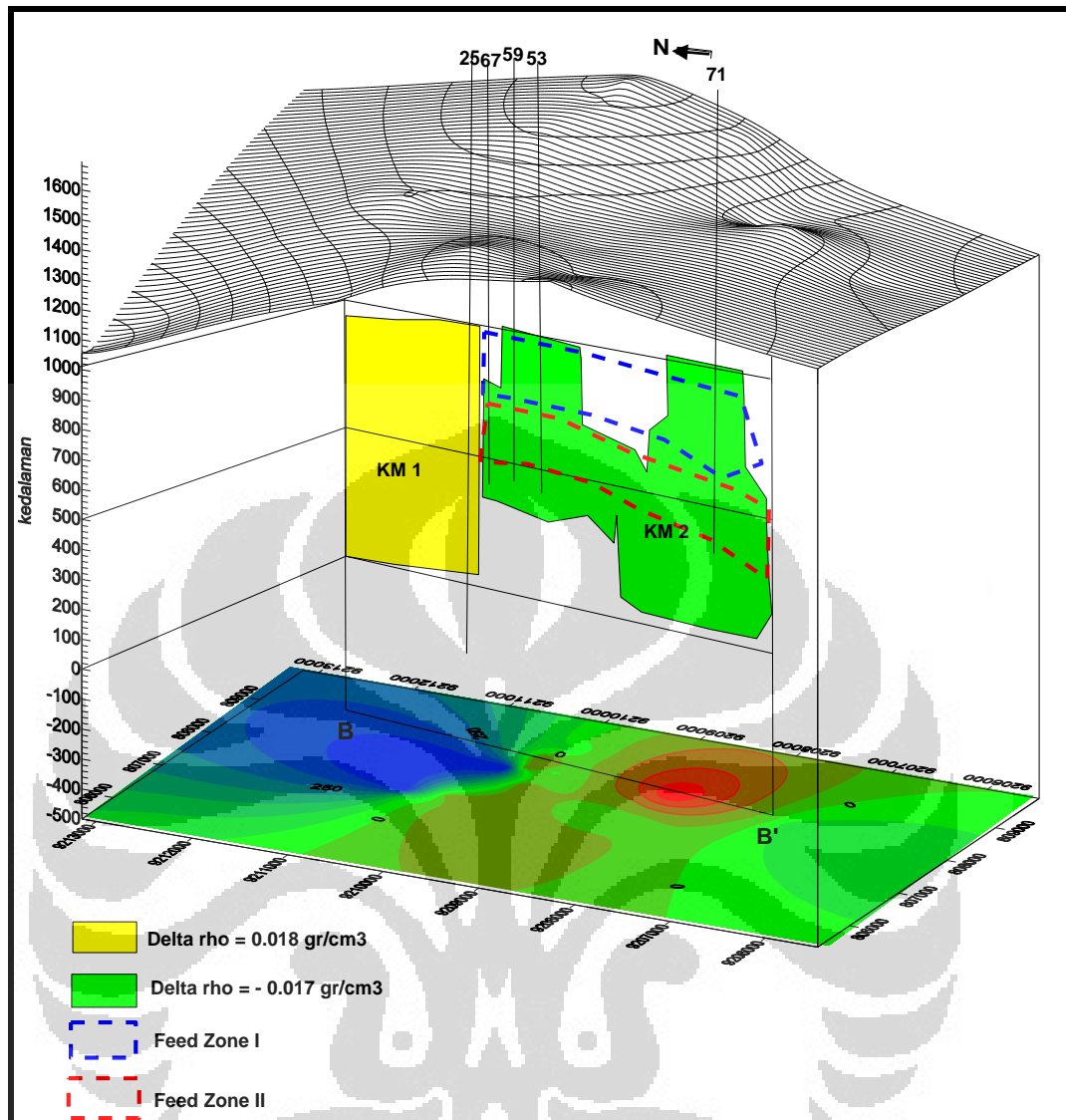
Untuk melihat kemenerusan irisan benda KM 1 dan benda KM 2 maka model Grav2D pada lintasan B-B' yang lebih kearah timur didapat dua benda anomali dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 4.6 Pemodelan lintasan B-B' daerah Kamojang

Posisi benda anomali yang sejajar dengan keberadaan sumur KMJ-53, 56, 67 dan 71 memperlihatkan terpotongnya daerah FZ I antara sumur KMJ 53 dan 71. Untuk daerah FZ 2 yang lebih dangkal dari lintasan A, penggambaran model bendanya pada lintasan B-B' terlihat lebih dalam ini dapat diartikan bahwa pengurangan massa yang terjadi akibat kegiatan produksi mempengaruhi daerah yang lebih luas.

Setelah digambar ulang dengan menambahkan parameter densitas dan korelasi terhadap daerah feed zone dapat dilihat bahwa kemenerusan irisan model KM 1 masih terdapat kearah timur, perubahan massa positif yang cukup besar dapat diinterpretasikan sebagai keadaan saturasi air yang lebih dominan di reservoir akibat pengaruh sumur injeksi yang berada di daerah utara. Penggunaan sumur-sumur produksi yang tidak ekonomis menjadi sumur injeksi dengan



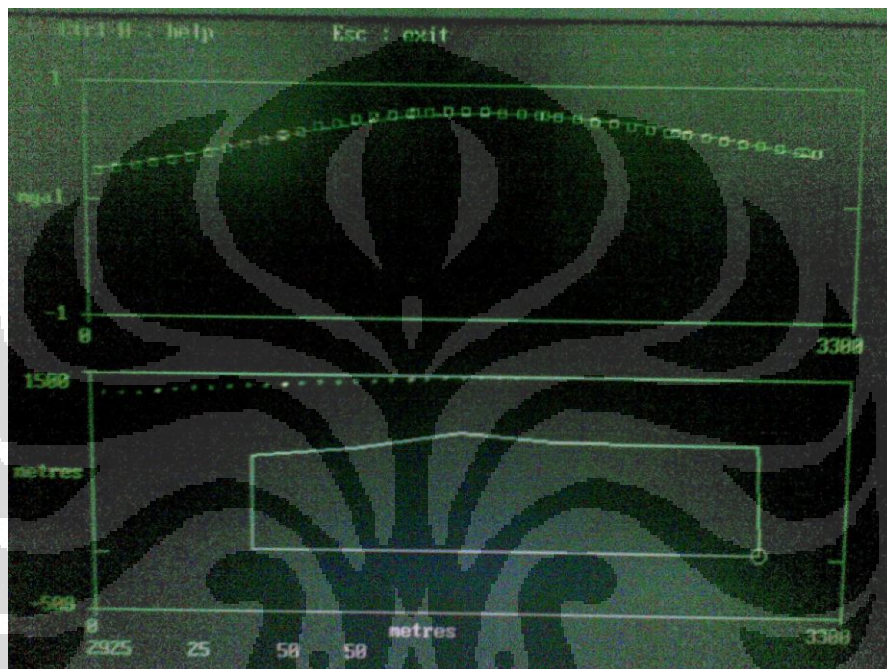
Gambar 4.7 Penggambaran ulang lintasan B-B' daerah Kamojang

Kedalaman sumur yang lebih dangkal dapat mempengaruhi keadaan saturasi daerah feed zone yang awalnya adalah dominasi uap menjadi dominasi air akibat kegiatan injeksi.

Gambaran luas daerah KM 2 yang bernilai negatif mencapai ketebalan hingga 900 m (gambar 4.7), perubahan densitas ini dapat diinterpretasikan sebagai daerah yang memiliki komposisi saturasi uap yang dominan. keberadaannya dapat ditunjukkan pula dengan daerah feed zone I dan II yang merupakan daerah dengan laju produksi uap yang tinggi. Sehingga pengurangan massa yang terjadi sangat di dominasi oleh kegiatan produksi di daerah tersebut.

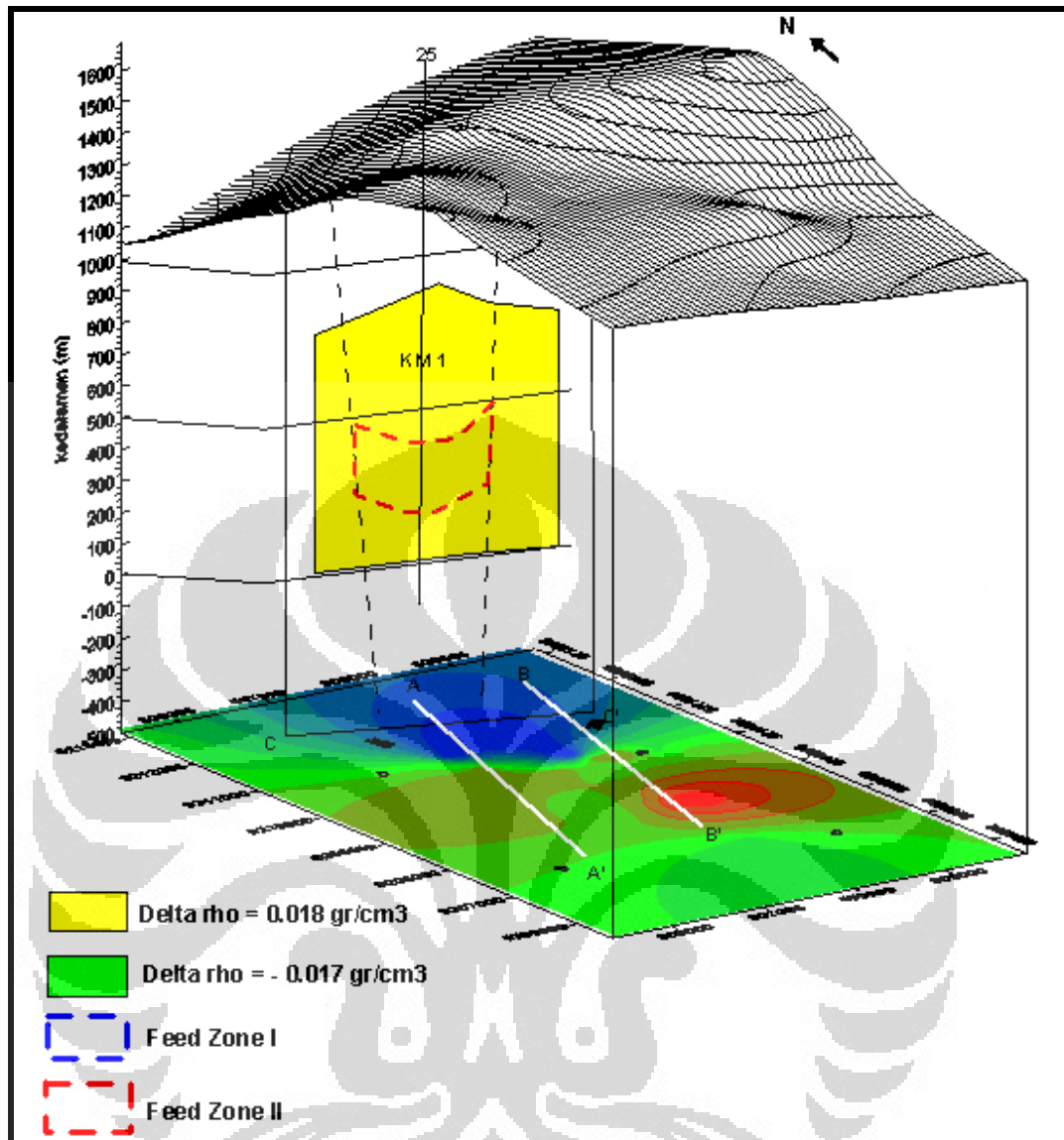


Untuk lebih memberikan gambaran yang jelas mengenai kemenerusan model KM 1, lintasan C-C' dibuat dengan memotong lintasan A-A' dan B-B' di bagian utara. Nilai anomali positif dengan areal yang luas pada KM 1 memberikan gambaran model irisan hasil Grav2D berupa benda dengan bentuk menyerupai persegi panjang yang homogen pada kisaran kedalaman 500 – 1500 m (gambar 4.8)



Gambar 4.8 Pemodelan lintasan C-C' daerah Kamojang

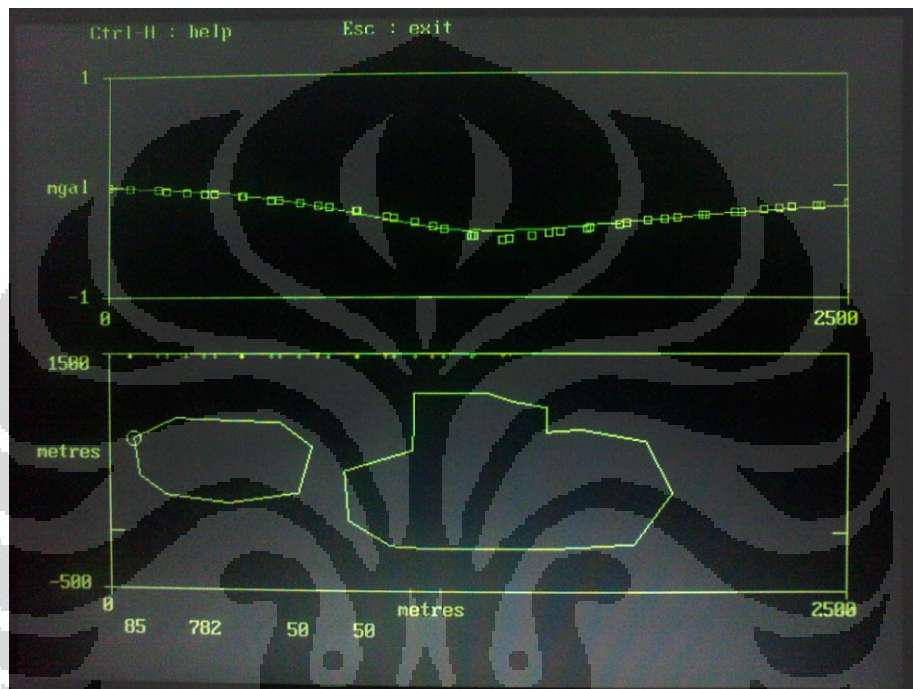
Nilai perubahan medan gravitasi positif yang luas persebarannya pada daerah KM 1 dapat dikorelasikan bahwa pada daerah tersebut terdapat tiga sumur injeksi, yaitu KMJ 55, KMJ 13 dan KMJ 47 yang kedalamannya pada daerah FZ II, karena sebelumnya merupakan sumur produksi rendah yang difungsikan sebagai sumur injeksi, sehingga akumulasi massa fluida injeksi yang berada pada daerah FZ II mempengaruhi perubahan medan gravitasi yang terukur di permukaan.



Gambar 4.9 Penggambaran ulang lintasan C-C' daerah Kamojang

Data sumur yang terdekat dengan lintasan C-C' adalah KMJ 25 dengan daerah FZ II pada kedalaman 1000 – 1300 m (gambar 4.9). Pada irisan lintasan C-C' tampak luas model benda KM 1 lebih besar dari daerah FZ II, hal ini menunjukkan bahwa daerah yang mengalami perubahan densitas positif akibat dominasi saturasi air lebih luas dan ke daerah yang lebih dangkal, keberadaan sumur-sumur injeksi di daerah utara yang dangkal sangat mempengaruhi keadaan ini. Sehingga dapat dikorelasikan dengan kecenderungan daerah Feed zone yang terisi oleh massa fluida dari sumur injeksi yang semakin dangkal ke arah utara

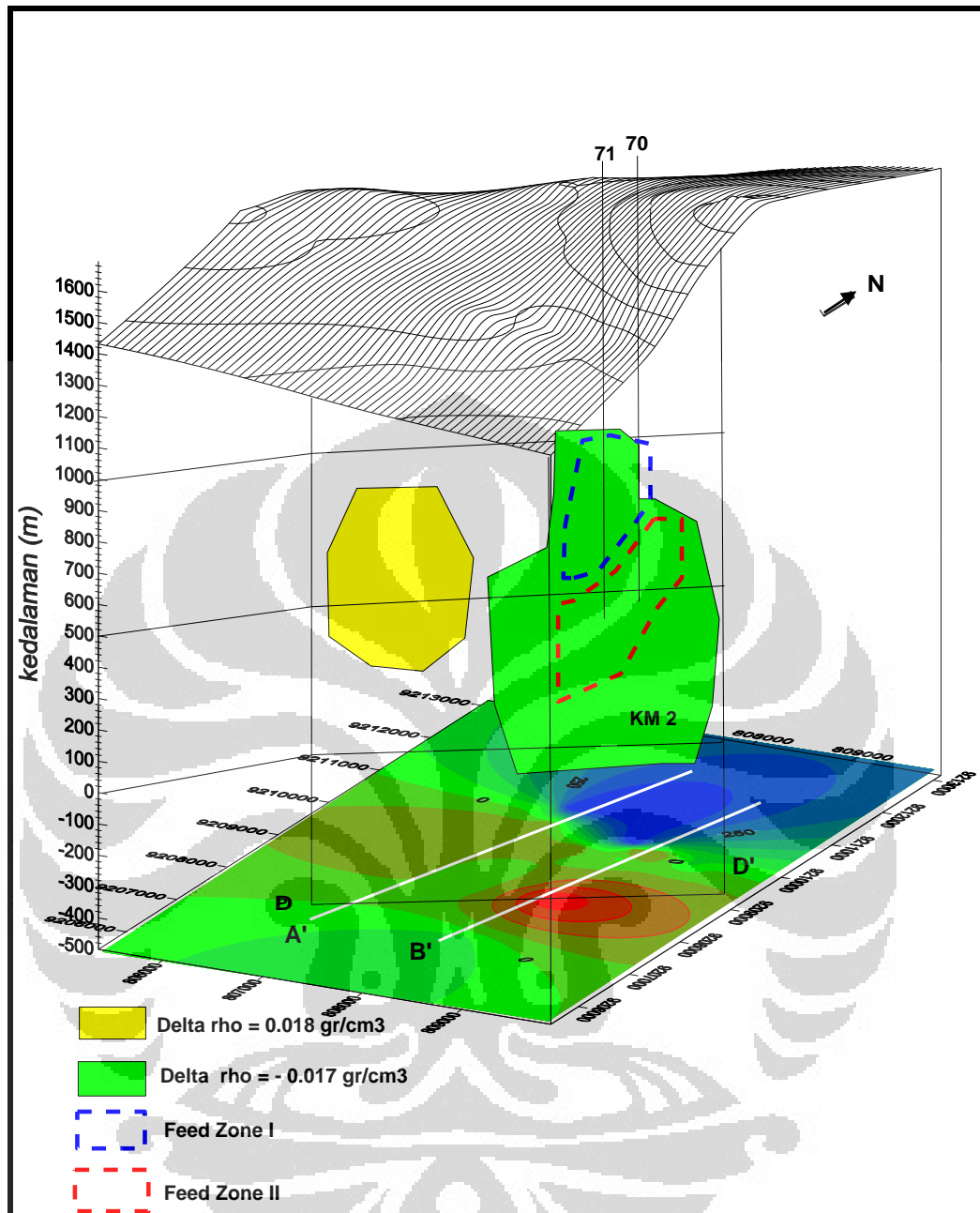
Lintasan D-D' dibuat untuk memberi gambaran lebih jelas mengenai bentuk model KM 2 kearah barat daya dan timur laut dengan memotong lintasan A-A' dan B-B'. Kurva perubahan nilai gravitasi dipengaruhi oleh dua benda anomali, benda dengan densitas cenderung positif di daerah barat daya dan benda dengan densitas negatif (KM 2) di daerah timur laut. Gambaran bentuk model benda KM 2 terlihat lebih kecil di bagian atas dan membesar di bagian bawah. Dari hasil program Grav2D didapatkan model sebagai berikut (gambar 4.10).



Gambar 4.10 Pemodelan lintasan D-D' daerah Kamojang

Perubahan nilai gravitasi negatif dengan bentuk model benda KM 2 dapat dikorelasikan dengan keberadaan sumur produksi KMJ 70 dan KMJ 71. pengambilan massa uap terkonsentrasi pada daerah FZ 1 di kedalaman sekitar 1000 – 750 m hingga daerah FZ 2 pada kedalaman 700 – 300 m. Jika di perhatikan lebih detail model benda KM 2, bagian timur laut batas atasnya lebih dangkal di bandingkan bagian barat daya. Model ini berarti dapat memberikan gambaran kecenderungan batas atas reservoir pada daerah timur lebih dangkal dibandingkan daerah barat.

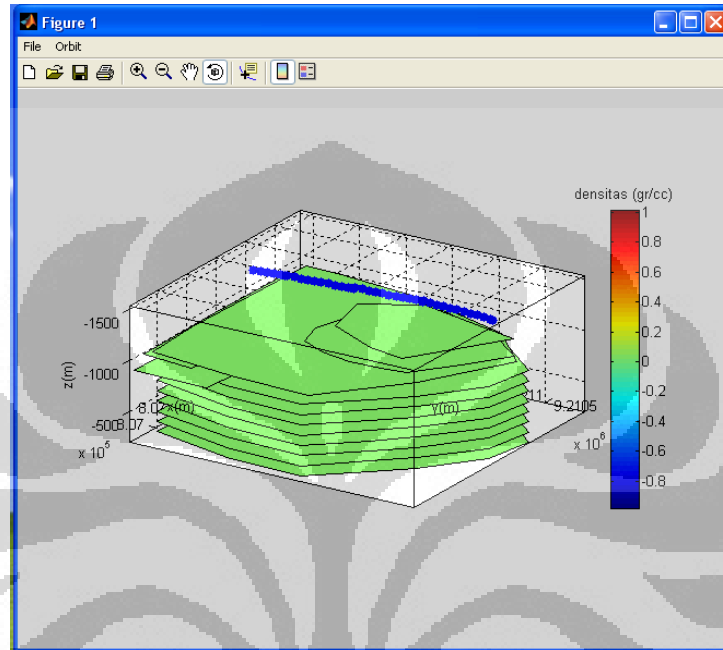
Penggambaran ulang dilakukan untuk memberikan gambaran model KM 2 yang lebih jelas didapatkan hasil sebagai berikut.



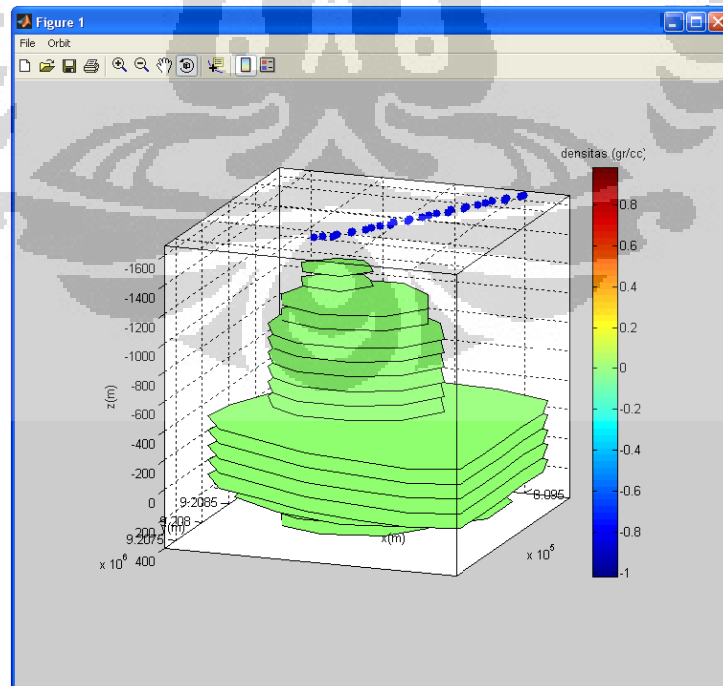
Gambar 4.11 Penggambaran ulang lintasan D-D' daerah Kamojang

Besaran luasan daerah yang mengalami perubahan densitas negatif akibat pengurangan massa di model KM 2 dapat diinterpretasikan sebagai keadaan reservoir yang didominasi oleh saturasi uap yang lebih banyak (gambar 4.11). Keadaan ini memungkinkan di daerah timur masih memiliki potensi uap yang besar. perubahan massa negatif yang terjadi sangat dipengaruhi oleh kegiatan produksi di daerah tersebut. Hal ini dapat didukung dengan pengoperasian daerah timur sebagai sumur produksi baru pada awal tahun 2008.

Berdasarkan keempat lintasan yang dibuat maka dapat ditentukan parameter estimasi batasan luasan dan kedalaman pembuatan benda 3 dimensi dari model KM 1 dan KM 2 .Selanjutnya menggunakan program New Grav 3-D (Suhadiyatno, 2008) dengan memasukkan nilai  $\Delta g$  dan membuat sejumlah lamina didapatkan model 3 dimensi untuk model KM 1 dan KM 2.



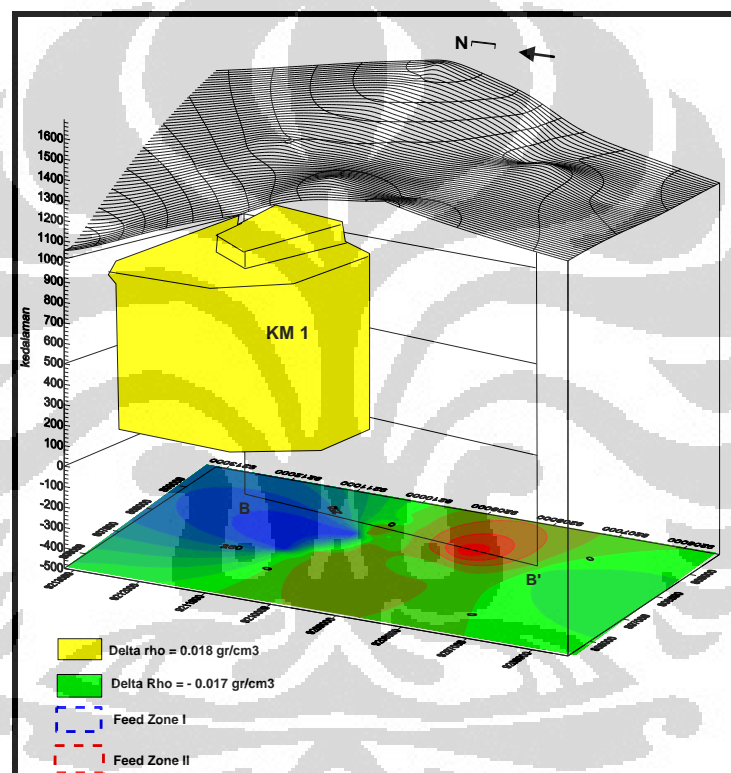
Gambar 4.12 Bentuk model 3-Dimensi KM 1 daerah Kamojang



Gambar 4.13 Bentuk model 3-Dimensi KM 2 daerah Kamojang

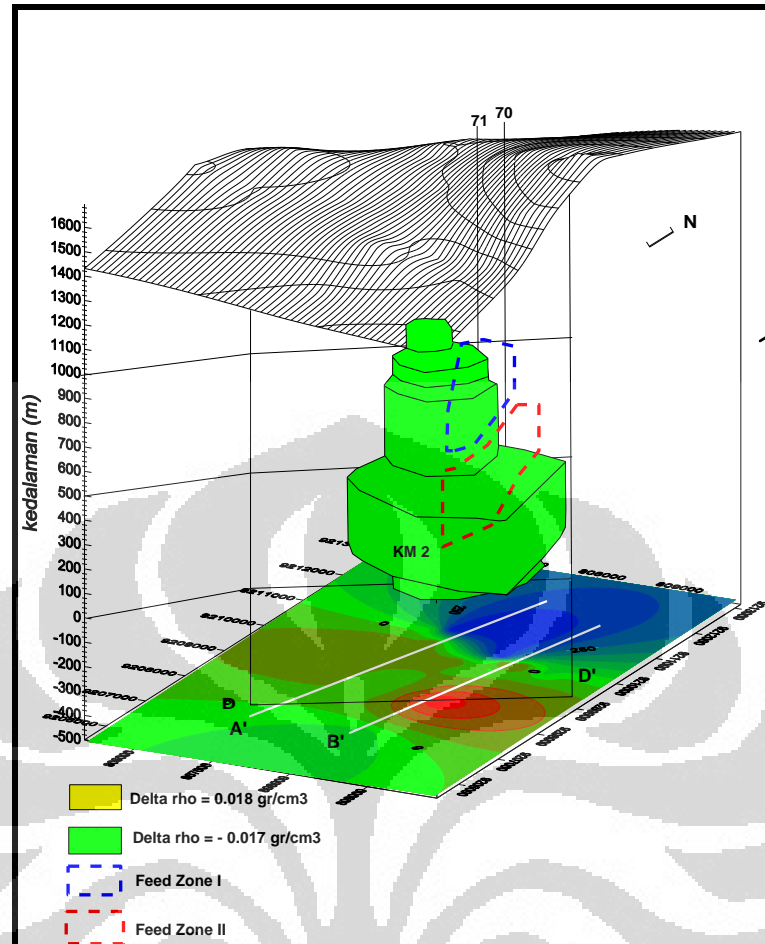
Untuk mengetahui keakuratan kalkulasi dari model 3-Dimensi yang dibuat dapat dilihat melalui tabel perhitungan antara harga pengamatan dan perhitungan. Nilai yang muncul dari program New Grav-3D untuk model benda 3-Dimensi KM 1 tingkat kesalahannya sekitar 0.54% - 20.86% (Lampiran 3) Untuk model benda 3-Dimensi KM 2 tingkat kesalahannya sekitar 2.94 % - 9.42% (Lampiran 4). Sehingga kedua model tersebut dapat diterima.

Penggambaran ulang dilakukan untuk memperjelas posisi model 3 dimensi KM 1 dan KM 2



Gambar 4.14 Model benda 3 Dimensi KM 1

Bentuk 3-Dimensi KM 1 memberikan estimasi besaran volume daerah yang mengalami perubahan densitas positif akibat perubahan komposisi sarurasi air yang lebih dominan dibandingkan saturasi uapnya. Hal ini dapat dihubungkan dengan keberadaan sumur-sumur injeksi yang sebelumnya merupakan sumur-sumur produksi yang tidak produktif lagi, mempengaruhi dominasi massa fluida injeksi di daerah yang lebih dangkal kedalamannya.



Gambar 4.15 Model benda 3 Dimensi KM 2

Bentuk 3-Dimensi KM 2 yang didapat memberikan gambaran volume daerah yang mengalami perubahan densitas negatif akibat komposisi saturasi uap yang lebih dominan dibandingkan saturasi airnya. Perubahan ini menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki kapasitas produksi uap yang besar, merupakan daerah yang potensial untuk sumur produksi. Hal ini didukung dengan daerah tersebut yang merupakan daerah produksi utama untuk unit pembangkit 60 MW. Sehingga pengurangan massa yang terjadi disebabkan oleh kegiatan produksi.

#### 4.1.3 Perubahan massa

Gambaran bentuk model benda 3-Dimensi dari KM 1 yang positif dan KM 2 yang negatif telah didapatkan. Perubahan massa yang terjadi dapat dikalkulasi dengan pendekatan menghitung volume benda tersebut untuk mendapatkan jumlah massanya dengan persamaan  $V = \rho \times M$ . Nilai perubahan densitas rata-rata

model benda 3-Dimensi KM 1 dan KM 2 yang dipengaruhi oleh komposisi massa fluida dominan yang ada di dalam reservoir, yaitu merepresentasikan kandungan air dan uap akibat kegiatan produksi dan reinjeksi yang terjadi. Penggunaan persamaan sebelumnya untuk mencari model benda 2-Dimensi didapatkan

$$\rho_{\text{rata-rata}} = (\rho_{\text{air}} \times S_{\text{air}}) + (\rho_{\text{uap}} \times S_{\text{uap}})$$

dan

$$\Delta\rho = \rho_{\text{rata-rata}} \times \text{porositas } (\phi)$$

dengan :

$$\rho_{\text{air}} (240^{\circ}\text{C}) = 0.81 \text{ gr/cm}^3,$$

$$\rho_{\text{uap}} (240^{\circ}\text{C}) = 0.017 \text{ gr/cm}^3,$$

saturasi air di reservoir sebesar 0.30 dan Saturasi uap sebesar 0.70 maka  $\rho$  rata-rata uap dan air kurang lebih sebesar  $0.25 \text{ gr/cm}^3$ , dengan nilai rata-rata porositas batuan 7%, didapatkan  $\Delta\rho$  sebesar  $0.018 \text{ gr/cm}^3$ .

Sehingga untuk model benda 3-Dimensi KM 1 yang mempunyai nilai perubahan densitas rata-rata sebesar  $0.018 \text{ gr/cm}^3$  dapat diartikan sebagai perubahan komposisi massa fluida yang lebih berat di dalam reservoir. Berdasarkan perhitungan matematis perubahan saturasi air bertambah menjadi 0.62 dan saturasi uap berkurang menjadi 0.38 dimungkinkan akibat penambahan massa fluida dari sumur-sumur reinjeksi. Sedangkan untuk model benda 3-Dimensi KM 2 yang mempunyai nilai perubahan densitas rata-rata sebesar  $-0.017 \text{ gr/cm}^3$  dapat diartikan pula sebagai perubahan kondisi massa fluida yang lebih ringan di dalam reservoir. Hasil perhitungan matematis menunjukkan perubahan saturasi air berkurang menjadi 0,02 dan saturasi uap bertambah menjadi 0.98 dimungkinkan akibat besarnya produksi uap di daerah tersebut.

Besar volume yang didapatkan dari model benda 3-Dimensi KM 1 dan KM 2 adalah yang mengalami perubahan nilai densitas rata-rata akibat kondisi massa fluida yang berubah di dalam reservoir. Perubahan nilai gravitasi ( $\Delta g$ ) yang terjadi berbanding lurus dengan perubahan massa yang terjadi. Perubahan massa dipengaruhi oleh parameter perubahan densitas rata-rata ( $\Delta\rho$ ) pengisi pori-pori batuan dan perubahan volume ( $\Delta V$ ) di reservoir.

Bentuk kedua model benda 3-Dimensi yang dihasilkan merupakan gambaran besar volume yang mengalami perubahan densitas di dalam reservoir.



(Sumintadireja dkk, 2000) Mengatakan bahwa rata-rata kedalaman reservoir daerah panasbumi Kamojang adalah antara 600 – 2000 m dengan ketebalan sekitar 1400 m. Model benda KM 1 dan KM 2 mempunyai ketebalan mendekati reservoir riil (Lampiran 5). Sehingga Perubahan massa yang terjadi dapat lebih disebabkan oleh perubahan densitas rata-rata ( $\Delta\rho$ ) di reservoir. Untuk model benda 3-Dimensi KM 1 yang mempunyai perubahan nilai medan gravitasi yang positif dapat diindikasikan karena perubahan densitas rata-rata akibat komposisi saturasi air yang lebih banyak. Untuk model benda 3-Dimensi KM 2 yang perubahan medan gravitasinya negatif dapat diindikasikan pula sebagai perubahan densitas rata-rata akibat perubahan saturasi uap yang lebih banyak.

Hasil perhitungan volume dan perubahan densitas rata-rata pada kedua model didapat untuk model KM 1 mengalami perubahan massa positif sebesar 22.76 MTON dan untuk model KM 2 mengalami perubahan massa negatif sebesar 2.94 MTON (Lampiran 5). Dengan asumsi bahwa volume batuan tidak berubah maka perubahan massa positif diperkirakan berhubungan dengan dominasi saturasi air yang sangat besar relatif terhadap saturasi uap. Sebaliknya perubahan massa negatif di daerah KM 2 diperkirakan berhubungan dengan dominasi uap yang jauh lebih besar relatif terhadap saturasi air.

Perubahan massa yang terjadi terkonsentrasi pada daerah blok Utara untuk daerah KM 1 yang positif dipengaruhi secara lokal oleh sumur produksi KMJ 24, 39, 51, 56 dan 71 serta sumur reinjeksi KMJ 13, 47 dan 55. Berdasarkan data produksi, sebagian sumur produksi di blok Utara telah beroperasi sejak tahun 1985, dengan total produksi hingga tahun 2008 sebesar 15.2 MTON, sedangkan sumur reinjeksi yang digunakan awalnya merupakan sumur produksi yang dialihfungsikan mulai beroperasi pada tahun 2003 dengan total reinjeksi hingga tahun 2008 sebesar 5.7 Mton (Lampiran 7).

Untuk daerah blok Timur dipengaruhi secara lokal oleh sumur produksi KMJ 48, 49, 57, 58, 66, 68, 69, 70, 71, 75 dan 76 merupakan penyuplai unit pembangkit IV (60MW) mulai dioperasikan pada awal tahun 2008, sedang dilakukan produksi uap dalam jumlah besar, dengan total produksi sebesar 3.2 Mton (Lampiran 8). Sementara sumur reinjeksi KMJ 21 yang mempunyai kedalaman hingga 2000 m, lebih dalam dibandingkan dengan sumur-sumur

produksi disekitarnya sudah beroperasi sejak tahun 1988 dengan total reinjeksinya hingga tahun 2008 sebesar 13.1 Mton.

Tabel 4.1 Data total sumur injeksi dan sumur produksi untuk Blok Utara dan Blok Timur

Blok Utara			Blok Timur		
Tahun	Sumur Injeksi	Sumur Produksi	Tahun	Sumur Injeksi	Sumur Produksi
1985 - 2008		15.2 Mton	1988 - 2008	13.1 Mton	
2003 - 2008	5.7 Mton		2008		3.2 Mton
<b>Model KM 1</b>	<b>22.76 Mton</b>		<b>Model KM 2</b>		<b>2.94 Mton</b>

Dari hasil data perbandingan produksi dan injeksi, kecenderungan keadaan reservoir di blok Utara pada tahun 2008 lebih didominasi oleh massa fluida injeksi. Jika perubahan massa positif pada blok Utara dibandingkan dengan data sumur injeksi maka terdapat perbedaan jumlah yang besar. Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa massa fluida yang masuk ke blok Utara tidak hanya berasal dari air kondensat sisa sumur produksi, melainkan juga berasal dari *natural recharge* seperti air meteorik dan infiltrasi daerah aliran sungai (DAS) Ciwelirang di daerah utara. Selain itu, perubahan nilai medan gravitasi positif yang terukur dan perubahan densitas positif yang terjadi akibat perubahan komposisi saturasi air yang bertambah dapat dikorelasikan terhadap keberadaan daerah Feed zone dan kegiatan sumur reinjeksi dengan kedalaman yang lebih dangkal di bagian utara. Mempengaruhi dominasi massa fluida air reinjeksi yang terdapat di bawah permukaan pada waktu yang berdekatan dengan pengambilan data monitoring microgravity pada tahun 2008.

Sementara itu, di blok Timur perbandingan data produksi dan injeksi pada tahun 2008 memperlihatkan perubahan massa yang tidak jauh berbeda antara data produksi dan hasil model 3 Dimensi. Sehingga, kecenderungan perubahan massa di reservoir lebih didominasi oleh kegiatan produksi yang dilakukan. Selain itu, perubahan nilai medan gravitasi yang terukur di permukaan bernilai negatif dapat

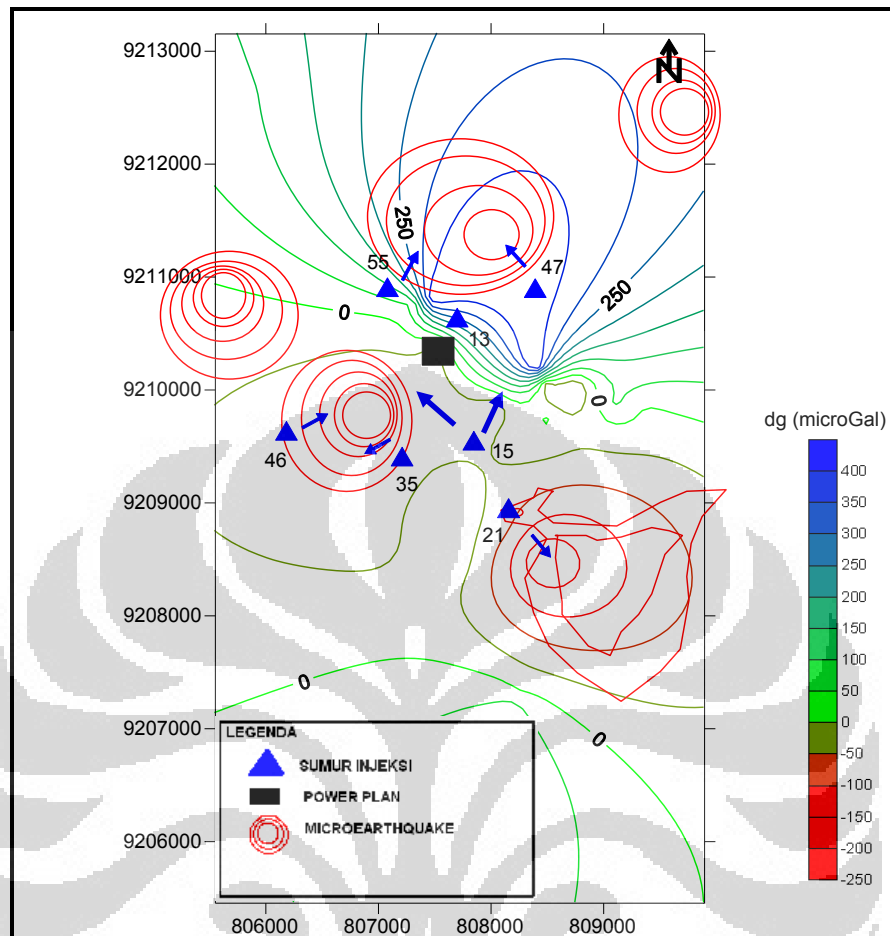
juga dimungkinkan pengaruh sumur reinjeksi yang dalam jauh lebih kecil dibandingkan dengan kegiatan produksi uap yang lebih dangkal.

#### 4.1.4 Aliran Fluida

Perubahan medan gravitasi pada periode tahun 1984 - 2005 dapat dihubungkan dengan akumulasi aliran fluida yang terjadi. Data penunjang untuk mengetahui pola aliran fluida metode yang digunakan salah satunya adalah *Tracer Injection* (Tavip dkk, 2005) menggunakan Deuterium sebagai *tracer* alami atau Tritium dan Methanol sebagai *tracer* buatan. Dari penginjeksian dan hasil pengamatan periode pertama (1983) dan kedua (1992) pada sumur KMJ 15 yang mempunyai kedalaman mendekati 2000 m menunjukkan bahwa pola aliran fluida yang mengarah ke barat daya terdeteksi pada blok sumur KMJ 26 dengan waktu tempuh 7-8 tahun sedangkan kearah timur laut pada sumur KMJ 14 dengan waktu tempuh 3-4 tahun.

Perkiraan aliran fluida dapat analisis pula berdasarkan hasil metode *microearthquake* yang dilakukan pada periode 2004-2005 menyebutkan bahwa kemungkinan fluida dari reinjeksi di pusat reservoir cenderung mengarah ke timur laut dan sebagian ke arah barat laut (Sofyan, 2006). Fenomena pergerakan fluida terlihat dari banyaknya aktifitas gempa mikro yang terjadi akibat bertemunya air injeksi yang lebih dingin dengan batuan bawah permukaan bertemperatur tinggi. Pada bagian utara terdapat aliran fluida dari sumur injeksi KMJ 55, KMJ 13 dan KMJ 47 yang berasosiasi dengan mengalirnya fluida ke daerah utara. Hal ini dapat didukung dengan perubahan nilai gravitasi positif di daerah tersebut. Daerah reservoir yang cenderung lebih dangkal di daerah utara dapat dihubungkan dengan akumulasi massa air dari sumur injeksi yang lebih dangkal memberikan pengaruh yang besar pada nilai perubahan gravitasi positif yang terukur di permukaan.

Pergerakan fluida daerah barat dari sumur injeksi KMJ 46 berasosiasi dengan mengalirnya fluida ke arah timur-laut, perubahan medan gravitasinya cenderung negatif hal ini dapat diinterpretasikan bahwa tidak terjadi kesetimbangan massa fluida injeksi dengan jumlah produksi di daerah tersebut.



Gambar 4.16 Peta distribusi aliran fluida berdasarkan *Tracer Injection* dan Microearthquake (2004-2005)

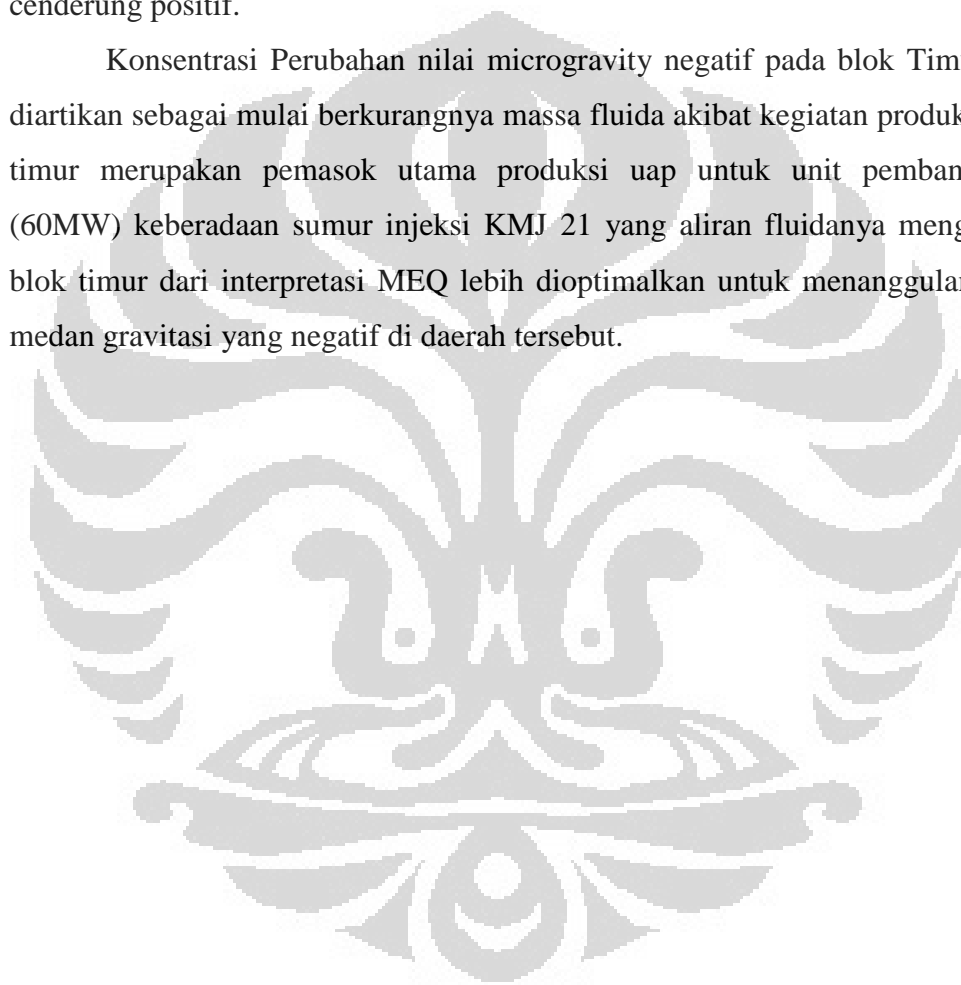
Nilai perubahan medan gravitasi negatif pada blok Timur yang tergolong baru sebagai pemasok produksi utama untuk unit pembangkit IV (60MW) untuk total produksi 200 MW dapat menunjukkan bahwa proses produksi uap di daerah Feed zone yang lebih dangkal kedalamannya dibandingkan dengan sumur injeksi KMJ 21, lebih mempengaruhi perubahan nilai gravitasi di permukaan.

#### 4.2 Rekomendasi Manajemen Reservoir

Berdasarkan pengolahan data dan pembahasan nilai medan microgravity yang didapat bahwa perubahan nilai positif di daerah utara dapat diartikan bahwa pada daerah tersebut terjadi pengakumulasian massa akibat perubahan densitas yang lebih berat. Hal ini dapat di jelaskan pada penggunaan sumur KMJ 15 yang awalnya difungsikan untuk mensuplai daerah blok Barat dan Utara, ternyata

menempuh waktu yang lama, tindakan yang telah dilakukan adalah memaksimalkan penggunaan sumur KMJ 35 dan KMJ 46 sebagai sumur injeksi yang lebih dekat dengan daerah sumur produksi dapat terus dilakukan untuk mensuplai blok Barat dengan areal sumur produksi KMJ 26 yang cukup besar. Untuk blok Utara, penggunaan sumur KMJ 13 sebagai sumur injeksi tambahan selain sumur injeksi KMJ 55 dan KMJ 47 juga perlu diatur penggunaannya dikarenakan saat ini perubahan nilai medan gravitasinya di daerah tersebut cenderung positif.

Konsentrasi Perubahan nilai microgravity negatif pada blok Timur dapat diartikan sebagai mulai berkurangnya massa fluida akibat kegiatan produksi. Blok timur merupakan pemasok utama produksi uap untuk unit pembangkit IV (60MW) keberadaan sumur injeksi KMJ 21 yang aliran fluidanya mengarah ke blok timur dari interpretasi MEQ lebih dioptimalkan untuk menanggulangi nilai medan gravitasi yang negatif di daerah tersebut.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Dari hasil monitoring tahun 1984 sampai tahun 2008 diperoleh nilai perubahan microgravity yang bervariasi dari -254.671 microgal hingga 414.560 microgal. Nilai negatif perubahan nilai densitas yang jadi lebih kecil akibat komposisi massa uap di reservoir jauh lebih dominan. Nilai positif dapat juga diinterpretasikan sebagai perubahan nilai densitas yang jadi lebih besar akibat komposisi massa air di reservoir yang jauh lebih dominan.
2. Kecenderungan keberadaan daerah Feed zone yang semakin dangkal kearah Utara dan Timur di daerah penelitian.
3. Perubahan massa positif KM 1 sebesar 22.76 Mton dan perubahan massa negatif KM 2 sebesar 2.94 Mton
4. Didukung oleh data *Tracer Injection* dan MEQ memperlihatkan Aliran fluida sumur injeksi KMJ 46 dan KMJ 35 mengarah ke blok barat. Aliran fluida sumur injeksi KMJ 55 dan KMJ 47 mengarah ke blok utara dan sumur injeksi KMJ 21 mengarah ke blok barat. Sehingga rekomendasi manajemen reservoir yang dapat dilakukan adalah mengoptimalkan penggunaan sumur injeksi untuk mengatasi daerah sumur produksi dengan perubahan nilai medan gravitasi negatif.

## 1.2 Saran

1. Sebaiknya akuisisi data yang dilakukan dengan peralatan dan metode yang sama, sehingga dapat meminimalisir kesalahan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
1. Penentuan parameter model benda anomali didukung oleh data temperatur, densitas, saturasi uap/air dari sumur bor.
2. Perhitungan perubahan massa yang dilakukan dengan pendekatan yang lebih baik.
4. Kegiatan akuisisi data monitoring menggunakan model gridding untuk mendapatkan hasil yang lebih detail.

## DAFTAR ACUAN

- Allis, R.G. and Hunt, T.M., 1986. *Analysis of exploitation-induced gravity changes at Wairakei geothermal field*. Geophysics, Vol 51, No 8.
- Alzwar.(1992). *Gunung Kelud*. Volcanic Survey Indonesia.
- Barnett, B., (1988). *Reservoir assessment of the Kamojang geothermal field*. GENZL/SMS, an internal report submitted to Pertamina, Indonesia.p 22.
- Browne, P.R.L. (1975). *Petrologic Report: Kawah Kamojang Drillhole KK12*. Dept. of Scientific & Industrial Research, New Zealand Geological Survey.
- Grant, Malcolm. (1997). *Kamojang Fluid and Reservoir State*, Design Power Genzl.
- Gunawan, Hendar. (1985). *Analisa Kuantitatif Data Gravitasi Untuk Melokalisir Jebakan Timah Primer*, Skripsi Sarjana, Jurusan Fisika, Universitas Indonesia.
- Hammer, Sigmund. (1945). *Estimating Ore Masses In Gravity Prospecting*. Geophysics,V.10.
- Hunt, T. M. (2000). *Five Lectures on environmental effect of geothermal utilization*, Geothermal Training Programme, United Nations University.
- Kadir, W.G.A.(1999). *The 4-D Gravity Survey and Its Subsurface Dynamics: A Theoretical Approach*. Proceeding of 24 HAGI Annual Meeting,Surabaya.p 94-99.
- Kamah, M.,Y., (2000) *Laporan Survey Gravitasi Presisi periode 99-00 Lapangan Produksi Panasbumi, Jawa barat*, OPS Eksplorasi Panasbumi Dit. EP – PERTAMINA.
- Kamah, Y., Tavip, D., Agus, A.A. (2003). *Penanggulangan Problem Geologi dalam Operasi Pemboran Sumur di Blok Timur Area Geothermal Kamojang, Jawa Barat, Indonesia*. Proceeding of the 6<sup>th</sup> INAGA.p.175.
- Kamah,Y., T. Dwikorianto, A.A. Zuhro, D. Sunaryo and A. Hasibuan (2005). *The Productive Feed Zones Identified Based on Spinner Data and Application*



- in the Reservoir Potential Review of Kamojang Geothermal Area, Indonesia*. Proceedings World Geothermal Congress 2005. Turkey. p.5.
- Katili, J. A. (1984). *Galunggung: 1982-1983 eruption*. Volcanic Survey Indonesia
- Nuraeni. (2004) *Pemetaan Rekahan di Lapangan Panasbumi Kamojang Menggunakan Data Gempa Mikro*. Skripsi Jurusan Meteorologi dan Geofisika, ITB.
- Pertamina. (2008). *Kamojang, West Java-Indonesia From Beginning Until Now 1983-2008*. International Geothermal Sustainability Modelling Workshop. New Zealand.
- Sanyal, S.K. (2000) *Assessment of steam supply for the expansion of generating capacity from 140 MW to 200 MW Kamojang geothermal field, west java Indonesia*; Proceeding WGC 2000, Khyusu, Japan.
- Sarkowi, M. (2007). *Gaya Berat Mikro Antarwaktu Untuk Analisa Perubahan Kedalaman Muka Air Tanah (Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang)*, Disertasi Program Doktor ITB, p. 20-22.
- Silitonga, T.H. (1999). *Interpretation Microgravity in Kamojang Field*, Geothermal Institute, Auckland University.
- Sofyan, Yayan. (2006). *Monitoring Pengaruh Produksi Dan Reinjeksi Terhadap Reservoir Geothermal Dengan Menggunakan Metode Microgravity Dan Microearthquake (MEQ)*, Program Pascasarjana Ilmu Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia.
- Sumintadireja P., Ushijima K., and Sudarman S., (2000). *Mise-à-la-masse and Gravity Data Surveys at The Kamojang Geothermal Field*. Proceeding World Geothermal Congress 2000, Japan. p 1784
- Sumintadireja, P., Sudarman, S., Mizunaga, H., and Ushijima, K., (2000) , *Mise-à-la-masse and gravity data surveys at the Kamojang geothermal field*: Proc. WGC 2000.
- Sumardi, Y. (2005). *Model Numerik Aliran Fluida Dalam Sistem Hidrothermal di Lapangan Panasbumi Kamojang, Jawa Barat*, Disertasi Program Doktor ITB.

- Sudarman, S, Guntur, B., Setiadji, D., and Sumantri, Y., G.,(2000), *Mapping reservoir permeability with geoelectrical, FMS and spinner data*, Kamojang field, Indonesia: Poc. WGC 2000.
- Suhadiyatno. (2008). *Permodelan metode tiga dimensi dengan menggunakan Matlab*. Skripsi Sarjana, Jurusan Fisika, Universitas Indonesia.
- Supriyatna, Eddy. (2004). *Estimasi distribusi rapat massa dan saturasi berdasarkan anomaly microgravity 4-D dan aplikasinya untuk daerah geothermal*, Tesis magister kekhususan Geofisika Reservoar, Program Pascasarjana Ilmu Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia.
- Suryadarma, Tafif Azimuddin, Tavip Dwikorianto, & Amir Fauzi (2005). *The Kamojang Geothermal Field: 25 Years Operation*; Proceeding WGC 2005, Antalya, Turkey.
- Taverne, N. J. M. (1926) *Vulkanstudien op Java*. Vulk Meded,7.
- Tavip, D., Abidin, Z. Kamah, Y. Sunaryo, D. Hasibuan, D. Pratoyo.(2005). *Tracer Injection Evaluation in Kamojang Geothermal Field, West Java, Indonesia*; Proceeding WGC 2005, Antalya, Turkey.
- Tim Pokja Kamojang.(1995) *Evaluasi Kelayakan Pengembangan Area Panasbumi Kamojang*. Divisi Panasbumi PERTAMINA.
- Utami, P. (1998) *Mass Transfer During Hydrothermal Alteration: A Case Study of the Kamojang Geothermal Field, West Java*. Proc. of 27<sup>th</sup> Association of Indonesian Geologists Annual Meeting.
- Yunis. (2001). *Peranan Dan Penempatan Sumur Reinjeksi Pada Pengelolaan Reservoar Komojang*. INAGA Annual Scientific Conference & Exhibitions.
- Zuhro, A. A. (2004). *Numerical Modeling Of Kamojang Geothermal System, Indonesia*. Geothermal Training Programme. Iceland.p 476-491

## LAMPIRAN

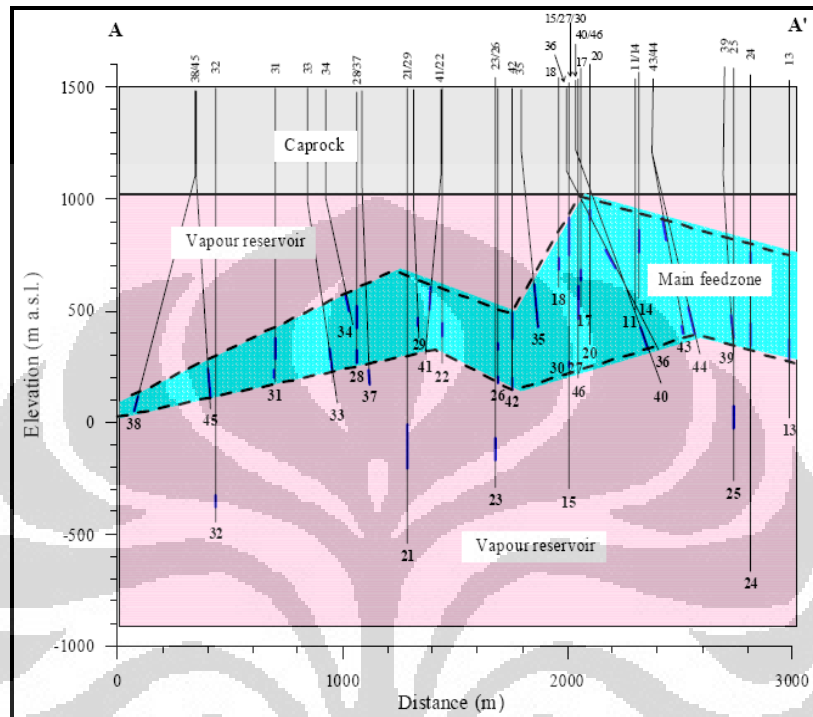
## LAMPIRAN 1

## Data Microgravity

Bench Mark	UTM X (meter)	UTM Y (meter)	elevasi 1984 (meter)	elevasi 2005 (meter)	gravity 1984 (mGal)	gravity 2008 (mGal)	delta elevasi 2005 - 1984 (meter)	delta g 2008 - 1984 (microGal)
PG-02	807504,61	9208292,46	1477,388	1477,479	977837,679	977837,645	0,091	-33,999
PG-04	807067,17	9208625,63	1471,608	1471,636	977839,521	977839,458	0,028	-62,874
PG-09	807627,64	9208510,81	1472,326	1472,322	977838,387	977838,381	-0,004	-6,385
PG-14	808117,1	9208771,46	1481,819	1481,879	977836,191	977836,110	0,06	-81,225
PG-15	807736,87	9209010,05	1475,08	1475,12	977837,573	977837,543	0,04	-29,632
PG-18	807949,61	9209361,29	1488,103	1488,197	977835,55	977835,498	0,094	-52,084
PG-19	807773,93	9209577,13	1491,84	1491,921	977834,727	977834,672	0,081	-55,254
PG-21	808204,97	9209570,11	1528,907	1528,992	977826,395	977826,370	0,085	-24,761
PG-22	808519,19	9209726,24	1572,849	1572,973	977815,747	977815,757	0,124	9,780
PG-24	808749,98	9210015,26	1618,811	1618,953	977805,506	977805,401	0,142	-105,458
PG-25	807494,95	9209306,43	1472,703	1472,76	977838,272	977838,221	0,057	-50,822
PG-28	808049,55	9209861,81	1526,583	1526,776	977826,143	977826,067	0,193	-75,763
PG-29	808497,46	9210041,43	1587,547	1587,747	977812,35	977812,287	0,2	-62,612
PG-32	807530,19	9210367,44	1491,456	1491,457	977832,328	977832,267	0,001	-60,710
PG-33	807483,27	9210800,78	1498,985	1499,009	977828,405	977828,805	0,024	400,036
PG-39	809388,79	9209825,32	1640,275	1640,444	977803,158	977803,154	0,169	-4,482
PG-42	806088,6	9208342,2	1497,338	1497,421	977831,312	977831,267	0,083	-45,063
PG-44	808263,92	9207355,1	1491,173	1491,299	977830,891	977830,881	0,126	-9,721
PG-46	805865,97	9212641,58	1128,139	1128,251	977900,309	977900,403	0,112	93,764
PG-50	807988,24	9206281,88	1379,569	1379,564	977854,132	977854,229	-0,005	97,052
PG-55	809895,77	9205455,01	1315,471	1315,471	977866,513	977866,513	0	0,000
PG-59	805551,77	9213152,53	1046,241	1046,123	977917,077	977917,163	-0,118	86,109
PG-67	808193,67	9207171,3	1496,393	1496,532	977828,648	977828,721	0,139	72,944
PG-71	808455,33	9208488,69	1480,406	1480,516	977835,854	977835,599	0,11	-254,671
PG-85	809090,65	9209875,69	1639,051	1639,192	977802,145	977802,206	0,141	60,961
PG-88	807315,65	9210756,94	1503,565	1503,616	977826,84	977826,900	0,051	59,502
PG-89	807318,56	9210391,48	1477,816	1477,79	977834,933	977834,913	-0,026	-19,641
PG-93	808409,64	9210202,61	1573,1	1573,148	977815,49	977815,905	0,048	414,560

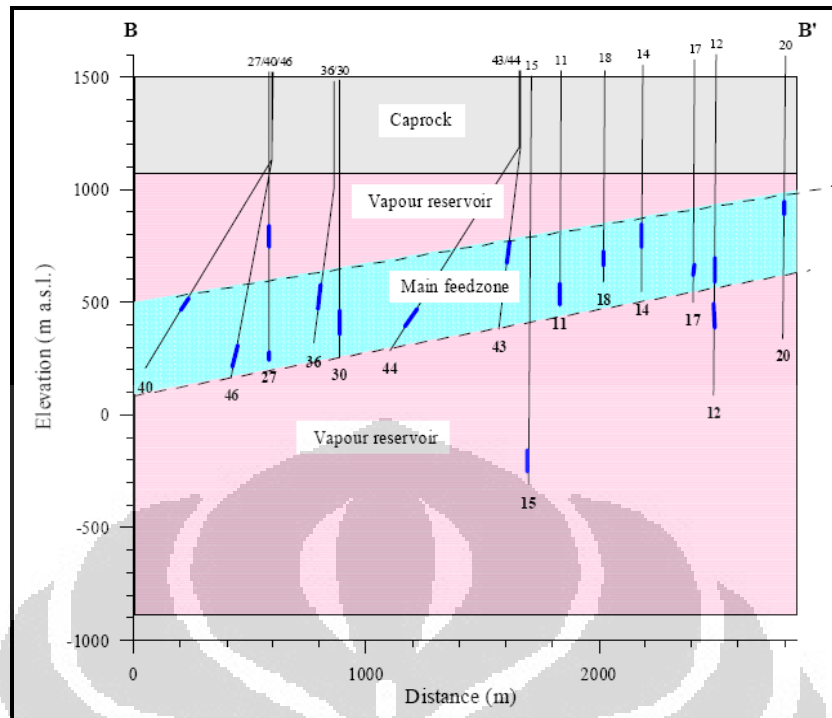
## LAMPIRAN 2

Gambar penampang selatan-utara daerah Kamojang



Sumber (Barnett, 1988)

Gambar penampang barat - timur daerah Kamojang



Sumber (Barnett, 1988)

LAMPIRAN 3

Tabel hasil perhitungan model 3 dimensi KM 1

Figure 3

	Easting (meter)	Northing (meter)	z (meter)	perhitungan (mgal)	pengamatan (mgal)	selisih (mgal)	error (%)
1	808302.4	9212919	-1363.787	0.266	0.295	-0.029	9.83
2	808294.8	9212842	-1369.285	0.283	0.298	-0.015	5.03
3	808287.2	9212764	-1374.928	0.298	0.302	-0.004	1.32
4	808279.6	9212686	-1380.715	0.31	0.306	0.005	1.63
5	808271.9	9212608	-1386.638	0.319	0.309	0.01	3.24
6	808266.8	9212555	-1392.693	0.324	0.312	0.012	3.85
7	808264.3	9212531	-1398.871	0.325	0.313	0.011	3.51
8	808256.7	9212453	-1402.907	0.331	0.317	0.013	4.1
9	808249.1	9212375	-1405.158	0.336	0.322	0.015	4.66
10	808241.4	9212297	-1411.539	0.34	0.326	0.014	4.29
11	808233.8	9212219	-1418.015	0.344	0.331	0.013	3.93
12	808226.2	9212142	-1424.573	0.348	0.335	0.013	3.88
13	808218.6	9212064	-1431.198	0.353	0.34	0.013	3.82
14	808210.9	9211986	-1437.875	0.358	0.345	0.013	3.77
15	808203.4	9211908	-1444.585	0.364	0.35	0.014	4
16	808195.8	9211831	-1451.308	0.369	0.356	0.013	3.65
17	808189.2	9211764	-1458.02	0.372	0.36	0.011	3.06
18	808188.1	9211753	-1464.694	0.37	0.361	0.009	2.49
19	808180.5	9211675	-1470.299	0.372	0.366	0.006	1.64
20	808172.9	9211597	-1471.3	0.374	0.372	0.002	0.54
21	808165.3	9211520	-1477.796	0.372	0.377	-0.004	1.06
22	808157.6	9211442	-1484.156	0.37	0.382	-0.012	3.14
23	808150	9211364	-1490.334	0.365	0.387	-0.021	5.43
24	808142.4	9211286	-1496.282	0.36	0.391	-0.031	7.93
25	808134.8	9211209	-1501.943	0.354	0.394	-0.04	10.15
26	808127.1	9211131	-1507.257	0.346	0.396	-0.049	12.37
27	808119.5	9211053	-1512.157	0.338	0.396	-0.057	14.39
28	808111.9	9210975	-1516.577	0.329	0.393	-0.064	16.28
29	808111.6	9210973	-1520.452	0.327	0.393	-0.066	16.79
30	808104.3	9210898	-1523.727	0.317	0.388	-0.071	18.3
31	808096.6	9210820	-1523.874	0.306	0.379	-0.072	19
32	808089	9210742	-1526.382	0.294	0.366	-0.073	19.95
33	808081.4	9210664	-1528.376	0.279	0.35	-0.071	20.29
34	808073.8	9210587	-1529.71	0.264	0.329	-0.066	20.06
35	808066.1	9210509	-1530.411	0.247	0.305	-0.058	19.02
36	808058.5	9210431	-1530.529	0.229	0.276	-0.047	17.03
37	808050.9	9210353	-1530.118	0.21	0.241	-0.031	12.86
38	808043.3	9210276	-1529.219	0.191	0.199	-0.009	4.52
39	808035.6	9210198	-1527.849	0.172	0.151	0.022	14.57
40	808034.1	9210182	-1525.997	0.169	0.139	0.029	20.86
41	808043.3	9210276	-1529.219	0.191	0.199	-0.009	4.52
42	808035.6	9210198	-1527.849	0.172	0.151	0.022	14.57
43	808034.1	9210182	-1525.997	0.169	0.139	0.029	20.86
44							

## LAMPIRAN 4

## Tabel hasil perhitungan model 3 dimensi KM 2

**Figure 4**

	Easting (meter)	Northing (meter)	z (meter)	perhitungan (...)	pengamatan (...)	selisih (mgal)	error (%)
1	808375.1	9208487	-1478.793	-0.205	-0.194	-0.011	5.67
2	808421.9	9208522	-1479.831	-0.212	-0.225	0.013	5.78
3	808479.4	9208565	-1480.792	-0.216	-0.234	0.018	7.69
4	808499.5	9208580	-1489.899	-0.213	-0.235	0.022	9.36
5	808577.1	9208638	-1491.393	-0.21	-0.222	0.012	5.41
6	808583.9	9208643	-1502.198	-0.205	-0.221	0.016	7.24
7	808654.6	9208696	-1508.188	-0.197	-0.208	0.012	5.77
8	808688.3	9208721	-1515.101	-0.19	-0.202	0.012	5.94
9	808732.2	9208753	-1525.936	-0.181	-0.194	0.013	6.7
10	808792.7	9208798	-1528.483	-0.172	-0.183	0.011	6.01
11	808809.8	9208811	-1542.243	-0.166	-0.18	0.013	7.22
12	808887.3	9208869	-1544.381	-0.154	-0.165	0.011	6.67
13	808897.1	9208876	-1556.215	-0.151	-0.164	0.013	7.93
14	808964.9	9208927	-1563.18	-0.139	-0.152	0.012	7.89
15	809001.4	9208954	-1570.252	-0.133	-0.145	0.012	8.28
16	809042.5	9208984	-1581.973	-0.125	-0.138	0.013	9.42
17	809105.9	9209032	-1584.218	-0.116	-0.127	0.011	8.66
18	809120.1	9209042	-1597.968	-0.113	-0.125	0.012	9.6
19	809197.6	9209100	-1600.408	-0.103	-0.112	0.009	8.04
20	809210.3	9209109	-1611.395	-0.101	-0.111	0.009	8.11
21	809275.2	9209158	-1618.252	-0.093	-0.1	0.007	7
22	809314.7	9209187	-1624.47	-0.089	-0.094	0.006	6.38
23	809352.8	9209216	-1635.494	-0.084	-0.089	0.005	5.62
24	809419.1	9209265	-1637.198	-0.078	-0.08	0.002	2.5
25	809430.3	9209273	-1649.553	-0.076	-0.078	0.002	2.56
26	809507.9	9209331	-1651.994	-0.07	-0.068	-0.002	2.94
27	809523.4	9209343	-1661.483	-0.068	-0.066	-0.002	3.03
28							
29							
30							

## LAMPIRAN 5

### Perhitungan Perubahan Massa

Dalam menentukan perubahan massa, digunakan metode penghitungan volume model benda 3 dimensi. Menggunakan pendekatan bahwa setiap lamina mempunyai luas permukaan dan ketebalan sehingga, total volume benda tersebut adalah penjumlahan dari setiap volume lamina yang ada.

Untuk menghitung luas permukaan lamina maka dilakukan proses gridding dengan ukuran setiap kotaknya 200 x 200 meter. Untuk mendapatkan jumlah massa maka dengan menggunakan persamaan

$$M = \rho \times V$$

Didapatkan hasil sebagai berikut.

#### Konsentrasi Massa 1

Lamina	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> )	Ketebalan (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	140 x 10 <sup>4</sup>	100	140 x 10 <sup>6</sup>
2	212 x 10 <sup>4</sup>	100	212 x 10 <sup>6</sup>
3	628 x 10 <sup>4</sup>	100	628 x 10 <sup>6</sup>
4	668 x 10 <sup>4</sup>	800	5.344 x 10 <sup>6</sup>
Total Volume			6.324 x 10 <sup>6</sup>
$\rho = 0.036 \text{ gr/cm}^3$		Total Massa	<b>22.76 MTon</b>

#### Konsentrasi Massa 2

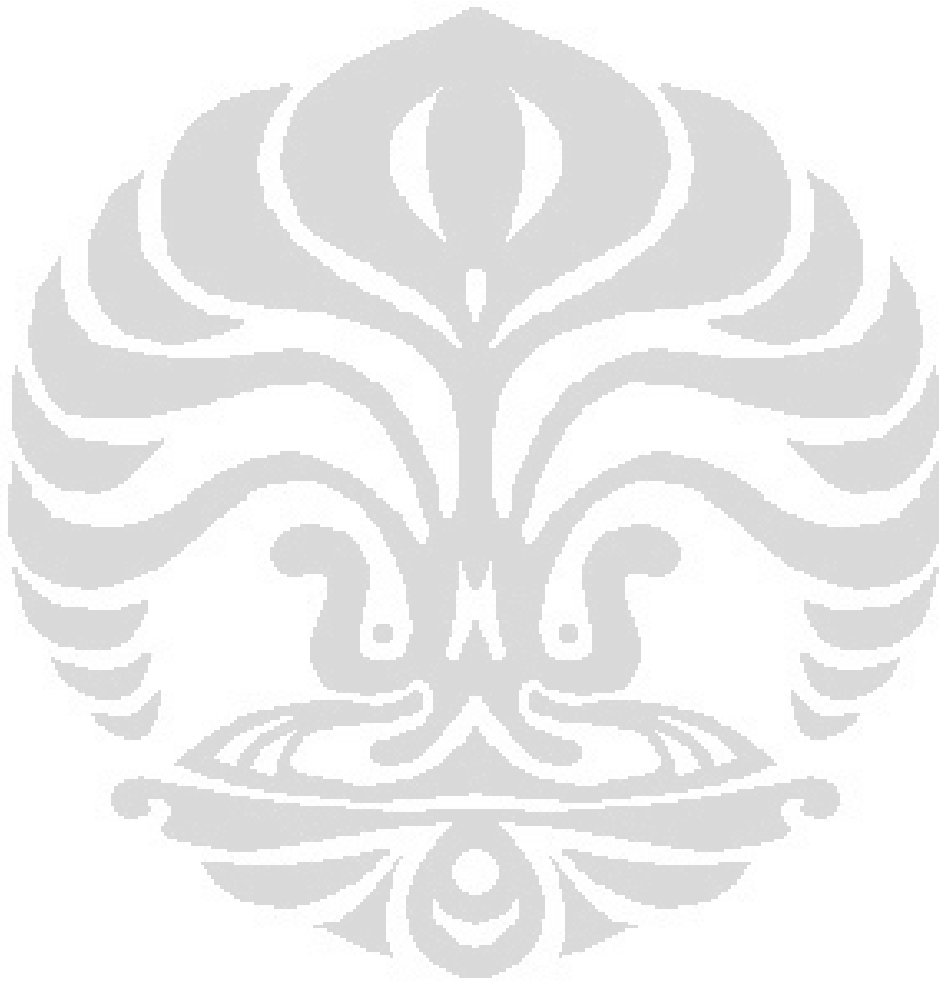
Lamina	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> )	Ketebalan (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	16 x 10 <sup>4</sup>	200	32x 10 <sup>6</sup>
2	68 x 10 <sup>4</sup>	200	136 x 10 <sup>6</sup>
3	100 x 10 <sup>4</sup>	600	600 x 10 <sup>6</sup>
4	356 x 10 <sup>4</sup>	500	1780 x 10 <sup>6</sup>

**Lanjutan**

#### Konsentrasi Massa 2

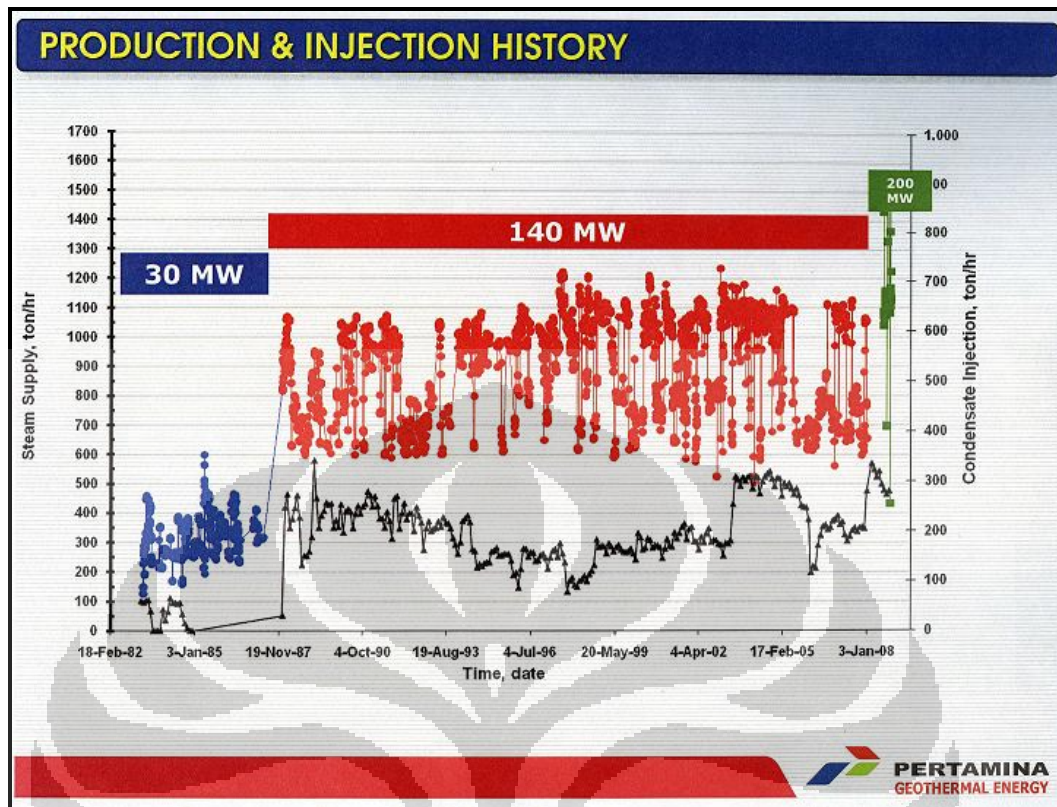


Lamina	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> )	Ketebalan (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
5	140 x 10 <sup>4</sup>	100	140 x 10 <sup>6</sup>
6	212 x 10 <sup>4</sup>	100	212 x 10 <sup>6</sup>
7	628 x 10 <sup>4</sup>	100	628 x 10 <sup>6</sup>
Total Volume			2.940 x 10 <sup>6</sup>
$\Delta\rho = 0.001 \text{ gr/cm}^3$		Total Massa	<b>2.94 Mton</b>



## Lampiran 6

### Grafik Total Produksi dan Injeksi (1983 – 2008)

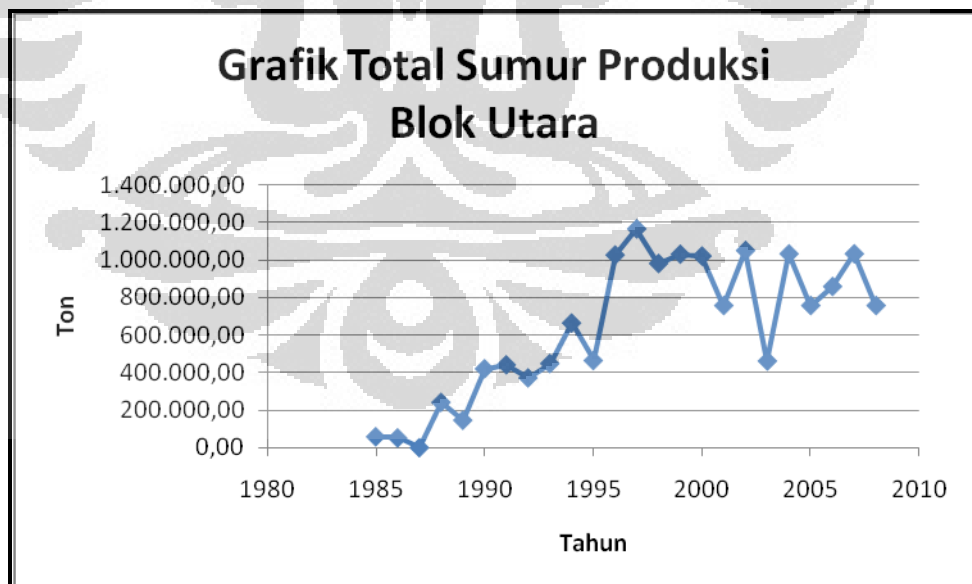
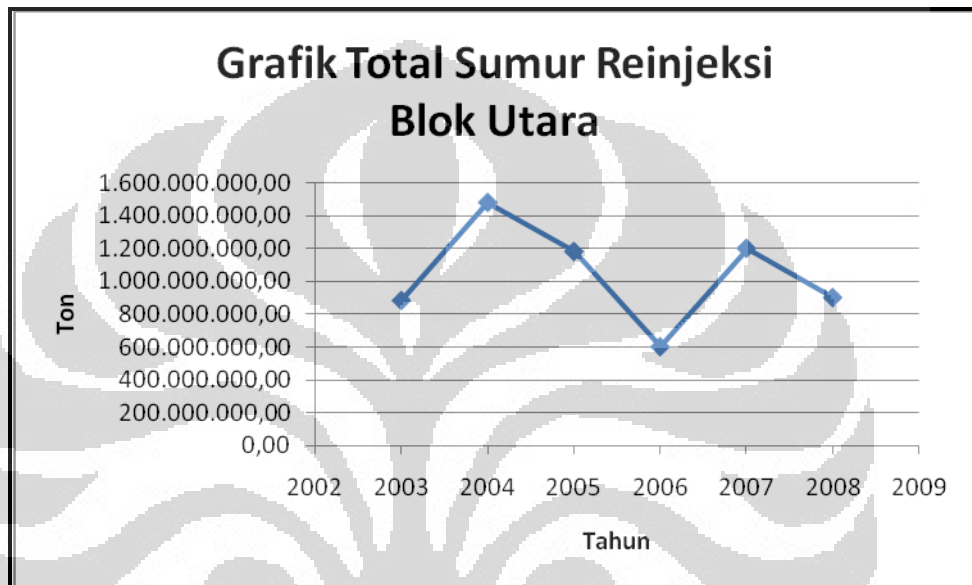


Sumber (Pertamina, 2008)

## LAMPIRAN 7

### Data Produksi dan Injeksi Blok Utara

Tahun	Total injeksi (MTon)	Total produksi (MTon)
1985 - 2002	-	10.3
2003 - 2008	5.7	4.9
<b>Total</b>	<b>5.7</b>	<b>15.2</b>

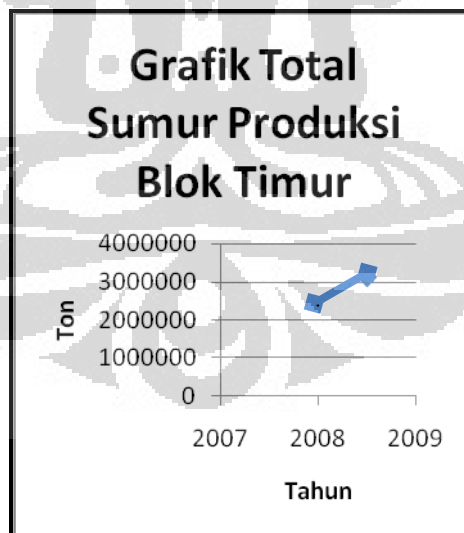
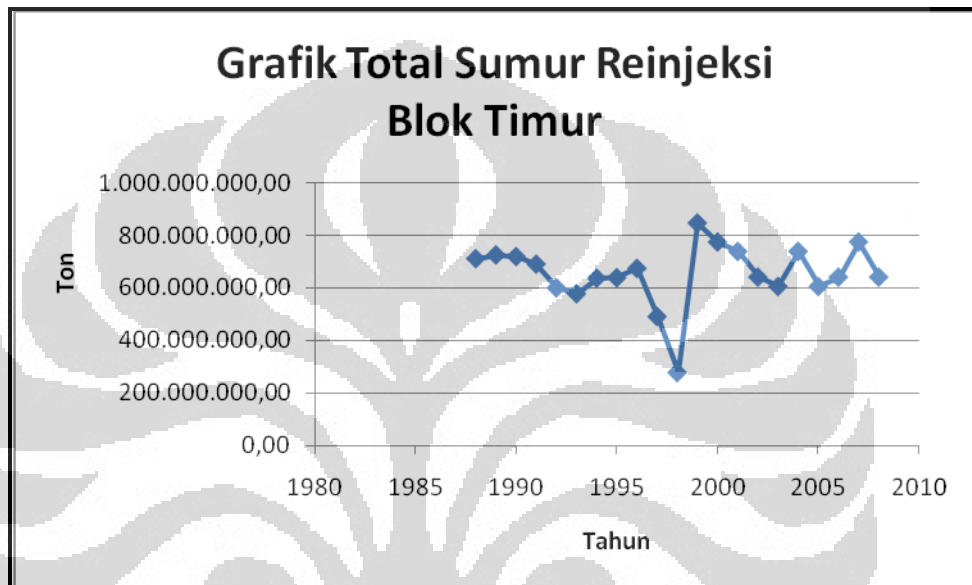


(Sumber, Pertamina)

## LAMPIRAN 8

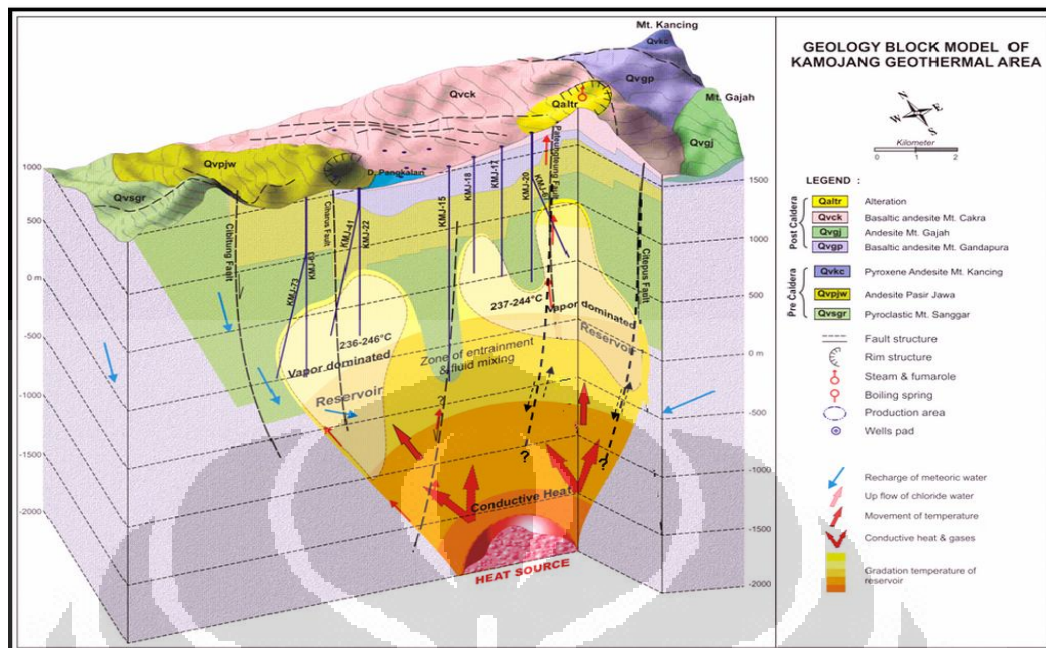
### Data Produksi dan Injeksi Blok Timur

Tahun	Total injeksi (MTon)	Total produksi (MTon)
1988 - 2007	12.5	-
2008	0.6	3.2
<b>Total</b>	<b>13.1</b>	<b>3.2</b>



(Sumber, Pertamina)

## Peta daerah Kamojang



Sumber (Ali, 2007)