

**STUDI RESPON *TIME-LAPSE MICROGRAVITY*  
BERDASARKAN MODELING GEOLOGI, SIMULASI  
RESERVOIR DAN PENGUKURAN LAPANGAN PADA  
LAPANGAN TBN**

**TESIS**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Magister dari  
Institut Teknologi Bandung**

**Oleh  
DYAH AYU SETYORINI**

**NIM : 22313315**

**(Program Studi Magister Geofisika)**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOFISIKA**

**INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG**

**2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI RESPON *TIME-LAPSE MICROGRAVITY* BERDASARKAN  
MODELING GEOLOGI, SIMULASI RESERVOIR DAN PENGUKURAN  
LAPANGAN PADA LAPANGAN TBN**

Oleh

**Dyah Ayu Setyorini**

22313315

(Program Studi Magister Teknik Geofisika)  
Institut Teknologi Bandung

Menyetujui

Pembimbing I,



Prof. Dr. Wawan Gunawan A. Kadir

Pembimbing II,



Dr. Eko Widiyanto

## ABSTRAK

Salah satu pengembangan dari metode gayaberat adalah metode gayaberat mikro 4D (metode gayaberat selang waktu), dengan dimensi keempatnya adalah waktu. Namun disisi lain ada juga metode yang biasa dilakukan oleh para *Petroleum Engineering*, yaitu simulasi reservoir. Dengan metode simulasi reservoir, kondisi reservoir dalam keadaan sesungguhnya disimulasikan dengan menggunakan pemodelan komputer sebagai sebuah sistem yang memiliki sejumlah sel atau blok yang saling terhubung. Dalam penelitian pada Lapangan TBN ini telah dilakukan penggabungan kedua metode tersebut, diharapkan mendapatkan model dinamika fluida bawah permukaan menjadi lebih baik. Pengambilan data akuisisi dilakukan tiga kali yaitu pada September 2004, November 2006 dan November 2007. Anomali gayaberat mikro selang waktu diperoleh dari proses pengurangan data gayaberat observasi setelah dilakukan koreksi pasang surut (*tide*), koreksi apungan (*drift*) dan *low pass filter* pada 400m dengan  $\Delta S = 1000m$  yang menghasilkan dua peta anomali gayaberat selang waktu yaitu pengukuran I September 2004-November 2006 dan pengukuran II September 2004-November 2007. Berdasarkan peta anomali gayaberat mikro selang waktu dan model perubahan densitas fluida dengan didukung oleh data geologi dapat mengidentifikasi anomali negatif yang terkait dengan pengurangan massa fluida karena kegiatan produksi. Selain itu, pergerakan fluida dikendalikan oleh struktur sesar dengan arah utara-selatan dan timur-barat. Sebagai kesimpulan, tinjauan komprehensif yang melibatkan gayaberat mikro 4D, geologi dan produksi reservoir menghasilkan model reservoir baru dimana dari hasil gayaberat selang waktu pengukuran terdapat tiga bagian reservoir pada bagian utara, tengah dan selatan.

## ABSTRACT

*One of expansion from gravity method is 4D microgravity method (Time-Lapse Microgravity) with fourth dimension is time. But the other thing is usually there was method from Petroleum Engineering is reservoir simulation. With this Reservoir simulation, reservoir condition actually used computer model as a system which is have some cells or block each other. In this study on TBN Fields has been merging with two methods, is expected to get below the surface dynamics model to be better. Microgravity data acquisition was conducted in three different times on September 2004, November 2006 and November 2007. Time-Lapse Microgravity method derived from subtraction gravity observation data after tide correction, drift correction, and low pass filter in 400m with  $\Delta S = 1000$  which produced two maps Time-lapse Microgravity for survey I September 2004-November 2006 and Survey II September 2004-November 2007. Base on the map of Time-lapse Microgravity map and fluid density changes with supported by geological data and fluid injection and production volumes, it could be identified the negative anomalies represented the decreasing of fluid mass due to the production activities. The other thing is controlled fluid movement by geology structure with Northsouth and Eastwest. The conclusion is comprehensive review which involve 4D microgravity, geology and reservoir production get produce new reservoir model which is from result measurement Time-lapse Microgravity get three part reservoir in North, middle and South. While result from simulation modeling get one of part reservoir which correlation with Time-lapse Microgravity on the north.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan yang Maha Kuasa, karena atas rahmat Allah penulis dapat menyelesaikan tesis magister teknik Geofisika yang berjudul “Studi Respon Time-Lapse Microgravity Berdasarkan Modeling Geologi, Simulasi Reservoir dan Pengukuran pada Lapangan TBN”.

Tesis disusun berdasarkan data-data yang dimiliki oleh PT. Pertamina asset 3 Cirebon. Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada yang terhormat :

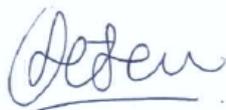
1. Prof. Dr. Wawan Gunawan A. Kadir, MS sebagai pembimbing I dan Dr. Eko Widiyanto sebagai pembimbing II.
2. Dr. Daharta Dahrin, sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung.
3. Prof. Dr.rer.nat R. Moh Rachmat Sule, ST, MT sebagai Dosen Wali Program Studi Magister Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung.
4. Semua dosen pengampu Prodi Magister Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung dan staf administrasi Prodi Magister Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung.
5. Ir. H. Sugiatmo Kasmungin, M.T., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti dan Ibu Ir. Dewi Syavitri, M.T., Ph.D., selaku Kaprodi Teknik Geologi Universitas Trisakti.
6. Dr. Ir. M. Burhannudinnur, M.T., selaku Direktur Utama Badan Afiliasi Teknologi Mineral Usakti yang banyak memberikan masukan sehingga selesai nya tesis ini.

7. Ir. Suryo Prakoso, M.T., yang telah banyak sekali memberikan masukan dalam penulisan tesis ini.
8. PT. Pertamina asset 3 Cirebon, yang telah memberi izin data yang digunakan dalam penelitian ini.
9. Kedua orang tua Bapak H. M Muslich dan Hj. Dwi Noorwani atas kasih sayang dan doa yang senantiasa penulis terima.
10. Suami tercinta Reza Asyrofil Ula dan anak tersayang Adam Nagendra Malik yang telah memberikan semangat dan doa sampai selesainya tesis ini.
11. Teman-teman dosen, karyawan Universitas Trisakti dan teman-teman BATM atas semangat dan inspirasinya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan penulisan ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamualaikum Wr, Wb

Bandung, Juli 2016



Penulis

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Metode gayaberat mikro 4D atau yang dikenal sebagai metode gayaberat mikro selang waktu merupakan pengembangan dari metode gayaberat dengan dimensi ke empatnya adalah waktu. Prinsip dari metoda gayaberat mikro 4D adalah pengukuran gayaberat mikro secara berulang baik harian, mingguan, bulanan atau tahunan dengan menggunakan alat gravimeter dalam orde  $\mu\text{Gal}$ , sehingga kita dapat mengamati kemungkinan adanya perubahan rapat massa dan geometri (bentuk) sumber bawah permukaan sebagai fungsi  $x$ ,  $y$ ,  $z$  dan  $t$ . Hal ini menunjukkan bahwa anomali gayaberat adalah anomali selang waktu yang dihasilkan dari perbedaan gayaberat titik pengukuran dalam interval waktu tertentu, sehingga anomali gayaberat mikro 4D minimal dihasilkan dari dua akuisisi data. (Kadir, 2003).

Perkembangan metode gayaberat pada berbagai aspek mengakibatkan semakin meluasnya penggunaan metode ini dalam kegiatan eksplorasi geofisika. Dalam teknik akuisisi data dengan adanya alat ukur gayaberat yang mampu mendeteksi anomali hingga orde  $\mu\text{Gal}$ , memungkinkan metode ini digunakan untuk pemantauan dalam bidang minyak dan gas bumi maupun bidang non migas.

Penggunaan metode gayaberat mikro selang waktu telah banyak dilakukan seperti untuk monitoring reservoir minyak dan gas bumi, reservoir panas bumi, reservoir air tanah, pemantauan pergerakan injeksi air pada reservoir gas, pemantauan magma dan prediksi letusan (Sarkowi, 2008). Perubahan nilai gayaberat ini sangat kecil sehingga diperlukan metode gayaberat berskala mikro untuk pemantauannya. Salah satu pengembangan dari metode gayaberat adalah metode gayaberat mikro 4D (metode gayaberat selang waktu), dengan dimensi keempatnya adalah waktu. Namun disisi lain ada juga metode yang biasa dilakukan oleh para *Petroleum Engineering*, yaitu simulasi reservoir. Dengan metode simulasi reservoir, kondisi reservoir dalam keadaan sesungguhnya

disimulasikan dengan menggunakan pemodelan komputer sebagai sebuah sistem yang memiliki sejumlah sel atau blok yang saling terhubung. Dalam kesempatan ini penulis mencoba menggabungkan kedua metode tersebut pada lapangan TBN, diharapkan pemodelan dinamika fluida bawah permukaan menjadi lebih baik.

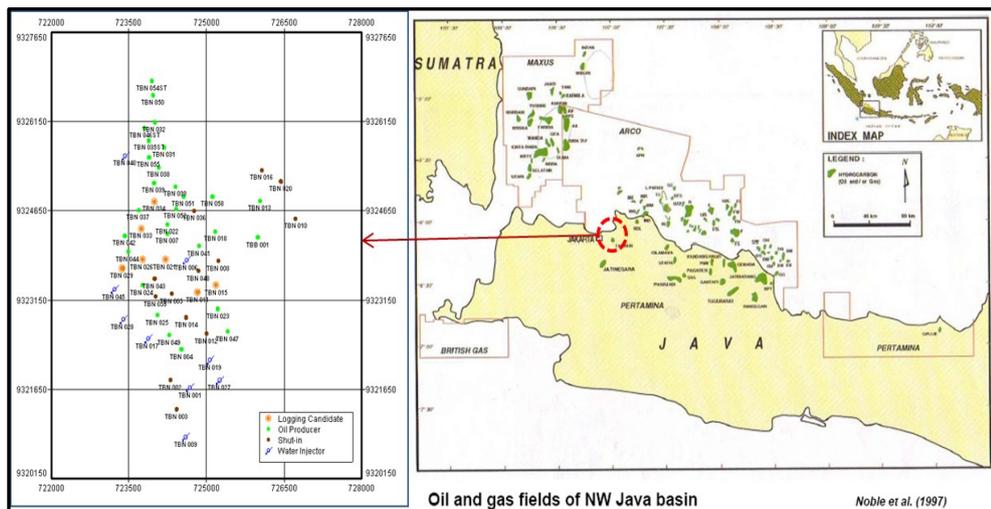
Respon anomali gayaberat selang waktu merepresentasikan perubahan densitas fluida pada suatu reservoir dan dalam simulasi reservoir, pola pergerakan fluida dan kandungan fluida pori dapat diidentifikasi berdasarkan saturasi fluida pada periode waktu tertentu dan waktu mendatang, sehingga kedua metode tersebut dapat saling memperkuat satu dengan yang lainnya yang pada akhirnya dapat diperoleh model reservoir yang lebih komprehensif.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

- Mengetahui perubahan sifat fisik dan pergerakan fluida reservoir berdasarkan data gayaberat mikro 4D, model geologi dan simulasi reservoir suatu lapangan migas.
- Untuk mengetahui estimasi pengukuran gayaberat selang waktu berikutnya dengan model reservoir yang baru dari analisa gayaberat selang waktu hasil simulasi.

## **1.3. Lokasi Penelitian**

Lapangan Tambun berada di *onshore* ± 25 km sebelah timur Kota Jakarta (15 km utara Kota Bekasi) dengan luas area klosur 18 km<sup>2</sup> ditemukan Januari 1992 ( Sumur Ekplorasi EX.JOLCO TBN-01) dikembangkan mulai oktober 1999 dengan jumlah sumur 65 bor ( 41 produksi, 11 sumur injeksi air). Lapisan prospek Eq.Baturaja (setara Formasi Baturaja) dan Eq. TalangAkar dengan tipe reservoir *Build up reef*.



**Gambar 1.1** Peta lokasi daerah penelitian ( Noble et al, 1997)

#### 1.4. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi oleh ruang lingkup sebagai berikut :

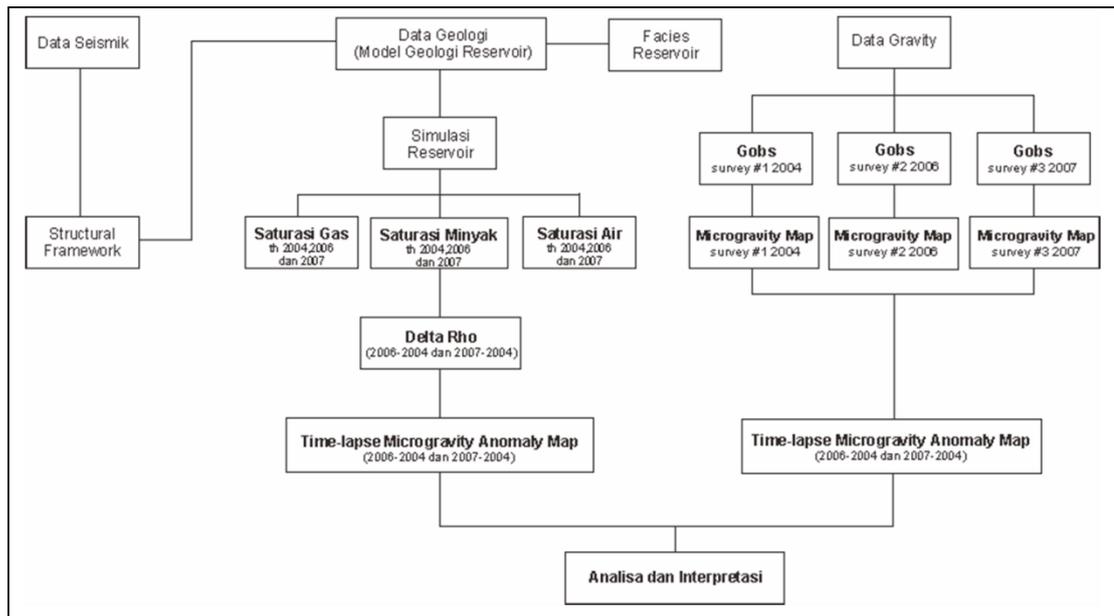
- Data pengukuran gayaberat mikro 4D yang digunakan mulai dari September 2004 - November 2007. Pengukuran I pada November 2006-September 2004 dan Pengukuran II pada November 2007-September 2004.
- Penelitian ini menggunakan data hasil studi simulasi reservoir yang sudah ada mulai dari Desember 2004-Desember 2007.

#### 1.5. Metode Penelitian

##### 1.5.1. Tahap Persiapan

Persiapan penelitian ini diawali dengan melakukan perencanaan studi pustaka mengenai daerah penelitian, mengumpulkan data yang dibutuhkan. Ruang lingkup penelitian ini meliputi analisis geofisika, analisis gravity dan geologi. Analisis geofisika yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan hasil *structural framework* yang sudah ada diantaranya interpretasi lapisan dan patahan, peta struktur waktu dan peta stuktur kedalaman. Analisis geologi yang dilakukan adalah menganalisa hasil simulasi reservoir dari model dinamik yang sudah ada. Dari simulasi reservoir dapat diketahui saturasi gas, saturasi minyak dan saturasi

air, sehingga dapat dihitung penambahan densitas pada waktu tertentu, untuk membuat peta anomali respon selang waktu. Sedangkan analisis data gayaberat yang dilakukan adalah berdasarkan peta anomali respon pengukuran selang waktu yang sudah ada.



**Gambar 1.2 Diagram Alur Penelitian**

### 1.5.2. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, tujuan penelitian, lokasi penelitian, ruang lingkup dan batasan penelitian, metode penelitian, sistematika penulisan.

BAB I I : LANDASAN TEORI

Landasan teori membahas mengenai metoda gayaberat, Anomali Gayaberat, Teori Gayaberat Selang Waktu.

- BAB III : TINJAUAN GEOLOGI REGIONAL**  
Bab ini berisi tentang tinjauan geologi daerah penelitian mengenai Tektonik, Stratigrafi, Sistem Petroleum
- BAB IV : PENGOLAHAN DATA**  
Membahas tentang proses pengolahan data pada penelitian ini meliputi pemodelan reservoir dari hasil modeling geologi, pemodelan gayabarat pengukuran.
- BAB V : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**  
Berisi tentang Gayabarat Observasi, Perubahan Densitas, Anomali gayabarat selang waktu, Perbandingan anomali hasil model simulasi dan anomali hasil pengukuran.
- BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN**  
Berisi kesimpulan dari penelitian dan saran dari penulis.

## BAB II

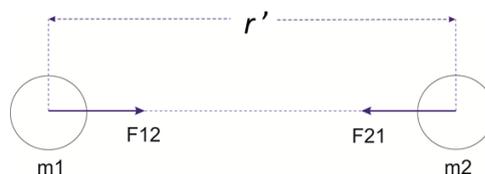
### TEORI DASAR

#### 2.1. Metoda Gayaberat

Metode gayaberat merupakan salah satu metode dalam geofisika yang didasarkan pada variasi densitas di bawah permukaan. Metode gayaberat pada awalnya dalam bidang perminyakan digunakan untuk survei regional dalam penentuan geometri cekungan, ketebalan sedimen dan analisis tektonik regional. Seiring dengan perkembangan ketelitian alat ukur algoritma pengolahan data, maka pemanfaatan metode gayaberat bukan hanya untuk eksplorasi regional tetapi juga untuk penentuan prospek, penilaian cadangan hingga manajemen reservoir berdasarkan metode pengukuran selang waktu.

##### 2.1.1 Hukum Newton tentang Gravitasi

Teori yang mendasar dalam metoda gayaberat adalah hukum gravitasi umum Newton (1642-1727) yang menyatakan bahwa gaya gravitasi antara dua benda merupakan gaya tarik menarik yang besarnya berbanding lurus dengan massa masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya.



**Gambar 2.1** Gaya tarik menarik antara dua benda (Newton 1642-1727)

Jika dua benda dengan massa  $m_1$  dan  $m_2$  dipisahkan oleh jarak  $r$ , maka gaya tarik menarik antara kedua benda tersebut adalah

$$\vec{F}(\vec{r}) = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \dots\dots\dots(2.1)$$

- dengan
- F = Gaya (Newton)
  - r = jarak antara dua massa benda (meter)
  - $m_1, m_2$  = massa benda (kg)
  - G = konstanta gravitasi ( $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ )
  - $\hat{r}$  = vektor satuan dari  $m_1$  ke  $m_2$  (Plummer, 2003).

Dari persamaan (2.1) dapat diketahui besarnya medan gayaberat di  $m_2$ , yaitu dengan membagi F dengan  $m_2$  yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\vec{g}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{m_2} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \dots\dots\dots(2.2)$$

Apabila massa bumi adalah  $M_e$  dan jari-jari bumi adalah  $R_e$  dengan menganggap bumi homogen, berbentuk *sferis* dan tidak berotasi, maka medan gayaberat dapat dinyatakan sebagai gradient dari suatu fungsi potensial scalar  $U(\vec{r})$ , dapat ditulis sebagai berikut :

$$\vec{g}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r}) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dari persamaan (2.3) dapat diperoleh potensial gayaberat seperti berikut :

$$U(r) = \int_{\infty}^R g(\vec{r}) \cdot d\vec{r} = -GM \int_{\infty}^R \frac{dr}{r^2} = \frac{GM}{R} \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan (2.4) menyatakan suatu usaha untuk menggerakkan sebuah massa dari suatu titik tak berhingga jauhnya dengan sembarang lintasan, ke suatu titik berjarak R dari pusat massa M.

## 2.2 Koreksi Gayaberat Mikro Selang Waktu

Pembacaan nilai gayaberat dari suatu ke titik permukaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kesalahan sistematis karena alat, variasi topografi variasi tinggi, pasang, lintang dan variasi densitas bawah permukaan. Dari beberapa faktor, target utama adalah variasi densitas bawah permukaan, sehingga

faktor-faktor lain yang tidak perlu dalam pembacaan nilai gayaberat harus dihilangkan. Dengan kata lain pembacaan nilai gayaberat harus diperbaiki terlebih dahulu, sehingga nilai-nilai gayaberat yang diukur merupakan nilai gayaberat yang benar-benar mewakili sebuah anomali karena variasi densitas bawah permukaan. Dua koreksi penting yang diterapkan dalam survey mikro gayaberat adalah koreksi pasang surut dan koreksi apungan. Kedua koreksi diterapkan pada pengurangan tahap pertama setelah megkonversi skala nilai gayaberat menjadi mikroGal.

### 2.2.1. Koreksi Pasang Surut (Tide)

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan efek gayaberat benda-benda di luar Bumi seperti Matahari dan Bulan. Penurunan efek tidal ini hampir sebagian besar menggunakan persamaan Longman (1959). Dalam prakteknya, koreksi tidal dilakukan dengan cara mengukur nilai gayaberat di stasiun yang sama (base) pada interval waktu tertentu, kemudian bacaan gravimeter tersebut di plot terhadap waktu agar menghasilkan suatu persamaan yang digunakan untuk menghitung koreksi tidal. Nilai koreksi pasang surut (tidal) ini selalu ditambahkan pada pembacaan gayaberat.

$$g_t = g_{obs} + tide_{obs} \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan :

$g_t$  = gayaberat terkoreksi tidal

$g_{obs}$  = gayaberat bacaan

$tide_{obs}$  = koreksi tidal

### 2.2.2. Koreksi Apungan (Drift)

Koreksi apungan dilakukan sebagai akibat adanya perbedaan pembacaan gayaberat di stasiun yang sama pada waktu yang berbeda, yang disebabkan karena adanya guncangan pegas alat gravimeter selama proses transportasi dari satu stasiun ke stasiun lainnya. Untuk menghilangkan efek ini, akuisisi data gayaberat

didesain dalam suatu rangkaian tertutup (loop), sehingga besar penyimpangan tersebut dapat diketahui dan diasumsikan linier pada selang waktu tertentu. Nilai koreksi drift pada masing-masing titik stasiun adalah :

$$\text{drift}_n = \frac{(t_n - t_1)}{(t_N - t_1)}(g_N - g_1) \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana :

$t_n$  = waktu pembacaan pada stasiun ke-n

$t_1$  = waktu pembacaan pada stasiun base (awal looping)

$t_N$  = waktu pembacaan pada stasiun base (akhir looping)

$g_1$  = bacaan gravitimeter (terkoreksi tidal) pada stasiun base (awal looping)

$g_N$  = bacaan gravitimeter (terkoreksi tidal) pada stasiun base (akhir looping)

$\text{drift}_n$  = besarnya koreksi drift pada stasiun ke-n.

Titik stasiun ke 1 dan ke N merupakan titik awal dan akhir, dan dalam praktek biasanya stasiun base. Koreksi drift selalu dikurangkan terhadap bacaan gravitimeter.

$$g_{td} = g_t - \text{drift} \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana :

$g_{td}$  = gayaberat terkoreksi tidal dan drift

$g_t$  = gayaberat terkoreksi tidal

### 2.3 Teori Gayaberat Selang Waktu

Anomali gayaberat selang waktu adalah selisih antara nilai gayaberat pengamatan ( $g_{obs}$ ), antara anomali Bouguer sederhana (ABS), ataupun antara anomali Bouguer Lengkap (ABL) pada suatu stasiun pengamatan dari dua pengamatan atau pengukuran berturutan. Selisih nilai dari nilai-nilai tersebut disebabkan oleh perubahan yang terjadi di daerah tersebut. Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

adalah selisih antara nilai gayaberat hasil pengamatan dengan nilai gayaberat teoritik yang di definisikan pada stasiun pengamatan.

Nilai anomali Bouguer lengkap didefinisikan oleh Blakely (1996) sebagai berikut

$$\Delta g(x, y, z) = g_{obs} - g\varphi + FAC - BC + TC \dots\dots\dots(2.21)$$

Persamaan (2.21) dapat disederhanakan menjadi :

$$\Delta g(x, y, z) = g_{obs} - g\varphi + (c1 - c2\rho)h1+c3\Delta h1 \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

- $\Delta g(x, y, z)$  : Anomali Bouguer lengkap (ABL)
- $g_{obs}$  : Nilai gayaberat pengamatan
- $g\varphi$  : Nilai gayaberat teoritik pada lintang  $\varphi$
- FAC : Koreksi udara bebas
- BC : Koreksi Bouguer
- TC : Koreksi medan
- $c1$  : Konstanta untuk koreksi udara bebas (=0,30876 mGal/m)
- $c2$  : Konstanta untuk koreksi Bouguer untuk lempeng terbatas (=0,04193 mGal/m)
- $c3$  : Konstanta untuk koreksi medan
- $\rho$  : Rapat massa
- H : Elevasi stasiun pengamatan
- $\Delta h$  : Beda elevasi stasiun pengamatan dengan elevasi rata-rata kompartemen di sekelilingnya

Sarkowi (2007) menyatakan bahwa anomali gayaberat mikro selang waktu adalah :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = \Delta g(x, y, z, t2) - \Delta g(x, y, z, t1) \dots\dots\dots(2.21)$$

dengan

$$\Delta g(x, y, z, t1) = g_{obs}(1) - g\varphi(1) + (c1 - c2\rho)h1 + c3\Delta h1$$

$$\Delta g(x, y, z, t2) = g_{obs}(2) - g\varphi(2) + (c1 - c2\rho)h2 + c3\Delta h2$$

Jika selama selang dua periode pengamatan terjadi perubahan elevasi stasiun pengamatan, maka persamaan (2.21) dapat dituliskan menjadi :

$$\begin{aligned} \Delta g(x, y, z, \Delta t) = & (g_{obs}(2) - g_{obs}(1)) - (g\varphi(2) - g\varphi(1)) \\ & + (c1 - c2\rho)(h2 - h1) + c3(\Delta h2 - \Delta h1) \end{aligned} \quad (2.22)$$

Keterangan :

- $\Delta g(x, y, z, \Delta t)$  : Anomali gayaberat mikro selang waktu
- $\Delta g(x, y, z, t1)$  : Anomali Bouguer lengkap periode 1
- $\Delta g(x, y, z, t2)$  : Anomali Bouguer lengkap periode 2
- $g_{obs}(1)$  : Nilai gayaberat pengamatan periode 1
- $g_{obs}(2)$  : Nilai gayaberat pengamatan periode 2
- $g\varphi(1)$  : Nilai gayaberat teoritik pada lintang  $\varphi$  periode 1
- $g\varphi(2)$  : Nilai gayaberat teoritik pada lintang  $\varphi$  periode 2
- $h1$  : Elevasi stasiun pengamatan periode 1
- $h2$  : Elevasi stasiun pengamatan periode 2
- $\Delta h1$  : Beda elevasi stasiun pengamatan dengan topografi di sekelilingnya periode 1
- $\Delta h2$  : Beda elevasi stasiun pengamatan dengan topografi di sekelilingnya periode 2

Apabila selama selang periode pengamatan tidak terjadi pergeseran stasiun pengamatan pada arah horizontal ( $\varphi_1 = \varphi_2$ ), maka Persamaan (2.22) dapat disederhanakan menjadi :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = (g_{obs}(2) - g_{obs}(1)) + (c1 - c2\rho) + c3(\Delta h2 - \Delta h1)..(2.23)$$

Atau

$$\begin{aligned} & (g_{obs}(2) - g_{obs}(1)) \\ & = \Delta g(x, y, z, \Delta t) - (c_1 - c_2\rho)(h_2 - h_1) + c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1) \end{aligned} \quad \dots(2.24)$$

#### 2.4 Respon gayaberat mikro oleh dinamika air bawah permukaan

Perubahan kedalaman muka air tanah pada suatu tempat dipengaruhi oleh : musim, curah hujan, pengambilan air tanah oleh manusia dan lain-lain. Perubahan gayaberat akibat adanya muka air tanah dapat diturunkan dengan melakukan simulasi respon gayaberat mikro terhadap penurunan muka air tanah maupun menggunakan pendekatan koreksi Bouguer sederhana dengan memasukkan variable porositas :

$$gw = 2\pi G\rho\emptyset h$$

$$gw = 0.04193\rho\emptyset h$$

$$\Delta gw = 41.93\rho\emptyset h$$

(2.25)

dimana :

$\Delta gw$  : perubahan nilai gravitasi karena adanya perubahan tinggi air tanah

$\rho$  : densitas fluida (gr/cc)

$\emptyset$  : porositas (%)

$h$  : penurunan atau kenaikan permukaan air tanah (meter)

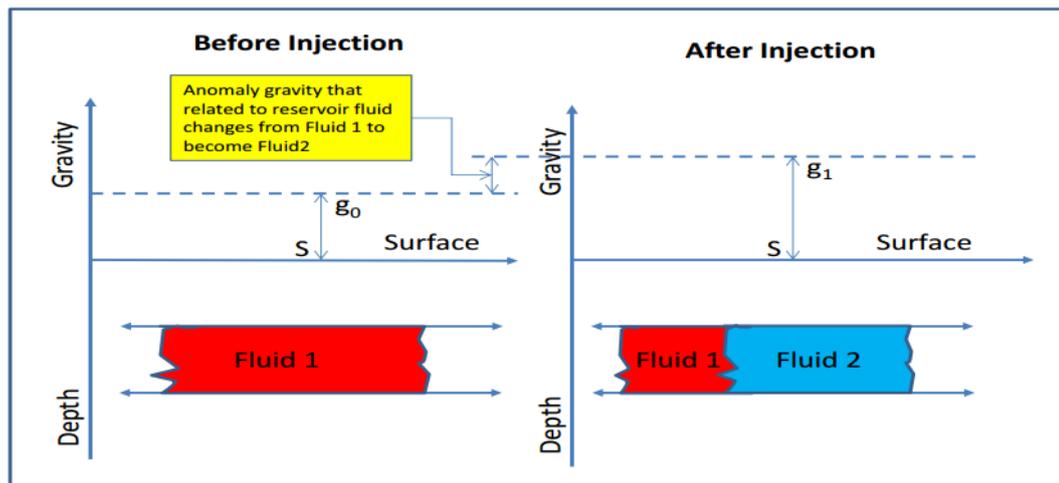
Dengan asumsi porositas batuan 30% maka setiap terjadi penurunan muka air tanah 1m akan memberikan respon gayaberat sebesar 12,579 mikroGal.

## 2.5 Anomali Gayaberat Mikro Selang Waktu

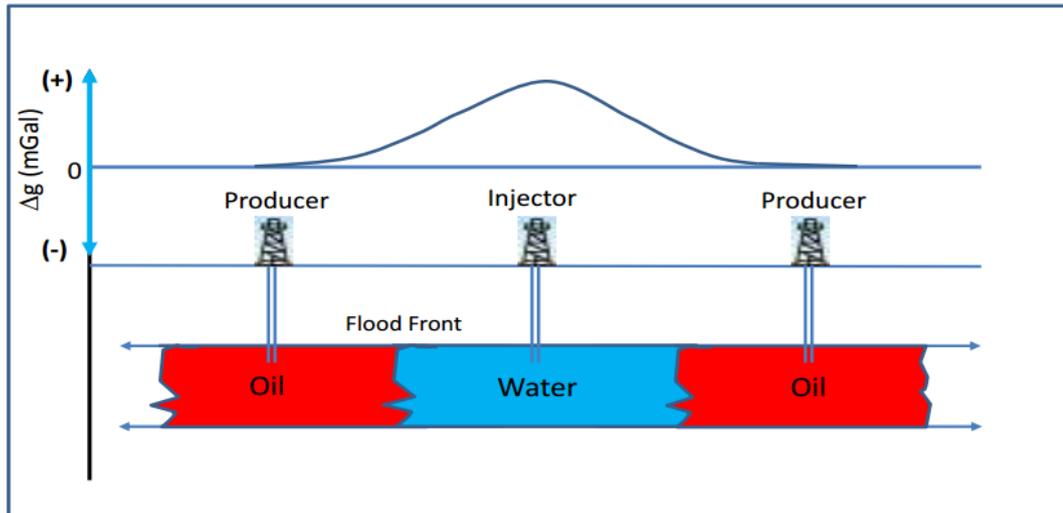
Bumi memiliki massa yang dinamis disebabkan oleh faktor alami maupun buatan yang dapat dibuktikan dengan pengukuran gayaberat. Beberapa fenomena penting yang dapat mempengaruhi pengukuran gayaberat adalah sebagai berikut :

- a. Permukaan Air
- b. Perbedaan Iklim
- c. Perbedaan Topografi

Dinamika bawah permukaan akan mempengaruhi distribusi massa serta titik pengukuran gravitasi. Perubahan distribusi massa dan elevasi akan memberikan nilai gayaberat yang berbeda. Anomali gayaberat mikro selang waktu didefinisikan sebagai perbedaan waktu pembacaan gayaberat mikro selang waktu yang diamati pada titik yang sama (Kadir, 1999). Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa ketinggian setiap titik pengamatan juga diperiksa untuk memastikan kualitas data.



**Gambar 2.2** Anomali Gayaberat dan Sumbernya (Kadir, 2003)



**Gambar 2.3** Cross section Anomali gayaberat Mikro Selang Waktu ( Kadir, 2003)

## 2.6 Model Gayaberat Mikro Selang Waktu

Dalam modeling gayaberat mikro selang waktu, interpretasi data dilakukan setelah diketahui nilai anomali gayaberat dan pemisahan noise. *Forward modeling* adalah bagian dari teknik interpretasi yang dilakukan untuk merekonstruksi distribusi densitas dibawah permukaan. Dalam *forward modeling*, model awal didasarkan pada intuisi geologi dan geofisika. Secara umum, proses yang dilakukan dalam *forward modeling* adalah untuk menghitung model anomali dan membandingkan model ini dengan hasil anomali pengukuran, untuk mendapatkan kecocokan antara model dengan hasil anomali pengukuran. Metode ini melibatkan proses modeling interaktif dimana daya tarik gravitasi karena model bawah permukaan dihitung dan dibandingkan dengan anomali gravitasi pengukuran. Jika nilai tidak sesuai dengan anomali model yang diamati, prosedur pemodelan diulang sampai menghasilkan nilai yang sesuai. Sedangkan pemodelan inversi, parameter densitas dapat dihitung langsung dari hasil pengukuran anomali melalui metode numerik (Blakely, 1995).

### 2.6.1 Dekonvolusi

Dari anomali gayaberat mikro selang waktu ( $\Delta g$ ) kita dapat memperoleh nilai kontras densitas ( $\Delta \rho$ ) menggunakan teknik dekonvolusi. Proses dekonvolusi setara dengan proses inversi linear dimana operator dekonvolusi dirancang dengan mempertimbangkan perbedaan minimum antara nilai prediksi dan yang diamati.

Ekspresi matematika dari anomali gayaberat adalah hasil konvolusi antara operator  $R_i$  yang tergantung pada geometri jarak dari stasiun dan distribusi densitas.

$$\Delta g_i(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma) \cdot R_i(x - \alpha, y - \beta, z - \gamma) \cdot d\alpha \cdot d\beta \cdot d\gamma$$

Menurut persamaan ini, distribusi densitas bawah permukaan dapat diturunkan dari anomali gayaberat yang diamati di permukaan dengan menggunakan formulasi dekonvolusi anomali gayaberat yang dinyatakan oleh :

$$\Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta g_i(x, y, z) \cdot C_i(x - \alpha, y - \beta, z - \gamma) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

Dimana  $C_i \approx 1/R_i$  disebut sebagai operator dekonvolusi yang digunakan untuk mengubah anomali Bouguer menjadi distribusi densitas bawah permukaan.

## BAB III

### TINJAUAN GEOLOGI

#### **2.2. Geologi Regional**

##### **2.2.1. Tektonik**

Struktur Tambun recara regional terletak pada Sub Cekungan Ciputat, Cekungan Jawa Barat Utara. Sejarah tektonik cekungan ini tidak dapat dipisahkan dari sejarah tektonik global Asia Selatan, Asia Tenggara dan Australia. Pembentukan dan perkembangan cekungan – cekungan Tersier di dalam dan sekitar Lempeng Sunda, dikontrol dan dipengaruhi oleh terjadinya tumbukan (collision) antara Lempeng (benua) India dengan bagian tepi selatan dari Lempeng (benua) Eurasia. Gejala tektonik yang terjadi pada awal Eosen itu, mengawali pembentukan cekungan-cekungan di Sumatera, Jawa, Malaysia, Thailand, dan Kalimantan.

Secara regional, di Cekungan Jawa Barat Utara, terjadi 4 (empat) perioda tektonik utama, yaitu :

##### **1. *Pra Tersier (Late Cretaceous) sampai dengan Eosen (100 – 56 Ma)***

Perioda ini ditandai dengan peristiwa tumbukan dan perkembangan busur Meratus, pengangkatan, erosi dan penurunan temperatur yang terjadi pada Paleosen. Peristiwa magmatisme terjadi pada hampir seluruh daerah *onshore* dan *offshore* Java sebagai akibat dari proses-proses yang berhubungan dengan suatu *normal subduction*. Magmatisme ini berlanjut hingga Awal Eosen.

Selain itu, pada perioda ini terjadi metamorfosa sedimen karbonat dan serpih dari *Sunda continental passive margine* pada akhir Kapur. Disamping metamorfosa derajat sedang - rendah ini, terjadi juga peristiwa intrusi andesitik pada hampir seluruh cekungan Jawa Barat Utara.

## **2. *Paleogene Extensional Rifting (50 – 40 Ma)***

Peristiwa tumbukan antara lempeng India dengan lempeng Eurasia mengaktifkan sesar mendatar mengenai utama kraton Sunda (Daly et al., 1987, 1991) dan mengawali pembentukan cekungan – cekungan Tersier di Indonesia Bagian Barat.

Pada Cekungan Jawa Barat Utara periode ini ditandai dengan tektonik ekstensi (Eocene) sebagai fase pertama rifting (Rifting I; *early fill phase*). Sedimen yang diendapkan pada Rifting-I ini disebut sedimen Synrift I. Cekungan awal rifting (*Rift I* atau *early fill phase*) terbentuk selama fragmentasi, rotasi dan pergerakan dari Kraton Sunda. Cekungan yang kaya akan material vulkanik terkonsentrasi sepanjang jalur Sub-cekungan Jatibarang, Sub-cekungan Cipunegara, Sub-cekungan Ciputat, bagian selatan dan tengah Sub cekungan Arjuna. Dua (2) trend sesar normal yang diakibatkan oleh perkembangan Rifting-I (*early fill*) berarah N 60° W - N 40° W dan hampir N – S.

## **3. *Neogene Compressional Wrenching (34 – 5 Ma)***

Ditandai oleh pembentukan sesar-sesar geser akibat gaya kompresif dari tumbukan Lempeng Hindia. Sebagian besar pergeseran sesar merupakan reaktifasi dari sesar normal yang terbentuk pada periode *Paleogene*. Secara lebih rinci periode ini dapat dibagi sebagai berikut :

Oligosen (34 – 30 Ma) Periode tektonik ini terkait dengan rifting di Laut Cina Selatan dan akresi di Bagian Utara Kalimantan. Tepian Lempeng Australia (New Guinea) menabrak beberapa kompleks busur (Daly et.al., 1987, 1991).

Miosen Tengah (17 – 10 Ma) Periode ini terkait dengan terhentinya rifting di Laut Cina Selatan oleh peristiwa tumbukan fragmen-fragmen benua yang dihasilkan oleh Gondwana (*northern Australia/Irian Jaya*) dengan bagian timur dari Tepian Lempeng Mikro Sunda (Daly et. al., 1987, 1991).

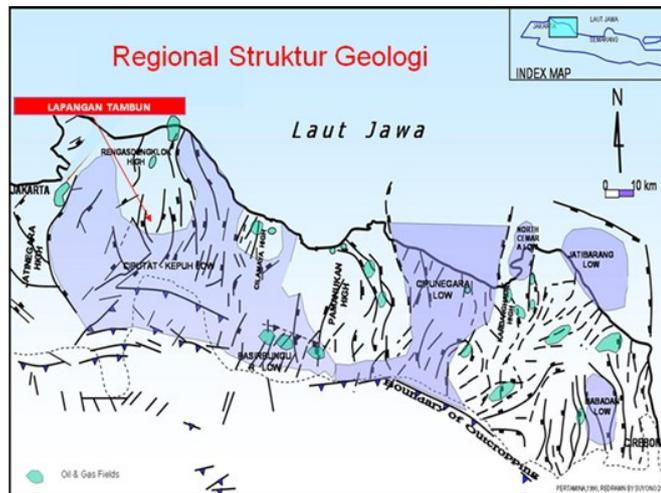
Miosen Akhir (7 – 5 Ma) Periode ini ditandai oleh tertumbuknya Sunda Trench oleh Bagian Barat Laut Lempeng Australia (Daly et. al., 1987, 1991).

Plio-Pleistosen (5 – 0 Ma) Periode tektonik ini ditandai dengan Bagian utara dari *NW Australia passive margin* dengan *Sunda Trench* dan busur depan Banda. Pada periode ini terjadi inversi minor di Cekungan Jawa Barat Utara.

### **2.2.2. Tektonik Daerah Penelitian**

Secara struktural, lapangan TBN terletak pada Ciputat Sub-basin di Northwest Java Basin. Secara tektonik Northwest Java Basin terletak pada bagian dari busur belakang subduksi lempeng India di selatan Pulau Jawa. Bukti-bukti geologi telah membuktikan bahwa cekungan terbentuk dari sesar dextral. Arah gaya yang terjadi di Utara-Selatan, umumnya tegak lurus dengan zona subduksi serta melibatkan tebal lempeng tektonik (Hamilton,1979). Hal ini juga diakui bahwa dalam struktur rifting pada arah Utara-Selatan, positif atau negatif dari *flower structures* yang di interpretasi dari sesar lateral yang ditemukan.

Pada Eosen-Oligosen, daerah cekungan didominasi oleh sedimen klastik kasar sebagai hasil dari proses rifting. Sedimen ini ditemukan di sepanjang tepi Sundaland di Asia Tenggara, yang relevan dengan tumbukan lempeng antara lempeng India dan lempeng Eurasia. Dari Oligosen hingga saat ini, daerah pada cekungan ini telah didominasi oleh vulcanoclastics sedimen. Kerangka tektonik pada Northwest Java Basin ditunjukkan pada **Gambar 3.1**



**Gambar 3.1.** Kerangka Struktur Cekungan Jawa Barat Bagian Utara.

### 2.2.3. Stratigrafi

Stratigrafi umum Jawa Barat Utara berturut-turut dari tua ke muda adalah sebagai berikut :

#### 1) Formasi Jatibarang

Satuan ini merupakan endapan *early synrift*, terutama dijumpai di bagian tengah dan timur dari Cekungan Jawa Barat Utara.. Pada bagian barat cekungan ini (daerah Tambun-Rengasdengklok), formasi Jatibarang tidak (sangat tipis) dijumpai. Formasi ini terdiri dari tufa, breksi, aglomerat dan konglomerat alas. Formasi ini diendapkan pada fasies fluvial/non marine-marine.

#### 2) Formasi Talangakar

Pada fase synrift berikutnya diendapkan Formasi Talangakar. Pada awalnya berfasies *Fluvio-deltaic* sampai fasies marin. Litologi formasi ini diawali oleh perselingan sedimen batupasir dengan serpih non marin dan diakhiri oleh perselingan antara batugamping, serpih dan batupasir dalam fasies marin.

Ketebalan Formasi ini sangat bervariasi dari beberapa meter di Tinggian Rengasengklok sampai 254 m di tinggian Tambun - Tangerang hingga diperkirakan lebih dari 1500 m pada pusat Dalam Ciputat. Pada akhir

sedimentasi, Formasi Talangakar ini ditandai juga dengan berakhirnya sedimentasi synrift. Formasi ini diperkirakan berkembang cukup baik di daerah Sukamandi dan sekitarnya.

### **3) Formasi Baturaja**

Pengendapan Formasi Baturaja yang terdiri dari batugamping, baik yang berupa paparan maupun yang berkembang sebagai reef buildup menandai fase *post rift* yang secara regional menutupi seluruh sedimen klastik Formasi Talangakar di Cekungan Jawa Barat Utara. Perkembangan batugamping terumbu umumnya dijumpai pada daerah tinggian.

### **4) Formasi Cibulakan Atas**

Formasi ini terdiri dari perselingan antara serpih dengan batupasir dan batugamping. Batugamping pada satuan ini umumnya merupakan batugamping klastik serta batugamping terumbu yang berkembang secara setempat-setempat. Batugamping terumbu ini dikenali sebagai *Mid Main Carbonate* (MMC).

### **5) Formasi Parigi**

Formasi Parigi terdiri dari batugamping klastik maupun batugamping terumbu. Pengendapan batugamping ini melampar ke seluruh Cekungan Jawa Barat Utara dan pada umumnya berkembang sebagai batugamping terumbu yang menumpang secara selaras di atas Formasi Cibulakan Atas.

### **6) Formasi Cisubuh**

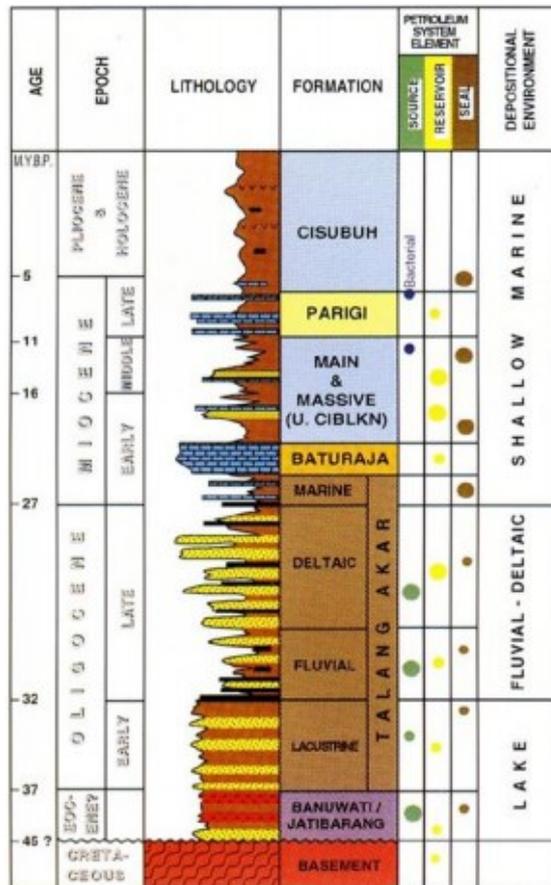
Di atas Formasi Parigi diendapkan sedimen klastik serpih, batulempung, batupasir dan di tempat yang sangat terbatas diendapkan juga batugamping tipis yang dikenal sebagai Formasi Cisubuh. Seri sedimentasi ini sekaligus mengakhiri proses sedimentasi di Cekungan Jawa Barat Utara.

Dari keseluruhan formasi di atas, formasi yang diyakini sebagai formasi penghasil hidrokarbon di seluruh Cekungan Jawa Barat Utara adalah Formasi Talangakar yang terletak di dalaman Ciputat, Kepuh Pasirbungur, Cipunegara dan Jatibarang. Formasi-formasi ini berfungsi sebagai *source pod*. Dari sejumlah *source pod* telah

digenerasikan hidrokarbon seperti yang dijumpai di berbagai lapangan minyak/gas yang ada di Jawa Barat Utara .

Secara lebih rinci sistem petroleum Cekungan Jawa Barat Utara (termasuk sub cekungan Ciputat di dalamnya) akan dibahas pada sub bab berikut ini.

**Tabel 3.1.** Stratigrafi Cekungan Jawa Barat Utara (Noble,2007)

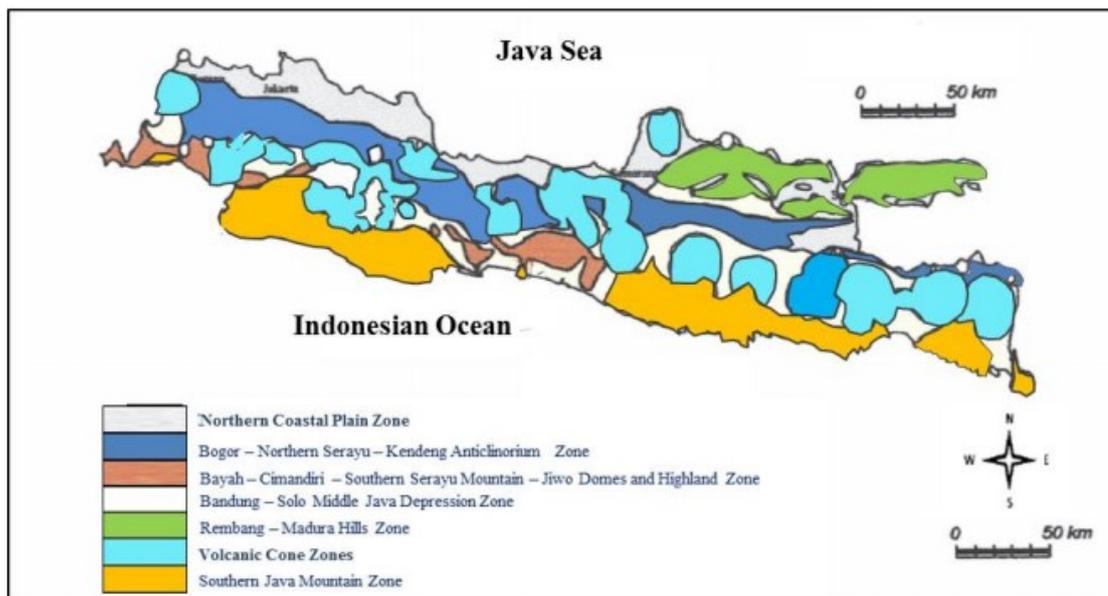


### 2.3. Geologi Daerah Penelitian

Mengenai tujuan penelitian dan metodologi, ada tiga aspek geologi yang perlu ditinjau : geomorfologi/fisiografi, struktur geologi dan reservoir. Fisiografi yang relevan dengan pengukuran gayaberat 4D dipermukaan, khususnya yang berkaitan dengan noise. Ulasan tentang struktural dan reservoir akan melengkapi informasi, deskripsi dan karakteristik bawah permukaan.

### 2.3.1. Geomorfologi dan Geofisika

Menurut Van Bemmelen wilayah utara pantai Pulau Jawa adalah *Northern Coastal Plain Zone*. Lapangan Tambun ini terletak di dalam *Northern Coastal Plain Zone*. Zona tersebut terletak disepanjang sisi ke pesisir utara Pulau Jawa dari daerah Banten di tepi barat ke Rembang di Jawa Tengah. Zona ini terus menerus ke daerah Jawa Timur dan Surabaya. Dataran pantai utara adalah zona alluvial yang sangat luas di Jawa Barat, penyempitan di Jawa Tengah dan di Jawa Timur. Dataran rendah adalah tempat akumulasi sedimen kuarter sebagai hasil erosi dari gunung. **Gambar 3.2** Menunjukkan pembagian fisiografi oleh Van Bemmelen (1949).



**Gambar 3.2 Fisiografi Pulau Jawa (Van Bemmelen, 1949)**

### 2.3.2. Struktur Geologi

Secara tektonik, cekungan Jawa Barat Utara adalah bagian dari busur belakang subduksi lempeng india di selatan Pulau Jawa. Bukti-bukti geologi telah membuktikan bahwa cekungan terbentuk dari *pull-apart* yang dipicu dari sesar dextral. Arah gaya berarah Utara-Selatan, umumnya tegak lurus dengan zona

subduksi serta melibatkan tebal lempeng tektonik (Hamilton, 1979). Deformasi lanjut mengakibatkan sesar lama yang ditunjukkan oleh inversi.

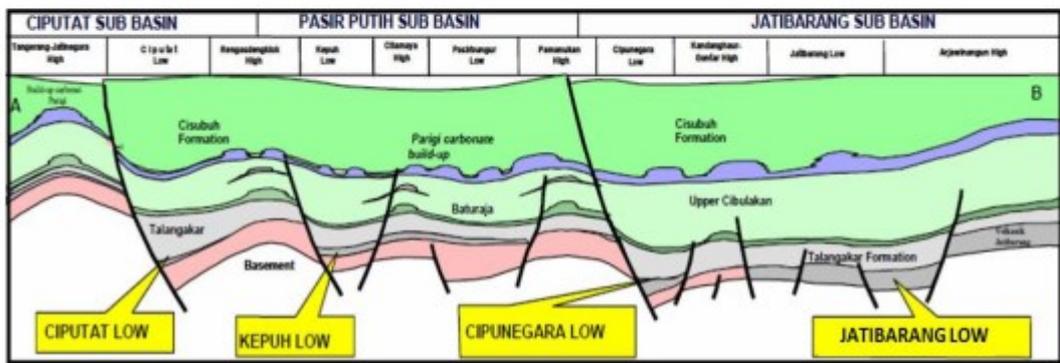
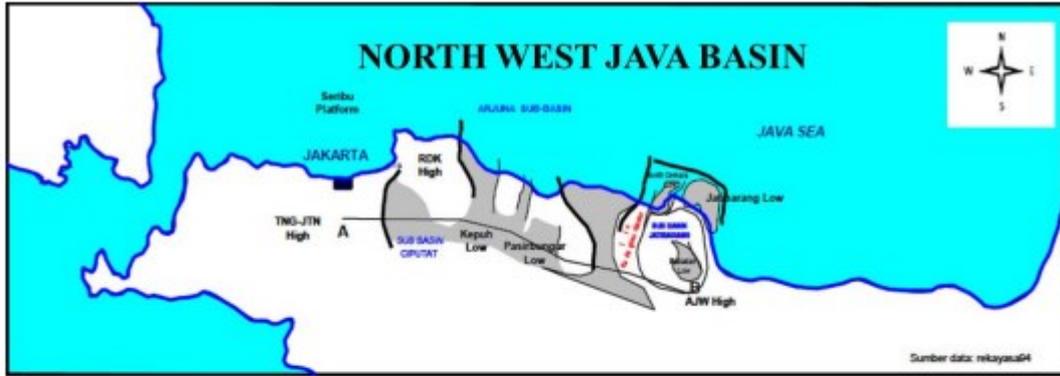
Dalam kala Eosen-Oligosen, daerah cekungan di dominasi oleh sedimen klastik kasar sebagai hasil dari proses rifting. Sedimen ini ditemukan di sepanjang tepi Sundaland di Asia Tenggara, yang relevan dengan tumbukan lempeng antara lempeng India dan lempeng Eurasia.

Dari Oligosen hingga saat ini, daerah cekungan telah di dominasi oleh sedimen vulkanik yang mengendap di arus turbidit laut dalam. **Gambar 3.1** menunjukkan kerangka struktural cekungan Jawa Barat Utara.

### **2.3.3. Reservoir**

Reservoir utama pada cekungan ini adalah Formasi Talang Akar siliklastik. Satuan ini ditengarai berumur Early Oligosen. Sumur-sumur pemboran yang ada pada lapangan ini belum menembus batas bawah satuan ini, sehingga sangat kurang informasi tentang sejarah pengendapan satuan ini atau satuan dibawahnya. Beberapa tulisan mengindikasikan tentang kemungkinan perkembangan fasies lacustrine pada Sub Cekungan Ciputat yang seumur dengan Formasi Talang Akar ini, sehingga dapat pula terjadi generasi minyak dari satuan tersebut yang termigrasikan ke satuan Batugamping Baturaja. Peluang reservoir lain pada struktur ini adalah batupasir dan batugamping dari Lower, Middle dan Upper Cibulakan dan batugamping Formasi Parigi

Pemerangkapan pada satuan batugamping terkait erat dengan distribusi rekahan, kontinuitas rekahan dan ‘fracture intensity’ dari suatu satuan batuan. Pemerangkapan hidrokarbon pada batupasir dan batugamping pada Lower – Upper Cibulakan dan Parigi, dan khususnya ‘Reefal Build-up’ dari Zona 16 dan Formasi Parigi terkait langsung dengan distribusi stratigrafinya selain juga pada perkembangan patahan dan struktur lain sebelum timing generasi hidrokarbon di sub cekungan ini.



**Gambar 3.3.** Peta Struktur Jawa Barat Utara (Setyowiyoto, 2007)

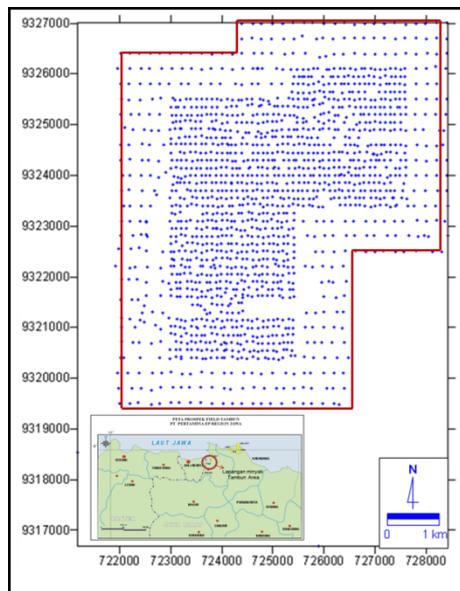
## BAB IV

### DATA DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1. Data Akuisisi Pengukuran Gayaberat

Data gayaberat pengukuran ini merupakan data sekunder dari LAPI ITB. Pengukuran gayaberat dilakukan pada daerah penelitian sebanyak tiga kali pengukuran yaitu: Periode 3 September-24 September 2004, Periode 22 November-9 Desember 2006 dan Periode 6 November-24 November 2007.

Luas daerah pengukuran sekitar  $7 \times 8 \text{ km}^2$ . Spasi pengukuran antar stasiun 100-200m, dengan jumlah total stasiun pengukuran 1800 buah. Distribusi stasiun pengukuran dapat dilihat pada **Gambar 4.1**



**Gambar 4.1** Distribusi stasiun pengukuran gayaberat mikro selang waktu pada lapangan minyak Tambun, Indonesia

## **4.2 Pengolahan Data Survey Gayaberat**

Pembacaan data gayaberat diperoleh dari survey gayaberat yang mencerminkan medan gravitasi akibat besarnya massa bumi dan efek rotasi bumi. Untuk menginterpretasikan data gravitasi, kita harus menghapus semua efek gravitasi yang tidak berhubungan dengan perubahan densitas bawah permukaan. Efek ini meliputi variasi lintang, perubahan elevasi, pengaruh topografi daerah sekitar. Kemudian, nilai anomali pada suatu titik dapat diperoleh dari nilai gravitasi terukur dikurangi nilai gravitasi prediksi berdasarkan pada model bumi.

### **4.2.1 Gayaberat Mikro**

Sebelum pemetaan gayaberat mikro diamati, verifikasi dan validasi data harus dilakukan untuk menghindari data yang tidak valid. Ketidaklengkapan data dapat terjadi karena alasan operasional dan lainnya. Analisis dapat dilakukan dengan membandingkan setiap beberapa survei dengan survei pertama sebagai referensi. Beberapa perubahan dapat dijadikan acuan dan kemudian dapat dianalisis secara rinci.

### **4.2.2 Anomali Gayaberat Mikro**

Anomali gayaberat mikro adalah perbedaan antara gayaberat mikro yang diamati dari satu survei ke survei yang lain. Serupa dengan pemetaan gayaberat mikro, validasi data dan verifikasi harus dilakukan untuk menghindari data yang tidak valid. Anomali gayaberat menunjukkan perubahan baik peningkatan dan penurunan nilai gayaberat. Analisis diperlukan untuk menafsirkan perubahan densitas pada reservoir yang berkaitan dengan penambahan air.

### **4.2.3 Estimasi Distribusi Kontras Densitas Menggunakan Teknik Dekonvolusi.**

Dari anomali gayaberat mikro selang waktu ( $\Delta g$ ) kita dapat memperoleh nilai kontras densitas ( $\Delta \rho$ ) menggunakan teknik dekonvolusi. Proses dekonvolusi setara dengan proses inversi linear dimana operator

dekonvolusi dirancang dengan mempertimbangkan perbedaan minimum antara nilai prediksi dan yang diamati.

### **4.3 Data Geologi**

Data geologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data data sekunder hasil statik modeling geologi sampai dengan simulasi reservoir yang sudah ada. Penulis tidak melakukan pemodelan geologi secara langsung, melainkan menggunakan hasil pemodelan yang sudah ada sebelumnya.

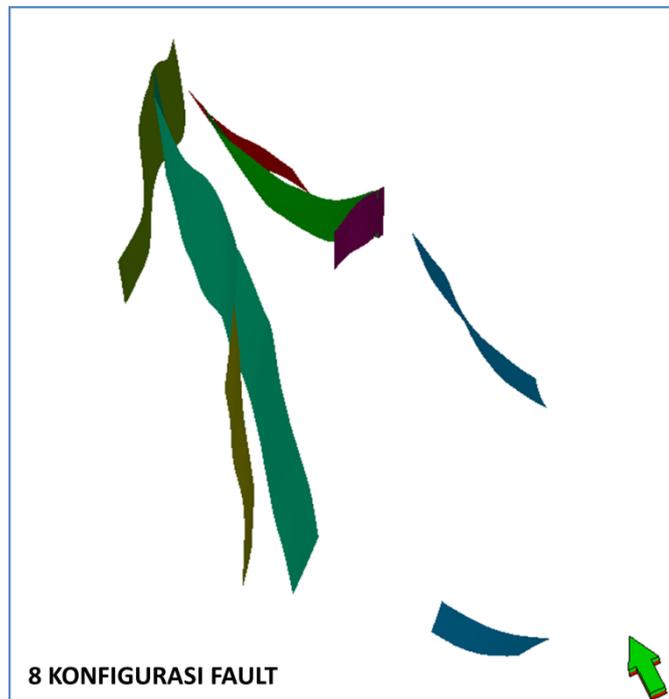
#### **4.3.1 Pemodelan Struktur dan Stratigrafi**

Pemodelan struktur dilakukan berdasarkan hasil-hasil kajian geologi yang berupa struktur kedalaman dan patahan untuk lapisan Baturaja Formation meliputi pemodelan patahan (**Gambar 4.7**), *pillar gridding* (**Gambar 4.8**), pemodelan lapisan (**Gambar 4.9**)

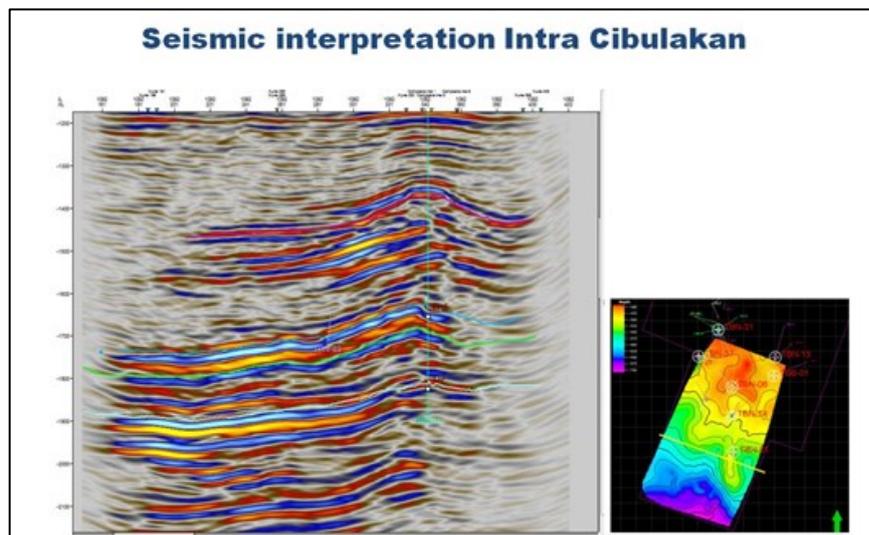
Berikut adalah spesifikasi model grid yang digunakan dalam pemodelan reservoir statik pada lapangan ini:

- Grid Model : 83 x 184 x 568
- Ukuran sel : 50 m x 50 m
- Ketebalan sel :  $\pm 1$  m
- Total Grid : 8674496

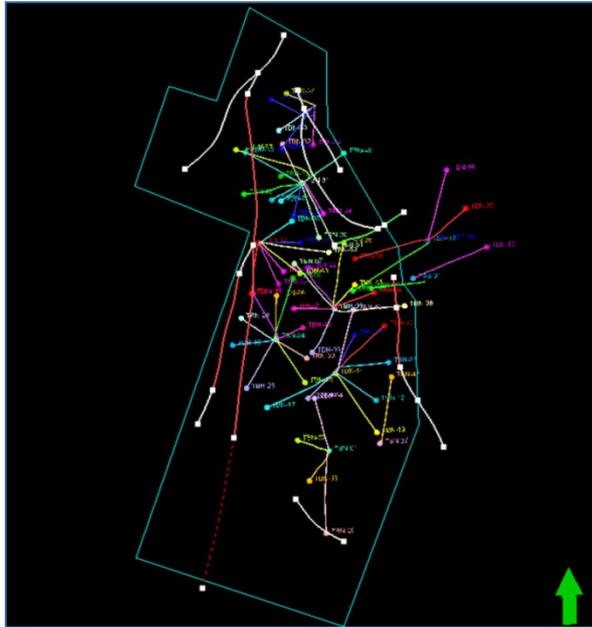
Pemodelan stratigrafi dilakukan berdasarkan hasil evaluasi geologi dimana masing-masing zone dibatasi oleh top dan bottom marker geologi. Model layer diperoleh dari ketebalan gross reservoir zone dibagi dengan 1 meter.



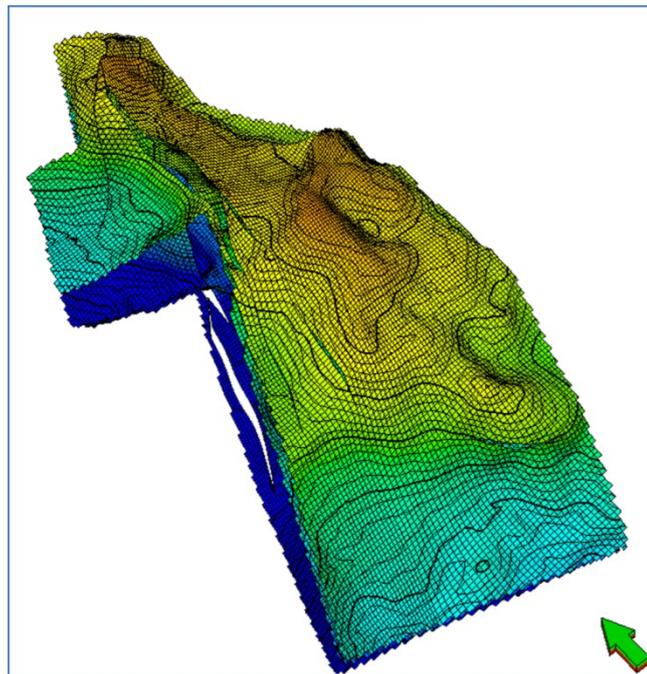
Gambar 4.7 Modeling Struktur



Gambar 4.8. Interpretasi Intra Cibulakan pada line 1092.



**Gambar 4.9** Modeling Struktur *pillar gridding*



**Gambar 4.10** Modeling Lapisan

### 4.3.2 Pemodelan Facies dan Properti Reservoir

Pada tahapan ini, hasil analisa sumuran yang berupa lithofacies dan properti reservoir akan disebarakan pada arah lateral dan vertikal sehingga akan diperoleh model 3D reservoir statik. Beberapa tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan model reservoir statik dalam model grid 3D adalah sebagai berikut :

#### 1. *Up-scaling* data sumuran

*Up-scaling* data sumuran dimaksudkan untuk mengubah data yang diperoleh dari hasil analisa sumuran kedalam model grid sehingga masing-masing grid pada arah vertikal pada lokasi sumur akan memiliki harga properti reservoir, Lithofacies dan properti reservoir yang diperoleh dari analisa petrofisik pada tiap-tiap sumur akan dimasukkan menjadi nilai grid sel untuk masing-masing layer yang telah didefinisikan. Metode yang digunakan untuk untuk *up-scaling* well data yang digunakan yaitu *most of* untuk fasies dan metode perata-rataan untuk harga properti reservoir. Untuk mengontrol kualitas hasil *up-scaling* data sumuran dilakukan dengan membandingkan histogram hasil *scale-up* dengan sumber data.

#### 2. Pemodelan Variogram

Untuk mendapatkan model distribusi fasies dan properti reservoir dilakukan dengan pendekatan geostatistik. Pemodelan variogram dilakukan untuk mendapatkan hubungan spasial berdasarkan data yang tersedia. Pemodelan variogram pada arah lateral dilakukan dengan membuat variogram model berdasarkan experimental variogram yang diperoleh dari data sumuran. Variogram model fasies dibangun dengan mempertimbangkan model *isopach* yang diperoleh dari kajian geologi. *Isopach* dan peta variogram digunakan untuk menentukan derajat anisotropi, dimana dari variogram diharapkan dapat ditentukan arah major dan minor sehingga terdapat cukup data untuk mendapatkan variogram yang stabil disamping juga mempertimbangkan arah pengendapan dari evaluasi geologi.

### 3. Pemodelan Fasies

Pemodelan fasies pada arah vertikal dilakukan berdasarkan data lithofacies hasil kajian geologi. Sumur-sumur yang memiliki data petrografi dijadikan sumur kunci untuk mendefinisikan fasies pada arah vertikal selanjutnya dengan menggunakan metode *cross plot* dapat ditentukan range harga densitas dan porositas masing-masing fasies yang didefinisikan. Untuk mendapatkan lithofacies pada seluruh interval kedalaman, digunakan batasan sifat-sifat petrofisik batuan porositas dan density yang diperoleh dari crossplot tersebut. Penamaan fasies karbonat dilakukan dengan mengacu pada penamaan yang lazim diberikan pada sistem diagenesa. Identifikasi fasies karbonat dengan data petrografi dan core dilakukan dengan menganalisa diagenesa dan lingkungan pengendapan dari setiap sumur. Hasil interpretasi dari data petrografi dan core kemudian dibagi menjadi tiga jenis fasies berdasarkan keanekaragaman fosil dan mineral yang terkandung pada setiap sumur. **Gambar 4.10** menunjukkan hasil pemodelan fasies yang dibagi menjadi 3 fasies dengan arah penyebaran relatif utara selatan dan barat timur pada bagian tengah peta. Adapun pembagian fasies tersebut, yaitu :

- FA : *Large foram, red algae, coral framestone and bioklastik wackestone-packstone and high dissolution with vuggy porosity.*
- FB : *Coral framestone and bioklastik wackestone-packstone high dissolution and minor porosity.*
- FC : *Coral rudstone and bioklastik Mollusca wackestone-packstone*

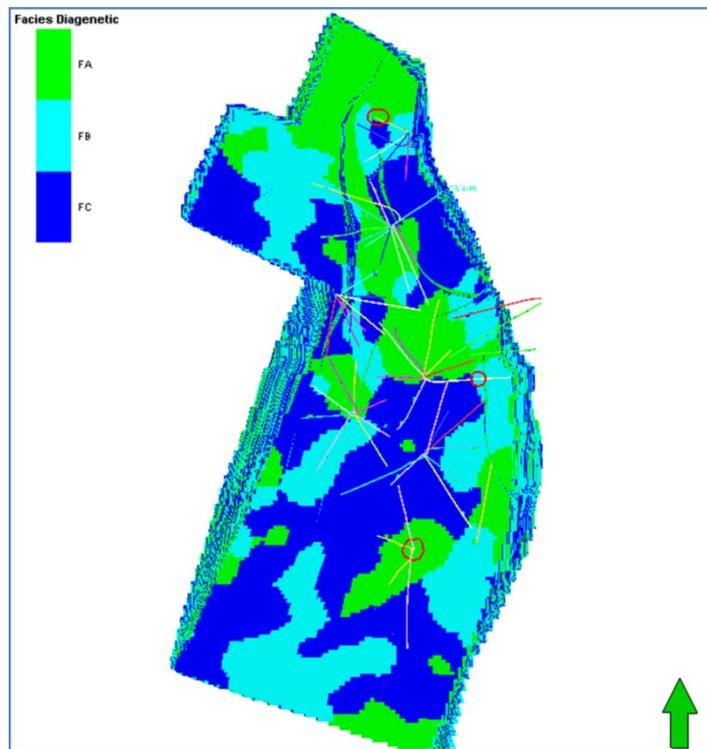
### 4. Pemodelan Porositas

Data porositas diperoleh dari analisa petrofisika (Elan). Selanjutnya porositas didistribusikan dengan menggunakan metode simulasi / *sequential gaussian simulation* (SGS) dengan acuan realisasi model fasies.

### 5. Pemodelan Permeabilitas dan SW

Pemodelan Permeabilitas dan Sw dilakukan untuk model fasies dan porositas yang telah dibangun. Pemodelan distribusi permeabilitas horizontal (Kh) dilakukan dengan menggunakan data permeabilitas sumuran yang diperoleh dari metode *hydraulic unit* yang dilakukan pada analisa petrofisika. Metode selanjutnya permeabilitas didistribusikan dengan menggunakan metode simulasi /

*sequencial gaussian simulation* (SGS) untuk masing-masing facies dengan menggunakan distribusi porositas sebagai tren distribusi. Untuk keperluan simulasi dilakukan pemodelan permeabilitas vertikal ( $K_v$ ) yang diperoleh dengan tranform permeabilitas vertikal versus permeabilitas horizontal. Pemodelan saturasi air digunakan tranform permeabilitas versus saturasi air (yang diperoleh dari data SCAL).



**Gambar 4.11** Modeling Fasies (Laporan Studi Remodeling GGR Lapisan BRF Lapangan Tambun, BATM 2012)

### 4.3.3 Simulasi Reservoir

Simulasi reservoir pada daerah penelitian dilakukan untuk mengetahui kondisi reservoir pada Formasi Baturaja (BRF) memperkuat justifikasi pola pengembangan lanjut lapangan penelitian, terutama dalam pola penempatan sumur injektor & monitor dan pattern yang optimum, melakukan penyelarasan (*history matching*) untuk validasi model Geologi dan Geofisika yang telah

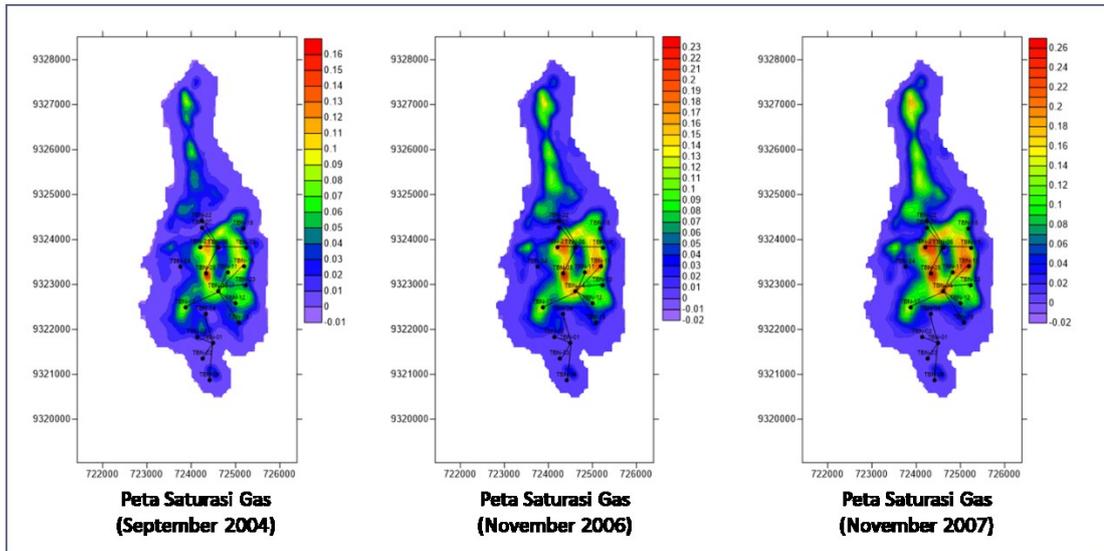
dibangun. Dengan demikian hasil studi simulasi reservoir lapangan Tambun ini diharapkan dapat menambah *confident level* dan memberikan justifikasi teknis dan ekonomi yang lebih komprehensif; terutama dalam optimasi metoda injeksi air (*Waterflood*). Data-data engineering yang diperlukan dalam studi simulasi reservoir telah dipersiapkan dalam kajian reservoir, seperti, sifat-sifat statis maupun dinamis batuan reservoir yang akan menentukan laju aliran fluida gas, minyak dan air dalam pori-pori reservoir, sifat-sifat fluida gas, minyak dan air serta data interval perforasi dan produksi sumuran, dan data tekanan reservoir.

#### **4.4 Pengolahan Data Geologi**

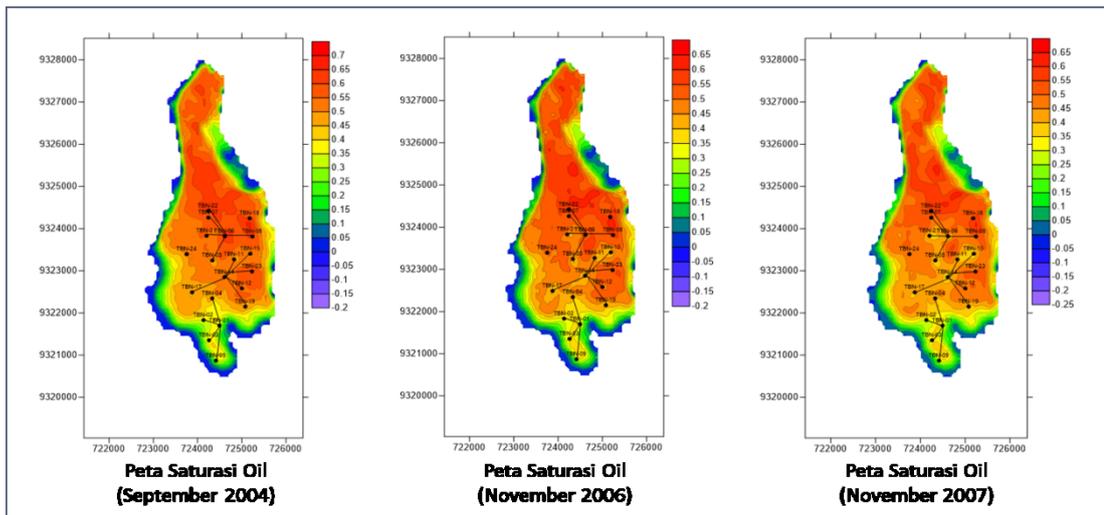
##### **4.4.1 Pemodelan Simulasi**

Input pemodelan simulasi dalam penelitian ini diambil dari hasil simulasi reservoir yang dilakukan dengan menggunakan simulator Eclipse dan model yang digunakan adalah *single porosity* . Pemodelan ditunjukkan untuk membuktikan hipotesis bahwa metode gayaberasat mikro selang waktu dapat dilibatkan dalam simulasi pergerakan fluida reservoir.

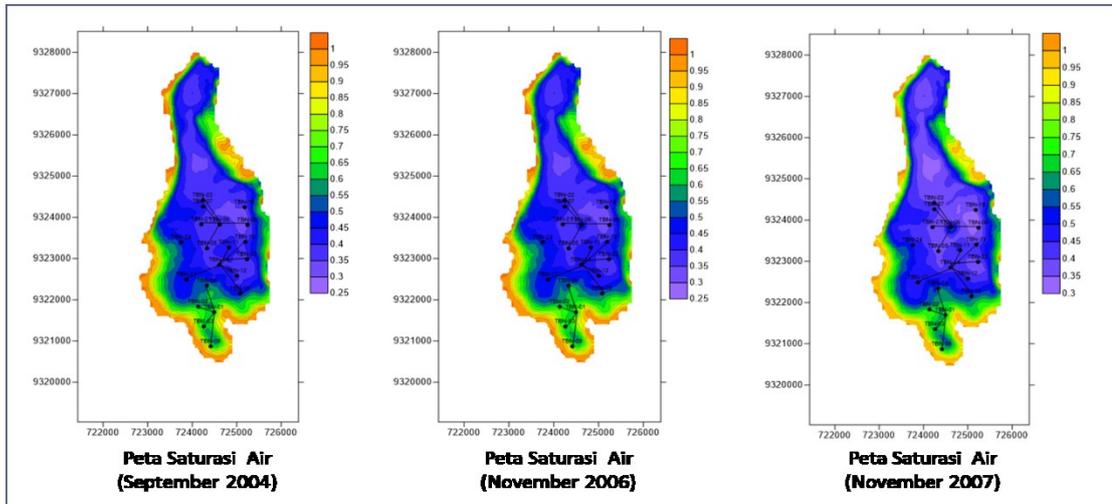
Salah satu input data inisial dari program simulator adalah nilai perubahan densitas fluida. Untuk menghitung densitas maka diperlukan data saturasi minyak, saturasi air dan saturasi gas dari pemodelan simulasi reservoir (**Gambar 4.11** sampai **Gambar 4.13**). Saturasi gas pada periode September 2004 sampai November 2007 menunjukkan peningkatan gas sebesar sepuluh persen, Saturasi minyak berkurang sebesar lima persen dan saturasi air bertambah sebesar lima persen.



Gambar 4.12 Peta Saturasi Gas



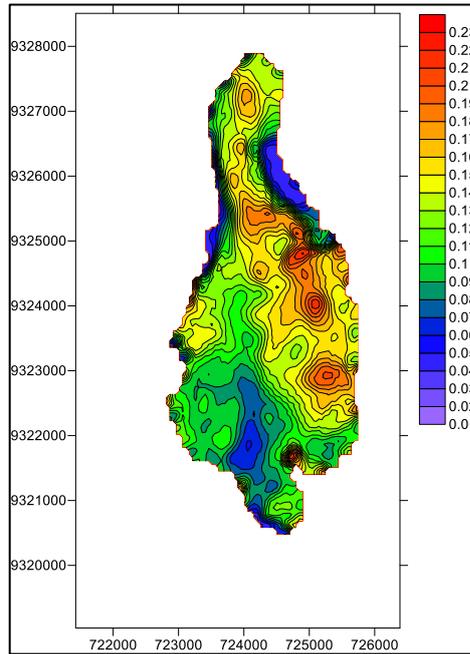
Gambar 4.13 Peta Saturasi Minyak



**Gambar 4.14** Peta Saturasi Air

#### 4.4.2 Model Perubahan Densitas Fluida

Adapun hasil dari pemodelan simulasi ini adalah data distribusi densitas fluida reservoir, saturasi sebagai fungsi dari waktu. Berikut pendekatan dan model yang digunakan untuk memperoleh nilai densitas. Model yang digunakan memiliki luas area  $100 \times 100 \text{ m}^2$ , dengan kedalaman reservoir 1700m, dan porositas 0.23. (**Gambar 4.14**) merupakan peta porositas dari hasil pemodelan.



**Gambar 4.15** Peta Porositas

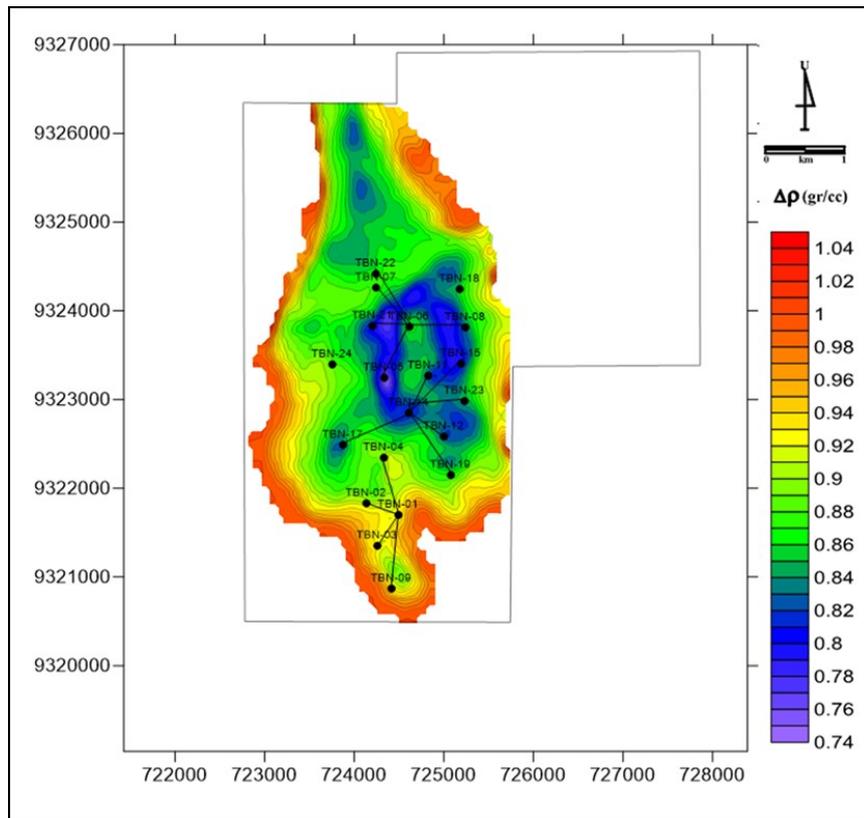
Dalam penelitian ini perhitungan perubahan densitas batuan berdasarkan berbagai data parameter fisik hasil simulasi reservoir (porositas, densitas, saturasi, permeabilitas dll), dapat diketahui dengan menggunakan persamaan densitas dari Schön (1995)

$$\Delta\rho = \phi(\rho_2 - \rho_1)(S_f - 1) \dots\dots\dots(4.1)$$

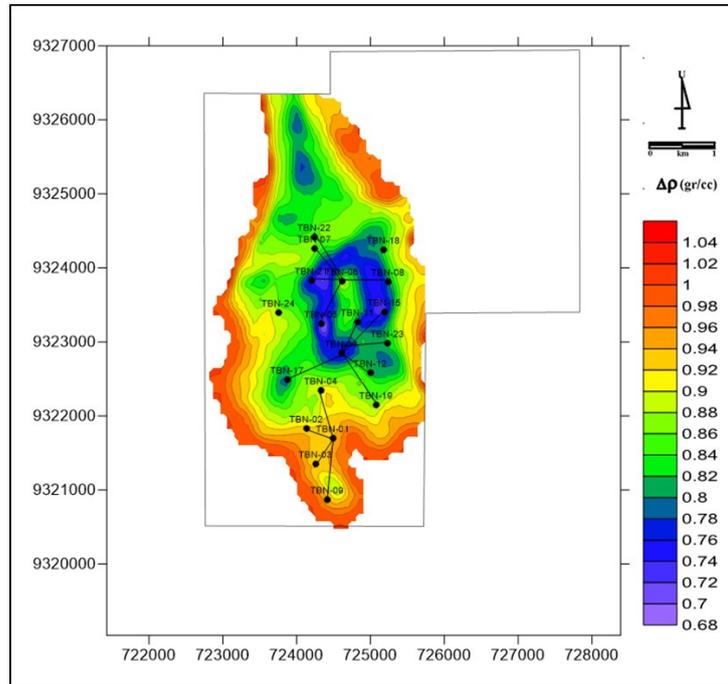
dimana :

- $\phi$  : Porositas
- $\rho_2$  : Densitas injeksi air
- $\rho_1$  : Densitas minyak
- $S_f$  : Saturasi air

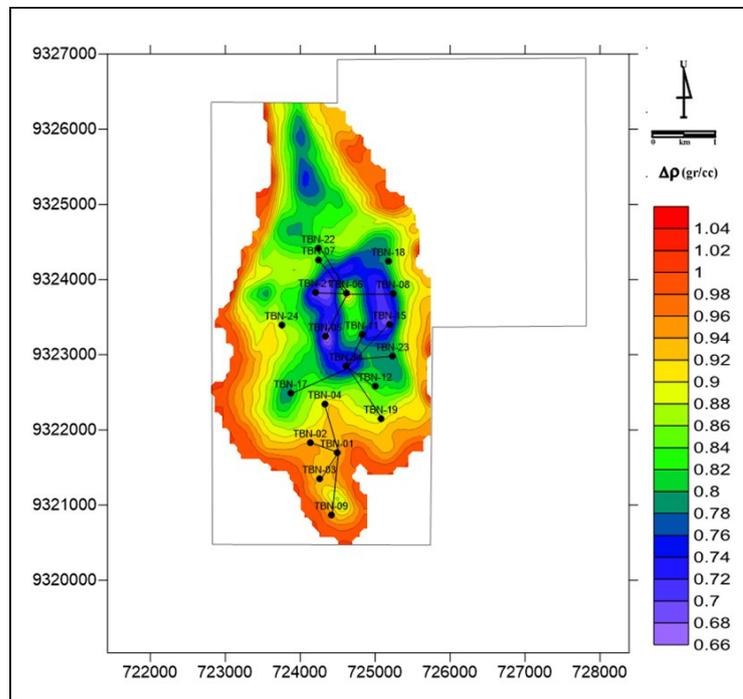
Perhitungan densitas batuan ini memasukkan parameter fisik hasil simulasi reservoir pada beberapa waktu sesuai dengan periode waktu pengukuran (**Gambar 4.16** sampai **Gambar 4.18**).



**Gambar 4.16** Peta Densitas pada bulan September 2004



**Gambar 4.17** Peta Densitas pada bulan November 2006



**Gambar 4.18** Peta Densitas pada bulan November 2007

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali gayaberat mikro selang waktu adalah selisih antara dua buah hasil pengukuran pada titik yang sama dengan selang waktu tertentu. Anomali tersebut merupakan cerminan dari perubahan yang terjadi di permukaan dan di bawah permukaan.

#### 5.1 Analisis Gayaberat Mikro

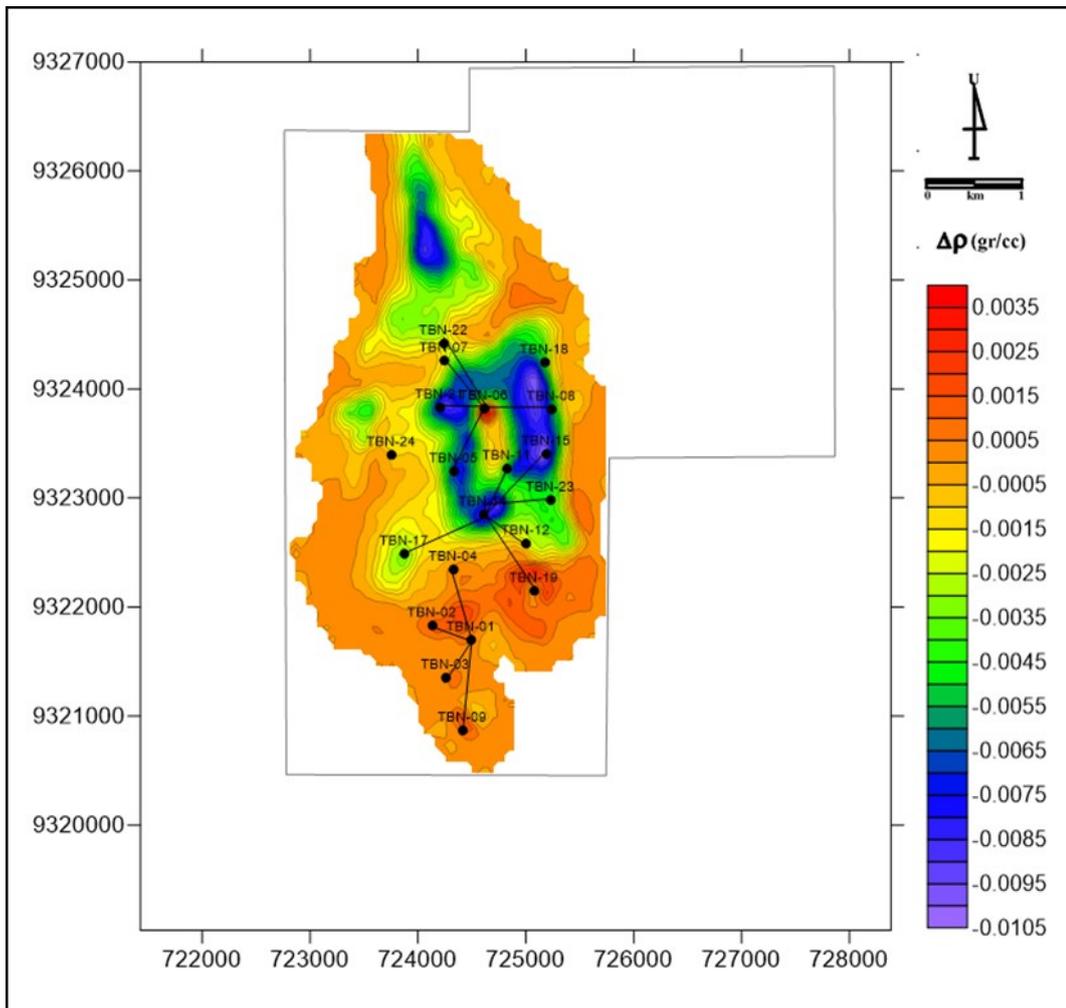
Dalam penelitian ini ada tiga set data survei gayaberat mikro. Survei pertama adalah sebagai referensi untuk gayaberat mikro selang waktu dalam menentukan pengukuran kedua terhadap pengukuran ketiga. Jika dilihat sepintas, ketiga peta gayaberat mikro terlihat mirip, penyebaran nilai minimum dan maksimum yang sangat tertutup satu sama lain namun sebenarnya pola distribusi nilai gayaberat mikro berbeda. Dari ketiga pengukuran gayaberat mikro ini, kita dapat memperoleh dua peta anomali gayaberat mikro :

1. Perubahan dari pengukuran pertama September 2004 dan kedua November 2006 (Anomali Gayaberat Mikro 1)
2. Perubahan dari pengukuran pertama September 2004 dan kedua November 2007 (Anomali Gayaberat Mikro 2).

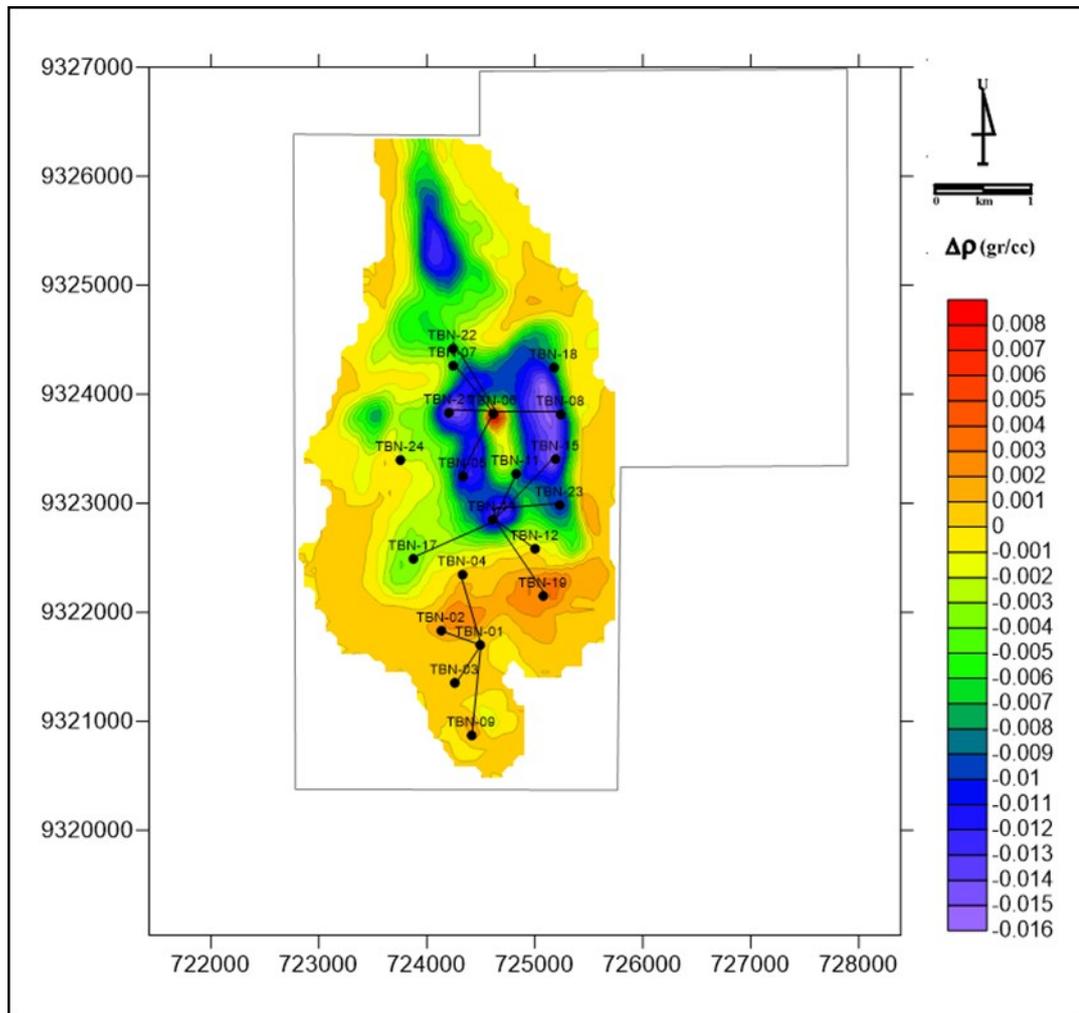
Perhitungan respon anomali gayaberat dipermukaan dapat diketahui apabila kita memiliki data kontras densitas. Dalam penelitian ini kontras densitas telah diketahui sebelumnya dengan menggunakan persamaan Schön (1995). Adapun hasil dari kontras densitas total dapat dilihat pada (**Gambar 5.1** sampai **Gambar 5.2**). **Gambar 5.1** merupakan kontras densitas total pada periode November 2006-September 2004 dengan nilai densitas minimum  $-0.0105 \text{ gr/cc}$  dan maksimum  $0.0035 \text{ gr/cc}$ . Sedangkan **Gambar 5.2** periode November 2007-September 2004 dengan nilai densitas minimum  $-0.01 \text{ gr/cc}$  dan maksimum  $0.008 \text{ gr/cc}$ . Setelah diketahui data kontras densitas bawah permukaan selama

interval waktu tertentu maka dapat dievaluasi berapa interval periode waktu antar pengukuran yang harus dilakukan untuk memperoleh besar respon anomali gayabarat selang waktu yang dapat diukur secara signifikan.

Nilai anomali gayabarat selang waktu berkisar  $-0.4$  hingga  $0.02\text{mGal}$  (**Gambar 5.3** dan **Gambar 5.5**). Anomali negatif yang mendominasi daerah penelitian berada pada bagian tengah daerah penelitian sedangkan anomali positif berada pada bagian utara dan selatan dengan pola memanjang N-S. Nilai negatif dari anomali ini mengindikasikan adanya pengurangan massa reservoir akibat dari jumlah volume fluida yang diproduksi jauh lebih besar dibanding dengan jumlah volume air yang diinjeksikan. Sedangkan nilai anomali yang mendekati nol merupakan daerah dimana tidak terjadi perubahan yang signifikan selama selang waktu pengukuran dan dapat merepresentasikan bahwa total fluida yang diinjeksikan cukup untuk menggantikan fluida yang diproduksi.



**Gambar 5.1** Peta Kontras Densitas Total Periode November 2006-September 2004



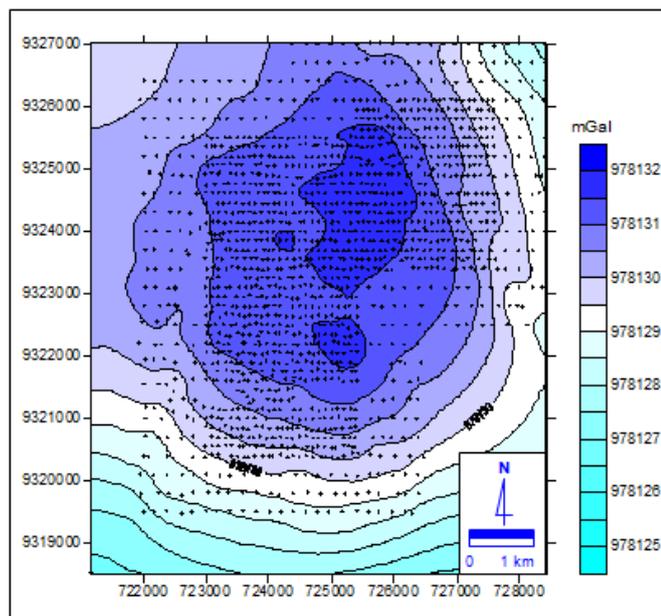
**Gambar 5.2** Peta Kontras Densitas Total Periode November 2007-September 2004

### 5.1.1 Pemetaan Gayaberat Mikro

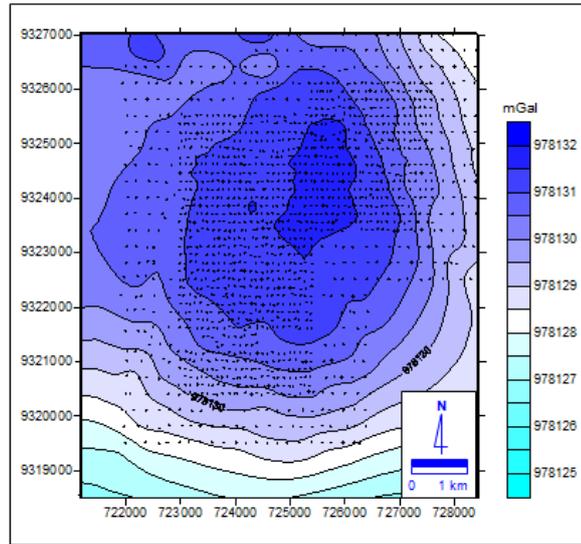
Untuk mendapatkan gayaberat observasi ( $g_{obs}$ ) setiap stasion, koreksi yang diterapkan pada gayaberat pengukuran adalah koreksi apungan (*drift*) dan pasang surut (*tidal*). Gayaberat observasi ini merupakan nilai gayaberat tiap stasion pengukuran yang telah diikat dengan titik ikat yang diketahui nilai gayaberat absolutnya. Dalam penelitian ini data ketinggian (elevasi) yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan altimeter, telah diikat (dikoreksi) dengan data elevasi yang diperoleh dari semua data sumur pada daerah penelitian. Sehingga

dengan demikian peta topografi yang dihasilkan memiliki ketelitian yang baik. **Gambar 5.3**, **Gambar 5.4** dan **Gambar 5.5** menunjukkan peta gayaberat observasi ( $g_{obs}$ ) dari tiga kali pengukuran, yaitu periode **Pengukuran I** September 2004, **Pengukuran II** November 2006, **Pengukuran III** November 2007.

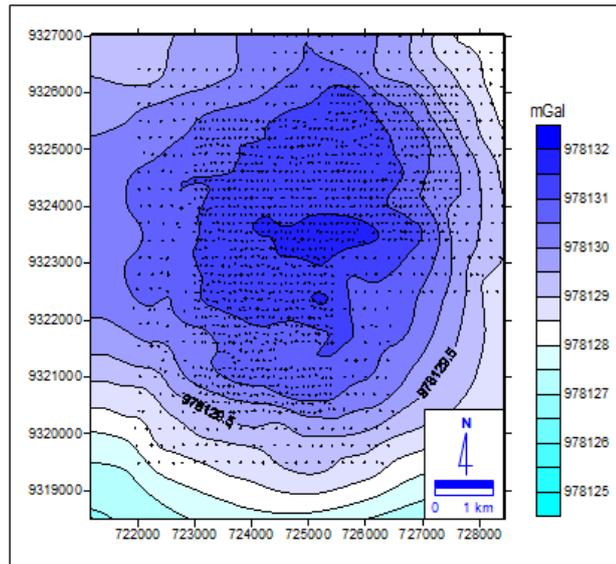
Pola dan sebaran nilai gayaberat observasi dari tiga kali pengukuran tersebut hampir sama, tetapi jika dilihat dari data hasil pengukuran pada setiap titik pengukuran mengalami perubahan pada setiap periodenya. Nilai gayaberat observasi relatif rendah (mencapai 978120 mGal) di bagian selatan, sedangkan bagian tengah dan utara relatif lebih tinggi (mencapai 978132 mGal).



**Gambar 5.3** Peta gayaberat Observasi dan distribusi stasion Pengukuran I (September 2004)



**Gambar 5.4** Peta gayaberat Observasi dan distribusi stasion Pengukuran II  
(November 2006)



**Gambar 5.5** Peta gayaberat Observasi dan distribusi stasion Pengukuran III  
(November 2007)

### **5.1.2 Pemetaan Anomali Gayaberat Mikro**

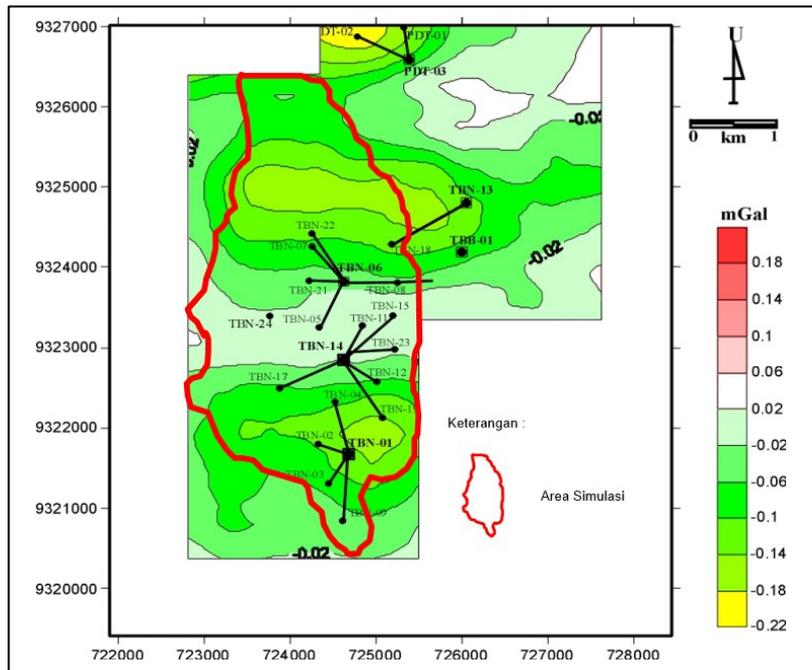
Pengukuran gayaberat selang waktu pada daerah penelitian diulang beberapa kali. Pengukuran pertama adalah sebagai referensi untuk mendapatkan anomali selang waktu. Ini berarti pengukuran kedua akan dikurangi dengan pengukuran pertama. Adapun data peta anomali gayaberat selang waktu **Gambar 5.6** dan **Gambar 5.7** pengukuran I periode (Nov 2006-Sept 2004) dan pengukuran II periode (Nov 2007-Sept 2004).

#### **Anomali Gayaberat Mikro 4D pengukuran I (Nov 2006-Sept 2004)**

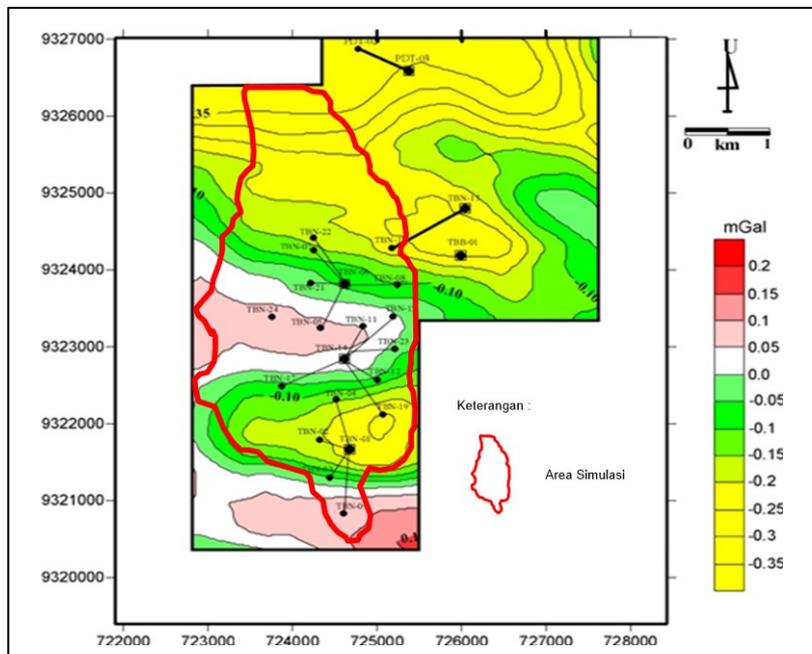
Peta menunjukkan sebagian besar pada daerah penelitian didominasi oleh anomali negatif. Berdasarkan tren anomali gayaberat mikro, daerah ini dibagi menjadi tiga zona yang menarik yaitu Utara, Tengah dan zona Selatan. Zona Utara dan Selatan menunjukkan anomali negatif dibandingkan dengan zona tengah. Zona Tengah menunjukkan anomali kurang negatif. Gelombang anomali dapat dilihat sebagai salah satu amplitude negatif besar dengan beberapa gangguan disekelilingnya.

#### **Anomali Gayaberat Mikro 4D pengukuran II (Nov 2007-Sept 2004)**

Kecenderungan ditemukan pada anomali pengukuran I juga ditemukan pada anomali pengukuran II. Utara dan zona Selatan juga menunjukkan lebih negatif dibandingkan dengan zona Tengah. Namun, zona Tengah menunjukkan anomali positif. Kontras antara zona Utara dan zona Tengah membuktikan perbatasan atau kompartemen yang ada antara zona tersebut. Serupa dengan anomali pengukuran I, zona selatan memiliki anomali relatif kurang negatif dibandingkan dengan zona Utara.



**Gambar 5.6** Peta anomali gayaberat selang waktu pengukuran I  
Nov 2006-Sept 2004



**Gambar 5.7** Peta anomali gayaberat selang waktu pengukuran II  
Nov 2007-Sept 2004

### **5.1.3 Dekonvolusi**

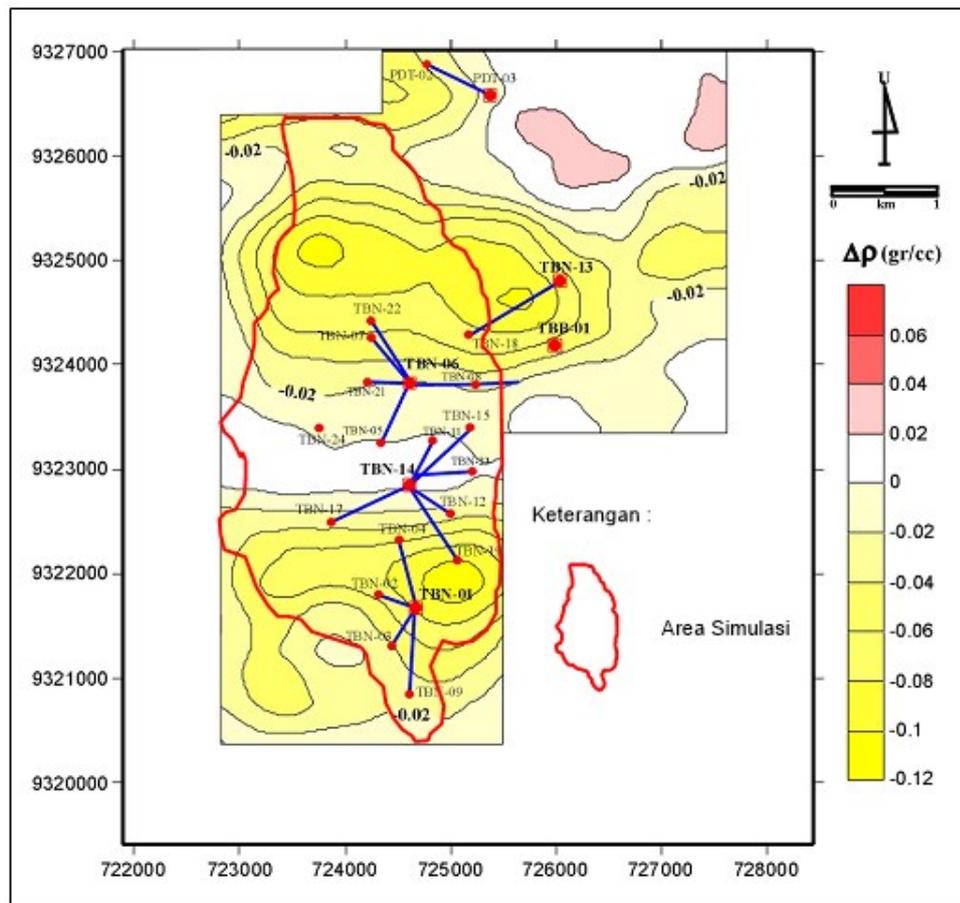
Dari anomali gayaberat mikro selang waktu ( $\Delta g$ ) kita dapat memperoleh nilai kontras densitas ( $\Delta \rho$ ) menggunakan teknik dekonvolusi. Proses dekonvolusi setara dengan proses inversi linear dimana operator dekonvolusi dirancang dengan mempertimbangkan perbedaan minimum antara nilai prediksi dan yang diamati. Dari teknik dekonvolusi tersebut didapatkan peta kontras densitas pada **Gambar 5.8** dan **Gambar 5.9**

#### **Kontras Densitas Periode November 2006-September 2004**

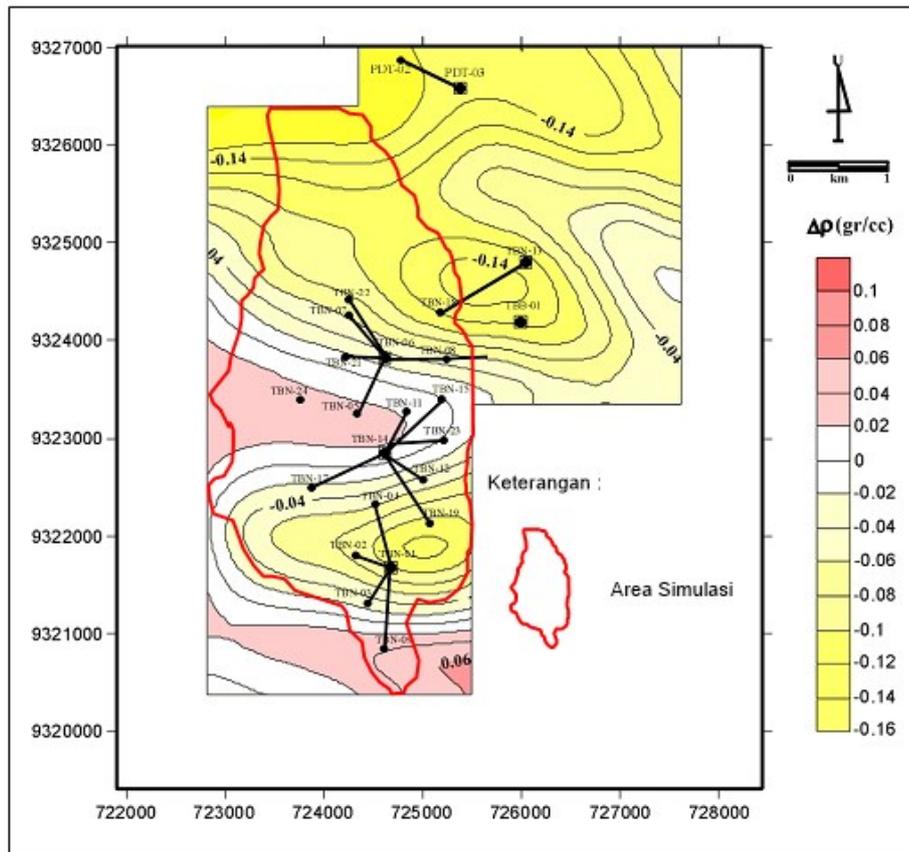
Peta kontras densitas menunjukkan bahwa pada daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga kompartemen yaitu zona Utara, zona Tengah dan zona Selatan. Zona Utara dan Selatan menunjukkan nilai kontras densitas yang negatif ((-0.12) – (-0.04)) gr/cc hal tersebut dapat menunjukkan defisit massa pada reservoir. Ini dapat dijadikan indikasi dimana total produksi lebih tinggi dari total injeksi air atau sebagai indikasi adanya penurunan tekanan. Zona Tengah menunjukkan anomali positif 0-0.02 gr/cc hal tersebut menunjukkan perubahan densitas yang besar dari zona Utara dan Selatan.

#### **Kontras Densitas Periode November 2007-September 2004**

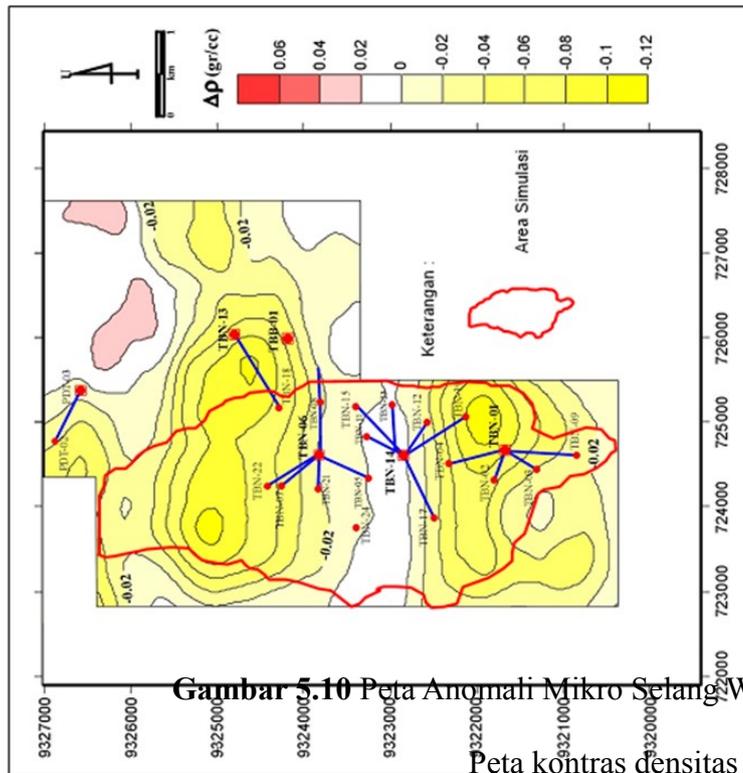
Berbeda dengan peta kontras densitas pada pengukuran I, peta kontras densitas pada pengukuran II ini tidak terbagi menjadi tiga kompartemen tetapi pada zona Utara dan Selatan menyatu dengan nilai anomali negatif ((-0.16) - (-0.06)) gr/cc.



**Gambar 5.8** Peta kontras densitas dari anomali gayaberaselang waktu periode November 2006-September 2004 menggunakan teknik dekonvolusi

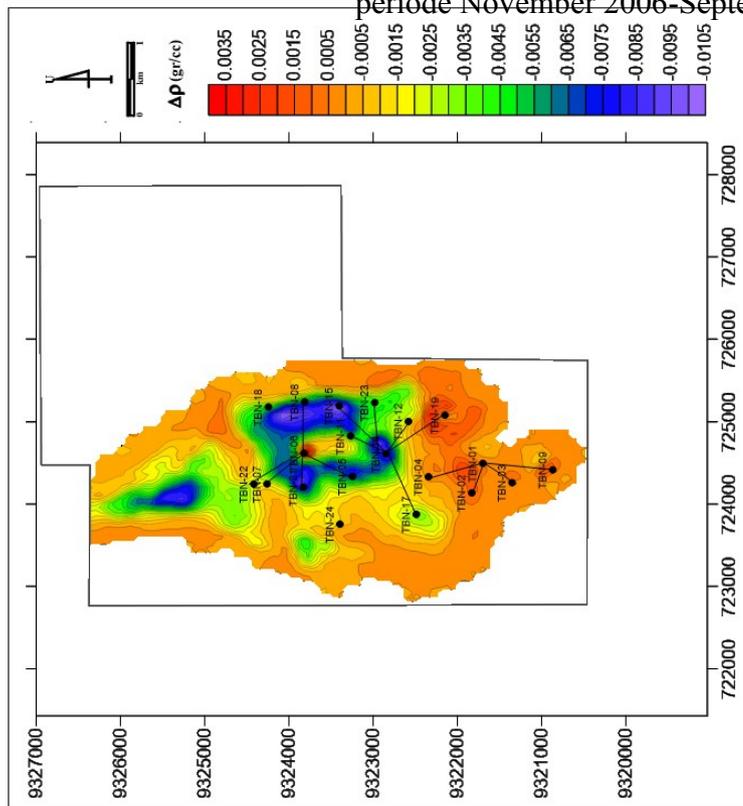


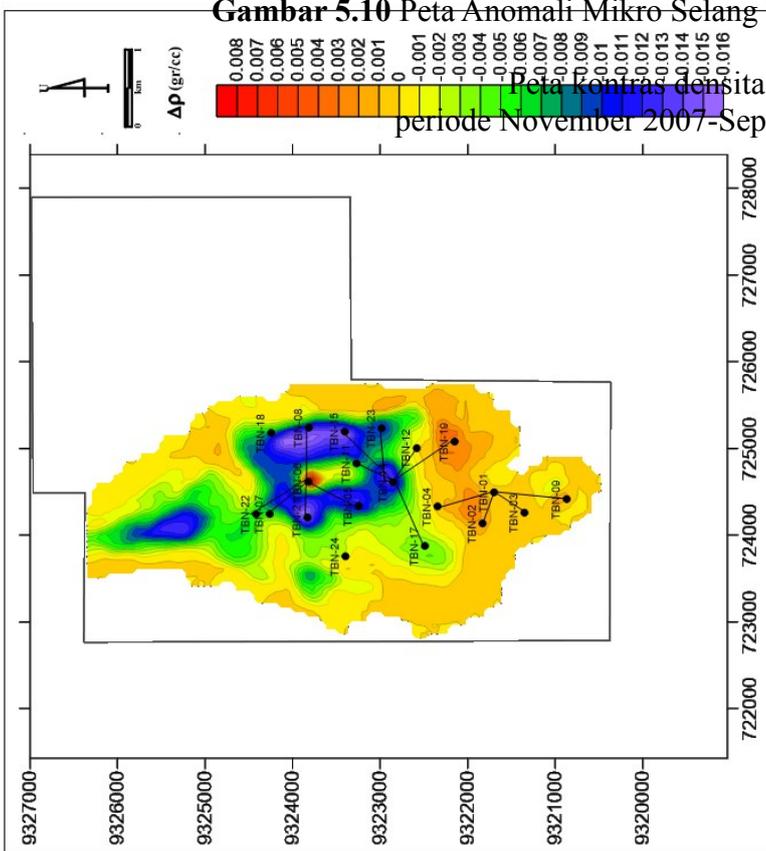
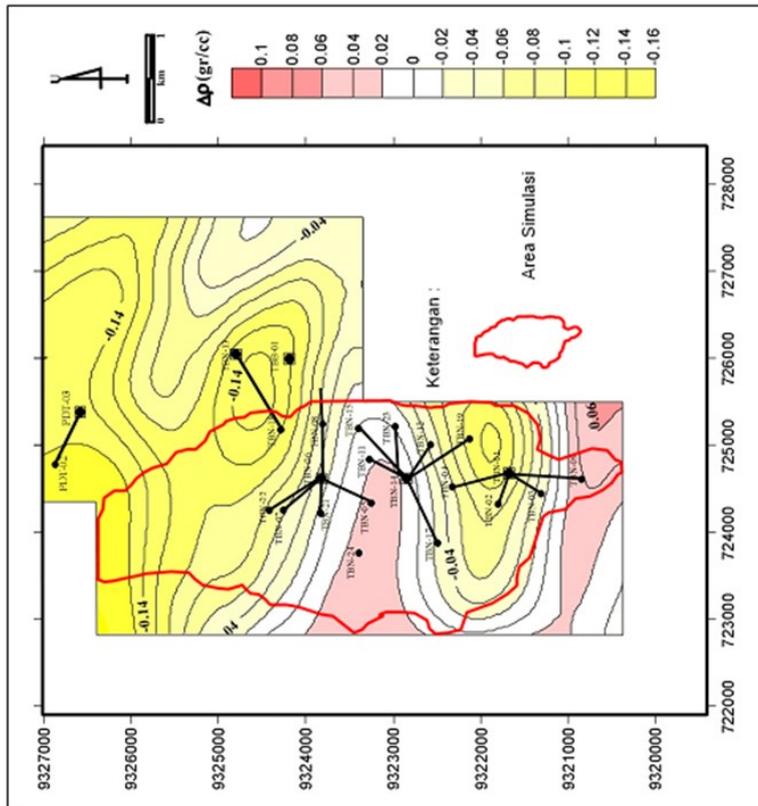
**Gambar 5.9** Peta kontras densitas dari anomali gayaberaselang waktu periode November 2007-September 2004 menggunakan teknik dekonvolusi



**Gambar 5.10** Peta Anomali Mikro Selang Waktu Pengukuran Periode November 2006 &

Peta kontras densitas dari anomali gayaberat selang waktu periode November 2006-September 2004 menggunakan teknik dekonvolusi





**Gambar 5.10** Peta Anomali Mikro Selang Waktu Pengukuran Periode November 2007-September 2004 menggunakan teknik dekonvolusi & Peta kontras densitas dari anomali gayaberaselang waktu periode November 2007-September 2004 menggunakan teknik dekonvolusi

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan, interpretasi dan pemodelan data simulasi dan data pengukuran gayaberasat mikro selang waktu pada lapangan TBN yang didukung oleh data geologi dan data sumur maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Sebuah tinjauan komprehensif yang melibatkan gayaberasat mikro selang waktu, geologi dan simulasi reservoir yang diterapkan untuk mengevaluasi dan memantau kinerja dari gerakan hidrokarbon pada lapangan ini terbukti sebagai metode yang baik.
- 2) Anomali gayaberasat mikro menunjukkan tiga zonasi area, yaitu Utara, Tengah dan Selatan.
  - a) Di zona Utara, menunjukkan anomali negatif yang ditandai oleh meningkatnya produksi fluida tanpa adanya injeksi air. Dalam simulasi, juga ditunjukkan dengan pengurangan densitas. Pengurangan densitas bervariasi mulai dari 0.04-0.08 gr/cc
  - b) Di zona Tengah, meningkatnya anomali positif mengindikasikan efek dari injeksi air. Peningkatan densitas bervariasi mulai dari 0.04-0.27gr/cc. Peningkatan densitas terjadi pada daerah tertentu dimana minyak sudah tidak diproduksi kemudian digantikan oleh injeksi air.
  - c) Di zona Selatan produksi fluida terus diproduksi dengan injeksi air yang lemah menunjukkan anomali yang negatif. Namun pengurangan densitas relatif rendah dibandingkan dengan Utara dan zona Tengah. Densitas pada zona ini berkurang 0.04-0.07 gr/cc.

## .2 Saran

- Pengukuran gayaberat selang waktu diperlukan untuk mendapatkan hasil yang lebih menggambarkan keadaan bawah permukaan yang lebih akurat dibandingkan pemodelan geologi. Sehingga hasil pemodelan diharapkan lebih menggambarkan kondisi bawah permukaan dan bias untuk estimasi pengukuran gayaberat selang waktu berikutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alawiyah, S., Santoso, D., Kadir, W.G.A., and Matsuoka, T., 2011. *Time-lapse Microgravity Application for Estimating Fluid Density Changes in Multilayer Reservoir Using DSMVD Technique*. IPTC 14800. Proceeding of International Petroleum Technical Conference, Bangkok, 7-9 February, 2012.
- Blakely, Richard J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*, Cambridge University Press.
- Heidrick, T.L., Aulia, K., 1993. *A Structural and Tectonic Model of The Coastal Plain Block, Central Sumatera Basin, Indonesia*. Indonesian Petroleum Assosiation, Proceeding 22<sup>th</sup> Annual Convention, Jakarta, Vol.1, P. 285-316.
- J. M. Hunt, 1995., *Petroleum Geochemistry and Geology*, 2<sup>nd</sup> ed. New York.
- Kadir, W. G. A., 1999, *Survey Gayaberat 4 Dimensi & Dinamika Sumber Bawah Permukaan* ; Prosiding HAGI XXIV, Surabaya.
- Kadir, W. G. A., 2000, *Eksplorasi Gayaberat & Magnetik* : Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB, Bandung .
- Kadir, W. G. A., 2003, *Penerapan Metode Gayaberat Mikro Selang Waktu Untuk Proses Monitoring*, Jurnal Teknologi Mineral No.10 170-179.
- Kadir, W.G.A, Santoso, D., and Sarkowi, M., *Mathematical Model of Time Lapse Vertical Gradient Microgravity Measurement and Its Application for Subsurface Mass Change and Vertical Ground Movement (Subsidence) Identification, Case Study: Semarang Alluvial Plain, Central Java, Indonesia*, Far East Journal of Mathematical Science (FJMS), v.37, p 181-192.
- Kelkar, Mohan. 2006. *Application of Geostatistics for Reservoir Characterization – Accomplishments and Challenges*. Journal of Canadian Petroleum Technology. July 2000: 25-29
- Longman, I. M., 1959, *Formulas For Computing The Tidal Acceleration Due To Moon and The Sun*. Journal Geophysical Research Vol. 64, 2351-2355.
- Mailin Seldal, Arid Reime and Dag Amesen. 2009. Improving Reservoir Simulation Models Using 4D Data at Snorre Field. SPE 121977-MS. Proceeding of EUROPE/EAGE Conference and Exhibition, 8-11 June 2009, Amsterdam, The Netherlands.
- Noble, R. A., Pratomo, K. H., Nugrahanto, Kuntadi, Ibrahim, A. M. T., Prasetya, I., Mujahidin, N., Wu, C. H., and Howes, J. V. C., 1997, *Petroleum System Of Northwest Java, Indonesia*, Proceedings of an International Conference on Petroleum Systems of SE Asia and Australasia, 1997, 585-600.
- Reynold, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*. Chichester, First Edition.

- Sarkowi, M, 2008, *Gradient Vertikal Gayaberat Mikro Antar Waktu dan Hubungannya dengan Dinamika Air Tanah*. Lampung. Universitas Lampung.
- Schon, J. H., 1995, *Seismic Exploration, Physical Properties of Rock Fundamental Theory and Principles of Petrophysics* : Pergamon
- Telford, W. M. L. P. Geldart. R. E. Sheriff. 1990. Applied Geophysics Second Edition, London; Cambridge University Press.
- Zhou X., Zhong B., Li X., 1990, “ *Gravimetric Terrain Correction by Triangular Element Method*, *Geophysics*, Vol.55, pp. 232-238”