

## ANALISA PERBANDINGAN ANOMALY GRAVITASI DENGAN PERSEBARAN INTRUSI AIR ASIN (STUDI KASUS JAKARTA 2006-2007)

Litanya Octonovrilna<sup>1</sup>, I Putu Pudja<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Geofisika, Akademi Meteorologi dan Geofisika

<sup>2</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

### ABSTRAK

*Aplikasi pada bidang geofisika, berupa pengukuran gravitasi dilakukan di lapangan dalam jangka waktu tertentu, dengan tujuan untuk mendeteksi perubahan kondisi bawah permukaan bumi. Dalam hal ini dilakukan pengukuran gravitasi di wilayah Jakarta untuk mendeteksi perubahan kondisi hidrologi Jakarta dalam kaitannya dengan fenomena intrusi air asin. Secara geografis daerah penelitian berada pada -6.35158 s.d -6.08655 LS dan 106.689 s.d. 106.955 BT. Pengolahan data gravitasi wilayah Jakarta dilakukan dalam 2 periode, yaitu periode I (September 2006) dan periode II (November – Desember 2007). Anomali gravitasi tertinggi terdapat pada bagian pusat dan barat Jakarta ini mengindikasikan terjadinya fenomena subsidensi dan kekosongan massa akibat eksploitasi air tanah serta tekanan dari sejumlah gedung tinggi yang berpusat pada daerah tersebut. Anomali gravitasi terendah terdapat di bagian barat laut Jakarta yang bersesuaian konsentrasi nilai kepayauan tertinggi, mengindikasikan adanya intrusi air asin yang diakibatkan oleh adanya fenomena Conate water yang menyusup pada aquifer air tanah akibat eksplotasi air tanah berlebih. Hubungan pola aliran sungai dengan nilai kepayauan air, membuktikan adanya pengaruh sungai aquifer air tanah, namun dampaknya tidak terlalu berpengaruh terlebih pada aquifer dalam.*

**Kata Kunci :** Anomali gravitasi, hidrologi Jakarta, Intrusi

### ABSTRACT

*Gravity measurements are conducted in the field within a certain period in order to detect changes in the earth's surface conditions. We conducted gravity measurements in Jakarta to detect changes in hydrologic conditions in connection to salt water intrusion phenomena. The data processing performed in the two periods, the first period is September 2006 and the second one is November-December 2007. The highest gravity anomalies are in central and western parts of Jakarta. This implies the occurrence of mass subsidence and void due to the exploitation of ground water and the pressure from a number of high buildings based on the area. The lowest gravity anomaly takes place in the northwest of Jakarta. This condition is corresponding to the highest concentrations and show that there is salt water intrusion. The intrusion caused by Connate water that infiltrated the groundwater aquifer due to ground water overexploitation. The relationship between river flow patterns and salt concentration show that there is influence of groundwater aquifer of the river, but the influence is insignificant to deep aquifer.*

**Keyword:** Gravity anomaly, Jakarta's Hidrology, Intrusion.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bumi kita lebih dari 80% terdiri dari air, namun hanya 2% yang dianggap sebagai air tanah, sisanya merupakan lautan, juga berupa air permukaan. Dua persen inilah yang dipakai oleh seluruh penduduk bumi sebagai pemenuhan kebutuhan primer.

Berdasarkan siklus hidrologi disebutkan bahwa jumlah presentasi air akan selalu tetap, namun seiring dengan berjalannya waktu, terjadi perubahan-perubahan yang berdampak negatif pada siklus hidrologi tersebut, ketinggian air laut semakin bertambah diakibatkan pencairan es di kutub karena pemanasan global, kemudian bertambahnya populasi manusia, sehingga bertambah pula kebutuhan akan air bersih dari tanah, ditambah lagi dengan kurangnya daerah resapan air akibat hutan kayu yang telah berubah menjadi "hutan beton" oleh manusia. Hal ini menyebabkan semakin berkurangnya persentase air tanah. Berdasarkan hukum dinamika fluida, dimana suatu fluida akan mengalir dari tempat yang bertekanan tinggi ketempat yang bertekanan rendah. Pada saat suatu daratan telah menderita kekosongan massa yang cukup besar akibat tingginya pengambilan debit air tanah secara besar-besaran, sedangkan air hujan yang turun tidak dapat masuk akibat tidak adanya daerah resapan, maka suatu fluida asing akan menyusup mengisi lapisan-lapisan yang memiliki porositas tinggi, sehingga terjadi kemungkinan bawa air tanah tersebut akan bercampur dengan fluida asing yang masuk, hal ini disebut dengan intrusi. Jenis fluida yang mengisi kekosongan massa ini memiliki massa jenis yang lebih tinggi dan berasal dari tekanan tinggi. Sebagai contoh air laut, juga limbah-limbah yang terbuang ke sungai.

Jakarta, kota megapolitan berpenduduk 7.871.215 Jiwa, dimana banyak terdapat perumahan, pencakar langit, dan apartemen yang menyedot air tanah dalam jumlah sangat besar. Untuk memperoleh air tanah tersebut, Manusia membuat sumur bor hingga mencapai kedalaman tertentu, dimana terdapat aliran air bawah tanah, kemudian memompakan ke permukaan untuk dikonsumsi. Pada lapisan bawah tanah ini maka akan terjadi kekosongan

cukup besar, sehingga terjadi proses intrusi yang telah dijelaskan sebelumnya. Menurut Prof Dr Ir Hadi S Alikodra, staf peneliti dan dosen Fakultas Kehutanan IPB, "Sebagai negara maritim terbesar di dunia dengan luas laut 5.8 juta kilometer persegi dan terdiri dari 17.508 pulau beserta pantai sepanjang 81 ribu kilometer, Indonesia rawan terhadap masalah yang terjadi di wilayah pesisir, seperti banjir rob, abrasi, intrusi (penyusupan) air laut, dan pencemaran".

Masalah lain adalah pada atas permukaan terdapat bangunan pencakar langit yang bobotnya sangat besar menekan lapisan tanah ke bawah, sedangkan bagian bawahnya telah kosong, sehingga terjadi *subsidence* atau penurunan ketinggian permukaan tanah terhadap permukaan laut, kelama-lamaan subsidensi tersebut akan terus berlangsung diiringi dengan kenaikan air laut akibat pemanasan global, sehingga dapat menyebabkan tenggelamnya kota tersebut.

### 1.2 Permasalahan

Jakarta merupakan kota yang berada ditepi pantai, dimana memiliki struktur geologi yang cukup unik berupa cekungan yang berisi bermacam endapan. Pada jaman *Holosen* sepanjang pantai utaranya pernah tertutup lautan sehingga mengendapkan sedimen laut dangkal yang memiliki salinitas tinggi, serta sekumpulan air yang terjebak dalam proses geologi yang disebut *Conate Water* (air purba). Sekumpulan air ini memiliki konsentrasi kegaraman yang sangat tinggi, serta tekanan yang tinggi.

Eksplotasi air tanah yang berlebihan dari *aquifer* memaksa *conate water* tersebut keluar menggantikan air tanah tawar menyebabkan intrusi laut terjadi. Efek lanjutan dari eksplotasi air tanah ini ialah subsidensi yang terjadi dengan adanya kontribusi dari penekanan bobot gedung bertingkat terhadap lapisan tanah.

Sampai saat ini belum ada penelitian yang dapat mendeteksi percepatan intrusi air asin yang terjadi dalam bawah permukaan tanah dan seberapa luas persebarannya. Karena itu tulisan ini mencoba untuk mendeteksi arah pergerakan dari intrusi air asin tersebut, juga seberapa besar nilai kepayauan air di berbagai titik di Jakarta, melalui pemetaan nilai gravitasi dari waktu ke waktu juga dengan pemetaan nilai klorin air sumur di Jakarta.

**1.3 Tujuan Penulisan**

- Adapun tujuan dari penulisan ini adalah:
1. Menganalisa kaitan antara perubahan medan gravitasi dengan adanya fenomena intrusi air laut yang terjadi di Jakarta.
  2. Memetakan anomali positif dan negatif dari nilai g Observasi, dengan wilayah [(-6,35158 s.d - 6,08655)° LS dan (106,689 s.d 106,955)° BT].

Dengan pertimbangan selisih nilai gravitasi Jakarta yang telah dilakukan koreksi-koreksi seperti, koreksi drift, dan koreksi pasang surut, kemudian mempertimbangkan pula mengenai kondisi geologis Jakarta, kondisi geografis Jakarta.

**2. LANDASAN TEORI**

**2.1 Teori Dasar Gravitasi**

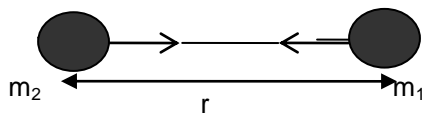
**Gaya Gravitasi**

Teori yang mendukung Ilmu gravitasi terapan adalah hukum Newton (1687) yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua partikel bergantung dari jarak dan massa masing-masing partikel tersebut, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\vec{F}(r) = -G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- $\vec{F}(r)$  = Gaya tarik menarik (N)
- $m_1$  dan  $m_2$  = Massa benda ( kg )
- $r$  = Jarak kedua benda ( m )
- $G$  = Konstanta gravitasi Universal (  $6,67 \cdot 10^{-11} \cdot m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$  )



**Gambar 1.** Gaya tarik– menarik antara dua benda

**2.1.2 Percepatan Gravitasi**

Newton juga mendefinisikan hubungan antara gaya dan percepatan. Hukum II Newton tentang gerak menyatakan gaya sebanding dengan perkalian massa benda dengan percepatan yang dialami benda tersebut.

$$a = \frac{F}{m_2}$$

Percepatan sebuah benda bermassa  $m_2$  yang disebabkan oleh tarikan benda bermassa  $M_1$  pada jarak  $R$  secara sederhana dapat dinyatakan dengan:

$$a = \frac{F}{m_2} = G \frac{M_1}{R^2} \dots\dots(2)$$

Bila ditetapkan pada percepatan gaya tarik bumi persamaan (2.2) di atas menjadi:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M}{R^2} \dots\dots (3)$$

dengan :

- $g$  = Percepatan gaya tarik bumi
- $M$  = Massa bumi
- $m$  = Massa benda
- $F$  = Gaya berat
- $R$  = Jari-jari bumi

**2.1.3 Satuan Percepatan Gravitasi**

Pengukuran percepatan gravitasi pertama kali dilakukan oleh Galileo, sehingga untuk menghormati Galileo, kemudian didefinisikan :

$$1(Gal) = 1\left(\frac{cm}{s^2}\right) = 10^{-2}\left(\frac{m}{s^2}\right) \text{ ( dalam c.g.s )}$$

Satuan anomali gaya berat dalam kegiatan eksplorasi diberikan dalam orde miligal (mgal):

$$1(mGal) = 10^{-3}(Gal)$$

$$1(\mu Gal) = 10^{-3}(mGal) = 10^{-6}(Gal) = 10^{-8}\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

Dalam satuan m.k.s, gravitasi diukur dalam g.u.(gravity unit) atau  $\mu m/s^2$  :

$$1(mgal) = 10 \text{ g.u.} = 10^{-5}\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

**2.2 Koreksi – Koreksi**

Dalam proses data metoda gayaberat terdapat beberapa tahapan dengan koreksi-koreksi diantaranya adalah :

**2.2.1. Koreksi Apungan (Drift Correction)**

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh perubahan kondisi alat (*Gravimeter*) terhadap nilai pembacaan.

Koreksi apungan muncul karena gravity meter selama digunakan untuk melakukan pengukuran akan mengalami guncangan, sehingga akan menyebabkan bergesernya pembacaan titik nol pada alat tersebut. Koreksi ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dengan metode *looping*, yaitu dengan pembacaan ulang pada titik ikat (*base station*) dalam satu kali *looping*, sehingga nilai penyimpangannya diketahui. Besarnya koreksi *Drift* dirumuskan sebagai berikut :

$$DC = \frac{g_A' - g_A}{t_A' - t_A} (t_n - t_A) \quad \dots(4)$$

dengan :

- DC = koreksi drift pada titik acuan pengamatan
- $g_A$  = harga gravitasi di titik acuan pada waktu  $t_A$
- $g_A'$  = harga gravitasi di titik acuan pada waktu  $t_A'$  (pada saat penutupan)
- $t_A$  = waktu pengamatan di titik acuan saat awal
- $t_A'$  = waktu pengamatan di titik acuan saat penutupan kitaran
- $t_n$  = waktu pengamatan di titik pengamatan n

### 2.2.2. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Koreksi ini adalah untuk menghilangkan gaya tarik yang dialami bumi akibat bulan dan matahari, sehingga di permukaan bumi akan mengalami gaya tarik naik turun. Hal ini akan menyebabkan perubahan nilai medan gravitasi di permukaan bumi secara periodik. Koreksi pasang surut juga tergantung dari kedudukan bulan dan matahari terhadap bumi. Koreksi tersebut dihitung berdasarkan perumusan Longman (1965) yang telah dibuat dalam sebuah paket program komputer. Koreksi ini selalu ditambahkan terhadap nilai pengukuran, dari koreksi akan diperoleh nilai medan gravitasi di permukaan topografi yang terkoreksi *drift* dan pasang surut, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$g_M = GM_m \frac{r_a}{r^3} (3 \cos^2 \theta - 1) + \frac{3}{2} GM_m \frac{r_a^2}{r^4} (5 \cos^2 \theta - 3 \cos \theta) \quad \dots(5)$$

$$g_s = GM_s \frac{r_a}{s^3} (3 \cos^2 \gamma - 1) + \frac{3}{2} GM_s \frac{r_a}{s^4} (5 \cos^2 \gamma - 3 \cos \gamma) \quad \dots(6)$$

dengan :

- P = Titik amat di permukaan bumi
- Z = Zenith di permukaan bumi
- $g_M$  = Komponen tegak pasang surut akibat bulan
- $g_s$  = Komponen tegak pasang surut akibat matahari
- $r_a$  = Jarak pusat bumi dan bulan
- $s$  = Jarak pusat bumi dan matahari
- G = Konstanta gravitasi universal
- Mm = Massa bulan
- Ms = Massa matahari
- R = Jarak titik pengamatan ke pusat bumi
- $\theta$  = Sudut zenith bulan
- $\gamma$  = Sudut zenith matahari

Sudut zenith bulan adalah :

$$\cos \theta = \sin \lambda \sin I_{Bulan} \sin l_m + \cos \lambda \left[ \cos^2 I_{Bulan} \frac{\cos(l_m - x)}{2} + \sin \omega \frac{\cos(l_m - x)}{2} \right] \quad \dots(7)$$

Sudut zenith matahari adalah :

$$\cos \gamma = \sin \lambda \sin I_{Matahari} \sin l_s + \cos \lambda \left[ \cos^2 I_{Matahari} \frac{\cos(l_s - x)}{2} + \sin \omega \frac{\cos(l_s - x)}{2} \right] \quad \dots(8)$$

dengan :

- $\lambda$  = bujur tempat pengamatan
- $\gamma$  = sudut geosentris Matahari
- $\theta$  = sudut geosentris Bulan
- $I_{Matahari}$  = inklinasi Matahari
- $I_{Bulan}$  = inklinasi Bulan
- $l_s$  = bujur orbit Matahari
- $l_m$  = bujur orbit Bulan
- $x$  = right ascension

Sehingga besarnya harga pasang surut bumi komponen tegak secara total adalah:

$$g = g_m + g_s \dots \dots \quad (9)$$

### 2.3 Intrusi Air Asin

Intrusi air asin adalah suatu peristiwa penyusupan air asin ke dalam *aquifer* di mana air asin menggantikan atau tercampur dengan air tanah tawar yang ada di dalam akuifer. Istilah intrusi air asin (*saline/salt water*)

sebetulnya mencakup hal yang lebih luas dibandingkan pengertian dari istilah intrusi air laut (*sea water intrusion/encroachment*) karena air asin tidak hanya berupa/berasal dari air laut. Intrusi air asin dapat terjadi di mana saja, bahkan di daerah pedalaman (inland).

Air asin adalah semua air yang mempunyai kadar kegaraman yang tinggi. Tingkat kegaraman biasanya dicerminkan dari total kandungan zat terlarut (total dissolved solids -TDS). Air tanah tawar mempunyai TDS kurang dari 1000 mg/l. Sementara air tanah payau/asin TDSnya lebih dari 1000 mg/l. Kandungan unsur Cl<sup>-</sup> yang tinggi umumnya didapati pada air asin. Air asin adalah pencemaran yang paling umum ke dalam air tanah.

Air asin di dalam akuifer dapat berasal dari:(Journal Hydraulics, ASCE, 1969)

1. Air laut di daerah pantai,
2. Air laut yang terperangkap dalam lapisan batuan yang diendapkan selama proses geologi (*conate water*),
3. Garam di dalam kubah garam, lapisan tipis atau tersebar di dalam formasi geologi (batuan),
4. Air yang terkumpul oleh penguapan di laguna, empang atau tempat-tempat lain yang terisolasi,
5. Aliran balik ke sungai dari lahan irigasi,
6. Limbah asin dari manusia.

Penyusupan ini akan menyebabkan air tanah tidak dapat dimanfaatkan, dan sumur yang memanfaatkannya terpaksa ditutup atau ditinggalkan. Intrusi sebenarnya baru akan terjadi karena adanya aksi, dalam hal ini pengambilan air tanah. Intrusi adalah reaksi dari aksi tersebut, dan mengubah keseimbangan hidrostatik alami antar-muka (interface) air tanah tawar dan air asin.

## 2.4 Jenis Sungai Berdasarkan Kontribusinya Terhadap Air Tanah

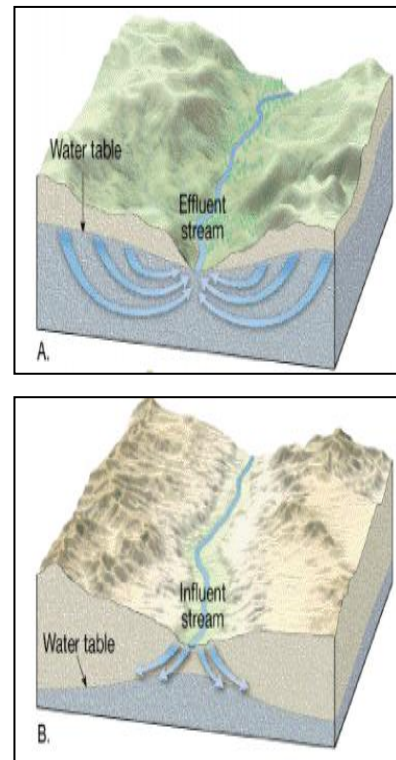
Berdasarkan kontribusinya terhadap air tanah, maka sungai dapat dibedakan menjadi 2 macam:

### A. Sungai Effluent (*Effluent Stream*).

Jenis sungai ini adalah permukaan air sungai lebih rendah daripada permukaan air tanah (*water table*). Dengan kata lain, sumur-sumur penduduk yang berada di sekitar sungai memberikan airnya ke sungai tersebut akibat gaya gravitasi, sehingga jenis sungai yang tidak mencemari sumur-sumur penduduk.

### B. Sungai Inffluent (*Influent Stream*).

Sungai influent adalah sungai mencemari sumur-sumur penduduk, karena sungai ini memberikan kontribusi/imbuan kepada sumur-sumur disekitarnya. Atau dengan kata lain permukaan air sungai lebih tinggi daripada permukaan air tanah (*water table*).



Gambar 2. Contoh jenis sungai

## 3. DATA DAN METODE ANALISA

### 3.1 Data Penelitian

#### 3.1.1 Data Gravitasi

Data yang penulis gunakan dalam tulisan ini adalah data medan gravitasi pada bulan September tahun 2006 dan bulan November tahun 2007, dilakukan oleh BMG di daerah Jakarta yang terdiri dari 43 titik, menggunakan

alat Autograv Scintrex CG5 pada tahun 2006 dan Autograv Scintrex CG3 pada tahun 2007, perbedaan penggunaan alat pada tiap tahun tidak menjadi masalah, karena telah dilakukan kalibrasi pada kedua alat.

Dalam pengolahan data penulis menggunakan Microsoft Excel 2007 untuk mempermudah perhitungan, sehingga diperoleh selisih dari kedua data g Observasi. Namun terlihat keganjilan pada satu nilai g Observasi pada tahun 2006, dimana nilai selisihnya terlalu besar, mencapai nilai 2, sedangkan rata-rata selisih hanya berkisar 0.4 sd -0.01 mgal. Hal ini diperkirakan dikarenakan adanya kesalahan *human error*, atau juga terjadi kondisi-kondisi diluar normal pada saat pengamatan, karena itu pada satu titik tersebut diiadakan, dengan alasan akurasi. Kemudian hasil pengolahan data tersebut, yang terdiri data g obsevasi 2006 dan 2007, juga selisih dari 2007-2006. dibuat dalam suatu peta kontur dengan *Software Surfer8*.

### 3.1.2 Data Laboratorium Kepeyauan Air Jakarta

Data ini berasal dari Dinas Pertambangan DKI Jakarta, berupa kumpulan catatan Laboratorium kualitas air para perusahaan konsumen pengguna air tanah

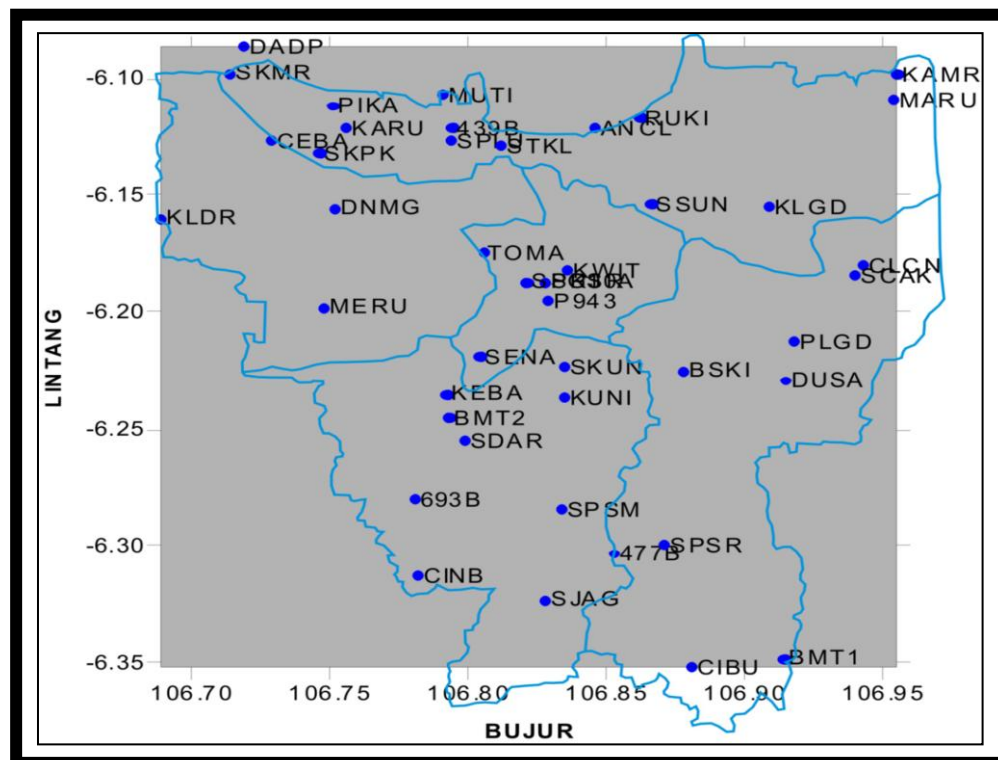
untuk gedung-gedung bertingkat. Data tersebut dibuat pada tahun 2008 dan tersebar diseluruh wilayah Jakarta, terdiri dari 100 titik yang terbagi rata dimasing-masing wilayah kota madya DKI Jakarta. Penulis menggunakan data tersebut, kemudian diolah menggunakan Microsoft excel, diklasifikasikan dalam tingkat tidak payau, payau ringan, payau sedang, payau berat, berdasarkan komposisi yang tercantum dalam hasil laboratorium.

## 3.2 Data Penunjang

Data penunjang yang dipakai berfungsi sebagai bahan pendukung serta pembanding terhadap analisa yang dilakukan oleh dalam tugas akhir ini, data penunjangnya adalah berupa data geologi, data topografi, serta data geografi yang berasal dari internet. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar tugas akhir ini memiliki pembuktian yang pasti akan analisisnya.

### 3.2.1 Data Topografi

Dilihat keadaan topografinya wilayah DKI Jakarta dikatagorikan sebagai daerah datar dan landai. Ketinggian tanah dari pantai sampai ke banjir kanal berkisar antara 0 m sampai 10 m di atas permukaan laut diukur dari titik nol Tanjung Priok



Gambar 3. Peta sebaran titik pengamatan gravitasi daerah jakarta

Sedangkan dari banjir kanal sampai batas paling Selatan dari wilayah DKI antara 5 m sampai 50 m di atas permukaan laut Daerah pantai merupakan daerah rawa atau daerah yang selalu tergenang air pada musim hujan. Di daerah bagian Selatan banjir kanal terdapat perbukitan rendah dengan ketinggian antara 50 m sampai 75 m. Peta kontur ketinggian daerah pengamatan ditunjukkan pada lampiran 4.

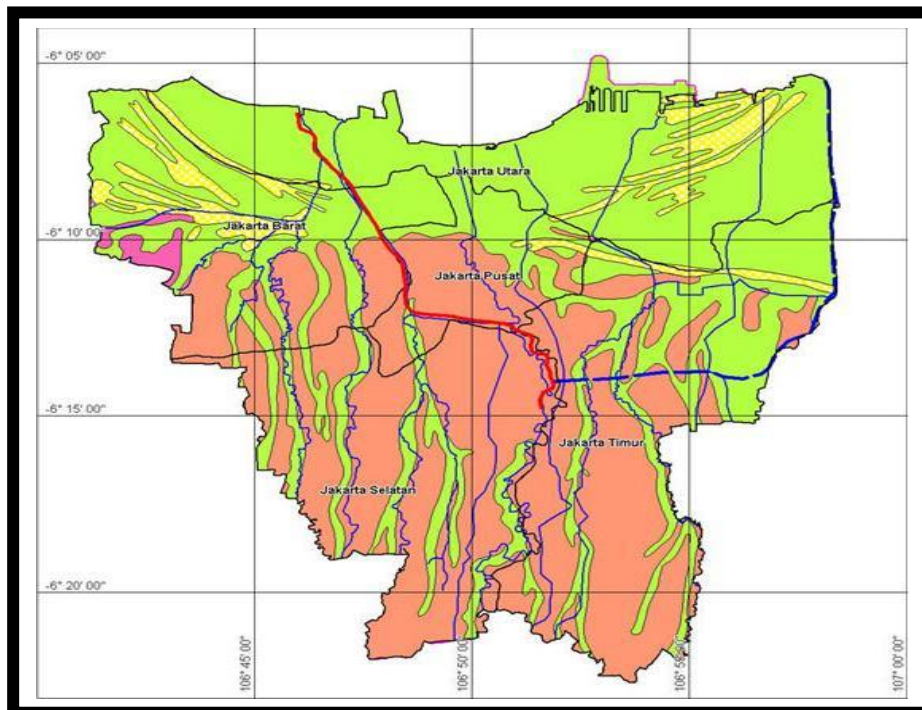
### 3.2.2 Data Geologi

Berdasarkan dominasi litologi dan posisi stratigrafi dari masing-masing satuan batuan yang telah dilakukan oleh Lambok. M. Hutasoit ( 2002 ) memperlihatkan bahwa urutan stratigrafi cekungan Jakarta dari tua ke muda adalah : Formasi Bojomanik dan Jatiluhur, Formasi Parigi, Formasi Subang, Satuan Vulkanik G. Dago, Formasi Genteng, Formasi Kaliwangu, Formasi Serpong, Formasi Citalang , Tufa Banten dan Endapan Vulkanik Kuartar.

#### a. Kelompok Batuan Sedimen

Kelompok batuan ini meliputi : Formasi Serpong (Srp), disusun oleh batupasir halus –kasar konglomeratan dan batulempung.

- Formasi Kaliwangu (Kw), disusun oleh batugamping koral, sisipan batugamping pasiran, napal, dan batupasir kuarsa glaukonitan.
- Formasi Jatiluhur (Jtl), disusun oleh napal dan batulempung dengan sisipan batupasir gampingan.
- Formasi Bojongmanik (Sbg), disusun oleh perselingan batupasir dan batulempung dengan sisipan batugamping, di sekitar Cilampea – leuwiliang dijumpai adanya lensa batugamping.
- Formasi Parigi (Prg), disusun oleh batu pasir dan batuan lempung.
- Formasi Genteng (Gt), disusun oleh tufa batuapung, batupasir, breksi andesit dan konglomerat dengan sisipan batulempung.
- Formasi Citalang (Ctl), disusun oleh batuan pasir, basalt, andesit lignit dan lanau.



Gambar 4. Peta Geologi Umum

| UMUR    |           | STRATIGRAFI              |               |
|---------|-----------|--------------------------|---------------|
| Kuartar | Plistosen | Endapan Vulkanik Kuartar | Fm. Citalang  |
|         | Pliosen   | Fm. Serpong              | Fm. Kaliwangu |
|         |           | Fm. Genteng              |               |
| Tersier | Akhir     | Fm. Subang               |               |
|         | Tengah    | Fm. Parigi               |               |
|         |           | Fm. Bojongmanik          | Fm. Cibulakan |

Gambar 5. Stratigrafi umum cekungan Jakarta (Lambok. M. Hutasoit, 2002)

**b. Kelompok Endapan Permukaan**

Kelompok batuan ini meliputi :

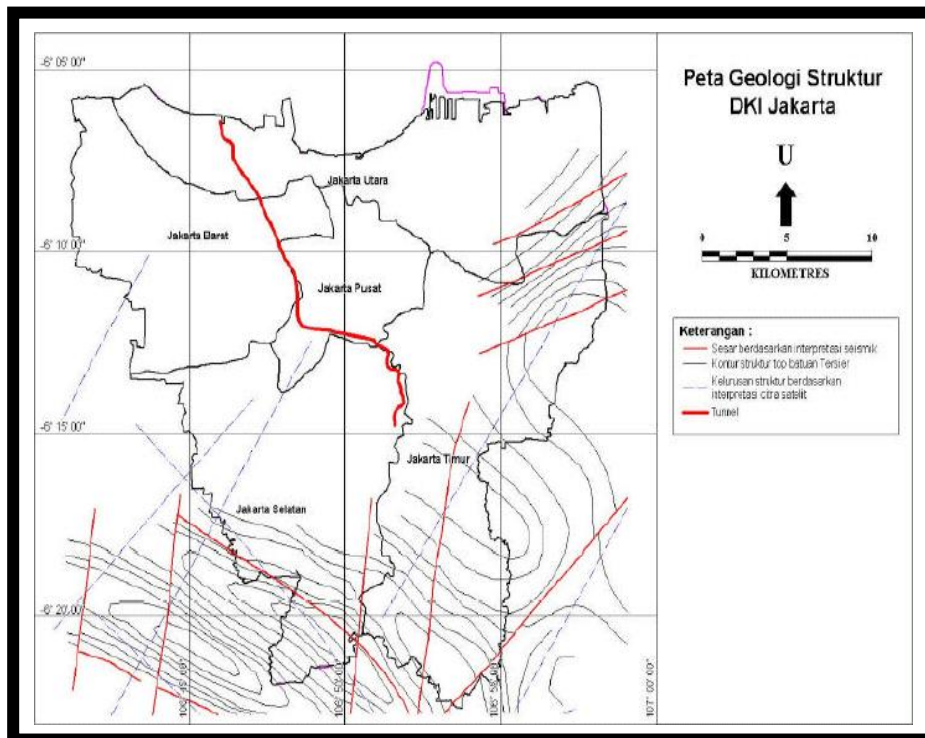
- Satuan Aluvial Tua (Qoa), disusun oleh batupasir konglomeratan dan batulanau, hanya terdapat di selatan Cikarang (Bekasi) sebagai endapan teras S. Cibeeet dan Citarum.
- Satuan Kipas Aluvial Bogor (Qva), disusun oleh tufa halus berlapis, tufa pasir berselingan dengan tufa konglomeratan, merupakan rombakan endapan vulkanik G. Salak dan Pangrango.

- Satuan Endapan Pematang Pantai (Qbr), disusun oleh batupasir halus-kasar dengan cangkang moluska, terdapat menyebar di bagian Utara yang hampir sejajar garis pantai mulai tangerang hingga Bekasi.
- Satuan Aluvial (Qa), disusun oleh lempung-pasir, kerikil, kerakal, dan bongkah, fraksi kasar umumnya menempati alur-alur sungai (Selatan) sedangkan fraksi halus di daerah dataran Jakarta dengan tambahan adanya sisa-sisa tumbuhan pada kedalaman tertentu

**c. Kelompok Batuan Gunungapi**

Kelompok batuan ini meliputi :

- Satuan tufa Banten (Qtvb), disusun oleh tufa, tufa batuapung, dan batupasir.
- Satuan Vulkanik Tak Teruraikan (Qvu/b), disusun oleh breksi, lava yang bersifat andesit hingga basalt, dan intrusi andesit porfiritik dari G. Sudamanik (Barat Bogor). Satuan Vulkanik G. Kencana (Qvk), disusun oleh breksi dengan bongkah andesit dan basalt.



Gambar 6. Peta geologi struktur DKI Jakarta (Fachri dan Harsolumakso, 2003)

- Satuan Vulkanik G. Salak (Qvsb), disusun oleh lahar, breksi, dan tufa berbatu apung, fragmen bongkah umumnya bersifat andesit.



- Satuan Vulkanik G. Salak (Qvsl), disusun oleh aliran lava bersifat andesit dan basalt.
- Satuan Vulkanik G. Pangrango (Qvpo), disusun oleh lahar dan lava dengan mineral utama plagioklas dan mineral mafik.
- Satuan Vulkanik G. Pangrango (Qvpy), disusun oleh lahar dengan bongkah bersifat andesit.

#### d. *Kelompok Batuan Intrusi.*

Satuan Intrusi (ba/a) disusun oleh batuan terobosan G. Dago (ba) bersifat basalt yang terkekarkan dan andesit porfiritik G. Pancar (a).

### 3.2.3 Data Struktur Geologi

Dari peta Geologi tampak bahwa struktur geologi yang berkembang berupa struktur patahan dan lipatan yang umumnya hanya berkembang baik pada batuan sedimen Tersier. Struktur lipatan berupa sinklin dan antiklin, berarah relatif barat – timur, sedangkan struktur patahan berarah relatif utara – selatan dan timur laut – barat daya. Adanya struktur sesar di wilayah Jakarta juga diprediksi berdasarkan penafsiran landsat dan penampang seismik yaitu berupa sesar turun yang berarah barat – timur dan timur laut – barat daya.

Adanya struktur sesar di wilayah Jakarta juga diprediksi berdasarkan penafsiran landsat dan penampang seismik yaitu berupa sesar turun berarah barat- timur dan timur laut – barat daya.

Struktur sesar mendatar memanjang melalui daerah Kebayoran hingga Petamburan pada bagian barat dan pada bagian timur terdiri atas tiga sistem sesar mendatar yaitu melalui daerah Pasar rebo – Halim Perdana Kusumah- Klender, daerah Cijantung-Lubang Buaya, dan daerah Cibubur – sebelah timur TMII.

Struktur sesar Barat-Timur juga terdiri atas tiga sistem sesar yaitu sesar naik yang melalui daerah Lebak Bulus dengan blok bagian Utara bergerak relatif naik terhadap blok bagian selatan, melalui daerah Lenteng Agung dengan blok bagian utara yang juga

bergerak relatif naik terhadap blok bagian selatan, dan sesar turun yang melalui daerah Pasar Rebo dengan blok bagian selatan bergerak relatif turun terhadap blok bagian utara, sedangkan sesar turun yang berarah timur laut-barat daya melalui tenggara Cilangkap dan Cibubur dengan blok bagian barat laut bergerak relatif turun terhadap blok bagian tenggara

### 3.2.4 Data Persebaran Gedung Tinggi di Jakarta



**Gambar 7.** Peta Pemusatan Gedung-Gedung Tinggi di Jakarta

Konsentrasi gedung tinggi terjadi di tujuh kecamatan yang saling berbatasan dan berada di bagian tengah letak geografis Jakarta, dengan Wilayah dengan gedung tinggi terbanyak, secara berurutan :

- Kecamatan Setia Budi : 97 gedung
- Kecamatan Menteng : 44 gedung
- Gambir : 43 gedung
- Tanah Abang : 41 gedung
- Grogol Petamburan : 32 gedung
- Sawah Besar dan K. Baru : 31 gedung

Setia Budi, Menteng dan Gambir merupakan kecamatan yang berurut dari selatan ke utara mengikut jalur Jalan Thamrin dan Jalan Rasuna Said. Sedangkan kecamatan Tanah Abang yang merupakan tertinggi ke empat berada sejajar di arah barat dari Menteng. Keempatnya ini semua bertetangga dengan Menteng sebagai titik tengahnya.

### 3.2.5. Data Aquifer Jakarta

*Aquifer* Jakarta merupakan aquifer berlapis banyak yang terdiri dari selingan *aquifer*, *aquitard* (lapisan perlambat) dan *aquiklud* (lapisan kedap air). Batuan akuifer tersebut merupakan endapan kwarter, yang terdiri dari pasir, kerikil, dan lempung. Sebagai lapisan *aquitard* adalah batuan tersier yang mempunyai kelulusan yang sangat kecil. Beberapa peneliti sebelumnya menganggap bahwa daerah resapan pengisi *aquifer* cekungan Jakarta berada di wilayah Bogor. Namun penelitian lebih lanjut dikemukakan bahwa air tanah dari Bogor menuju Jakarta terhalang oleh formasi batuan Bojongmanik dan Kelapa Dua yang usianya lebih tua dari lapisan batuan dibawah Jakarta. Halangan formasi batuan tersebut menyebabkan air tanah yang mengalir ke Jakarta keluar menjadi air permukaan di kawasan timur Jakarta. Limpahan itu bersamaan dengan hujan, yang kemudian berdampak banjir.

Menurut Sukardi (1982), lapisan akuifer cekungan Jakarta dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu :

- *Aquifer* tak tertekan (*unconfined aquifer*), terdapat pada kedalaman 0 – 40 meter.
- *Aquifer* tertekan atas (*upper confined aquifer*), terdapat pada kedalaman 40 – 140 meter.
- *Aquifer* tertekan bawah (*lower confined aquifer*), terdapat pada kedalaman antara 140 – 300 meter.

### 3.3. Metode Analisa

Dalam pengolahan dan analisa data gravitasi dalam penulisan ini ada beberapa tahap, yaitu:

#### 3.3.1 Perhitungan g Observasi

Untuk mereduksi koreksi *drift*, survey ini dilakukan dengan *loop* atau sistem pengamatan tertutup. Gravimeter yang akan digunakan untuk pengukuran ke lapangan juga mengukur gravitasi pada stasiun base sebelum dan sesudah melakukan pengukuran di lapangan. Data gravitasi pengukuran lapangan dikoreksi dengan data gravitasi pengukuran

base untuk mereduksi efek pasang surut. Nilai gravitasi observasi didapatkan dari hasil pengukuran gravitasi relatif di lapangan yang telah dikoreksi dengan koreksi *drift* dan koreksi pasang surut, ditambah dengan nilai gravitasi absolut ini. Perhitungan g Observasi ini dilakukan masing-masing pada data tahun 2006 dan tahun 2007.

#### 4.1 Pembuatan Peta Kontur

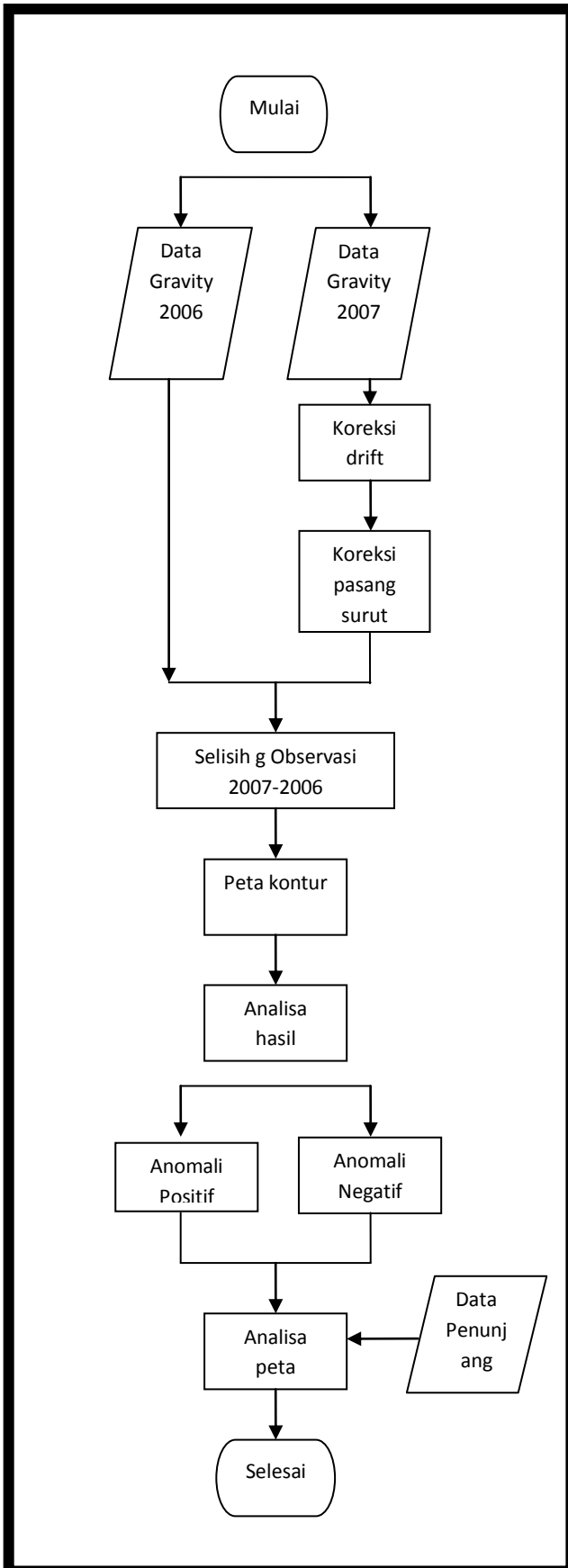
Data g Observasi yang telah didapat masing-masing tahun kemudian diselisihkan, sehingga didapatkan selisih nilai anomali g Observasi. Ketiga data tersebut, kemudian dibuatkan peta kontur menggunakan Surfer8, berdasarkan data lintang, bujur serta nilai g Observasi, sehingga dapat terlihat pemetaan anomalnya.

#### 3.3.2. Pengolahan Data Kepayauan Air

Data yang didapat berasal dari ini Subdinas Air Bawah Tanah Dinas Pertambangan DKI Jakarta ini, ialah berupa data laboratorium kualitas air dari perusahaan konsumen pengguna air tanah pada tahun 2006, yang tersebar di wilayah DKI Jakarta, data ini kemudian dibuat kedalam excel, dan dibuat peta persebarannya menggunakan Surfer 8.

#### 3.3.3. Perbandingan Hasil

Dari *overlay* peta kontur selisih g Observasi dengan hasil pengolahan data kepayauan air, sehingga didapatkan kesimpulannya tentang kaitan selisih anomali gravitasi dengan fenomena intrusi air laut serta subsidensi. Diagram alir pemrosesan data dapat dilihat pada gambar 8.

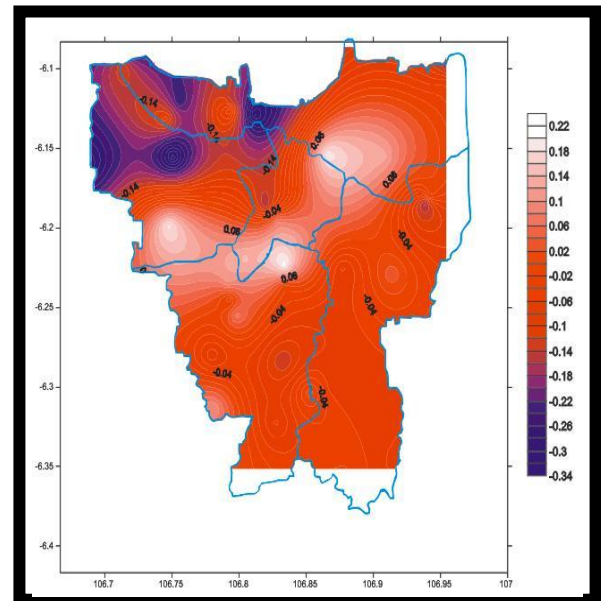


**Gambar 8.** Diagram Alir Pemrosesan Data

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Anomali Selisih G Observasi

Dari peta anomali Selisih g Observasi terlihat wilayah Jakarta secara umum memiliki nilai anomali dalam rentang  $-0.340781656$  s.d  $0.21225204$  mgal. Pada gambaran peta anomali, anomali g Observasi tinggi terlihat mulai dari sebelah timur laut Jakarta, serta terkonsentrasi pada bagian pusat Jakarta.



**Gambar 9** Peta Kontur Selisih G Observasi

Penulis mencoba membandingkan dengan informasi persebaran gedung tinggi di Jakarta, dimana diketahui bahwa pemusatan gedung tinggi di Jakarta sebagian besar terpusat di wilayah tengah, yaitu kecamatan Setiabudi, Menteng, Gambir, Tanah abang, Grogol Petamburan. Dapat disimpulkan telah terjadi subsidensi di daerah-daerah tersebut akibat dari eksploitasi air tanah berlebih yang menimbulkan kekosongan massa yang cukup besar, serta didukung pula oleh tekanan dari gedung-gedung bertingkat. Hal tersebut baru-baru ini terjadi di kawasan Sarinah, dimana terjadi amblesan disalah satu bagian bangunannya.

Anomali rendah yang tersebar diseluruh bagian Jakarta, kecuali Barat, Pusat dan Timur laut Jakarta mengindikasikan adanya kekosongan massa yang cukup besar dalam periode 2006-2007, ini kemungkinan disebabkan oleh banyaknya aliran fluida yang keluar dari dalam *aquifer* ke permukaan. Yang

tidak didukung dengan pengisian kembali oleh air hujan. Namun di daerah tersebut belum tampak terjadinya subsidensi.

#### 4.2. Tingkat Kepayauan Air Jakarta

Peta hasil pengolahan data yang penulis dapatkan berdasarkan nilai klorin sebagai salah satu indikasi kepayauan air di berbagai titik di Jakarta, menunjukkan bahwa adanya kontur nilai tertinggi terkonsentrasi pada bagian barat laut Jakarta, ini membuktikan kebenaran adanya intrusi air asin di daerah tersebut. Arah kontur peta hasil kepayauan air yang mengarah ke selatan, jika dibandingkan dengan peta jalur aliran sungai, terlihat bahwa adanya hubungan antara jalur air sungai dengan sifat kimiawi kepayauan air tanah di bawahnya, namun pengaruhnya hanya sedikit. Dapat disimpulkan bahwa terjadi intrusi air asin disekitar Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam skala kecil. Walaupun begitu, tidak menutup kemungkinan bahwa intrusi tersebut bukan berasal dari air asin, melainkan limbah pencemaran lingkungan yang terkandung dalam air sungai.

Untuk lebih teliti hasil ini akan lebih menggambarkan hasil yang sebenarnya bila data sumber pencemaran juga dapat dipetakan, namun untuk tulisan ini penulis tidak memiliki data sumber pencemaran tersebut karena alasan terbatasnya waktu.

#### 4.3. Perbandingan Hasil Pemetaan Selisih G Obs Dengan Pemetaan Kepayauan Air Serta Data Pendukung Lainnya

Berdasarkan peta kepayauan air terlihat bahwa nilai kepayauan air tertinggi terdapat pada bagian barat laut Jakarta, daerah ini sesuai dengan pemetaan daerah anomali gravitasi terendah. Hal ini mengindikasikan adanya intrusi air asin yang berasal dari daerah tersebut menuju ke pusat. Namun yang patut dipertanyakan adalah mengapa nilai kepayauan ekstrim ini tidak menyebar secara merata diseluruh pantai utara melainkan hanya terdapat pada bagian barat saja. Maka penulis mencoba membandingkan dengan sejarah geologi dari beberapa literatur yang menyebutkan bahwa daerah Cengkareng, Sunter, hingga Gambir pada jaman *Holosen* terendam oleh Laut Jawa yang kemudian

mengalami proses geologi membentuk sedimen laut yang memiliki salinitas tinggi, juga sekumpulan air yang terjebak dalam lipatan yang disebut *Conate water* (air purba). *Conate water* ini memiliki kadar salinitas yang tinggi juga tekanan yang tinggi. *Conate water* tidak akan mempengaruhi air tanah jika tidak terjadi pengambilan air tanah secara berlebihan. Sehingga bisa disimpulkan bahwa intrusi air asin yang terjadi di daerah tersebut disebabkan oleh pengaruh *conate water* yang mempengaruhi air tanah sekitarnya.

Kemudian pada peta anomali selisih  $g$  observasi terdapat anomali gravitasi tinggi dikawasan timur laut Jakarta, pada daerah yang sama terdapat kontur kepayauan yang cukup tinggi. Selain itu dilihat dari data geografi dikatakan bahwa di daerah tersebut merupakan daerah yang memiliki bangunan yang tinggi serta kompleks pabrik yang menyedot air tanah besar-besaran, seperti di daerah Kelapagading, Pulogadung, dsb. Ini mengindikasikan bahwa daerah tersebut telah terjadi subsidensi dan telah terpengaruh intrusi yang diakibatkan air laut. Di daerah tersebut juga merupakan daerah rawan banjir terbesar di Jakarta.

Perkiraan arah pergerakan intrusi air asin ini dimulai dari bagian barat Jakarta yang akan terus menuju ke bagian pusat Jakarta dimana memiliki kekosongan massa, juga tekanan yang rendah. Percepatan laju intrusi air asin ini sejalan dengan eksploitasi air tanah yang terus menerus, akibat porositas batuan yang besar.

Dalam kaitannya dengan tekanan, subsidensi dapat menghambat laju intrusi air asin, dikarenakan gaya yang mendorong kebawah lapisan bumi menambah tekanan yang sempat hilang akibat eksploitasi air tanah, namun hal tersebut menjadi salah satu faktor dimana terdapat faktor - faktor lain yang mempengaruhi.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisa dari data gravitasi di wilayah Jakarta, maka didapat kesimpulan dari studi ini adalah :

1. Anomali gravitasi dapat dijadikan sebagai indikator persebaran intrusi air asin di Jakarta.
2. Anomali tinggi mengindikasikan adanya subsidensi, perubahan kondisi bawah tanah, dan dinamika fluida. Anomali ini terdapat di kawasan Cilincing, Pulogadung dan Kelapa gading, dimana merupakan daerah banjir terbesar di Jakarta, dan memiliki tingkat kepayauan air yang cukup tinggi melebihi standar baku mutu air bersih. Anomali tinggi lainnya terdapat pada daerah Setia Budi, dan sebagian besar Jakarta Pusat serta memanjang ke arah barat, dimana merupakan daerah dengan jumlah gedung tinggi yang paling banyak, mengindikasikan terjadinya subsidensi didaerah tersebut, namun pengaruh intrusi belum terlalu signifant. Diperkirakan Jika proses ini terjadi terus menerus, maka intrusi air laut akan semakin meluas ke daerah tersebut dengan waktu yang cukup singkat.
3. Anomali rendah yang terdapat di selatan Jakarta membuktikan adanya pengurangan massa bawah permukaan bumi akibat eksploitasi air tanah tanpa disertai adanya subsidensi.
4. Pada daerah sekitar sungai hanya sedikit mempengaruhi komposisi air bawah tanahnya diduga karena kontrol tekanan air tanah dan air sungai masih terjaga.
5. Intrusi air asin yang terjadi di Jakarta sebagian besar penyebabnya adalah keberadaan *conate water* (air purba) yang mempengaruhi salinitas air tanah sekitarnya. Pengaruh intrusi akibat air laut pada aquifer air tanah juga terjadi sepanjang pesisir pantai utara Jakarta.
6. Berdasarkan Standar Baku Mutu Air Bersih, sebagian besar air di Jakarta masih memenuhi syarat air bersih, kecuali daerah pesisir utara dan timur Jakarta.
7. Beberapa hal yang mempengaruhi intrusi air asin:
  - Tipe sungai
  - Kondisi geologi, air purba (*Conate water*)
  - Kenaikan muka air laut
  - Porositas batuan
  - Perubahan ketinggian muka air tanah

## 6. DAFTAR PUSTAKA

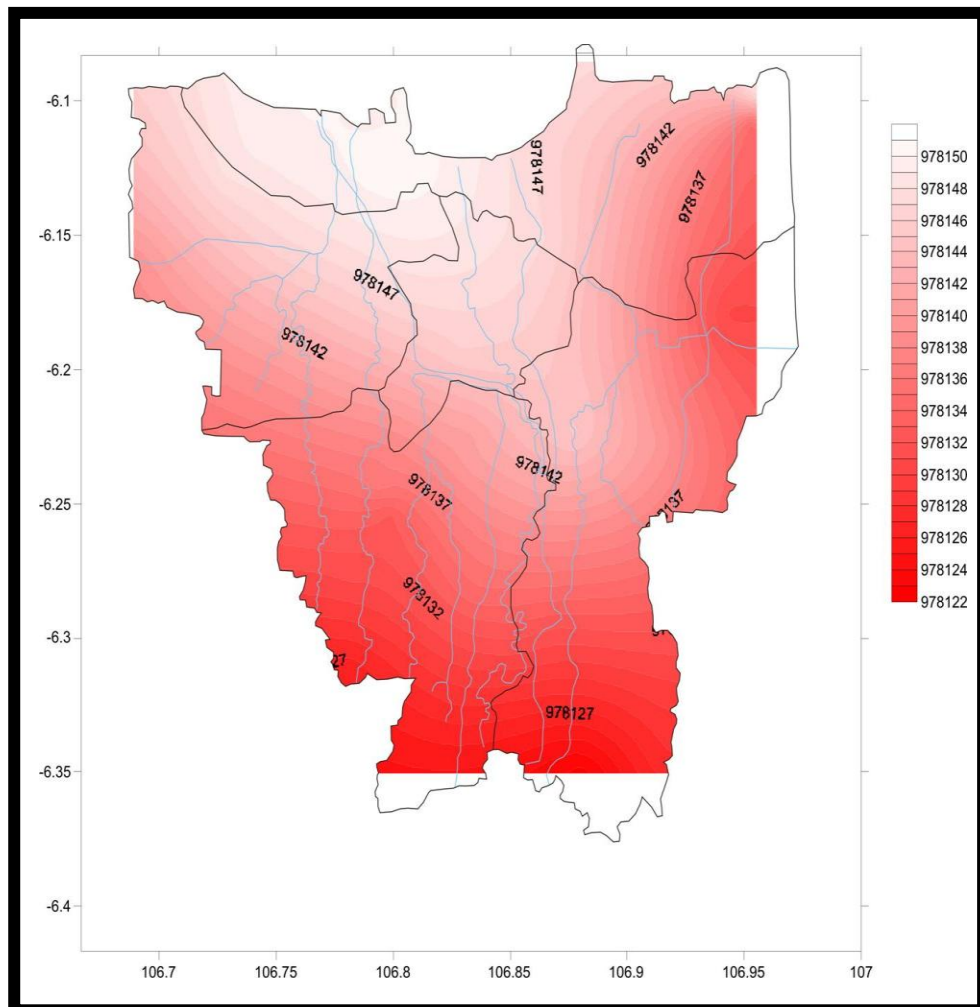
1. Anonim. 2005. *Sumur Injeksi Untuk Pengendalian Banjir dan Konservasi Air Tanah*.  
[http://balimining.com/readartikel.php?Dir=Artikel/SUMUR\\_INJEKSI\\_UNTUK\\_PENGENDALIAN/](http://balimining.com/readartikel.php?Dir=Artikel/SUMUR_INJEKSI_UNTUK_PENGENDALIAN/)
2. Djaja, Rochman. *Land Subsidence Of Jakarta Metropolitan Area*.  
[http://www.fig.net/pub/jakarta/papers/ts\\_06/ts\\_06\\_4\\_djajaetal.pdf.ni](http://www.fig.net/pub/jakarta/papers/ts_06/ts_06_4_djajaetal.pdf.ni)
3. Luthfi, Achmad., 2005. *Air Tanah Jakarta Terancam Minimnya Suplai*. RE: [IAGAnet-I]
4. Riyadi, Mochammad., 1996. *Pemodelan Gaya Berat Tiga Dimensi untuk Melokalisir Jebakan Timah di Daerah Pemali-Bangka*. Jakarta: Tesis S2 FMIPA Universitas Indonesia.
5. Sativa, Oriza., 2008. *Pemodelan Dua Dimensi Data Gravitasi Cekungan Jakarta Menggunakan Metode Talwani*. Jakarta : Tugas Akhir Akademi Meteorologi dan Geofisika.
6. Soetrisno S., 2001. *Jakarta Bebas Dari Intrusi Air Laut?*.  
[http://www.geocities.com/eureka/gold/157/jkt\\_intrusi.html](http://www.geocities.com/eureka/gold/157/jkt_intrusi.html)

**Lampiran 1**  
**DAFTAR NILAI GRAVITASI**

| Stasiun | Lat      | Long     | g Obs      |            | Selisih g Obs |
|---------|----------|----------|------------|------------|---------------|
|         |          |          | 2006       | 2007       |               |
| 439B    | 106.7942 | -6.12096 | 978150.488 | 978150.347 | -0.141217919  |
| 477B    | 106.8527 | -6.30313 | 978131.702 | 978131.717 | 0.014902766   |
| 693B    | 106.7803 | -6.28011 | 978130.989 | 978130.890 | -0.098681608  |
| ANCL    | 106.8457 | -6.12123 | 978148.386 | 978148.216 | -0.170450291  |
| BMT1    | 106.9142 | -6.3479  | 978127.606 | 978127.521 | -0.08526937   |
| BMT2    | 106.7931 | -6.24476 | 978136.397 | 978136.358 | -0.039421163  |
| BSKI    | 106.878  | -6.22501 | 978145.147 | 978145.061 | -0.086262735  |
| CEBA    | 106.7287 | -6.12669 | 978148.379 | 978148.251 | -0.128528504  |
| CIBU    | 106.8809 | -6.35158 | 978122.498 | 978122.460 | -0.038676845  |
| CINB    | 106.7813 | -6.31266 | 978126.365 | 978126.469 | 0.10407273    |
| CLCN    | 106.9427 | -6.18015 | 978130.891 | 978130.876 | -0.014937143  |
| DADP    | 106.7189 | -6.08655 | 978148.75  | 978148.463 | -0.286527878  |
| DNMG    | 106.7513 | -6.15556 | 978146.5   | 978146.159 | -0.340664063  |
| DUSA    | 106.9145 | -6.22928 | 978139.731 | 978139.769 | 0.037892305   |
| KAMR    | 106.9552 | -6.09863 | 978147.784 | 978147.627 | -0.157394238  |
| KARU    | 106.7559 | -6.12126 | 978149.599 | 978149.359 | -0.239645669  |
| KEBA    | 106.7922 | -6.23488 | 978136.835 | 978136.934 | 0.099349468   |
| KLDR    | 106.689  | -6.15975 | 978139.243 | 978138.921 | -0.321863035  |
| KLGD    | 106.9087 | -6.15526 | 978139.532 | 978139.659 | 0.127036587   |
| KUNI    | 106.8344 | -6.236   | 978140.598 | 978140.587 | -0.010789858  |
| KWIT    | 106.836  | -6.18204 | 978146.748 | 978146.687 | -0.061845877  |
| MARU    | 106.9535 | -6.1092  | 978134.761 | 978134.700 | -0.061078196  |
| MERU    | 106.7477 | -6.19789 | 978140.062 | 978140.251 | 0.188860597   |
| MUTI    | 106.791  | -6.10667 | 978149.69  | 978149.568 | -0.121845861  |
| P943    | 106.829  | -6.19528 | 978145.859 | 978145.932 | 0.073133358   |
| PIKA    | 106.7512 | -6.11177 | 978149.744 | 978149.520 | -0.223872354  |
| PLGD    | 106.918  | -6.21236 | 978137.846 | 978137.830 | -0.016205988  |
| RUKI    | 106.8621 | -6.1167  | 978146.75  | 978146.654 | -0.095913009  |
| SCAK    | 106.9399 | -6.18413 | 978131.587 | 978131.413 | -0.174107802  |
| SDAR    | 106.7986 | -6.25517 | 978132.893 | 978132.968 | 0.074563424   |
| SENA    | 106.8041 | -6.21876 | 978140.001 | 978140.145 | 0.144324212   |
| SJAG    | 106.8278 | -6.32288 | 978128.501 | 978128.395 | -0.106679558  |
| SKMR    | 106.7141 | -6.09779 | 978147.736 | 978147.615 | -0.121243774  |
| SKPK    | 106.7462 | -6.13187 | 978148.443 | 978148.362 | -0.081700054  |
| SKUN    | 106.8343 | -6.22328 | 978141.117 | 978141.329 | 0.212000841   |
| SPGJ    | 106.8211 | -6.18694 | 978146.145 | 978145.987 | -0.15784336   |
| SPLU    | 106.7938 | -6.12635 | 978150.57  | 978150.538 | -0.03241281   |
| SPSM    | 106.8336 | -6.28398 | 978134.662 | 978134.518 | -0.144760288  |
| SPSR    | 106.8708 | -6.29926 | 978131.600 | 978131.521 | -0.079081174  |
| SSUN    | 106.8661 | -6.15374 | 978146.895 | 978147.090 | 0.195788498   |
| STKL    | 106.8119 | -6.12889 | 978150.374 | 978150.045 | -0.328648056  |
| TOMA    | 106.8052 | -6.17423 | 978147.155 | 978147.062 | -0.093374615  |

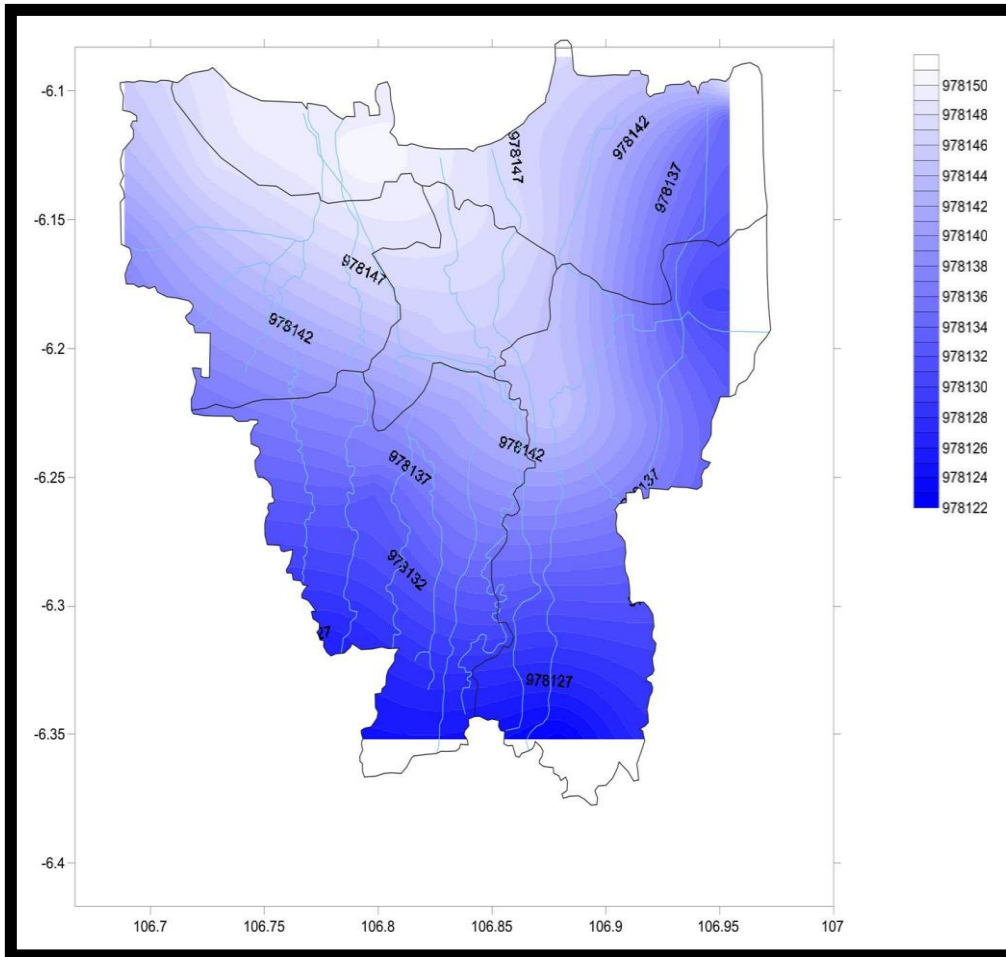
## Lampiran 2

## PETA KONTUR GRAVITASI OBSERVASI 2006



Lampiran 3

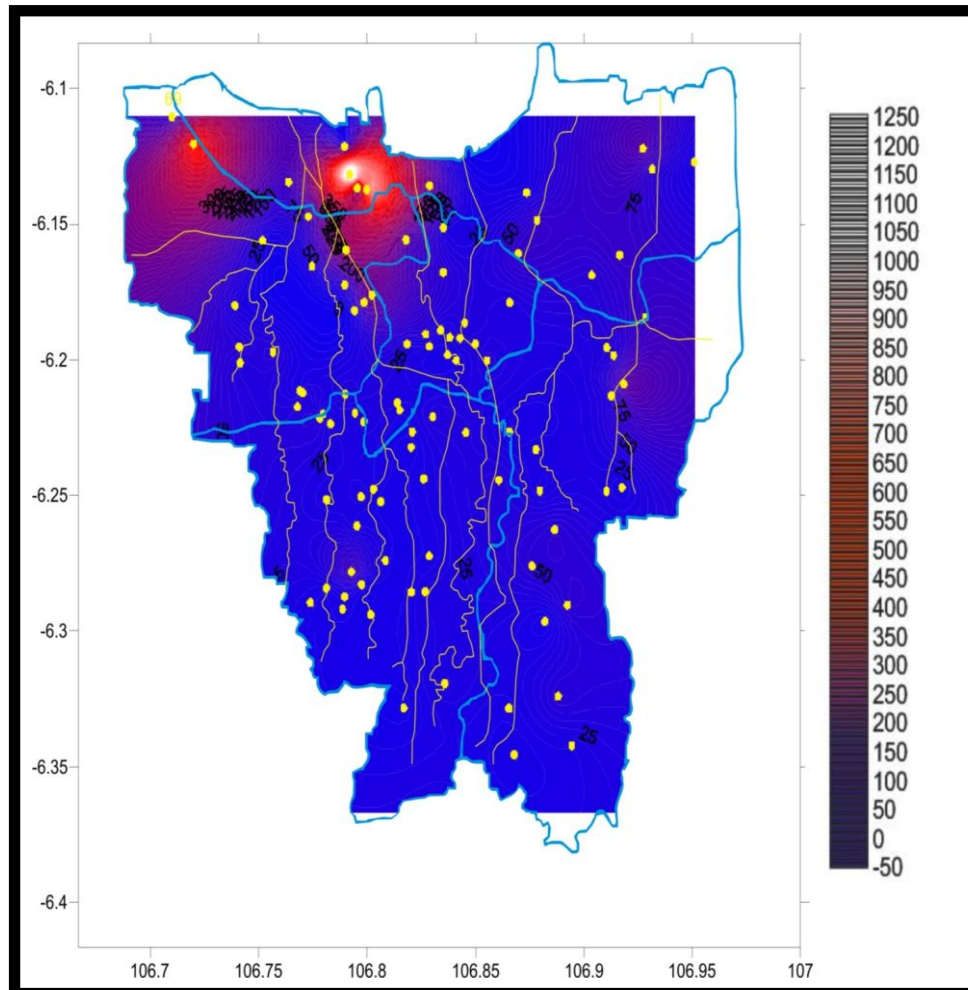
PETA KONTUR GRAVITASI OBSERVASI 2007





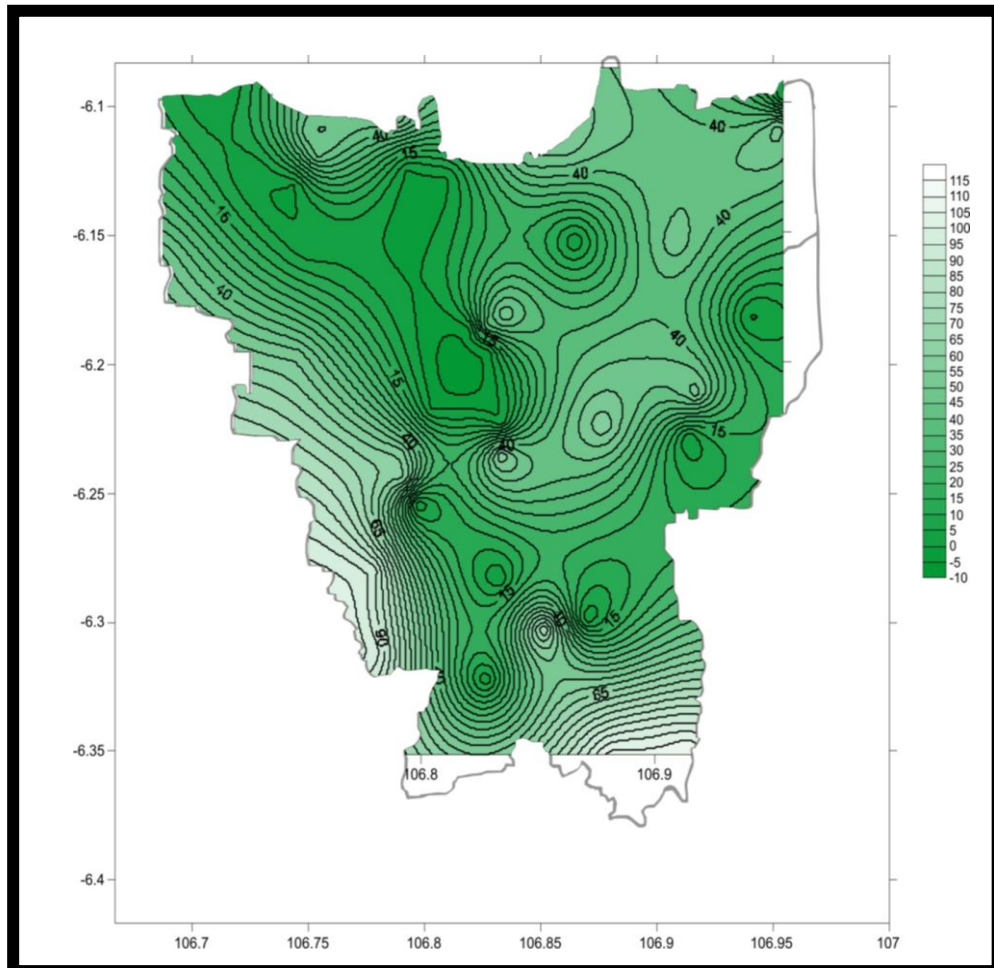
## Lampiran 4

## PETA PERSEBARAN AIR PAYAU 2006



## Lampiran 5

### PETA TOPOGRAFI JAKARTA



Lampiran 6

PENAMPANG LATERAL GEOLOGI JAKARTA

