



**ANALISIS ANOMALI GAYABERAT ANTAR
WAKTU UNTUK PEMANTAUAN AMBLESAN TANAH
STUDI KASUS KOTA SEMARANG**

skripsi
disajikan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

PERPUSTAKAAN
UNNES

oleh
Yossi Meida Malanda

4211409025

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2013

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

“Analisis Anomali Gayaberat Antar Waktu untuk Pemantauan Amblesan Tanah Studi Kasus Kota Semarang” ini bebas plagiat, dan apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 20 Februari 2013

Yossi Meida Malanda
4211409025



PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Analisis Anomali Gayabarat Antar Waktu untuk Pemantauan Amblesan
Tanah Studi Kasus Kota Semarang

disusun oleh

Yossi Meida Malanda

4211409025

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada
tanggal 21 Februari 2013.

Panitia:

Ketua

Sekretaris

Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
NIP. 19631012 198803 1 001

Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP. 19630610 198901 1 002

Ketua Penguji

Dr. Sulhadi, M.Si.
NIP. 19710816 199802 1 001

Anggota Penguji /
Pembimbing Utama

Anggota Penguji /
Pembimbing Pendamping

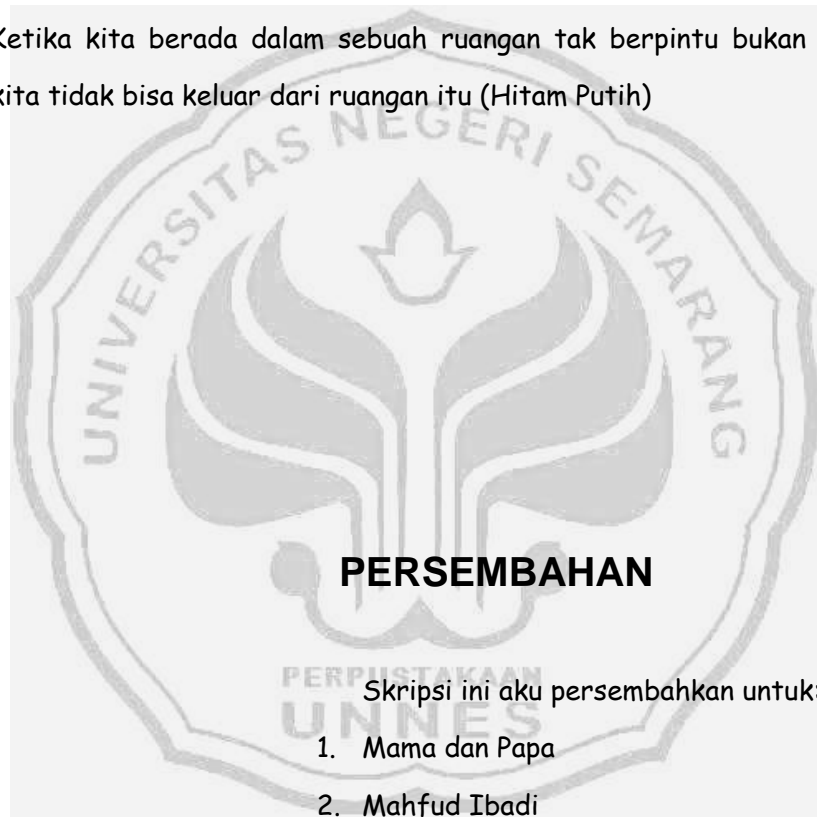
Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP. 19650518 199102 1 001

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP. 19680714 199603 1 005

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- ✓ Sukses adalah kemampuan untuk pergi dari suatu kegagalan tanpa kehilangan semangat (Mario Teguh)
- ✓ Ketika kita berada dalam sebuah ruangan tak berpintu bukan berarti kita tidak bisa keluar dari ruangan itu (Hitam Putih)



PERSEMBAHAN

Skripsi ini aku persembahkan untuk:

1. Mama dan Papa
2. Mahfud Ibad
3. Metha, Alfi, Mas Yuda, Iqbal, Yanti, Mamila, dan Delvita
4. Keluarga Betha Kost
5. Teman-teman Fisika angkatan 2009
6. Teman-teman seperjuangan di BEM FMIPA dan UKM RIPTK

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul Analisis Anomali Gayaberat Antar Waktu untuk Pemantauan Amblesan Tanah Studi Kasus Kota Semarang. Penulisan ini dapat terselesaikan karena adanya bimbingan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
4. Ketua Prodi Fisika Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. Supriyadi, M.Si., selaku Pembimbing I yang telah memberikan petunjuk, motivasi dan pengarahan dalam penyusunan skripsi.
6. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., selaku Pembimbing II yang telah memberikan petunjuk, motivasi dan pengarahan dalam penyusunan skripsi.
7. Dr. Sulhadi, M.Si., yang telah meluangkan waktunya untuk menjadi Dosen Penguji.
8. Sunarno, S.Si., M.Si., selaku dosen wali yang telah memberikan motivasi dan pengarahan dari awal hingga akhir masa perkuliahan.
9. DP2M DIKTI yang telah membiayai skripsi ini.

10. Pak Yusuf Mahmud (BMKG) dan Pak Dino (Kementrian Kelautan) yang telah memberikan bimbingan teknis pengolahan data.
11. Mama dan Papa yang tak pernah lelah memotivasi dan memberikan doanya.
12. Mahfud Ibadī yang telah menemani, memotivasi dan membantu dari masa awal hingga akhir perkuliahan.
13. Keluarga besarku di Banyuwangi yang slalu memberikan do'a dan dukungan.
14. Teman-teman "Betha Kos" yang selalu memberikan do'a dan motivasi.
15. Sahabat-sahabat Fisika 2009 yang telah berjuang bersama, memberikan motivasi dan do'a.
16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa apa yang telah penulis sampaikan masih banyak kekurangan. Untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun untuk skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, 20 Februari 2013

Penulis

ABSTRAK

Malanda, Yossi Meida. 2013. *Analisis Anomali Gayaberat Antar Waktu untuk Pemantauan Amblesan Tanah Studi Kasus Kota Semarang*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Supriyadi, M.Si. dan Pembimbing Pendamping Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

Kata kunci: Anomali, Gayaberat, Amblesan Tanah.

Kota Semarang terdiri dari dataran rendah yang terdapat di utara dan dataran tinggi yang terdapat di selatan hal ini berpengaruh terhadap nilai gayaberat, daerah yang lebih rendah memiliki nilai gayaberat lebih tinggi begitu juga sebaliknya. Amblesan tanah adalah turunnya permukaan tanah akibat pengurangan tanah, penimbunan tanah, dan beban bangunan. Dari peta anomali yang dihasilkan dan telah dikorelasikan dengan peta laju amblesan tanah dengan metode sipat datar maka dapat diketahui bahwa amblesan tanah terparah terjadi di Gereja Boysa, 109, Gudang Altex dengan nilai anomali gayaberat lebih besar dari 0.8 mGal sedangkan pantai Marina, Agility, Kantor ESDM, Mollitex, Puri Anjasmoro, Kampung Laut, Komijen, Pelabuhan, Kaligawe, RMJ Kaligawe, SPBE Arteri, Cipto 4, dan Cipto 5 memiliki nilai anomali gayaberat sebesar 0.2-0.8 mGal. Selain terjadi amblesan tanah, Kota Semarang juga mengalami pengurangan air tanah dan yang paling dominan terjadi di daerah Puri Bima Sakti dan Kelinci dengan nilai anomali sebesar -0.3 hingga -0.5 mGal sedangkan pengurangan air tanah yang lebih kecil terjadi di Pompa, 106, Barito, Kh. Wahid Hasim, Pasar Boom Lama, SMKN 10, Dadapsari, dan SMA 14 dengan nilai anomali sebesar -0.1 hingga -0.3 mGal. Titik yang lain relatif stabil karena nilai anomalnya rendah yaitu sekitar 0.1 hingga -0.1 mGal.

PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN	iii
PERNGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Sistematika Penulisan Skripsi	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Metode Gayaberat	4
2.2 Anomali Gayaberat Mikro Antar Waktu	6
2.3 Amblesan Tanah	10
2.4 Koreksi Data Gayaberat	14
2.4.1 Koreksi Apungan	15

2.4.2 Koreksi Pasang Surut.....	15
2.4.3 Koreksi Curah Hujan	15
2.5 Geologi Kota Semarang	16
2.5.1 Geomorfologi.....	16
2.5.2 Stratigrafi	16
2.5.3 Struktur	17
2.5.4 Hidrologi.....	19
2.6 Iklim dan Curah Hujan.....	21
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Lokasi.....	24
3.2 Peralatan Penelitian.....	25
3.3 Pengambilan Data Lapangan.....	25
3.4 Pengolahan Data.....	27
3.4.1 Koreksi Pasang Surut.....	27
3.4.2 Koreksi Apungan	29
3.4.3 Koreksi Curah Hujan	30
3.5 Interpretasi Data.....	37
3.5.1 Interpretasi Kualitatif.....	33
3.5.2 Koreksi Kuantitatif.....	34
3.6 Diagram Alir Penelitian	35
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pemodelan Penurunan Muka Air Tanah	36
4.2 Pemodelan Penurunan Muka Air Tanah	37

4.3	Pemodelan Amblesan Tanah.....	38
4.4	Gayaberat Observasi	39
4.5	Anomali Gayaberat Antar Waktu.....	42
4.6	Anomali Gayaberat Antar Waktu Koreksi Curah Hujan	44
4.7	Hubungan Antara Anomali Gayaberat dengan Amblesan Tanah	47
BAB 5 PENUTUP		
5.1	Simpulan	50
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....		51
LAMPIRAN.....		54



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Hasil pengukuran elevasi daerah dataran.....	14
Tabel 2.2. Susunan stratigrafi daerah Semarang bagian utara	17
Tabel 3.1. Contoh pengolahan data hingga diperoleh g_{obs}	30



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sketsa gaya tarik dua benda berjarak R	5
Gambar 2.2 Struktur geologi daerah Semarang.....	18
Gambar 2.3 Penampang selatan-utara akuifer air tanah daerah Semarang	20
Gambar 2.4 Aliran air tanah regional daerah Semarang	21
Gambar 2.5 Curah hujan rata-rata Kota Semarang.....	23
Gambar 3.1 Distribusi titik penelitian	24
Gambar 3.2 Gravimeter Scintrex Autograv CG-5.....	25
Gambar 3.3 GPS.....	26
Gambar 3.4 Sketsa pengambilan data dengan <i>loop</i> tertutup	27
Gambar 3.5 Grafik tide 12 mei 2012.....	28
Gambar 3.6 Grafik tide 12 oktober 2012	29
Gambar 3.7 Curah hujan kota Semarang	32
Gambar 3.8 Perubahan ketinggian air tanah.....	33
Gambar 3.9 Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 4.1 Model penurunan muka air tanah.....	37
Gambar 4.2 Model kenaikan muka air tanah	38
Gambar 4.3 Model amblesan tanah.....	39
Gambar 4.4 Peta topografi kota Semarang	40
Gambar 4.5 Peta kontur gayaberat mei 2012.....	41
Gambar 4.6 Peta kontur gayaberat oktober 2012.....	41

Gambar 4.7 Peta anomali Mei-Oktober 2012	43
Gambar 4.8 Peta Curah Hujan Mei-Oktober 2012	45
Gambar 4.9 Peta anomali Mei-Oktober 2012 setelah koreksi curah hujan	45
Gambar 4.10 Peta laju amblesan tanah daerah Semarang	47



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran I. Data Penelitian	54
Lampiran II. Foto Penelitian	61



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pesatnya pembangunan di Kota Semarang yang dilakukan di berbagai sektor menyebabkan pula terjadinya lonjakan penduduk yang cukup tinggi. Kebutuhan air minum masyarakat sebagian besar diambil dari air tanah. Pemompaan air tanah yang berlebihan dengan cara membuat sumur bor tanpa memperhatikan kemampuan akuifer menyebabkan terjadi penurunan muka air tanah (Dahrin *et al.*, 2007). Penurunan muka air tanah akibat pengambilan air tanah yang berlebihan menyebabkan amblesan. Amblesan tanah merupakan gerakan vertikal ke bawah dari tanah (Jambrik, 2006).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui daerah-daerah yang mengalami amblesan tanah di Kota Semarang. Metode yang digunakan untuk mengetahui peristiwa amblesan adalah metode gayaberat antar waktu. Metode gayaberat antar waktu merupakan pengembangan dari metode gayaberat dengan dimensi keempatnya adalah waktu. Prinsip dari metode ini adalah pengukuran gaya berat secara berulang (Davis *et al.*, 2008) baik harian, mingguan, bulanan, maupun tahunan dengan menggunakan gravimeter yang teliti dalam orde μGal dan pengukuran elevasi yang teliti. Anomali tinggi mengindikasikan adanya amblesan tanah (Octonavrilna & Pudja, 2009). Lokasi penelitian secara geografis terletak pada koordinat $110,375^\circ$ Bujur Timur dan $6,939^\circ$ - $7,029^\circ$ Lintang Selatan.

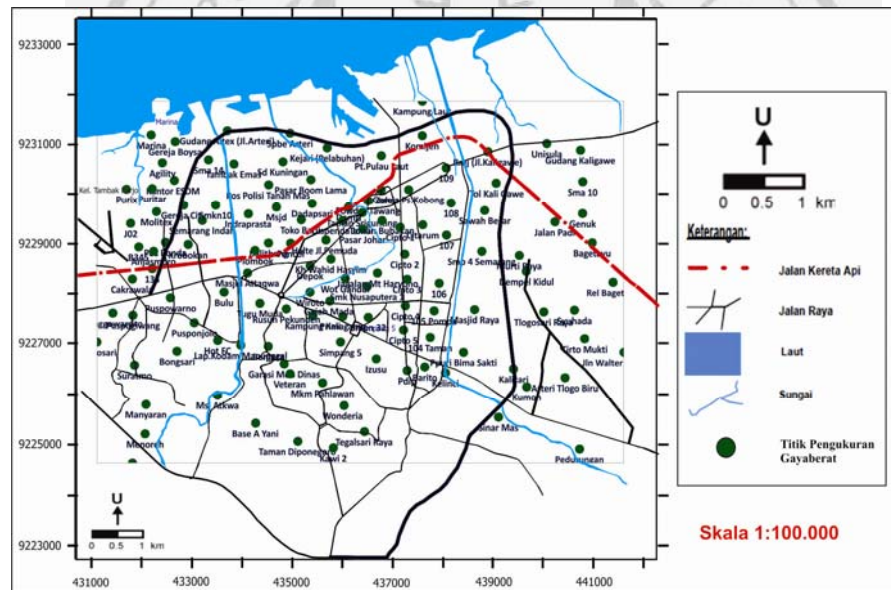
1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah identifikasi daerah yang mengalami amblesan tanah di Kota Semarang berdasarkan data anomali gayaberat.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian adalah:

- (1) Waktu penelitian Bulan Mei 2012 dan Bulan Oktober 2012
- (2) Wilayah penelitian Kota Semarang dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Wilayah Penelitian Amblesan Tanah

- (3) Unsur yang diteliti adalah gayaberat.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis perubahan gayaberat di Kota Semarang sehingga diketahui daerah yang mengalami amblesan tanah.

1.5 Sistematika Skripsi

Sistematika penulisan skripsi disusun untuk memudahkan pemahaman tentang struktur dan isi skripsi. Penulisan skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu: bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi, dan bagian akhir skripsi.

Bagian awal skripsi berisi tentang lembar judul, lembar pernyataan, lembar pengesahan, motto dan persembahan, prakata, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan lampiran.

Bagian isi terdiri dari 5 bab yaitu bab 1 Pendahuluan berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika skripsi. Bab 2 Tinjauan Pustaka berisi tentang kondisi geologi Kota Semarang, metode gayaberat, anomali gayaberat, koreksi data, dan amblesan tanah. Bab 3 Metode Penelitian berisi tentang lokasi penelitian, alat dan bahan, serta prosedur penelitian. Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan berisi tentang hasil analisis data dan pembahasannya. Bab 5 Penutup berisi tentang simpulan dan saran. Bagian akhir skripsi terdiri atas daftar pustaka dan lampiran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Gayaberat

Metode gayaberat merupakan suatu metode eksplorasi geofisika berdasarkan anomali medan gayaberat bumi yang diakibatkan adanya variasi rapat massa batuan ke arah lateral maupun vertikal di bawah titik ukur. Gayaberat di permukaan bumi menunjukkan besarnya tarikan benda anomali di bawah permukaan dengan arah ke pusat bumi dan merupakan turunan dari gaya yang dihasilkan melalui hukum Newton. Satuan gayaberat dalam satuan internasional (SI) adalah meter/det². Pengukuran percepatan gayaberat pertama dilakukan oleh Galileo dalam eksperimannya di Pisa, sehingga untuk menghormati Galileo satuan dalam survei gayaberat digunakan satuan Gal.

Besar gayaberat di permukaan bumi secara umum berkisar 983 Gal. Besar anomali gayaberat dalam kegiatan eksplorasi untuk prospek hidrokarbon atau panas bumi dalam orde mGal, sedangkan orde μ Gal digunakan untuk anomali dekat permukaan, geoteknik, pemantauan, dan yang berhubungan dengan lingkungan. Ketelitian alat yang digunakan dalam survei gayaberat disesuaikan dengan target anomalnya. Dalam pemantauan dinamika reservoir panas bumi, pemantauan injeksi dan produksi daerah lapangan minyak, serta pemantauan dinamika air tanah dibutuhkan alat dengan ketelitian 1-5 μ Gal.

Metode eksplorasi gayaberat dilakukan untuk menyelidiki keadaan bawah permukaan berdasarkan perbedaan rapat masa sehingga metode gayaberat dapat

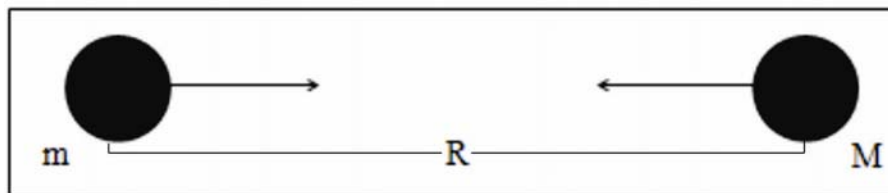
diterapkan untuk menentukan kedalaman batuan dasar, patahan, struktur sumber panas bumi, lokasi cekungan pengendapan minyak dan gas bumi, dan lain-lain. Karena hasil interpretasi gayaberat memiliki ambiguitas (Sarkowi, 2008), maka pemahaman tentang informasi geologi setempat dalam melakukan interpretasi sangat diperlukan.

Dasar teori dari metode gayaberat adalah Hukum Newton (Telford *et al.*, 1990). Hukum umum gravitasi menyatakan bahwa gaya tarik-menarik antara dua buah benda sebanding dengan kedua massa benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat kedua massa tersebut (Gambar 2.1).

$$F = G \frac{Mm}{R^2} \quad (2.1)$$

Hukum Newton tentang gerak menyatakan bahwa gaya adalah besarnya perkalian dari massa dan percepatannya.

$$F = m g \quad (2.2)$$



Gambar 2.1. Sketsa gaya tarik dua benda berjarak R.

Persamaan (2.1) dan (2.2) dikombinasikan sehingga didapatkan sebagai berikut:

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (2.3)$$

keterangan:

F = gaya (N)

G = konstanta gayaberat = $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

M = massa benda M (kg)

m = massa benda m (kg)

R = jarak antar pusat massa benda (m)

g = percepatan (m/s^2)

Dari persamaan ini, terlihat bahwa besarnya gayaberat berbanding langsung dengan massa penyebabnya, sedangkan massa berbanding langsung dengan rapat massa (ρ) dan volume benda (yang berhubungan dengan geometri benda). Dengan demikian, besarnya gayaberat yang terukur akan mencerminkan kedua besaran tersebut.

Gayaberat yang dimaksud dalam metode ini, identik dengan percepatan gravitasi (berdasar persamaan 2.3). Berikut adalah beberapa konversi satuan gayaberat:

$$\begin{aligned}
 g &= 9.8 \text{ m/det}^2 & 1 \text{ mGal} &= 10^{-3} \text{ Gal} \\
 &= 980 \text{ cm/det}^2 & 1 \text{ } \mu\text{Gal} &= 10^{-6} \text{ Gal} \\
 1 \text{ Gal} &= 1 \text{ cm/det}^2 & &= 10^{-3} \text{ mGal} \\
 &= 10^{-2} \text{ m/det}^2 & &
 \end{aligned}$$

2.2 Anomali Gayaberat Antar Waktu

Anomali gayaberat adalah adanya perbedaan hasil gayaberat observasi pada periode pertama dengan periode berikutnya. Perubahan gayaberat observasi dapat disebabkan oleh adanya dinamika di sekitar titik pengamatan, seperti perubahan kedalaman muka air tanah dan amblesan tanah. Metode gayaberat prinsip dasarnya adalah mendeteksi perubahan rapat massa dan jarak (Sundararajan & Brahmam, 1998), dapat digunakan untuk mendeteksi amblesan tanah. Semakin

besar amblesan yang terjadi maka respon gayaberat yang teramati akan semakin besar dan sebaliknya semakin kecil amblesan yang terjadi maka semakin kecil pula respon gayaberat yang terukur. Metode gayaberat untuk pemantauan dikenal dengan metode gayaberat antar waktu merupakan pengembangan dari metode gayaberat dengan dimensi keempatnya adalah waktu.

Metode gayaberat antar waktu pada prinsipnya melakukan pengukuran secara berulang baik harian, mingguan, bulanan, atau tahunan menggunakan gravimeter yang teliti dalam orde μGall . Dengan demikian bisa diketahui perubahan nilai gayaberat di suatu titik pada selang waktu pengukuran dilakukan. Perubahan nilai gayaberat ini bisa disebabkan oleh perubahan fluida tanah, amblesan, perubahan topografi dan bangunan baru di sekitar titik pengamatan, dan lain-lain (Supriyadi, 2009).

Secara umum anomali gayaberat yang diamati di permukaan adalah superposisi dari semua sumber anomali. Pada gayaberat antar waktu, sumber-sumber anomali tersebut berasal dari permukaan (perubahan dan pergeseran permukaan tanah) dan bawah permukaan (dinamika fluida dan perubahan rapat massa) pada reservoir.

Penggunaan metode gayaberat untuk eksplorasi sumber daya alam, studi keilmuan dan maksud lainnya dilakukan dengan menerapkan konsep anomali gayaberat, yaitu perbedaan nilai gayaberat terukur dengan nilai gayaberat acuan, yaitu nilai gayaberat teoritis untuk suatu model teoritis bumi. Perbedaan tersebut merefleksikan variasi rapat massa yang terdapat pada suatu daerah dengan daerah sekelilingnya ke arah lateral, maupun ke arah vertikal (Kurniawan, 2012).

Dalam penelitian metode gayaberat ini, ditunjukkan perbedaan nilai gayaberat dari suatu tempat ke tempat lainnya. Apabila bumi dibentuk dari bahan yang serba sama dan bentuknya benar-benar bulat serta diam maka gaya tarik di permukaan bumi akan sama dan tidak mempengaruhi pembacaan dari gravimeter (Tsoulis, 2003). Namun kenyataannya lain, bumi berotasi pada porosnya secara teratur, berbentuk *sferoidal*, dan mempunyai ketidakteraturan densitas secara lateral. Akibatnya terdapat perbedaan harga gayaberat untuk setiap tempat yang berbeda di permukaan bumi. Variasi gayaberat setiap titik di permukaan bumi ini tergantung pada 5 faktor yaitu :

- 1) Lintang (*latitude*)
- 2) Ketinggian (*elevation*)
- 3) Topografi sekitar
- 4) Pasang surut (*earth tides*)
- 5) Variasi densitas bawah permukaan

Adanya faktor-faktor diatas perlu dilakukan koreksi terhadap data pengukuran yang ada di lapangan.

Persamaan anomali gayaberat didapat dengan menganggap bumi sebagai suatu massa 3 dimensi yang berbentuk sembarang dan terdistribusi secara kontinu dengan rapat massa $\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)$, sehingga potensial gayaberat di titik $P(x, y, z)$ diberikan oleh:

$$U(x, y, z) = G \iiint \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{\frac{3}{2}}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (2.4)$$

Medan gayaberat akibat distribusi rapat massa diperoleh dengan mendeferensialkan persamaan (2.4) terhadap x, y , dan z sehingga didapatkan persamaan anomali gayaberat (2.5) (Sarkowi, 2005) :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z-\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha. d\beta. d\gamma \quad (2.5)$$

Dimana :

$\Delta g(x, y, z, \Delta t)$:Anomali gayaberat yang diamati

$\Delta \rho$:Kontras densitas

G :Konstanta gayaberat umum

α, β, γ :Koordinat rapat massa

x, y, z :Koordinat titik amat

Persamaan (2.5) secara eksplisit menunjukkan bahwa anomali gayaberat berbanding langsung dengan kontras densitas dari fungsi Green sebagai berikut, persamaan (2.6):

$$K(x, y, z) = G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{(z-\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha. d\beta. d\gamma \quad (2.6)$$

Pada persamaan (2.7) terlihat bahwa bentuk, ukuran dan jarak terhadap titik pengamatan dari benda anomali dinyatakan dalam K (fungsi Green).

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = \Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t). K(x - \alpha, y - \beta, z - \gamma, a, b, c) \quad (2.7)$$

Dengan a, b , dan c masing-masing adalah panjang, lebar, dan tebal dari benda anomalnya. Jika fungsi Green tidak mengalami perubahan, maka anomali gayaberat yang diamati sepenuhnya bergantung pada perubahan atau kontras densitas $\Delta \rho$ sebagai akibat adanya perubahan material yang mengisi volume pori

sumber anomali pada selang waktu (Δt). Persamaan anomali gayabarat mikro antar waktu (*time lapse*) diperoleh dari persamaan:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = g(x, y, z, t_2) - g(x, y, z, t_1) \quad (2.8)$$

2.3 Amblesan Tanah

Amblesan adalah turunnya permukaan tanah akibat terjadinya perubahan volume pada lapisan – lapisan batuan di bawahnya. Dari studi amblesan yang dilakukan selama ini, diidentifikasi ada beberapa faktor penyebab terjadinya amblesan, yaitu: pengambilan air tanah yang berlebihan yang menyebabkan penurunan muka air tanah, konsolidasi karena beban bangunan, konsolidasi alamiah dari lapisan tanah, serta karena aktivitas tektonik (Sophian, 2010). Dari empat tipe amblesan ini, amblesan akibat pengambilan air tanah yang berlebihan dipercaya sebagai salah satu tipe amblesan yang dominan untuk kota – kota besar tersebut.

Air tanah merupakan salah satu sumber air yang potensial untuk memenuhi kebutuhan akan air bersih. Oleh sebab itu pemanfaatan air tanah telah meluas dan selalu meningkat dari waktu ke waktu, baik air tanah dangkal maupun air tanah yang lebih dalam lagi. Keadaan air tanah pada akuifer secara alami dapat digambarkan sebagai suatu cadangan yang seimbang antara masukan dan keluaran. Masukan secara alamiah berupa infiltrasi dari air permukaan maupun dari akuifer atasnya. Sedangkan keluarannya secara alamiah berbentuk mata air, aliran sungai, danau, laut, dan juga untuk air tanah dangkal berupa evaporasi.

Pemompaan air tanah tentunya akan menambah kuantitas keluaran, yang selanjutnya dapat mengganggu kesetimbangan antara masukan dan keluaran (Supriyadi, 2008). Akibat pengambilan yang berlebihan, maka air tanah yang tersimpan dalam pori-pori lapisan penutup akuifer akan terperas keluar dan menyebabkan penyusutan lapisan penutup tersebut. Refleksinya adalah penurunan permukaan tanah. Amblesan tanah tidak dapat dilihat seketika, tetapi teramati dalam kurun waktu yang lama dan berakibat pada daerah yang luas. Selain itu, terjadinya amblesan juga disebabkan oleh kondisi mekanik tanah yang dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu berupa terjadinya regangan dan keruntuhan geser akibat pembebanan di atas lapisan tanah (Soedarsono, 2006).

Jika tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan yang hasilnya berupa penurunan. Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun pengurangan rongga air di dalam tanah tersebut. Amblesan tanah akibat pembebanan secara garis besar diakibatkan oleh konsolidasi. Konsolidasi merupakan gejala yang menggambarkan deformasi yang tergantung pada waktu dalam suatu medium berpori seperti tanah yang mengalami pembebanan (Soedarsono, 2012). Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak di bawah muka air tanah. Penurunan yang terjadi memerlukan waktu, lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanahnya.

Amblesan tanah pada umumnya diukur dengan pengukuran Sipat Datar secara berulang pada titik – titik duga yang sama minimal 2 kali. Selain itu amblesan di suatu wilayah dapat dipelajari dengan menggunakan beberapa

metode, yaitu pengukuran level muka air tanah dengan ekstensometer dan piezometer, metode geodetik (survei Sipat Datar, survei GPS, dan INSAR). Pengukuran amblesan tanah dapat diketahui dari penurunan muka airtanah pisometrik. Penurunan muka airtanah pisometrik disebabkan pengambilan airtanah tertekan yang berlebihan (Najib, 2011).

Permukaan tanah sebagai permukaan teratas dari lapisan kerak bumi akan selalu mengalami proses deformasi. Deformasi vertikal yang terjadi pada lapisan tanah dapat mengakibatkan turunnya permukaan tanah (*land subsidence*) atau naiknya permukaan tanah (*uplift*). Turunya permukaan tanah dapat terjadi di berbagai wilayah dengan luas yang hanya beberapa meter persegi saja sampai dengan wilayah yang relatif luas dengan penyebab yang bervariasi antara satu wilayah dengan wilayah lainnya. Turunya permukaan tanah umumnya juga terjadi di kota-kota besar di dunia, khususnya di kota-kota yang berada di dataran *alluvial* seperti Semarang.

Amblesan tanah merupakan suatu permasalahan geologi teknik yang sangat dipengaruhi oleh sifat fisik lapisan tanah penyusunnya. Penurunan tanah dapat diakibatkan oleh bertambahnya beban atau berkurangnya tekanan hidrolik pada lapisan (Abidin *et al.*, 2010). Penambahan beban dapat terjadi akibat beban bangunan di atasnya. Sedangkan berkurangnya tekanan hidrolik dapat diakibatkan oleh hilangnya airtanah akibat pemompaan. Pada lapisan lempung yang bersifat terkonsolidasi normal dengan kompresibilitas tinggi, penambahan beban di bagian atasnya dapat menyebabkan air di dalam pori akan terperas keluar

dan menyebabkan terjadinya konsolidasi yang menerus sampai ke permukaan tanah dan menyebabkan terjadinya amblesan tanah (Yuliyanti, 2012).

Amblesan tanah di dataran Semarang ditandai oleh tergenangnya tempat akibat pasang naik dan penurunan permukaan tanah. Genangan air tersebut terjadi di daerah PJKA Pengapon, Pelabuhan, Tanah Mas, Bandarharjo, Stasiun Tawang dan Kaligawe (Marsudi, 2000). Di beberapa daerah yang mengalami amblesan tanah penduduk dan instansi Pekerjaan Umum secara bertahap melakukan penimbunan lantai rumah dan penimbunan jalan raya. Penimbunan tersebut dimulai dari tahun 1980 hingga sekarang yang mencapai ketinggian antara 20 – 200 cm. Akibat adanya amblesan tanah beberapa tempat di Kota Semarang yang semula ketinggiannya masih berada di atas muka laut, kini ketinggiannya menjadi sama dengan muka laut atau bahkan telah berada di bawah muka laut.

Muhrozi yang disirtasi Supriyadi (2008), melakukan penelitian tentang studi penurunan permukaan tanah di Semarang bagian bawah mulai tahun 1993 sampai 1996 dengan metode pengukuran Sipat Datar. Hasil pengukuran ini kemudian dibandingkan dengan TTG (Tanda Tinggi Geodesi) dan DTK (Dinas Tata Kota), seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Hasil Pengukuran Elevasi Daerah Dataran

Lokasi	No. BM	Besarnya amblesan (cm) dan waktunya	Laju Amblesan (cm/ tahun)
SPBU Kaliwiru	TTG 447	0,00 (1984-1996)	0,0
Depan Akpol	DTK 341	0,10 (1995-1996)	0,1
Depan RS Elisabet	DTK 340	0,40 (1995-1996)	0,4
Tugu Muda	DTK 000	8,30 (1991-1996)	1,66
Jl. Imam Bonjol	DTK 135	7,30 (1993-1996)	2,43
Jl. Imam Bonjol	DTK 136	15,1 (1993-1996)	5,03
Jl. Arteri Utara	DTK 224	19,3 (1993-1996)	6,43
Jl. Arteri Utara	DTK 223	17,0 (1993-1996)	7,23
Pos II Pelabuhan	DTK 222	21,6 (1993-1996)	7,20
Pos I Pelabuhan	DTK 221	15,6 (1993-1996)	5,20
Jl. Madukoro Raya	DTK 367	1,40 (1995-1996)	1,40

2.4 Koreksi Data Gayaberat

Alat ukur gayaberat tidak memberikan harga gayaberat secara langsung karena pengukuran di suatu titik permukaan bumi dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya variasi topografi, variasi ketinggian, pasang surut, guncangan pada pegas alat, lintang dan variasi densitas bawah permukaan. Dalam melakukan survei gayaberat diharapkan hanya didapatkan variasi densitas bawah permukaan.

Untuk kasus lingkungan yang melibatkan adanya pengurangan massa di bawah permukaan tanah, dampak di permukaan adalah terjadi amblesan tanah. Permukaan tanah yang turun menyebabkan lokasi titik pengukuran akan semakin dekat dengan sumber anomali. Adapun koreksi gayaberat meliputi:

2.4.1 Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh perubahan kondisi alat terhadap nilai pembacaan. Koreksi apungan muncul karena gravimeter 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.

2.4.2. Koreksi Pasang Surut (*Tide 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.

2.4.3 Koreksi Curah Hujan

Koreksi ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh penambahan air tanah akibat curah hujan sehingga nilai anomali positif hanya disebabkan karena amblesan tanah.

2.5 Geologi Kota Semarang

2.5.1 Geomorfologi

Daerah Semarang bagian utara, dekat pantai, didominasi oleh dataran *alluvial* pantai yang tersebar dengan arah barat–timur dengan ketinggian antara 1 hingga 5 meter. Dataran *alluvial* tersebut dikontrol oleh endapan pantai dan sungai. Semarang bagian selatan didominasi oleh perbukitan dengan batuan breksi lahar vulkanik dengan pola penyebaran arah utara–selatan. Batuan tersebut merupakan hasil erupsi Gunung Ungaran yang merupakan daerah tertinggi dari Semarang. Daerah perbukitan memiliki kemiringan 2-40% dan ketinggian antara 90-200 m di atas permukaan air laut.

Secara umum sungai-sungai di Semarang mengalir ke arah utara, yaitu ke Laut Jawa. Pola aliran sungai menunjukkan pola paralel dan beberapa berpola *dendritik* (tulang daun). Satuan morfologi dibedakan menjadi satuan dataran pantai (ketinggian 0-50 m di atas muka laut), satuan perbukitan (ketinggian 50 - 500 m), dan satuan kerucut gunung api dengan puncaknya Gunung Ungaran (2.050 m).

2.5.2 Stratigrafi

Batuan sedimen fasies laut berumur Tersier tersingkap di bagian tengah Semarang (Tinjomoyo dan Kalialang). Di sepanjang Sungai Garang dan Kripik terdapat batuan sedimen fasies darat terdiri dari: batupasir vulkanik, konglomerat, dan breksi vulkanik. Endapan *alluvial* yang terdiri dari: kerikil, pasir, pasir lanauan, lanau dan lempung menempati bagian utara daerah penelitian. Ketebalan

endapan *alluvial* mencapai 50 m atau lebih. Susunan stratigrafi bagian utara daerah Semarang dapat diamati pada Tabel 2.4 berikut ini:

Tabel 2.2. Susunan stratigrafi daerah Semarang bagian utara (Marsudi, 2000).

JT	PENELITI		BLOW 1969	PENULIS, 2000		STRATIGRAFI SEMARANG	Pemerian	
	UMUR SATUAN KRONO STRATIGRAFI			KOLOM BATUAN	SATUAN BATUAN			
2,1 6	HOLOSEN					<ul style="list-style-type: none"> - ENDP. ALUVIAL SUNGAI - ENDP. PASANG SURUT - ENDP. DATARAN DELTA 	<ul style="list-style-type: none"> Qsu - Endapan Aluvial Sungai : lempung, lanau, pasir dan kerikil - bongkah Qsp - Endapan Pasang Surut : Lempung Lunak, lanau, pasir halus-sedang Qsd - Endapan Dataran Delta : Lempung, Lanau, pasir dan kerikil. 	
	Abhir	PLISTOSEN	N23		SATUAN BATUAN BREKSI VULKANIK	Qb	FORMASI NOTOPURO Terdiri dari breksi vulkanik, batupasir tufan dan konglomerat.	
	Awal		N22		SATUAN BATUAN BATUPASIR - BREKSI VULKANIK	Qtd	FORMASI DAMAR Terdiri dari batupasir tufan, tufa, konglomerat, breksi vulkanik dan lempung hitam.	
	Abhir	PLIOSEN	N21		SATUAN BATUAN NAPAL - BATUPASIR GAMPINGAN	TPk	FORMASI KALIBIUK Terdiri dari napal, pasir gampingan, batulempung biru.	
	Tengah		N20					
	Awal		N19					
	Abhir	MIOSEN						

Berdasarkan Tabel 2.2, yang berumur paling tua adalah batuan sedimen fasies laut (Formasi Kalibiuk), terdiri dari perselingan antara napal batupasir tufaan, dan batupasir gampingan, yang secara keseluruhan didominasi lapisan napal. Satuan batupasir- breksi vulkanik (Formasi Damar) terletak tidak selaras di atas satuan batuan napal-batupasir gampingan (Formasi Kalibiuk) dan terletak tidak selaras dengan satuan batuan breksi vulkanik (Formasi Notopuro) yang berada di atasnya. Satuan batuan yang paling muda terdiri dari endapan dataran delta, endapan pasang surut, dan endapan *alluvial* sungai.

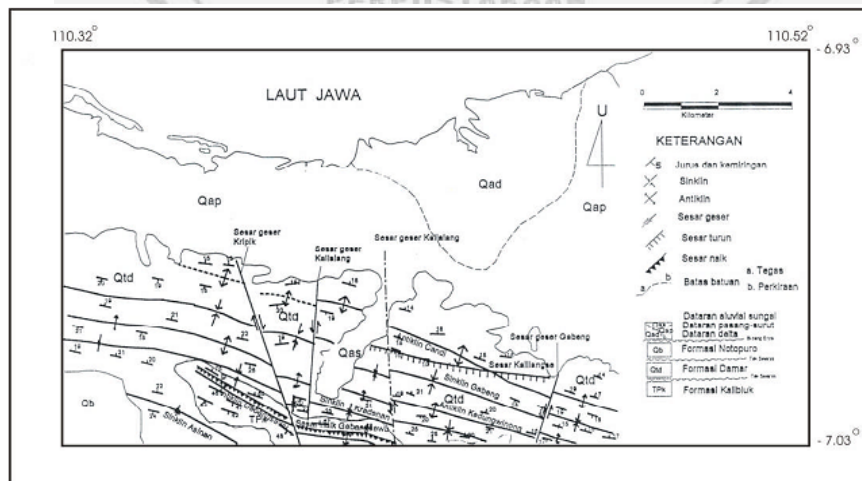
2.5.3 Struktur

Struktur geologi yang terdapat di daerah studi umumnya berupa sesar yang terdiri dari sesar normal, sesar geser dan sesar naik. Sesar naik relatif berarah

barat-timur sebagian agak cembung ke arah utara, sesar geser berarah utara selatan hingga barat laut - tenggara, sedangkan sesar turun relatif berarah barat - timur. Sesar-sesar tersebut umumnya terjadi pada batuan Formasi Kerek, Formasi Kalibening dan Formasi Damar yang berumur Kuartar dan Tersier.

Sistem struktur geologi daerah perbukitan cukup kompleks yaitu terdiri dari struktur lipatan dan struktur sesar, terbentuk akibat tektonik yang terjadi pada jaman Tersier - Kuartar. Tektonik ini menyebabkan pensesaran dan pelipatan sedimen yang berumur Plestosin Akhir - Plistosen Tengah. Kecenderungan sumbu lipatan dan bidang sesar berarah timur-barat, barat laut-tenggara, timur laut- barat daya. Sayap antiklin curam di bagian utara dan sinklin curam di bagian selatan.

Struktur geologi berpengaruh terhadap pola aliran air tanah terutama pada sistem akifer perbukitan, beberapa struktur lipatan dan sesar berlaku sebagai tanggul atau pembendung aliran air tanah. Akibatnya di beberapa jalur patahan aliran air tanah berbelok arahnya dan muncul ke permukaan sebagai mata air seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini.

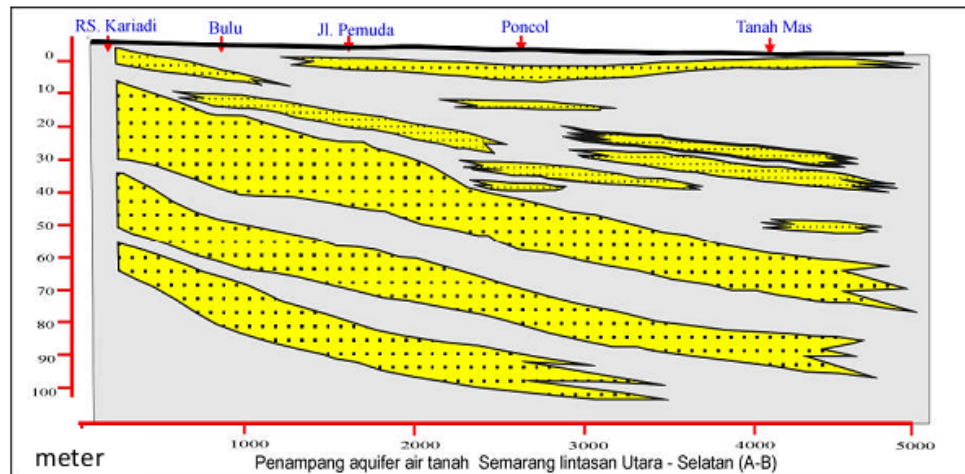


Gambar 2.2. Struktur geologi daerah Semarang dan sekitarnya (Marsudi, 2000)

2.5.4 Hidrologi

Potensi air di Kota Semarang bersumber pada sungai - sungai yang mengalir di Kota Semarang antara lain Kali Garang, Kali Pengkol, Kali Kreo, Kali Banjir Kanal Timur, Kali Babon, Kali Sringin, Kali Kripik, Kali Dungadem dan lain sebagainya. Kali Garang yang bermata air di Gunung Ungaran, alur sungainya memanjang ke arah utara hingga mencapai Pegandan, bertemu dengan aliran Kali Kreo dan Kali Kripik. Kali Garang sebagai sungai utama yang mengalir membelah lembah-lembah Gunung Ungaran mengikuti alur yang berbelok-belok dengan aliran yang cukup deras.

Air tanah bebas merupakan air tanah yang terdapat pada lapisan pembawa air (akuifer) dan tidak tertutup oleh lapisan kedap air. Permukaan air tanah bebas ini sangat dipengaruhi oleh musim dan keadaan lingkungan sekitarnya. Penduduk Kota Semarang yang berada di dataran rendah, banyak memanfaatkan air tanah ini dengan membuat sumur-sumur gali (dangkal) dengan kedalaman rata-rata 3-18 m. Sedangkan untuk penduduk di dataran tinggi hanya dapat memanfaatkan sumur gali pada musim penghujan dengan kedalaman sekitar 20-40 m. Adapun penampang akuifer dari Semarang Utara sampai Semarang selatan dapat dilihat pada Gambar 2.3.

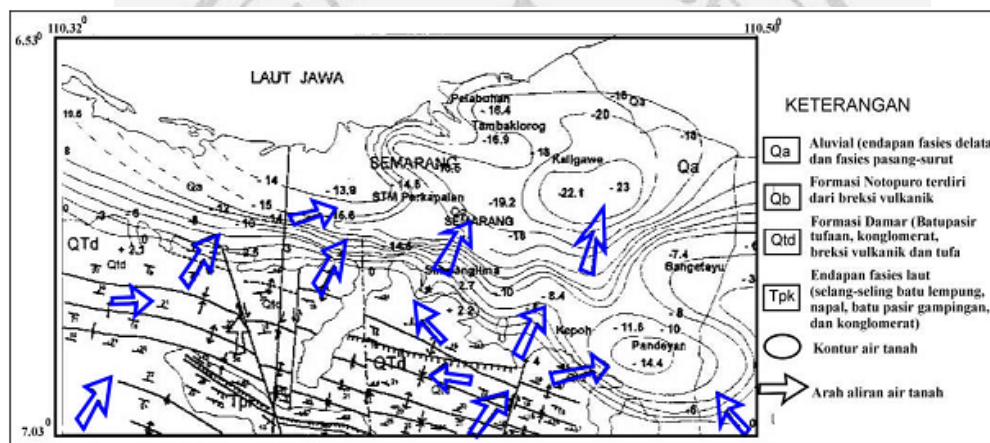


Gambar 2.3. Penampang selatan-utara akifer air tanah daerah Semarang hasil pemboran (modifikasi dari Marsudi, 2000).

Air tanah tertekan adalah air yang terkandung di dalam suatu lapisan pembawa air yang berada diantara 2 lapisan batuan kedap air sehingga hampir tetap debitnya disamping kualitasnya juga memenuhi syarat sebagai air bersih. Debit air ini sedikit sekali dipengaruhi oleh musim dan keadaan di sekelilingnya. Untuk daerah Semarang utara lapisan akuifer di dapat dari endapan *alluvial* dan delta Sungai Garang. Kedalaman lapisan akuifer ini berkisar antara 50- 90 meter, terletak di ujung timur laut kota dan pada mulut Sungai Garang lama yang terletak di pertemuan antara lembah Sungai Garang dengan dataran pantai. Kelompok akuifer delta Garang ini disebut pula kelompok akuifer utama karena merupakan sumber air tanah yang potensial dan bersifat tawar. Untuk daerah Semarang yang berbatasan dengan kaki perbukitan air tanah *artois* ini terletak pada endapan pasir dan konglomerat Formasi Damar yang mulai ditemui pada kedalaman antara 50 - 90 m. Pada daerah perbukitan kondisi *artois* masih mungkin ditemukan. karena

adanya formasi damar yang *permeable* dan sering mengandung sisipan-sisipan batuan lanau atau batu lempung.

Kebutuhan air minum untuk penduduk kota Semarang (1.974.392 jiwa), industri, dan lain-lain adalah sebesar 88.705.000 m³/tahun (1996), yang sebagian besar diambil dari air tanah. Karena besarnya pemompaan air tanah di Semarang jauh melebihi kapasitas akuifernya, maka terjadilah penurunan muka air tanah yang mencapai 15 hingga 22 m dbpts (1996). Aliran air tanah di daerah Semarang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Aliran air tanah regional daerah Semarang dan sekitarnya (Marsudi, 2000).

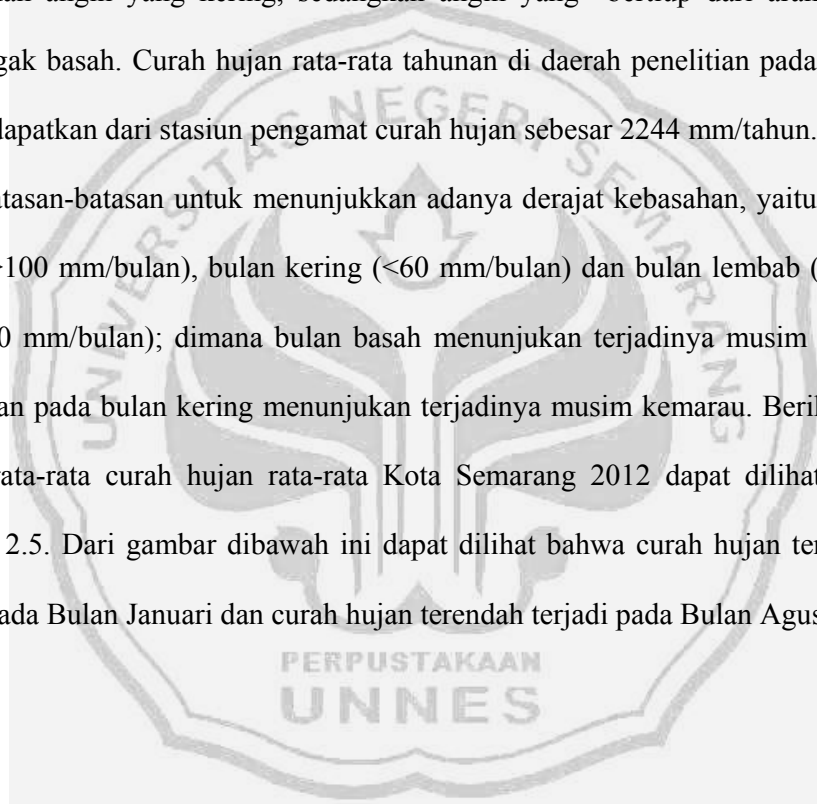
2.6 Iklim dan Curah Hujan

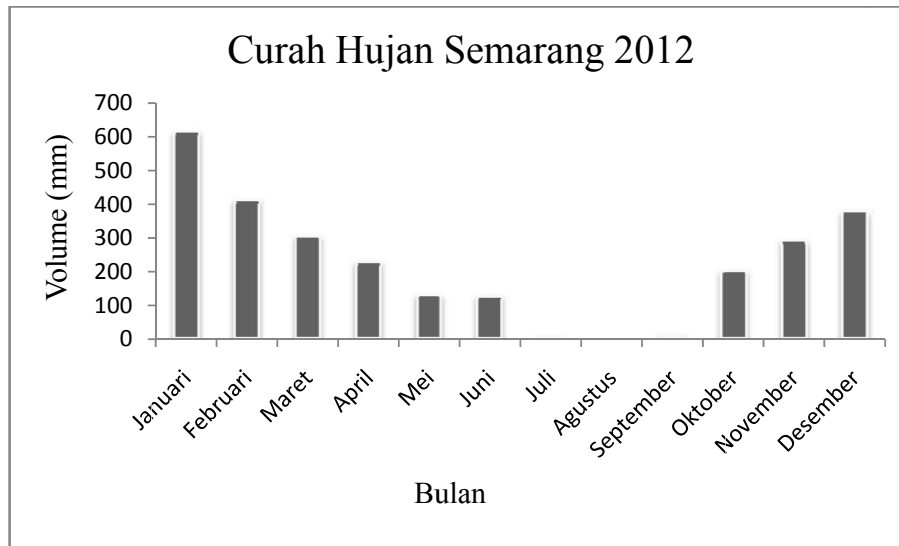
Berdasarkan hidrometeorologi daerah penyelidikan mempunyai gambaran curah hujan yang bervariasi mulai dari dataran rendah hingga dataran tingginya, makin ke arah perbukitan curah hujannya semakin tinggi. Udara lembab dibawa dari laut naik ke lereng pegunungan kemudian didinginkan dan jatuh sebagai air hujan, curah hujan yang tinggi tersebut sangat berperan dalam pembentukan air

tanah, air hujan yang jatuh di permukaan sebagian besar meresap ke dalam tanah dan sebagian melimpas (*run-off*) di permukaan dan mengalir ke arah laut melalui sungai-sungai.

Curah hujan dan iklim di daerah penelitian banyak dipengaruhi oleh angin Muson yang bertiup dari daratan Australia dan Asia. Angin Muson Timur merupakan angin yang kering, sedangkan angin yang bertiup dari arah barat relatif agak basah. Curah hujan rata-rata tahunan di daerah penelitian pada tahun 2012 didapatkan dari stasiun pengamat curah hujan sebesar 2244 mm/tahun.

Batasan-batasan untuk menunjukkan adanya derajat kebasahan, yaitu bulan basah (>100 mm/bulan), bulan kering (<60 mm/bulan) dan bulan lembab (antara $60 - 100$ mm/bulan); dimana bulan basah menunjukkan terjadinya musim hujan, sedangkan pada bulan kering menunjukkan terjadinya musim kemarau. Berikut ini adalah rata-rata curah hujan rata-rata Kota Semarang 2012 dapat dilihat pada Gambar 2.5. Dari gambar dibawah ini dapat dilihat bahwa curah hujan tertinggi terjadi pada Bulan Januari dan curah hujan terendah terjadi pada Bulan Agustus.





Gambar 2.5 Curah Hujan Rata-Rata Kota Semarang (Data BMKG Semarang)

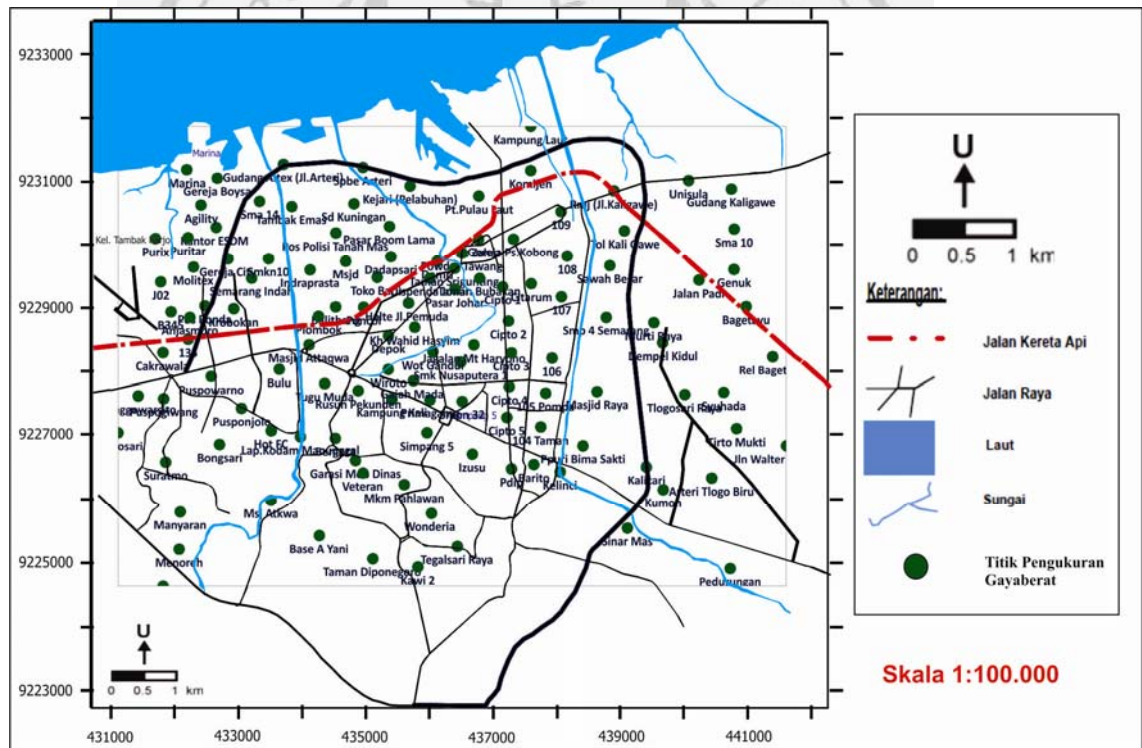


BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Pengukuran data gayaberat di Semarang untuk penelitian ini dilakukan sebanyak dua kali pengukuran yaitu: Mei 2012 dan Oktober 2012. Lokasi pengambilan data gayaberat di Kota Semarang terdiri dari 121 titik pengukuran. Pada Gambar 3.1 ditunjukkan distribusi titik ukur gayaberat di Kota Semarang.



Gambar 3.1 Distribusi titik ukur gayaberat di daerah penelitian

3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan dan perlengkapan yang digunakan dalam survei gayaberat terdiri atas:

1. Gravimeter Scintrex Autograv CG-5 : 1 unit
2. *Global Positioning System* (GPS), Garmin : 1 unit
3. Peta Semarang : 1 unit
4. Kamera Digital : 1 unit
5. Buku Lapangan : 1 buah
6. Alat Tulis : 1 buah

3.3 Pengambilan Data Lapangan

Pengukuran data gayaberat di Kota Semarang untuk penelitian ini dilakukan sebanyak dua kali pengukuran yaitu: Mei 2012 dan Oktober 2012. Alat ukur yang digunakan adalah Gravimeter Scintrex Autograv CG-5 seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Gravimeter Scintrex Autograv CG-5

Penentuan posisi titik menggunakan *Global Positioning System* dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini.

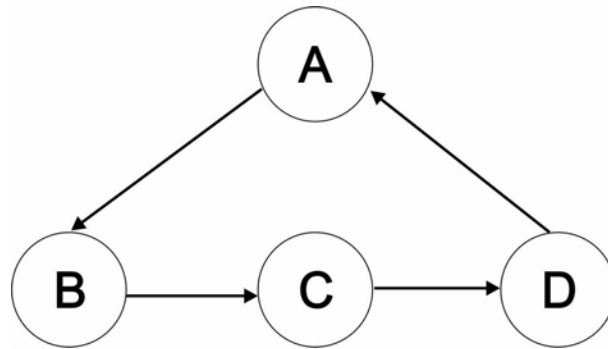


Gambar 3.3 *Global Positioning System (GPS)*

Pemilihan lokasi pengambilan data gayaberat di lapangan ditentukan dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Letak titik pengamatan harus jelas dan mudah dikenal sehingga apabila dikemudian hari dilakukan pengukuran ulang akan mudah menemukannya,
2. Lokasi titik amat harus stabil, bebas dari gangguan-gangguan seperti getaran mesin, kendaraan dan lain-lain.
3. Lokasi titik amat harus terbuka sehingga GPS mampu menerima sinyal dari satelit dengan baik tanpa ada penghalang.

Pengukuran pada titik-titik survei dilakukan dengan metode *looping* dengan pola A-B-C-D-A, dengan 'A' adalah *base station* (Gambar 3.4). Metode *looping* diharapkan dapat menghilangkan kesalahan yang disebabkan oleh pergeseran pembacaan gravimeter.



Gambar 3.4 Sketsa Pengambilan Data Gayaberat dengan *Loop* Tertutup

3.4 Pengolahan Data

Data pengukuran gayaberat masing-masing periode dikoreksi dengan koreksi pasang surut dan koreksi apungan untuk mendapatkan peta kontur Mei dan Oktober 2012. Kemudian dilakukan koreksi curah hujan sehingga didapatkan peta anomali gayaberat dengan respon positif menunjukkan adanya amblesan tanah. Proses selanjutnya untuk mempertajam kenampakan geologi pada daerah penyelidikan digunakan *software* Surfer 10.

3.4.1 Koreksi Pasang Surut (*Tide Correction*)

Koreksi ini disebabkan karena pengaruh gaya tarik yang dialami bumi akibat massa bulan dan matahari. Koreksi pasang surut ini selalu ditambahkan pada pembacaan gayaberat.

$$g_{st} = g_s + t \quad (3.1)$$

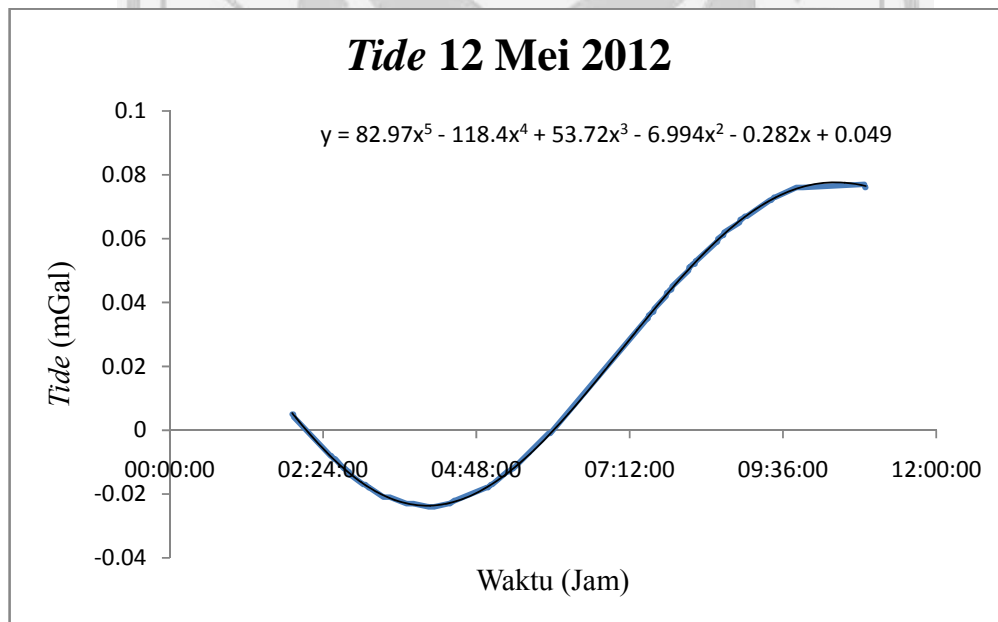
dengan :

g_{st} : pembacaan gayaberat dalam satuan terkoreksi *tide*.

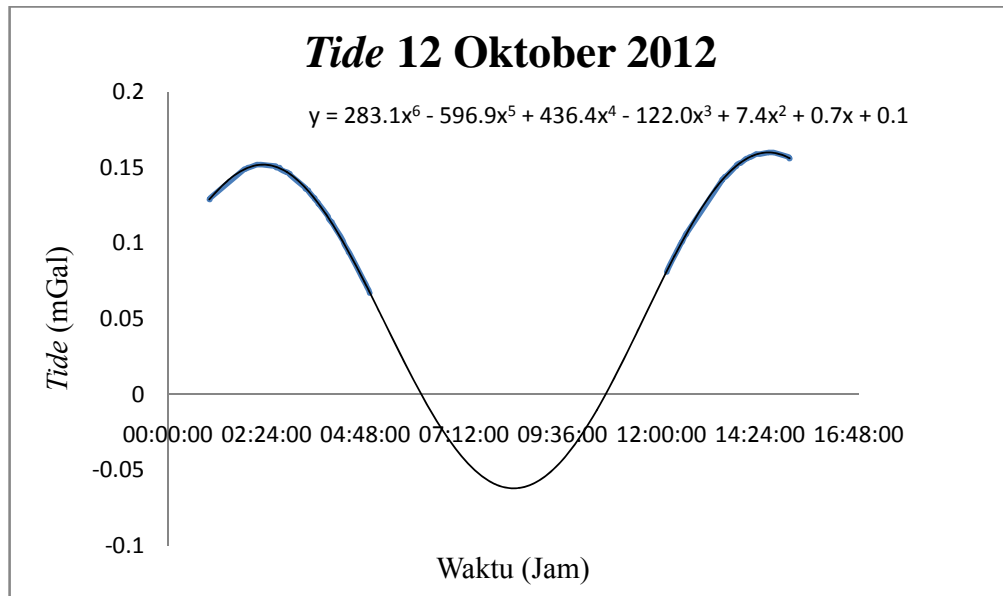
g_s : pembacaan gayaberat dalam satuan gayaberat.

t : koreksi *tide*

Untuk pengukuran periode tersebut menggunakan data yang diukur langsung dengan alat gravimeter yang diletakkan di *base*. Cara menghitung koreksi pasang surut (*tide*) yaitu dengan cara mengalikan faktor x dari persamaan yang kita peroleh dari grafik *tide* dengan waktu (jam) pada saat data diambil. Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 menunjukkan proses pembuatan grafik sehingga didapatkan persamaan yang digunakan untuk koreksi pasang surut.



Gambar 3.5 Grafik *Tide* 12 Mei 2012

Gambar 3.6 Grafik *Tide* 12 Oktober 2012

3.4.2 Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi ini diterapkan akibat adanya perbedaan pembacaan gayaberas dari stasiun yang sama dalam waktu yang berbeda. Hal ini dapat terjadi karena adanya guncangan pegas alat pengukur gayaberas selama proses perpindahan dari stasiun satu ke stasiun lainnya. Untuk menghilangkan efek ini, akuisisi data dibuat dalam suatu rangkaian tertutup, sehingga besar penyimpangan tersebut dapat diketahui dan diasumsikan linier pada selang waktu tertentu. Besarnya koreksi apungan pada masing-masing titik ditentukan sebagai berikut :

$$D_{S1} = \frac{t_1 - t_{s0}}{t_{s0} - t_{s0}} (P'_{S0} - P_{s0})$$

$$D_{S1} = \frac{t_2 - t_{s0}}{t_{s0} - t_{s0}} (P'_{S0} - P_{s0}) \quad (3.2)$$

dengan :

D_{S1} , D_{S2} : besarnya koreksi apungan pada titik lokasi 1 dan 2.

t_1, t_2 : waktu pembacaan pada titik lokasi 1 dan 2.

t_{s0} : waktu pembacaan pada titik lokasi 0 (awal *looping*)

t'_{s0} : waktu pembacaan ulang pada titik lokasi 0 (akhir *looping*)

P_{s0} : pembacaan gravimeter pada titik lokasi 0

P'_{s0} : pembacaan ulang gravimeter pada titik lokasi 0

Koreksi apungan ini selalu dikurangkan terhadap pembacaan gravimeter.

$$g_{std} = g_{st} - D \quad (3.3)$$

dimana :

g_{std} : nilai anomali gayaberat terkoreksi pasang surut dan apungan.

Adapun pengolahan data gayaberat hingga diperoleh nilai g_{obs} dapat dilihat pada Tabel 3.1 yang merupakan data gayaberat hari Selasa tanggal 8 Mei 2012

Tabel 3.1. Contoh pengolahan data gayaberat hingga diperoleh nilai g_{obs}

No	Stasiun	UTM X	UTM Y	Grav Read (mGal)	Tide (mGal)	Drift (mGal)	GravObs (mGal)
1	BaseKop A yani 16	434696	9225692	2725.163	0.017	0.000	978098.538
				2725.162	0.017	0.000	
				2725.162	0.018	0.000	
				2725.166	0.019	0.000	
2	UnWahas	432317	9224922	2740.413	0.048	0.001	978113.823
				2740.415	0.049	0.001	
				2740.41	0.05	0.001	
				2740.415	0.05	0.001	
3	Menoreh Utara	432561	9225483	2741.507	0.072	0.001	978114.943
				2741.507	0.073	0.001	
				2741.507	0.076	0.001	

3.4.3 Koreksi Curah Hujan

Untuk mendapatkan harga perubahan gayaberas akibat perbedaan musim, maka digunakan data curah hujan periode Mei – Oktober 2012 daerah Semarang. Dari data curah hujan pada Gambar 3.7 dapat dilihat pada Bulan Agustus tidak turun hujan sama sekali dan pada Bulan Oktober memiliki curah hujan yang tinggi. Untuk melakukan koreksi curah hujan wilayah penelitian dibagi menjadi 6 bagian disesuaikan dengan lokasi pemantauan curah hujan (dapat dilihat pada Gambar 3.7). Dengan menggunakan persamaan eksponensial (3.4) seperti yang diberikan oleh (Yuhara & Seno yang disitasi Akasaka C. & Nakanishi S. (2000)), dapat dilakukan pendekatan empiris untuk hubungan presipitasi dengan perubahan ketinggian muka air tanah.

$$H(t) = H_1 + \alpha \sum_n R_n \exp \{-c(t - t_n)\} \quad (3.4)$$

dimana:

H_1 = ketinggian air mula-mula

t = waktu

t_n = waktu ke-n

α = konstanta penyerapan ($\alpha = 0.00932$)

c = konstanta penguapan ($c = 0.00985$)

R_n = presipitasi pada hari ke-n dari mula-mula (mm)

Nilai (H_1) untuk keadaan awal dianggap nol. Sehingga kita mendapatkan nilai Δh dari pendekatan empiris di lokasi penelitian. Pada Gambar 3.8 dapat dilihat perubahan muka air tanah di wilayah Tlogosari dan sekitarnya sebesar 48.62 cm

sedangkan perubahan muka air tanah di Bandara A Yani 38.65 cm, Tanjung Mas 40.19 cm, Semarang Barat 49.43 cm, Candi 37.98 cm, dan Klipang 21.84 cm. Kemudian Δg akibat perubahan ketinggian air tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.5) yang diberikan oleh Allis, R.G. & Hunt, T.M. (1984).

$$\Delta g = 2\pi G \phi \rho_w \Delta h \quad (3.5)$$

dimana :

Δg : perubahan nilai gayaberat karena adanya perubahan tinggi air tanah
($\mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2$)

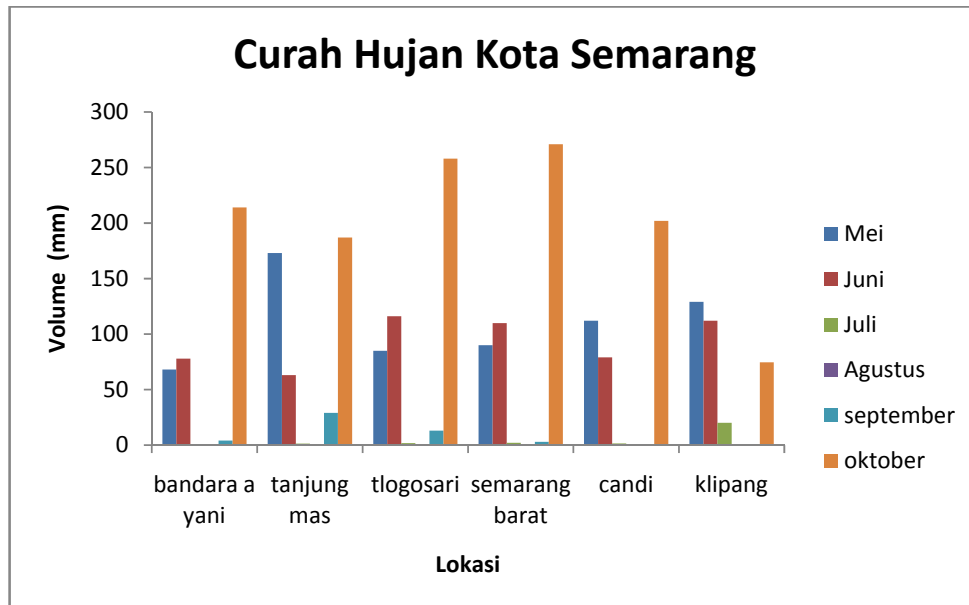
ρ_w : densitas air tanah (gr/cc)

ϕ : porositas dari reservoir tanah (%)

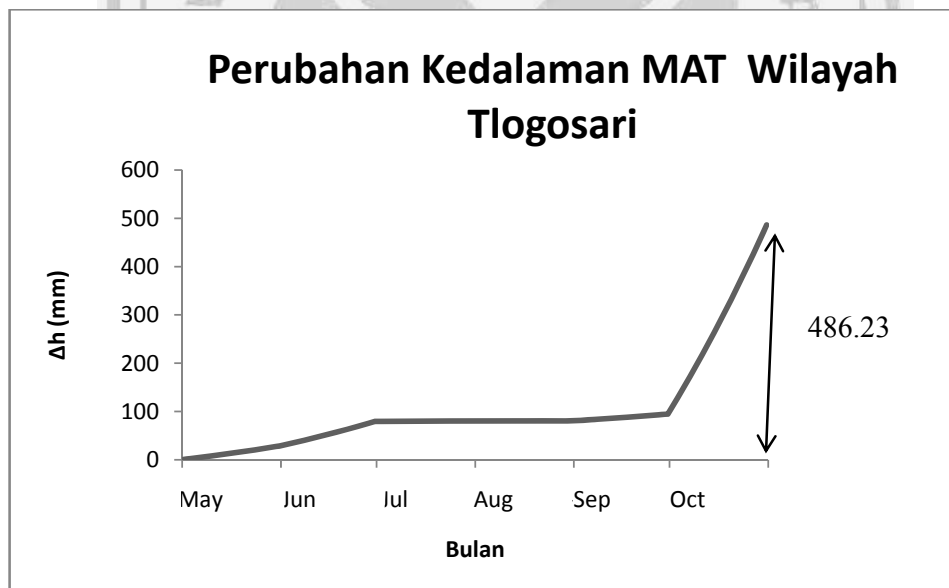
Δh : perubahan kedalaman muka air tanah (meter)

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

Apabila porositas batuan 30% (Marsudi, 2000) dan densitas air 1 gr/cc maka setiap terjadi perubahan air tanah 1 m akan terjadi perubahan nilai gayaberat sebesar 12.579 μ Gal. Dengan demikian perubahan harga gayaberat di Tlogosari 6.12 μ Gal, Bandara A. Yani 4.86 μ Gal, Tanjung Mas 5.06 μ Gal, Semarang Barat 6.22 μ Gal, Candi 4.78 μ Gal, dan Klipang 2.75 μ Gal.



Gambar 3.7 Curah hujan Kota Semarang 2012



Gambar 3.8 Perubahan Kedalaman Muka Air Tanah Wilayah Tlogosari dan sekitarnya

3.5 Interpretasi Data

Interpretasi dilakukan dalam rangka deliniasi zona yang mengalami penurunan muka air tanah, imbuan air tanah, dan amblesan tanah dengan menggunakan perangkat analisa peta anomali gayaberat mikro *time lapse*. Interpretasi gayaberat secara umum dibedakan menjadi dua yaitu interpretasi kualitatif dan kuantitatif.

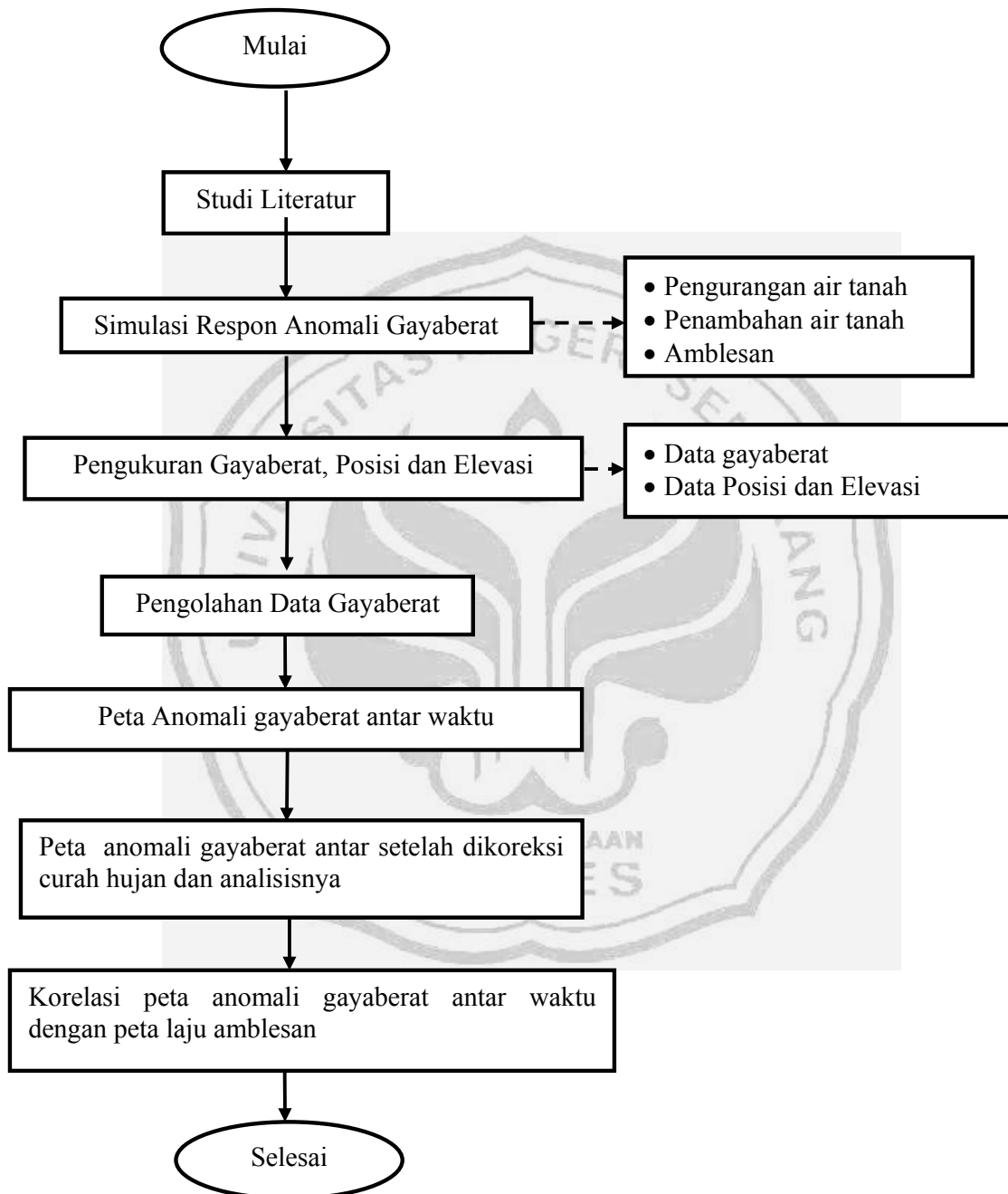
3.5.1 Interpretasi Kualitatif

Interpretasi kualitatif dilakukan dengan mengamati data gayaberat berupa anomali Bouguer. Anomali tersebut akan memberikan hasil secara global yang masih mempunyai anomali regional dan residual. Hasil interpretasi dapat menafsirkan pengaruh anomali terhadap bentuk benda, tetapi tidak sampai memperoleh besaran matematisnya.

3.5.2 Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif dilakukan untuk memahami lebih dalam hasil interpretasi kualitatif dengan membuat penampang gayaberat pada peta kontur anomali. Teknik interpretasi kuantitatif mengasumsikan distribusi rapat massa dan menghitung efek gayaberat kemudian membandingkan dengan gayaberat yang diamati. Interpretasi kuantitatif pada penelitian ini adalah model amblesan tanah dengan menggunakan *software GRAV2DC*.

3.6 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

BAB 4

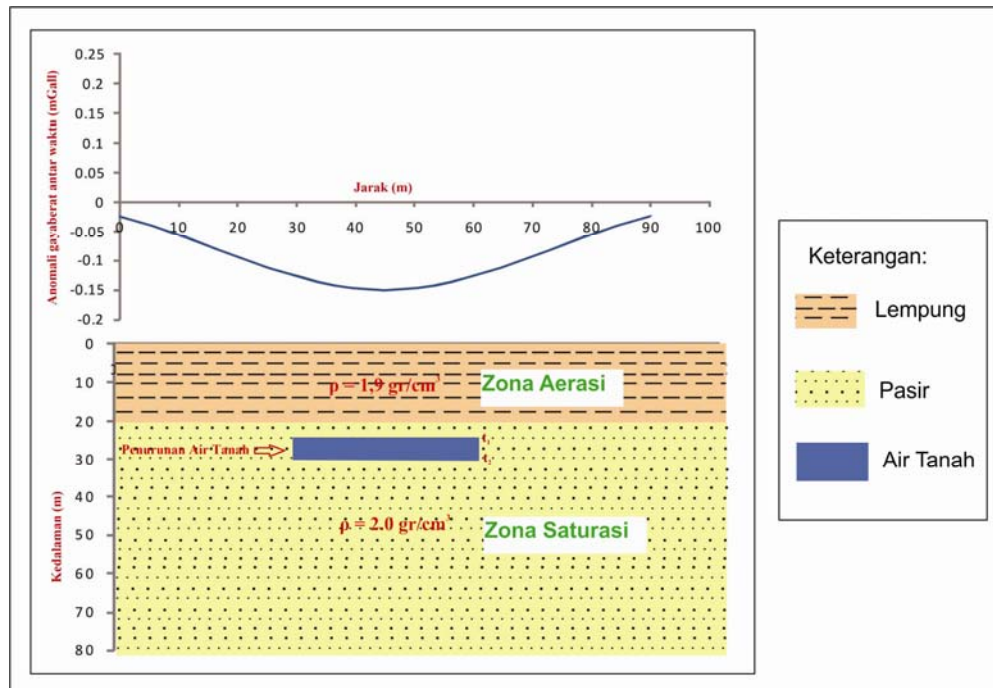
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran gayaberat di Kota Semarang terdiri dari 12 *loop* dimana setiap *loop* terdiri dari 15-20 titik pengamatan. Jumlah keseluruhan lokasi pengamatan sebanyak 121 titik. Data yang diperoleh merupakan hasil pengukuran pada Bulan Mei 2012 dan Oktober 2012. Adapun data hasil pengukuran gayaberat terlampir pada lampiran I. Untuk mempermudah dalam interpretasi maka terlebih dahulu dilakukan pemodelan kedepan untuk berbagai kasus dibawah ini.

4.1 Pemodelan Perubahan Gayaberat Akibat Penurunan Muka Air Tanah

Simulasi dilakukan dengan membuat model bumi 2 lapis yang memanjang ke arah horizontal. Masing-masing lapisan tersebut adalah lapisan zona aerasi setebal 0-20 m yang berupa lempung dan lapisan zona saturasi pada kedalaman 20-80 m yang berupa pasir. Zona aerasi adalah zona yang tak jenuh yang langsung berada di bawah permukaan tanah, sedangkan zona saturasi adalah zona jenuh dimana di zona ini terdapat air tanah. Pada kondisi awal (t_1) ketinggian muka air tanah adalah 25 m, pada periode berikutnya (t_2) karena pengambilan air tanah maka terjadi penurunan muka air tanah dengan kedalaman 30 m. Pada Gambar 4.1 menunjukkan model respon gayaberat akibat penurunan muka air tanah sebesar 5 m sehingga menyebabkan perubahan nilai gayaberat sebesar -0.15 mGal. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Grav2DC*. Berdasarkan model

tersebut dapat diketahui bahwa pengurangan air tanah akan memberikan respon anomali gayaberat antar waktu yang negatif.

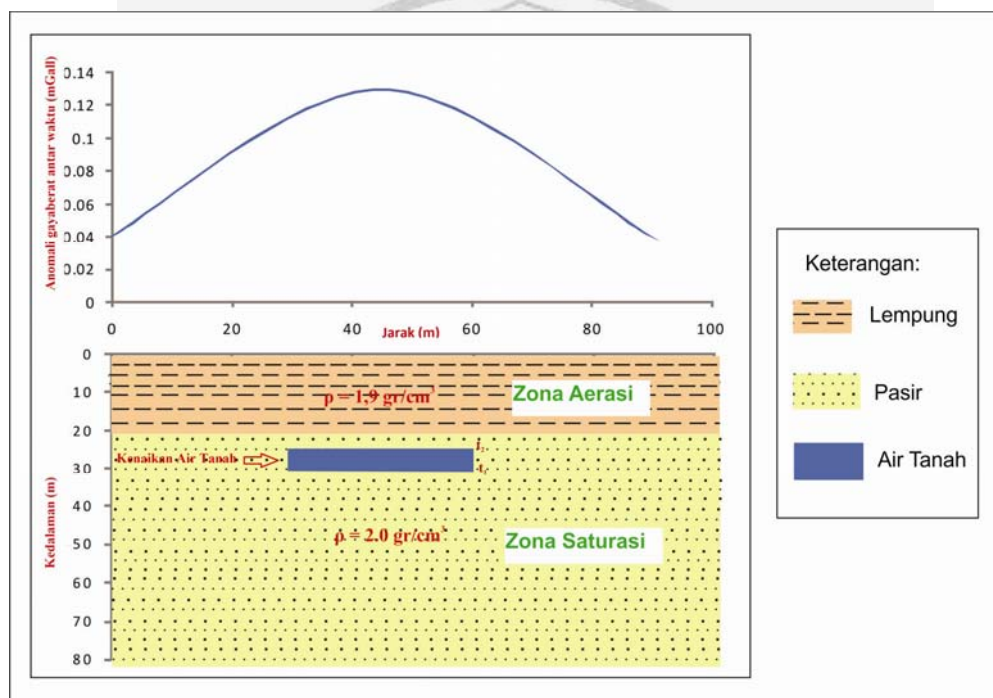


Gambar 4.1 Model Penurunan Muka Air Tanah dan Respon Gayaberat

4.2 Pemodelan Perubahan Gayaberat Akibat Kenaikan Muka Air Tanah

Simulasi kenaikan muka air tanah hampir sama dengan penurunan muka air tanah yaitu dilakukan dengan membuat model bumi 2 lapis yang memanjang ke arah horizontal. Masing-masing lapisan tersebut adalah lapisan zona aerasi setebal 0-20 m yang berupa lempung dan lapisan zona saturasi pada kedalaman 20-80 m yang berupa pasir. Zona aerasi adalah zona yang tak jenuh yang langsung berada di bawah permukaan tanah, sedangkan zona saturasi adalah zona jenuh dimana di zona ini terdapat air tanah. Pada kondisi awal (t_1) ketinggian muka air tanah

adalah 30 m, pada periode berikutnya (t_2) curah hujan lebih tinggi dari periode pertama sehingga terjadi kenaikan muka air tanah sebesar 5 m menyebabkan tinggi muka air tanah menjadi 25 m, perubahan kenaikan muka air tanah tersebut memberikan perubahan gayaberat sebesar 0.13 mGal. Simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.2. Berdasarkan model tersebut dapat diketahui bahwa penambahan air tanah akan memberikan respon anomali gayaberat antar waktu yang positif.

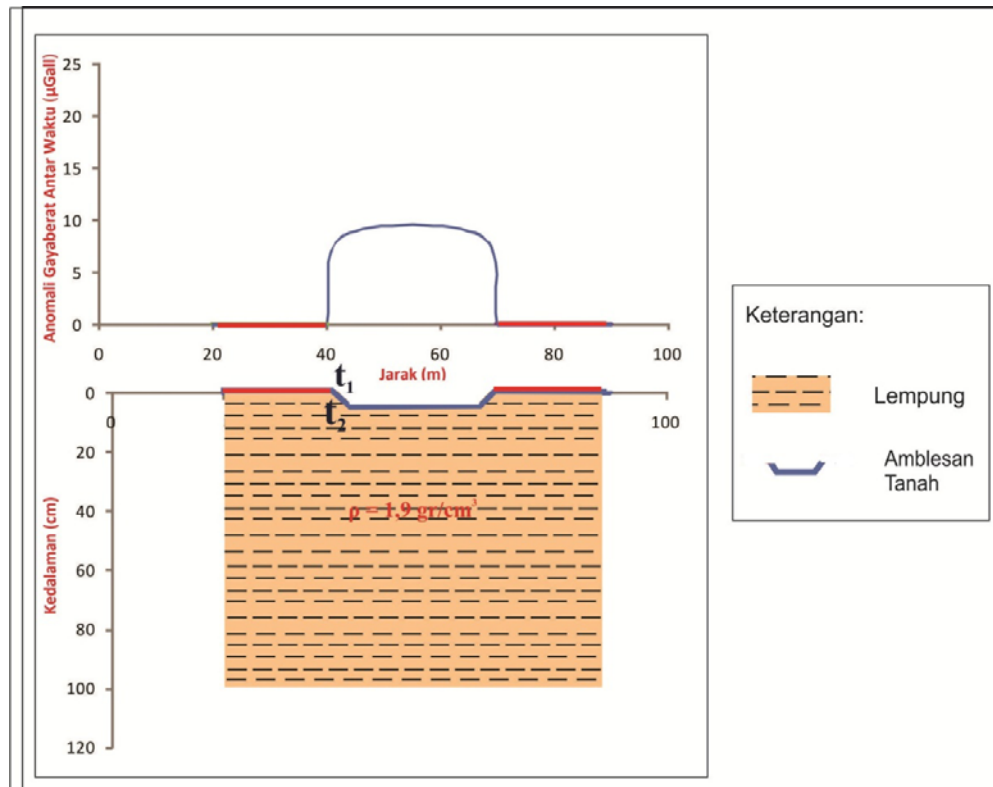


Gambar 4.2 Model Kenaikan Muka Air Tanah dan Respon Gayaberat

4.3 Pemodelan Perubahan Gayaberat Akibat Amblesan Tanah

Simulasi dilakukan dengan membuat perubahan muka tanah. Pada periode pertama (t_1) muka tanah belum mengalami amblesan tanah, kemudian pada periode berikutnya (t_2) terjadi penurunan permukaan tanah sebesar 5 cm sehingga menyebabkan perubahan gayaberat sebesar 9 μ Gal. Berdasarkan Gambar 4.3

dapat disimpulkan bahwa perubahan gayaberat bernilai positif jika terjadi perubahan vertikal permukaan tanah ke bawah mendekati pusat bumi.

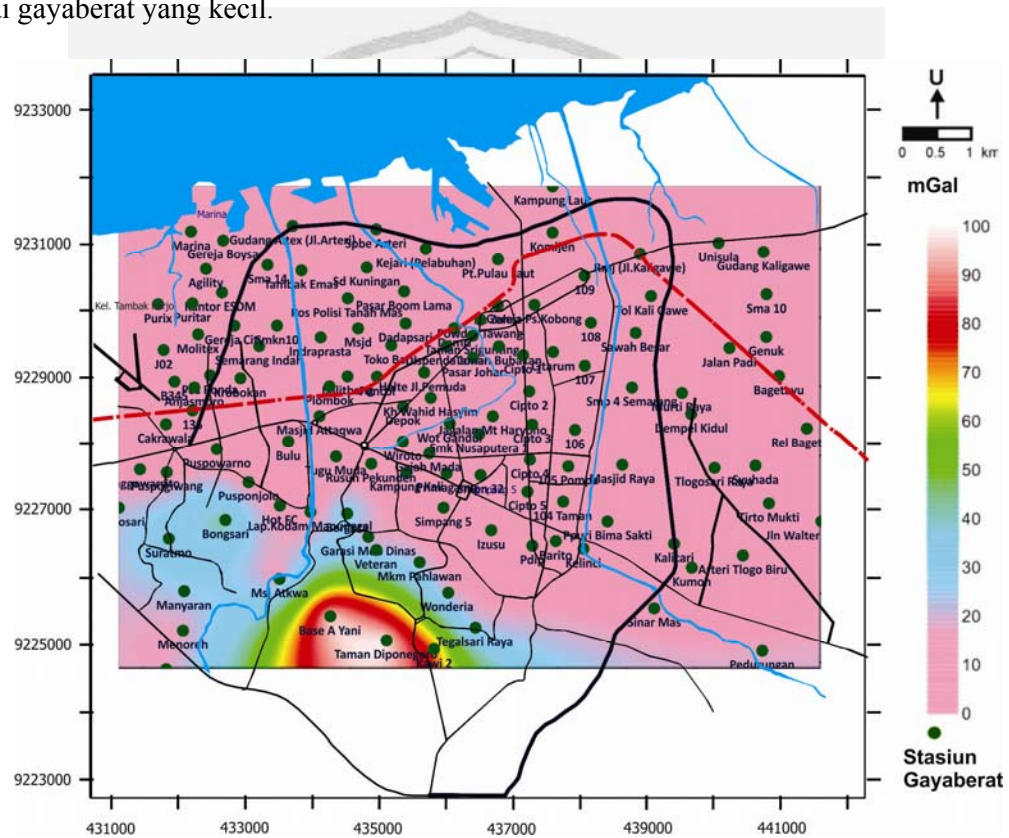


4.3 Model Amblesan Tanah dan Respon Gayaberat

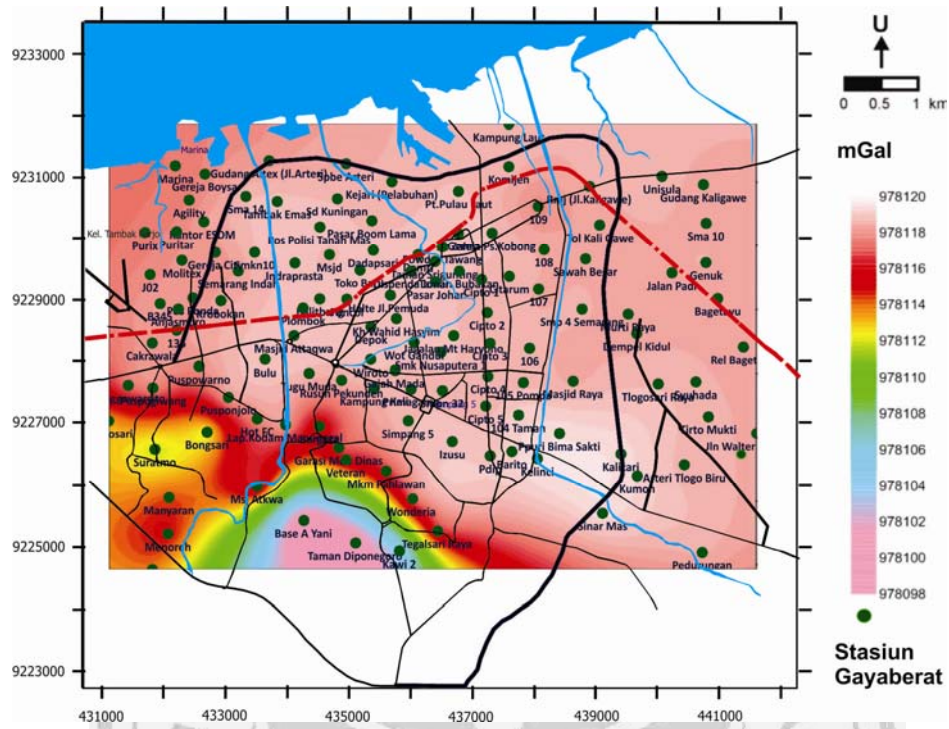
4.4 Gayaberat Observasi

Gayaberat observasi adalah nilai gayaberat hasil pengukuran yang telah diikatkan dengan nilai gayaberat absolut. Pada penelitian ini digunakan titik ikat di Taman Gajah Mungkur yang memiliki nilai gayaberat 978098,542 mGal. Data hasil pengukuran gayaberat untuk pemantauan amblesan tanah di Kota Semarang terdiri dari 121 titik pengamatan seperti yang ditunjukkan pada Lampiran I. Pembuatan peta gayaberat observasi daerah penelitian periode pertama dan periode kedua, ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dengan

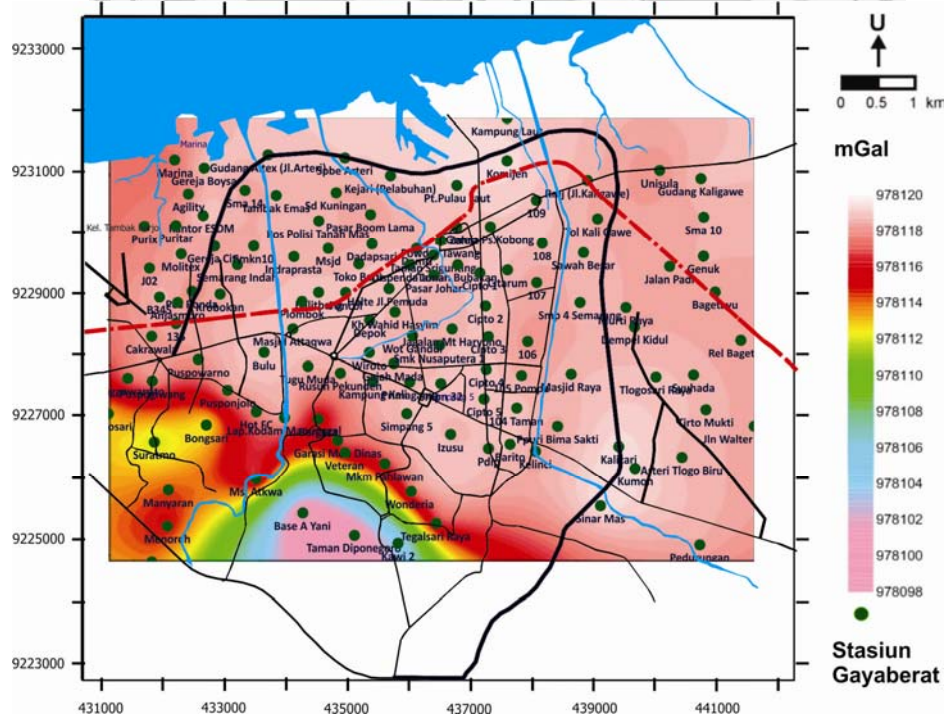
menggunakan *software Surfer 10*. Peta gayaberat observasi yang dihasilkan menunjukkan pola yang sama untuk tiap periode pengukuran dan nilainya lebih dipengaruhi oleh topografi, adapun peta topografi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.4. Nilai gayaberat yang lebih besar menunjukkan daerah dengan topografi rendah dan sebaliknya di daerah dengan topografi tinggi memberikan nilai gayaberat yang kecil.



Gambar 4.4. Peta Topografi Kota Semarang



Gambar 4.5. Peta Kontur Gayabarat Periode Mei 2012

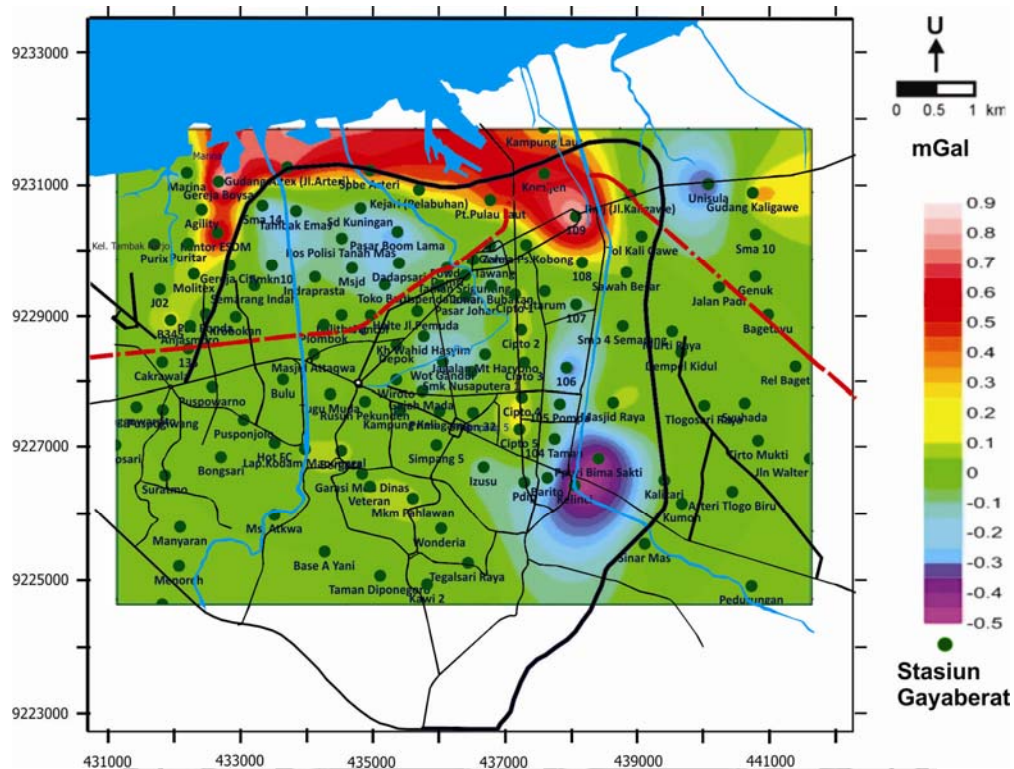


Gambar 4.6. Peta Kontur Gayabarat Periode Oktober 2012

Dari data pengukuran gayaberat yang dilakukan pada Bulan Mei-Oktober 2012. Pengukuran gayaberat pada Bulan Mei (Gambar 4.5) memiliki harga gayaberat maksimal 978119.520 mGal dan minimal sebesar 978098.542 mGal, sedangkan pengukuran gayaberat Bulan Oktober (Gambar 4.6) memiliki harga gayaberat maksimal sebesar 978119.508 dan minimal sebesar 978098.542. Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dapat dilihat sebaran titik-titik gayaberat. Sebagian besar titik-titik gayaberat terletak di Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Barat, dan Semarang Timur memiliki nilai gayaberat sebesar 978116 – 978116.520 mGal dan ditunjukkan oleh citra warna putih kemerahan. Nilai gayaberat terendah terdapat di daerah Taman Gajah Mungkur dan Taman Diponegoro yang ditunjukkan oleh citra warna merah muda. Hal ini disebabkan karena letak posisi kawasan tersebut jaraknya lebih jauh dari pusat bumi atau bisa dikatakan bahwa letaknya lebih tinggi dari daerah lain. Peta gayaberat observasi masing-masing periode yang lebih banyak dipengaruhi oleh topografi sesuai dengan hasil pengukuran ketinggian.

4.5 Anomali gayaberat antar waktu Kota Semarang periode bulan Mei 2012 - Oktober 2012

Anomali gayaberat antar waktu diperoleh dari selisih nilai gayaberat hasil pengukuran dua periode berbeda yang telah dikoreksi pasang surut dan koreksi apungan. sehingga diperoleh peta anomali gayaberat antar waktu periode Mei-Oktober 2012 (Gambar 4.7).



Gambar 4.7. Peta Anomali Gayaberat Antar Waktu Periode Mei-Oktober 2012

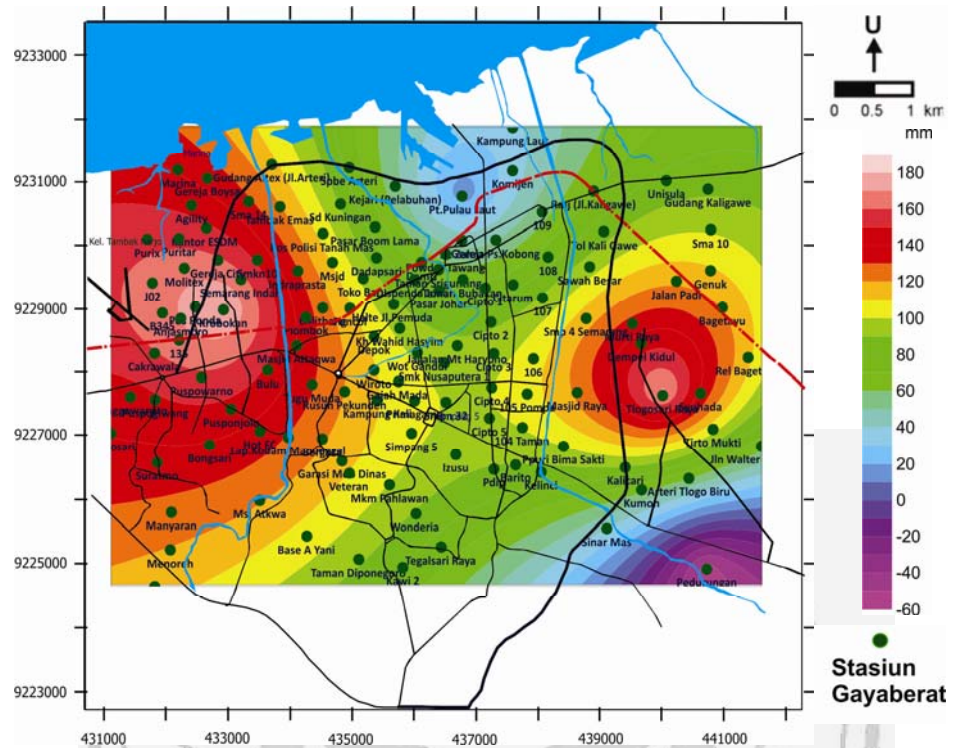
Anomali gayaberat antar waktu (Gambar 4.7), nampak anomali positif di sekitar daerah Molitex, Kantor ESDM, B345, Puri Tar, Agility, Gereja Boysa, Gudang Altex (Jl. Arteri), SPBE Arteri, Kejari (Pelabuhan), Kampung Laut, Marina, Komijen, 109, Kaligawe, Lapangan Kodam Manunggal, Veteran, Makam Pahlawan, Cipto 1, Cipto 2, Cipto 3, Cipto 4, Cipto 5, dan Masjid Raya dengan nilai anomali gayaberat sebesar 0.1 hingga 0.88 mGal. Sedangkan anomali negatif berada di daerah sekitar daerah SMA 14, Tambak Mas, Pos Polisi, Indraprasta, Masjid, Dadapsari, Pasar Boom Lama, Pos Polisi Tanah Mas, SD Kuningan, Kh. Wahid Hasim, Jagalan, Wot gandul, SMK Nusa Putra 1, 107, 106, Unisula,

105 (Pompa), 104 (Taman), Puri Bima Sakti, Izusu, PDIP, Barito, dan Kelinci dengan nilai anomali gayaberat sebesar -0.1 hingga -0.5 mGal.

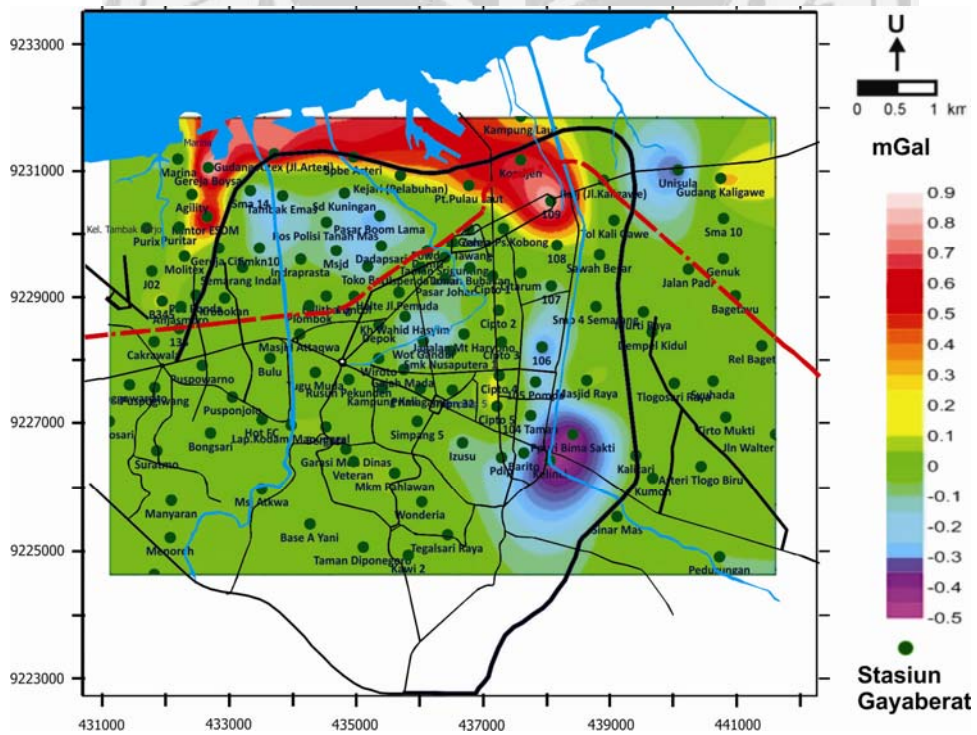
Amblesan tanah dan penambahan muka air tanah memiliki respon gayaberat yang sama yaitu respon positif maka diperlukan koreksi curah hujan untuk menghilangkan pengaruh penambahan air tanah akibat curah hujan sehingga respon positif pada anomali gayaberat hanya disebabkan oleh amblesan.

4.6 Anomali Gayaberat Antar Waktu Kota Semarang Periode Bulan Mei 2012-Oktober 2012 Setelah Koreksi Curah Hujan

Curah hujan Oktober di beberapa tempat mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan Mei dapat dilihat pada gambar 4.8. Untuk mendapatkan peta perubahan curah hujan bulan Mei 2012 – Oktober 2012, yaitu selisih nilai pengukuran curah hujan bulan Mei 2012 dengan bulan Oktober 2012 (Gambar 4.8). Pemantauan curah hujan di daerah penelitian hanya dilakukan di 6 tempat saja yaitu di Bandara A. Yani, Pelabuhan Tanjung Mas, Tlogosari, Semarang Barat, Candi, dan Klipang.



Gambar 4.8. Peta Curah Hujan Mei-Oktober 2012



Gambar 4.9 Peta Anomali Gayabarat Setelah Koreksi Curah Hujan

Setelah dilakukan koreksi curah hujan maka respon anomali positif yang mengindikasikan adanya penambahan air tanah bisa dihilangkan sehingga respon positif ini hanya disebabkan oleh amblesan tanah. Berdasarkan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa daerah Molitex, Kantor ESDM, B345, Puri Tar, Agility, Gereja Boysa, Gudang Altex (Jl. Arteri), SPBE Arteri, Kejari (Pelabuhan), Kampung Laut, Marina, Komijen, 109, Kaligawe, Cipto 4, Cipto 5, dan Masjid Raya mengalami amblesan tanah karena memiliki respon positif. Amblesan tanah di daerah tersebut diduga disebabkan pengambilan air tanah yang berlebihan dan konsolidasi akibat beban tanah urug ataupun bangunan dengan nilai anomali gayaberat sebesar 0.1 hingga 0.875 mGal. Nilai anomali tertinggi terdapat di daerah Gereja Boysa, Gudang Altex dan 109 dengan nilai anomali gayaberat lebih dari 0.8 mGal.

Pengurangan air tanah yang dominan terjadi pada daerah sekitar SMA 14, Tambak Mas, Pos Polisi, Indraprasta, Masjid, Dadapsari, Pasar Boom Lama, Pos Polisi Tanah Mas, SD Kuningan, Kh Wahid Hasim, Jagalan, Wot gandul, SMK Nusa Putra 1, 107, 106, Unisula, 105 (Pompa), 104 (Taman), Puri Bima Sakti, Izusu, PDIP, Barito, dan Kelinci dengan nilai gayaberat sebesar -0.1 hingga -0.480 mGal. Pengurangan air tanah biasanya disebabkan oleh pemompaan air tanah secara besar-besaran sehingga meskipun ada penambahan air dari hujan tetapi tidak sebanding dengan besarnya pengambilan air tanah. Puri Bima Sakti, Barito, 106, Kelinci, Pompa, Wahid Hasim, Pasar Boom Lama, SMKN 10, Dadapsari merupakan daerah padat penduduk sehingga konsumsi air tanahnya tinggi yang menyebabkan terjadinya pengurangan air tanah. Sedangkan pada titik

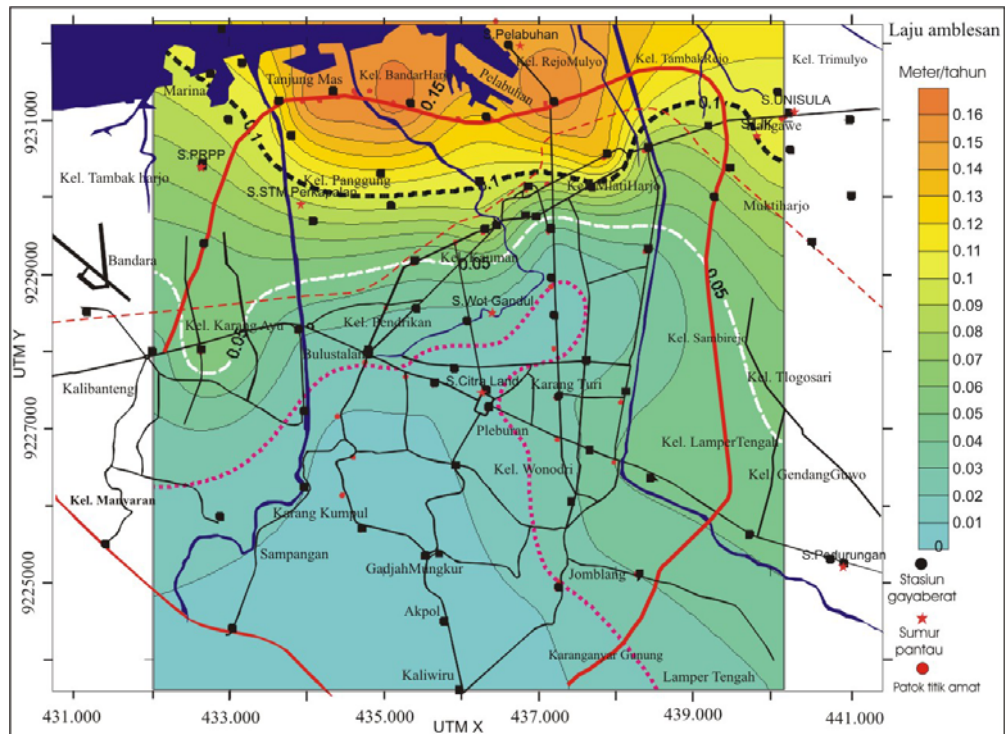
Unisula terjadi pengurangan air tanah karena merupakan daerah industri sehingga melakukan pemompaan air tanah secara besar-besaran yang menyebabkan terjadinya pengurangan air tanah. Pengurangan air tanah terbesar terdapat di daerah Puri Bima Sakti dan Kelinci dengan nilai anomali gayaberat lebih kecil dari -0.4 mGal. Titik-titik lain juga mengalami dinamika airtanah ataupun amblesan tanah namun nilai anomali gayaberat yang teramati sangat kecil berkisar dari 0.1 hingga -0.1 sehingga dapat dikatakan daerah tersebut relatif stabil.

4.7 Hubungan Antara Anomali Gayaberat Antar Waktu dengan Amblesan Tanah

Laju amblesan tanah daerah Semarang per tahun dapat dilihat pada Gambar 4.11. Dari peta dapat dilihat bahwa amblesan tanah tertinggi berada pada kawasan Kota Semarang bagian utara terutama Kelurahan Bandarharjo dan Kelurahan Rejo Mulyo. Supriyadi (2008), melakukan penelitian dengan metode sipat datar untuk pemantauan amblesan tanah mulai tahun 2002 sampai tahun 2005 dan dari hasil evaluasi dapat diketahui laju amblesan tanah di daerah Semarang dikelompokkan menjadi 4 zona amblesan yaitu:

1. Daerah dengan laju amblesan tanah lebih dari 10 cm/tahun meliputi daerah: Bandarharjo, Panggung, Pelabuhan, Rejomulyo, Genuk, dan Kaligawe.
2. Daerah dengan laju amblesan $5 - 10$ cm/tahun meliputi Tambakharjo dan Mlatiharjo yang memanjang dari barat ke arah timur.
3. Daerah dengan laju amblesan $2 - 5$ cm/tahun, yang mencakup daerah Karangayu, Bulusari, Simpang Lima, Karang Turi dan Lamper Tengah.

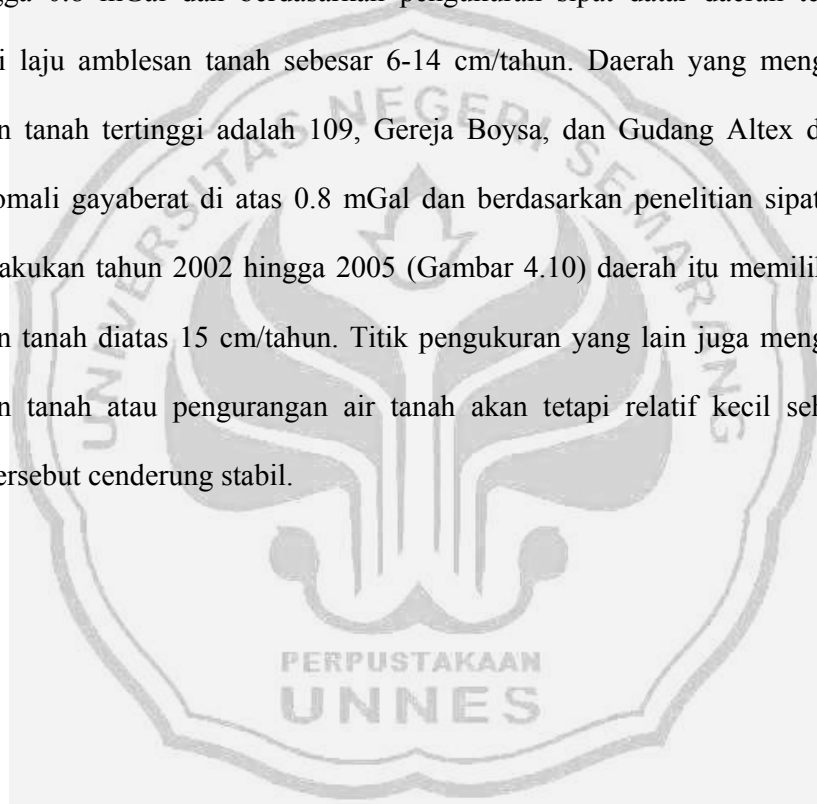
4. Daerah yang relatif stabil dengan laju amblesan lebih kecil dari 2 cm/tahun menempati daerah dengan topografi tinggi dan perbukitan, yaitu: Sampangan, Karang Kumpul, Gajah Mungkur dan Jomblang. Peta laju amblesan tanah dengan metode sipat datar dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Peta Laju Amblesan Tanah Daerah Semarang (Supriyadi, 2008)

Adanya amblesan tanah akan memberikan respon anomali gayaberat antar waktu positif. Pada Gambar 4.9 didominasi oleh anomali gayaberat mikro antar waktu yang positif. Berdasarkan peta anomali gayaberat antar waktu periode Bulan Mei-Oktober 2012 yang telah dikoreksi curah hujan pada Gambar 4.9 dibandingkan dengan peta laju amblesan tanah Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa di daerah Semarang Utara merupakan daerah amblesan tanah tertinggi karena nilai anomali gayaberatnya tertinggi jika dibandingkan daerah lain. Peta

laju amblesan menunjukkan bahwa Semarang Utara mengalami amblesan tanah lebih dari 10 cm/tahun. Daerah pengukuran yang diduga mengalami amblesan tanah yaitu: Kantor ESDM, B345, Puri Tar, Agility, Gereja Boysa, Gudang Altex (Jl. Arteri), SPBE Arteri, Kejari (Pelabuhan), Kampung Laut, Marina, Komijen, 109, Kaligawe, Cipto 4, Cipto 5, dan Masjid Raya dengan nilai anomali gayabarat 0.1 hingga 0.8 mGal dan berdasarkan pengukuran sipat datar daerah tersebut memiliki laju amblesan tanah sebesar 6-14 cm/tahun. Daerah yang mengalami amblesan tanah tertinggi adalah 109, Gereja Boysa, dan Gudang Altex dengan nilai anomali gayabarat di atas 0.8 mGal dan berdasarkan penelitian sipat datar yang dilakukan tahun 2002 hingga 2005 (Gambar 4.10) daerah itu memiliki laju amblesan tanah diatas 15 cm/tahun. Titik pengukuran yang lain juga mengalami amblesan tanah atau pengurangan air tanah akan tetapi relatif kecil sehingga daerah tersebut cenderung stabil.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

Pengukuran gayaberat secara periodik dapat digunakan untuk mengetahui perubahan permukaan tanah. Dari peta anomali gayaberat antar waktu yang telah dikorelasikan dengan peta laju amblesan tanah dengan metode sipat datar dapat disimpulkan bahwa daerah yang diduga mengalami amblesan tanah terbesar adalah Gudang Altex, Gereja Boysa, dan 109 dengan nilai anomali gayaberat diatas 0.8 mGal dengan laju amblesan tanah lebih dari 15 cm/tahun, sedangkan Pantai Marina, Gereja Boysa, Agility, Kantor ESDM, Mollitex, Puri Anjasmoro, Kampung Laut, Komijen, Pelabuhan, Kaligawe, RMJ Kaligawe, SPBE Arteri, 109, Cipto 4, dan Cipto 5 memiliki nilai anomali gayaberat sebesar 0.1 hingga 0.8 mGal dengan laju amblesan tanah 6-14 cm/tahun.

5.2 Saran

1. Selain melakukan survei gayaberat sebaiknya dalam waktu bersamaan juga dilakukan survei sipat datar untuk pengukuran amblesan tanah.
2. Diperlukan penelitian gayaberat dalam rentang waktu yang lebih lama agar diketahui dengan jelas daerah yang mengalami amblesan tanah di Kota Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., H. Andreas, Gumilar, S. Irwan, P. Teguh, M. Gamal, D. Murdohardono, Supriyadi, & Y. Fukuda. 2010. Studying Land Subsidence in Semarang (Indonesia) Using Geodetic Methods. *FIG Congress 2010 Facing the Challenges – Building the Capacity Sydney, Australia*, pp. 1-15.
- Akasaka, C. & S. Nakanishi. 2000. Correction of Background Gravity Changes Due to Precipitation in the Oguni Geothermal Field, Japan. *Proceedings World Geothermal Congress*, pp. 2471-2475.
- Allis R.G. & T.H. Hunt. 1984. Modelling The Gravity Changes at Wairakei Geothermal Field. *Proc. 6th NZ Geothermal Workshop*:117-121.
- Dahrin, D., Sarkowi, W.G.A. Kadir, & S. Minardi. 2007. Penurunan Volume Airtanah Daerah Semarang berdasarkan Pemodelan 3D Gayaberat Antar Waktu. *Jurnal Geoaplika*,(2)1:11-17.
- Davis, K., Y. Li, & M. Batzle. 2008. Time-Lapse Gravity Monitoring: A Systematic 4D Approach with Application to Aquifer Storage and Recovery. *Journal of Applied Geophysics*, (73)6: 61-69.
- Jambrik, R. 2006. Analysis of Water Level and Subsidence Data from Thorez Open-Pit Mine, Hungary. *Mine Water and The Enviromental*,(14)2: 13-22.
- Kurniawan, F.A. 2012. Pemanfaatan Data Anomali Gravitasi Citra GEOSAT dan ERS-1 Satelit untuk Memodelkan Struktur Geologi Cekungan Bentarsari Brebes. *Indonesia Journal of Applied Physics*, (12)2 : 184-195.
- Marsudi. 2000. *Prediksi Laju Amblesan Tanah di Dataran Alluvial Semarang Propinsi Jawa Tengah*. Disertasi. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Najib, F. 2011. Study Of The Piezometric Surface and Hydrocompaction at Confined Aquifer Caused The Land Subsidence in Semarang. *Jurnal TEKNIK*, (32)1: 72-79.

- Octonovrilna, L. & I.P. Pudja. 2009. Analisa Perbandingan Anomaly Gravitasi dengan Persebaran Intrusi Air Asin. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, (10)1: 39-57.
- Sarkowi, M., W.G.A. Kadir, D. Santoso. 2005. Strategy of 4D Microgravity Survey for the Monitoring of Fluid Dynamics in the Subsurface. *Proceedings World Geothermal Congress*, Antalya, Turkey, pp. 1-5.
- Sarkowi, M. 2008. Karakteristik Gradient Gayaberat untuk Interpretasi Anomali Gayaberat Mikro Antar Waktu. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*. Lampung: Universitas Negeri Lampung.
- Soedarsono. 2006. Analisis Amblesan Tanah Akibat Pembebanan Pada Akuifer Bebas (Unconfined Equifer) dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan di Sebagian Kota Semarang. *Jurnal Pondasi*, (12)1: 76-85.
- Soedarsono, M.A. Marfai. 2012. Monitoring The Change Of Land Subsidence In The Northern Of Semarang Due To Change Of Landuse On alluvial Plain. *Analele Universităţii din Oradea – Seria Geografie*, (1): 54 – 65.
- Sophian, R.I. 2010. Penurunan Muka Tanah di Kota- Kota Besar Pesisir Pantai Utara Jawa (Studi Kasus: Kota Semarang). *Bulletin of Scientific Contribution*, (8)1: 41-60.
- Sundrarajan, N. & G.R. Brahmam. 1998. Spectral Analysis of Gravity Anomalies Caused by Slab-Like Structures: A Hartley Transform Technique. *Journal of Applied Geophysics*, (39): 53-61.
- Supriyadi. 2008. *Pemisahan Antara Anomali Gayaberat Akibat Amblesan dengan Penurunan Muka Air Tanah Pada Data Gayaberat Mikro Antar Waktu Menggunakan MBF (Model Based Filter) dan Analisanya Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang*. Disertasi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Supriyadi. 2009. Studi Gaya berat Relatif di Semarang. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, (5): 54-51.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, R.E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. London: Cambridge University Press.

- Tsoulis, D. 2003. Terrain Modelling in Forward Gravimetric problems: A Case Study on Local Terrain Effect. *Journal of Applied Geophysics*, (54): 145-160.
- Yuliyanti, A., D. Sarah, & E. Soebowo. 2012. Pengaruh Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Amblesan Tanah di Daerah Semarang. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, (22)2: 93-103.



Lampiran I

Data Survei Gayaberat

Nama Stasiun	UTMX	UTMY	Gobs Oktober	G OBS Mei	Anomali
Basekop A Yani 16	434696	9225692	978098.542	978098.542	0.000
Unwahas	432317	9224922	978113.831	978113.838	-0.012
Menoreh Utara	432561	9225483	978114.927	978114.961	-0.039
Manyaran	432578	9226054	978114.258	978114.299	-0.046
Suratmo	432356	9226814	978111.704	978111.715	-0.016
Labdo Sari	431631	9227261	978113.285	978113.367	-0.087
Museum RW	431938	9227817	978117.461	978117.512	-0.056
Perum Cakra	432315	9228471	978118.132	978118.111	0.016
Marina	432677	9231260	978117.432	978117.542	-0.116
Garasi Mob Dinas	435246	9226840	978117.096	978116.987	0.104
Simpang 5	436335	9227261	978118.827	978118.721	0.101
Smpn 32	436871	9227734	978118.789	978118.688	0.095
Primagama	436381	9227757	978118.668	978118.538	0.125
Hotel Planet	435800	9227768	978118.625	978118.555	0.065
Tugu Muda	434778	9228004	978118.625	978118.687	-0.067
Rusun	435288	9227897	978118.587	978118.510	0.072
Balitbang	434945	9229163	978118.831	978118.710	0.115
Stn Poncol	435371	9229159	978119.003	978118.970	0.027
Wiroto	435746	9228218	978118.933	978118.860	0.068
Jl.Depok	435749	9228725	978118.877	978118.790	0.082
Bpr Maa	434086	9228220	978118.926	978118.880	0.041
Msjd Attaqwa	434540	9228589	978118.860	978118.880	-0.025
Kel Plombok	434684	9229021	978118.826	978118.930	-0.110
Komp.Indra	434555	9229729	978118.730	978118.810	-0.086
Pos Pol	434948	9230294	978118.798	978118.940	-0.148
Tambak Emas	434277	9230699	978118.597	978118.850	-0.259
Sma 14	433785	9230779	978118.506	978118.740	-0.234
Smkn10	433923	9229898	978118.457	978118.750	-0.299
Msj Atkwa	433960	9226231	978116.678	978116.650	0.023
Hot FC	433964	9227291	978117.857	978117.790	0.062
Krobokan	433393	9229136	978118.415	978118.340	0.069
Pos Ronda	432954	9229179	978118.120	978118.040	0.074
Smi	433665	9229601	978118.398	978118.250	0.142
Gereja City	433305	9229897	978118.205	978118.080	0.119

Kantor ESDM	433126	9230379	978118.511	978118.260	0.251
Pusponjolo	433510	9227630	978118.316	978118.260	0.051
Bonsari	433176	9227083	978112.278	978112.170	0.103
Puspowar	433050	9228111	978118.095	978117.970	0.120
Puspogiwang	432325	9227775	978118.059	978117.910	0.144
135	432699	9228671	978118.295	978118.210	0.080
B345	432438	9229088	978118.724	978118.340	0.378
Anjas	432725	9229004	978118.195	978118.050	0.139
J02	432280	9229546	978117.985	978117.860	0.119
Purix	432201	9230209	978117.724	978117.600	0.118
Puritar	432697	9230221	978118.018	978117.820	0.192
Molitex	432780	9229772	978118.401	978118.080	0.315
Agility	432894	9230721	978117.964	978117.710	0.254
Msjd	435097	9229859	978118.414	978118.670	-0.262
Toko Baru	435577	9229614	978118.612	978118.950	-0.344
Dadapsari	435786	9229930	978118.621	978118.830	-0.215
Damri	436490	9229860	978118.540	978118.750	-0.216
Az Zahra	437120	9230194	978118.582	978118.870	-0.293
Izusu	437026	9226936	978118.591	978118.810	-0.222
Pdip	437622	9226712	978118.690	978118.910	-0.223
103 Barito	437962	9226779	978118.883	978119.120	-0.240
104 Taman	438068	9227349	978118.938	978119.150	-0.218
105 Pompa	438143	9227860	978118.347	978118.660	-0.319
Jl.Taman Diponegoro	435510	9225338	978099.310	978099.280	0.025
Jl.Kawi 2 Genuk	436197	9225213	978104.340	978104.200	0.135
Jl.Tegalsari	436798	9225526	978116.678	978116.580	0.098
Wonderia	436404	9226032	978117.541	978117.450	0.091
Mkm Pahlawan	435989	9226472	978116.643	978116.520	0.123
Jl.Veteran (Halte)	435362	9226649	978116.182	978116.060	0.122
Mkm (Karyadi)	434939	9227177	978115.435	978115.190	0.143
Kodam Manunggal	434408	9227200	978118.522	978118.280	0.134
Halte Jl.Pemuda	436055	9229221	978118.905	978118.780	0.125
Dispenda Johar	436380	9229599	978119.137	978119.020	0.111
Danau St.Tawang	436871	9229984	978119.081	978118.940	0.136
Taman Srigunting	436757	9229752	978119.134	978118.940	0.189
Gereja Kobong (Tpi)	437652	9230199	978118.964	978118.810	0.149
Gajah Mada	436130	9228048	978118.554	978118.710	-0.162
Karanganyar	436852	9228328	978118.695	978118.860	-0.171
Jagalan Mt Haryono	437049	9228587	978118.637	978118.800	-0.169
Wot Gandul (Fitnes)	436426	9228484	978118.558	978118.800	-0.248
Jl.Kh Wahid Hasyim	436149	9228854	978118.608	978118.880	-0.278

Pasar Johar	436763	9229433	978118.675	978118.880	-0.210
Taman Bubakan	437137	9229599	978118.638	978118.900	-0.267
Jl.Citarum	437922	9229518	978118.732	978118.740	-0.013
Jl.Cipto 1	437487	9229469	978118.909	978118.580	0.324
Jl.Cipto 2	437576	9228949	978118.822	978118.520	0.296
Jl.Cipto 3	437621	9228467	978118.793	978118.550	0.237
Jl.Cipto 4	437587	9227956	978118.811	978118.580	0.231
Jl.Cipto 5	437552	9227492	978118.763	978118.550	0.213
106	438240	9228389	978118.277	978118.600	-0.323
107	438382	9229318	978118.254	978118.450	-0.201
108	438469	9229941	978118.742	978118.450	0.287
109	438377	9230621	978118.695	978117.820	0.875
Terang Boysa (Gereja)	433142	9231131	978118.657	978117.800	0.857
Gudang Altex	434149	9231341	978118.899	978118.080	0.813
Spbe (Deket Arteri)	435359	9231293	978119.001	978118.390	0.605
Kejari (Pelabuhan)	436078	9231010	978119.006	978118.600	0.400
Kampung Laut	437915	9231912	978119.062	978118.700	0.357
Komijen	437914	9231246	978119.413	978118.640	0.768
Pt.Pulau Laut	437124	9230859	978119.325	978118.770	0.550
Pasar Boom Lama	435764	9230394	978118.210	978118.690	-0.486
Sd Kuningan	435223	9230741	978118.402	978118.700	-0.304
Kelinci	438363	9226667	978119.045	978119.520	-0.475
Ppuri Bima Sakti	438710	9227062	978118.990	978119.470	-0.480
Masjid Raya	438925	9227883	978118.706	978118.380	0.320
Smp 4 Semarang	439065	9229003	978118.637	978118.560	0.072
Sawah Besar	439119	9229793	978118.682	978118.470	0.207
Rmj Jl.Kaligawe	439182	9230937	978118.597	978118.560	0.032
Unisula	440319	9231095	978118.329	978118.680	-0.351
Sinar Mas	439387	9225806	978119.508	978119.450	0.055
Kumon	439932	9226394	978119.291	978119.210	0.078
Kalicari	439675	9226741	978119.425	978119.430	-0.008
Arteri Tlogo Biru	440671	9226571	978118.631	978118.590	0.038
Tirto Mukti	441049	9227324	978118.658	978118.590	0.062
Syuhada	440853	9227873	978118.636	978118.610	0.020
Tlogosari Raya	440261	9227839	978118.822	978118.730	0.086
Dempel Kidul	439923	9228619	978118.437	978118.370	0.061
Murti Raya	439789	9228924	978118.480	978118.320	0.154
Sebelah Tol Kali Gawe	439341	9230326	978118.367	978118.360	0.002
Gudang Kaligawe	440970	9230966	978118.652	978118.340	0.312
Sma 10	441013	9230354	978118.512	978118.430	0.077
Genuk	441010	9229735	978118.546	978118.520	0.021

Jalan Padi	440476	9229574	978118.404	978118.450	-0.052
Bagetayu	441195	9229169	978118.337	978118.390	-0.059
Samping Rel Bagetayu	441598	9228408	978118.287	978118.290	-0.009
Jln Walter Mongisidi	441808	9227064	978118.343	978118.430	-0.093
Kec Pedurungan	440952	9225190	978118.462	978118.560	-0.104



Lampiran II FOTO PENELITIAN



PERPUSTAKAAN
UNNES
Foto Survei Gayaberat



Foto Daerah yang Mengalami Amblesan Tanah