

Kajian Dinamika Muka Airtanah di Kawasan Kota Lama Semarang Menggunakan Metode Mikrogravitasi Antar Waktu

(masuk/received 31 Januari 2019, diterima/accepted 21 April 2019)

Groundwater Dynamic Study in Semarang's Kota Lama Area Based on Time-lapsed Microgravity Method

Supriyadi¹, Khumaedi¹, Sugiyanto¹, Muhammad Ikhsan¹, Yatti Pratyas Katinavia²

¹Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang
Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

²Departemen Fisika Universitas Diponegoro
Tembalang, Semarang 50275
supriyadi@mail.unnes.ac.id

Abstrak –Selama lima tahun terakhir kawasan Kota Lama berkembang menjadi kawasan bisnis dan pariwisata yang menuntut tersedianya air bersih. Pada pemanfaatan air tanah di kawasan ini perlu dilakukan pemantauan untuk mengetahui laju penurunan muka air tanah yang berkaitan dengan amblesan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dinamika airtanah di sekitar Kota Lama. Pengukuran mikrogravitasi antar waktu dilakukan tiga kali, yaitu bulan Mei, September 2017, dan Maret 2018. Koreksi awal adalah koreksi apungan dan koreksi pasang surut dilanjutkan koreksi curah hujan untuk memperoleh anomali mikrogravitasi antar waktu yang disebabkan oleh dinamika muka airtanah. Dari hasil analisis didapatkan anomali mikrogravitasi antar waktu negatif hampir 80% pada area penelitian. Temuan yang menarik pada pengukuran ini adalah anomali negatif 313,13 μGal . Kondisi ini berkorelasi dengan penurunan muka airtanah sebesar 24,83 m yang diperoleh dari pemodelan perubahan gaya berat terhadap penurunan muka air tanah.

Kata kunci: anomali, mikrogravitasi, penurunan muka airtanah, antar waktu, curah hujan.

Abstract - The Kota Lama is a business and tourism area that demands water. Therefore it needs the monitoring to know the rate of decrease in groundwater levels associated with subsidence. The purpose of this study was to determine the dynamics of groundwater around the Kota Lama. Time-laps microgravity measurements were carried out three times, namely in May and September 2017, and March 2018. Initial correction was tide and drift followed by rainfall correction to obtain time lapse microgravity anomalies caused by the dynamics of groundwater. The results of the analysis showed that time lapse microgravity anomalies were negative almost 80% in the area. An interesting finding is the negative anomalies of 313.13 μGal . This condition is correlated to groundwater decrease that occurred in this period amounting to 24.83 m from gravity changes modeling to groundwater level decrease.

Key words: anomaly, microgravity, decrease of groundwater level, time lapse, rain fall

I. PENDAHULUAN

Pembuatan sumur bor pertama di Semarang dilakukan pada jaman pemerintahan Belanda terletak di Fort Wilhelm (Pelabuhan Tanjung Mas) pada tahun 1842 [1], kemudian pada tahun 1900 tercatat 16 buah sumur bor dan pada tahun 1990 menjadi 260 buah dan tahun 2003 meningkat menjadi 1194 buah sumur bor. Selama kurun waktu 13 tahun telah terjadi peningkatan pemanfaatan airtanah dari sumur bor sebanyak 459% [2].

Pemanfaatan airtanah yang dianggap cukup berarti dimulai pada tahun 1900 dengan pengambilan sebesar 1.300 m^3/hari dari 16 buah sumur bor. Jumlah pemanfaatan airtanah meningkat menjadi 1.610 m^3/hari pada tahun 1932 dengan jumlah sumur 28 buah. Jumlah pemanfaatan meningkat terus menjadi 37.460 m^3/hari pada tahun 1982 dengan jumlah sumur 127 buah. Pada tahun 1995 jumlah sumur tercatat resmi sebanyak 316 buah dengan pemanfaatan airtanah sekitar 74,13 m^3/hari [3].

Pengambilan air bawah tanah yang berlebihan tanpa diimbangi dengan peningkatan peresapan air akan menyebabkan terjadinya penurunan tanah. Kota-kota besar di dunia banyak yang memiliki pengalaman dalam penurunan tanah akibat pengambilan air bawah tanah yang berlebihan. Begitu juga terjadi di Kota Semarang yang mengalami penurunan tanah antara 1–9 cm per tahun akibat pengambilan air bawah tanah yang berlebihan tanpa diimbangi dengan peningkatan peresapan air [4,5].

Pemantauan penurunan muka tanah di Semarang selama ini hanya diamati dengan sumur pantau yang telah dilakukan sejak tahun 1952 oleh Direktorat Geologi Tata Lingkungan Bandung [6]. Hasil pemantauan menunjukkan kecenderungan terjadinya penurunan muka airtanah daerah Semarang mencapai 1,5 m/tahun. Lokasi penelitian berada di kawasan Kota Lama yang di jaman pemerintahan Belanda dijadikan kawasan perdagangan. Hal ini ditandai dengan banyaknya gedung-gedung tua

gaya Eropa. Saat ini gedung-gedung tua tetap dipertahankan keberadaannya dan difungsikan sebagai kantor untuk beberapa bank, perusahaan asuransi dan perusahaan pelayaran.

Pemantauan penurunan muka airtanah yang dilakukan selama ini belum maksimal karena hanya dilakukan di beberapa sumur pantau di Semarang yang lokasinya belum dapat menggambarkan kondisi yang sebenarnya. Hal ini karena keberadaan sumur pantau yang belum merata. Perlu upaya lain untuk mengatasi hal itu. Pada penelitian ini telah diaplikasikan metode gaya berat mikro antar waktu yang merupakan pengembangan dari metode gaya berat dan dicirikan dengan pengukuran yang berulang di titik yang sama dan menggunakan alat gravimeter dengan orde μGal .

II. LANDASAN TEORI

Metode mikrogravitasi antar waktu merupakan pengembangan dari metode gravitasi dengan dimensi keempatnya adalah waktu. Prinsip metode ini adalah pengukuran gravitasi secara berulang baik harian, mingguan, bulanan maupun tahunan dengan menggunakan gravimeter dengan orde μGal [7]. Metode ini memiliki kelebihan pengukuran medan gravitasi dengan orde yang sangat kecil (μGal) sehingga mampu mendeteksi perubahan massa jenis dari batuan bawah permukaan yang berorde mikro Gal, sedangkan kelemahannya adalah hasil pengukurannya dipengaruhi oleh banyak sumber anomali sehingga memerlukan lebih banyak koreksi hasil pengukuran. Asumsi yang digunakan adalah tidak ada perubahan ketinggian titik ukur dan massa bangunan di permukaan

Anomali mikrogravitasi antar waktu merupakan refleksi dari gabungan beberapa sumber anomali, seperti perubahan ketinggian titik ukur, pergerakan fluida, dan perubahan sifat fisis (rapat massa) di bawah permukaan. Berdasarkan hubungan tersebut, beberapa peneliti memanfaatkan metode mikrogravitasi antar waktu ini untuk dinamika airtanah [8-11]. Besarnya anomali gaya berat mikro antar waktu biasanya dijelaskan dengan pendekatan anomali Bouguer lengkap yang merefleksikan adanya perubahan rapat massa baik pada arah vertikal maupun horizontal. Anomali pada titik ukur (x, y, z) didefinisikan sebagai

$$\Delta g_B(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - g_t(x, y, z) + ah(x, y, z) - b\rho_B(x, y, z) + c\Delta h(x, y, z)$$

dengan g_{obs} dan g_t nilai gaya berat observasi dan teoritis; a , b dan c nilai konstanta koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi medan; ρ_B rapat massa, h tinggi titik ukur gaya berat, dan Δh beda tinggi titik ukur terhadap sekitarnya.

III. METODE PENELITIAN

Kegiatan awal yang dilakukan adalah membuat model respon anomali gaya berat mikro antar waktu akibat perubahan kedalaman muka air tanah. Data yang digunakan adalah data curah hujan yang terjadi tiap tahun

dan peta Geologi lembar Magelang-Semarang. Perangkat lunak yang dipakai adalah Grav2D.

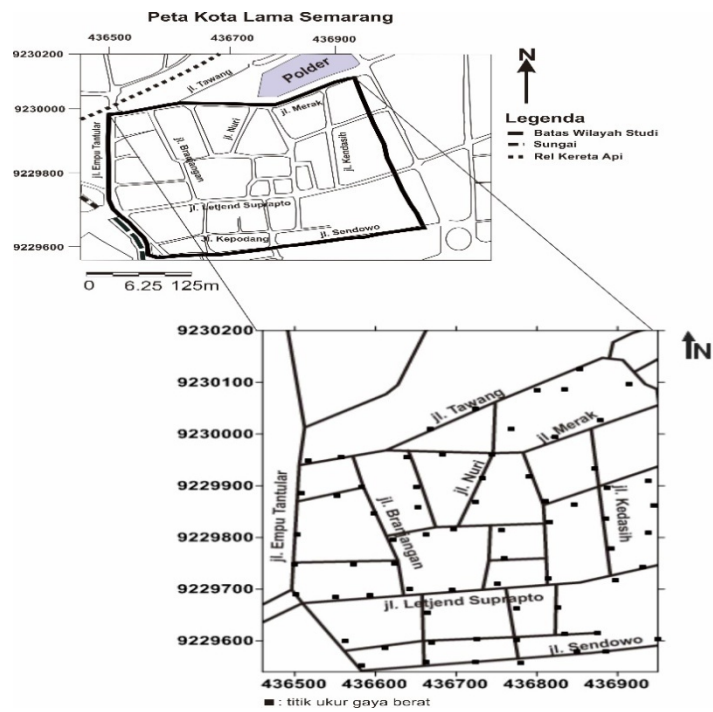
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode gaya berat mikro antar waktu dengan lokasi di Kota Lama dengan distribusi 65 titik ukur (Gambar 1). Pelaksanaan pengukuran dilakukan tiga kali, yaitu periode Mei, September 2017, dan Maret 2018 pada titik yang sama dengan *looping* yang sama untuk tiap periode. Alat yang digunakan adalah Gravimeter Scintrex CG-5 (Gambar 1). Selanjutnya data yang telah diukur dikoreksi dengan koreksi apungan (*drift correction*) dan koreksi pasang surut (*tide correction*). Untuk koreksi amblesan diabaikan karena selang waktu pengukuran yang relatif singkat sekitar 1 tahun sehingga amblesan yang terjadi kecil dan anomali gaya berat mikro yang diakibatkan juga kecil. Koreksi selanjutnya adalah curah hujan yang terjadi di lokasi penelitian. Data curah hujan diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika) provinsi Jawa Tengah. Sisa anomali gaya berat mikro antar waktu adalah yang disebabkan oleh penurunan muka air tanah.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

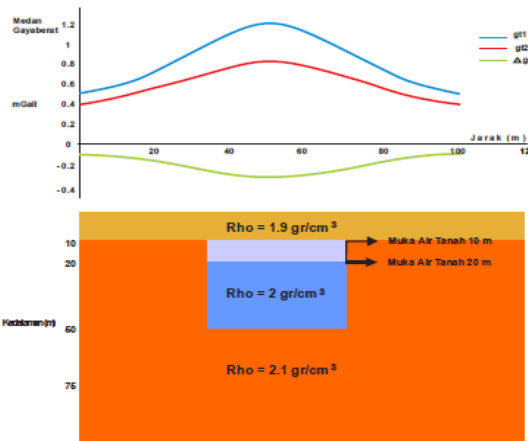
Hasil penelitian awal yang berupa model respon anomali gaya berat mikro antar waktu yang disebabkan oleh dinamika muka air tanah yang berupa kenaikan atau penurunan muka air tanah yang disebabkan oleh imbuhan curah hujan dan pengambilan air tanah untuk berbagai keperluan. Model awal diasumsikan belum terjadi kenaikan atau penurunan muka air tanah. Model kedua penurunan muka air tanah sebesar 10 m dan ketiga kenaikan muka air tanah 5 m akibat imbuhan. Kondisi bawah permukaan digambarkan dengan membuat model bumi 3 lapis memanjang horisontal. Lapisan 1 batuan batuan aluvial dengan rapat massa $1,9 \text{ gr/cm}^3$ memiliki ketebalan 10 m, pada kedalaman 10 m hingga 50 m terdapat lapisan pasir yang merupakan akuifer dengan $\rho = 2,0 \text{ gr/cm}^3$. Porositas akuifer 30 %, dan lapisan ketiga berupa lempung dengan $\rho = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ [12].

Pemodelan yang telah dibuat seperti pada Gambar 2 menunjukkan model respon gaya berat akibat penurunan muka air tanah sebesar 10 m [13]. Rapat massa pada saat t_1 dan t_2 masing-masing adalah $2,1 \text{ gr/cm}^3$ dan $2,0 \text{ gr/cm}^3$. Diasumsikan penurunan muka airtanah terjadi pada koordinat 20 sampai dengan 80 m. Pemodelan menunjukkan bahwa penurunan muka air tanah memberikan anomali mikrogravitasi antar waktu bernilai negatif.

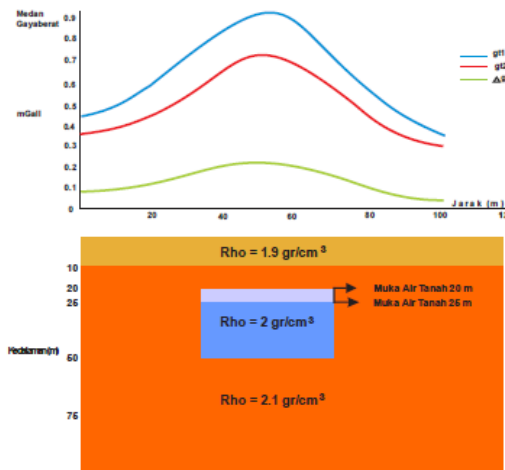
Pengisian kembali air tanah pada akuifer akibat imbuhan air hujan menyebabkan kenaikan rapat massa akuifer yang besarnya bergantung pada porositas dan saturasi akuifer air tanah. Model anomali gaya berat mikro antar waktu akibat kenaikan muka air tanah sebesar 5 m yang disebabkan imbuhan air hujan diberikan pada Gambar 3. Rapat massa pada saat t_1 dan t_2 masing-masing adalah $2,1 \text{ gr/cm}^3$. Kenaikan muka air tanah akan memberikan anomali mikrogravitasi antar waktu bernilai positif.



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Sebaran Titik Ukur Gaya Berat.

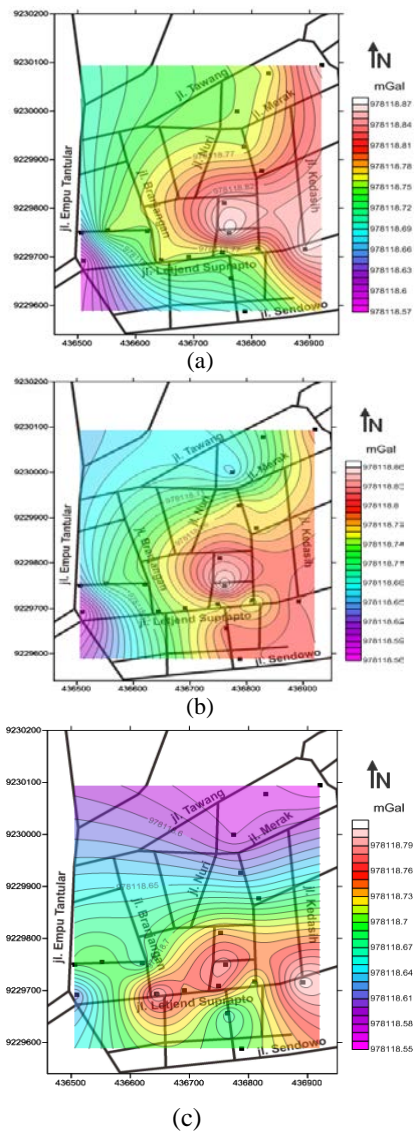


Gambar 2. Model Anomali Gaya Berat Mikro Antar Waktu Akibat Penurunan Muka Air Tanah.



Gambar 3. Model Anomali Gaya Berat Mikro Antar Waktu Akibat Kenaikan Muka Air Tanah.

Hasil pengukuran mikrogravitasi di lokasi penelitian untuk masing-masing periode diberikan pada Gambar 4a, 4b, dan 4c. Secara umum nilai mikrogravitasi dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu tinggi dan rendah. Berdasarkan hasil pengukuran menunjukkan kecenderungan bagian tengah dan timur mempunyai nilai gaya berat tinggi sebesar 978118,87 μ Gal dan selatan-barat daya rendah sebesar 978118,57 μ Gal.

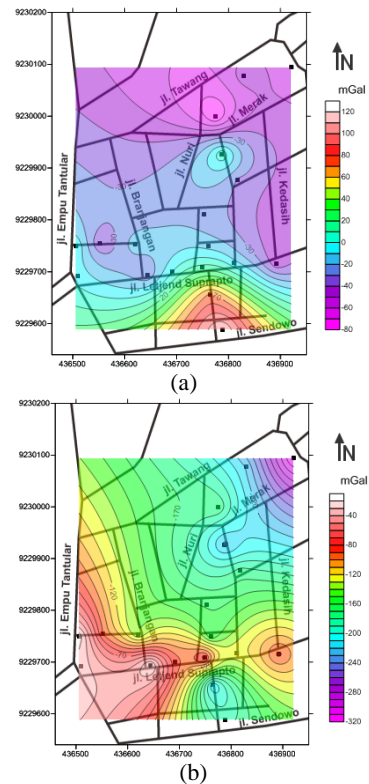


Gambar 4. (a) Peta kontur nilai gaya berat mikro periode Mei 2017, (b) September 2017, dan (c) Maret 2018.

Perbedaan nilai gaya berat di Kota Lama disebabkan perbedaan topografi. Namun perbedaan nilai yang terjadi sangat kecil mengingat tinggi titik ukur gaya berat relatif sama atau bisa dianggap lokasi penelitian berada pada bidang datar.

Anomali gaya berat mikro antar waktu dari ketiga hasil pengukuran adalah selisih antara nilai gaya berat mikro periode September 2017 dengan Mei 2017 dan selisih antara nilai gaya berat mikro periode Maret 2018 dengan Mei 2017 seperti pada Gambar 5a dan 5b. Secara umum nilai anomali gaya berat antar waktu negatif di bagian utara-timur (-80 μ Gal) dan positif di bagian selatan (120 μ Gal) pada selang

waktu Mei-September 2017. Pada selang waktu Mei 2017-Maret 2018 semuanya bernilai negatif paling tinggi (-320 μ Gal) di bagian timur laut. Pada periode Mei-September 2017 di beberapa bagian mempunyai anomali gaya berat positif dan negatif yang disebabkan karena adanya imbuan air tanah selain dari curah hujan, misalnya intrusi air laut. Pada periode Mei 2017-Maret 2018 semua bagian lokasi penelitian mempunyai anomali gaya berat mikro antar waktu negatif. Hal ini disebabkan oleh penurunan muka air tanah akibat pengambilan air tanah untuk keperluan sehari-hari di lokasi stasiun Tawang dan perumahan yang berada di samping timur stasiun Tawang.



Gambar 5. (a) Peta kontur nilai anomali gaya berat mikro antar waktu periode Mei-September 2017, dan (b) periode Mei 2017-Maret 2018.

Tabel 1. Curah hujan wilayah Tanjung Mas dan sekitarnya.

Bulan	Perubahan curah hujan (mm)	H(t) (m)	Δg (μ Gal)
Mei	97	0,8605	0
Juni	91.4	0,8109	-0,624
Juli	28	0,2484	-7,075
Agustus	2	0,0177	-2,901
September	39	0,3460	4,129
Oktober	325	0,3392	31,295
November	197	1,713	-14,006
Desember	199	1,731	0,218
Januari	274	2,827	8,206
Februari	629	5,471	38,845
Maret	149	1,296	-52,524

Untuk mendukung hasil penelitian yang telah diuraikan sebelumnya dipaparkan pula data curah hujan selama

periode pengukuran gaya berat seperti pada Tabel 1 yang menunjukkan nilai perubahan curah hujan di wilayah Tanjung Mas dan sekitarnya. Perubahan curah hujan di Kota Lama dihitung mengacu pada pengukuran pada stasiun Maritim Tanjung Mas pada periode Mei 2017-Maret 2018. Pemilihan acuan dengan stasiun Maritim dengan lokasi penelitian masih berada pada radius 3 km. Berdasarkan data curah hujan maka dapat diketahui perubahan curah hujan terhadap respon gaya berat.

Selanjutnya dijelaskan hubungan anomali gaya berat mikro antar waktu dengan kedalaman muka air tanah di lokasi penelitian seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3. Berdasarkan Tabel 2 dan 3 dapat diketahui bahwa adanya respon gaya berat terhadap muka air tanah pada periode Mei 2017 sampai Maret 2018. Hasil pengukuran gaya berat di masing-masing titik memberi respon yang berbeda. Pada periode Mei-September respon gaya berat mikro antar waktu $-31,70 \mu\text{Gal}$ pada Jalan Cendrawasih 1 dengan perubahan muka air tanah sebesar $-2,52 \text{ m}$, sedangkan anomali yang tertinggi sebesar $-80,80 \mu\text{Gal}$ pada Jalan Tawang dengan perubahan muka air tanah sebesar $-6,42 \text{ m}$. Pada periode September 2017-Maret 2018 anomali gaya berat mikro antar waktu sebesar $-91,19 \mu\text{Gal}$ di depan PELNI (Jl. Empu Tantular 27) dengan perubahan muka air tanah $-7,24 \text{ m}$. Anomali mikrogravitasi antar waktu tertinggi sebesar $-313,13 \mu\text{Gal}$ di Stasiun Tawang dengan perubahan muka air tanah sebesar $-24,83 \text{ m}$ yang diperoleh dari pemodelan perubahan gaya berat terhadap penurunan muka air tanah pada periode pengukuran dengan persamaan

$$\Delta g = 2\pi G\phi\rho_w\Delta d$$

dengan Δg perubahan gaya berat, ϕ porositas (%), ρ_w densitas air tanah, G konstanta gravitasi umum dan Δd : penurunan muka air tanah.

Tabel 2. Anomali mikrogravitasi terhadap perubahan muka air tanah Mei-September 2017.

Lokasi Pengambilan Data	Respon gaya berat (μGal)	MAT (m)
Jl. Empu Tantular 27	-39,70	-3,15
Jl. Letjen Suprpto 45	-46,37	-3,68
Jl. Tawang	-55,54	-4,41
Jl. Nuri Semarang Utara	-80,80	-6,42
Jl. Cendrawasih 1	-31,70	-2,52

Tabel 3. Anomali gaya berat terhadap perubahan muka air tanah September 2017-Maret 2018

Lokasi Pengambilan Data	Respon gaya berat (μGal)	MAT (m)
Jl. Empu Tantular 27	-91,19	-7,24
Jl. Letjen Suprpto 45	-123,80	-9,84
Jl. Tawang	-221,95	-17,64
Jl. Nuri Semarang Utara	-313,13	-24,83
Jl. Cendrawasih 1	-223,80	-17,79

V. KESIMPULAN

Hasil pengukuran mikrogravitasi selama tiga periode Mei 2017, September 2017, dan Maret 2018 di kawasan Kota Lama menghasilkan anomali mikrogravitasi antar waktu periode Mei-September 2017 dan Mei 2017-Maret 2018. Se-

cara umum nilai anomali mikrogravitasi antar waktu negatif di bagian utara-timur ($-80 \mu\text{Gal}$) dan positif di bagian selatan ($120 \mu\text{Gal}$). Pada selang waktu Mei 2017-Maret 2018 semuanya bernilai negatif paling tinggi ($-320 \mu\text{Gal}$) di bagian timur laut. Anomali mikrogravitasi antar waktu negatif diduga disebabkan oleh penurunan muka air tanah sebesar $24,83 \text{ m}$ akibat pemanfaatan air tanah untuk keperluan sehari-hari dan anomali positif terjadi karena imbuhan curah hujan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kemenristekdikti yang telah mendanai penelitian ini melalui skim Hibah Kompetensi (HIKOM) tahun anggaran 2018 dengan Nomer Kontrak 529/UN37.3.1/LT/2018.

PUSTAKA

1. T.T. Putranto, T.R. Rude, Groundwater Problem in Semarang Demak Urban Area, Java Indonesia, RWTH Aachen University, Institute of Hydrogeology, Germany (2011).
2. E. Suhartanto, Purwanto, Suripin. Kondisi Intrusi Air Laut terhadap Airtanah pada Akuifer di Kota Semarang. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, Universitas Diponegoro Semarang (2013) 396-401.
3. Sihwanto dan N. Iskandar, Konservasi Airtanah Daerah Semarang dan Sekitarnya. DGTL Bandung (2000).
4. T.T. Putranto, Aplikasi Pemodelan Aliran Airtanah Dalam Konsep Pengelolaan Airtanah Berbasis Cekungan, *Prosiding Olimpiade Karya Tulis Inovatif (OKTI)* (2011) 1-15.
5. W. Aeschbach-Hertig, Groundwater Dating with Environmental Tracers: Recent Developments and Applications, DPG, Dresden (2011).
6. A. N. Taufiq, Penyelidikan Konservasi Airtanah Cekungan Airtanah Semarang – Demak Provinsi Jawa Tengah, 145/LAP BGE. P2K/2010. Kementerian ESDM, Badan Geologi, Pusat Lingkungan Geologi (2010).
7. Allis, R.G., dan Hunt, T.M, Analysis of Exploration Induced Gravity Changes at Wairakei Geothermal Field, *Geophysics* 51, (1986) 1647-1660.
8. M.W. Branston, dan P. Style, The Application of Time Lapse Microgravity for The Investigation and Monitoring of Subsidence at Northwich, Cheshire, *The Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 36/3 (2003) 231 - 244.
9. A. Lambert, dan C. Beamont, Nanovariations in Gravity due to Seasonal Groundwater Movement Studies: Implications for The Gravitational Detections of Tectonics Movements, *Journal Geophysics Research* 82 (1997) 297-306.
10. Supriyadi. Problem Pengolahan Data Gaya Berat Mikro Antar Waktu. *Indonesian Journal of Applied Physics*, Vol.3 No.2, (2013) 129-135.
11. T. Hunt, Microgravity Measurements At Wairakei Geothermal Field, New Zealand; A Review Of 30 Years Data (1961-1991). Taupo: Wairakei Research Centre, Institute of Geological & Nuclear Science (2000).
12. Marsudi, Prediksi Laju Amblesan Tanah Di Dataran Alluvial Semarang Provinsi Jawa Tengah. Jurusan Pertambangan ITB, Bandung (2011).
13. Y.P. Katrinavia, A. Setyawan, dan Supriyadi. Pemodelan Gaya Berat Akibat Curah Hujan dan Dinamika Air Tanah di Daerah Semarang. *Jurnal Fisika Indonesia* No.55, Vol.XIX (2015), 6-9.