

PENELITIAN GAYA BERAT DI KAWASAN BISNIS SEGITIGA PANDAMA (PANDANARAN PEMUDA GAJAH MADA) KOTA SEMARANG

Supriyadi*¹, Erni Suharini², Ervando Tommy Al-Hanif²

¹*Prodi Fisika, Universitas Negeri Semarang*

²*Prodi Geografi, Universitas Negeri Semarang*

*Corresponding author: supriyadi@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Latar belakang penelitian ini adalah kenyataan bahwa kawasan pusat kota Semarang beberapa tahun ini berkembang sedemikian pesat menjadi kawasan kegiatan ekonomi. Hal ini ditandai dengan bertumbuhnya hotel di kawasan ini. Selain hotel di kawasan ini juga tumbuh pusat kegiatan ekonomi, dan perkantoran. Kawasan ini selanjutnya dikenal dengan kawasan PANDAMA (Pandanaran Gajah Mada Pemuda). Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi amblesan dan dinamika air tanah di kawasan pandama dengan menggunakan pendekatan gaya berat. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah melakukan pengukuran gaya berat pada 88 titik ukur dengan spasi 5 meter yang tersebar di sepanjang jalan Pandanaran, Gajah Mada, Pemuda. Di setiap pengukuran gaya berat dilakukan dua kali, pertama di permukaan tanah, dan kedua gravitimeter di letakkan pada ketinggian 100 cm. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 20 sd 25 Juni 2022 menggunakan alat gravimeter scintrex CG 5. Hasil pengukuran gaya berat menunjukkan bahwa nilai gaya berat ada tiga kemungkinan, yaitu bernilai positif, negatif, dan nol. Demikian pula nilai gradien vertikal bernilai positif, negatif, dan nol. Untuk data gaya berat di permukaan secara kualitatif belum memberi arti karena masih dibutuhkan sekali lagi untuk mendapatkan informasi anomali (perubahan gaya berat). Untuk nilai gradien vertikal nilai positif berkorelasi dengan kenaikan air tanah dan nilai negatif berkorelasi dengan penurunan air tanah. Kondisi ini didukung oleh lapisan bawah permukaan yang didominasi oleh lapisan lempung yang merupakan hasil pemodelan berdasarkan data gaya berat hasil pengukuran.

Kata Kunci: gaya berat, gaya berat mikro antar waktu, amblesan, dinamika air tanah.

PENDAHULUAN

Secara geografis Kota Semarang terletak pada posisi 6° 50'- 7° 10' Lintang Selatan dan 109° 35'- 110° 50' Bujur Timur. Sebelah Barat berbatasan dengan wilayah Kabupaten Kendal, sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Demak, sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Semarang, dan sebelah Utara dibatasi oleh Laut Jawa dengan panjang garis pantai 13,6 Km. Ketinggian Kota Semarang terletak antara 0,75 sampai dengan 348,00 di atas garis pantai.

Berdasarkan morfologinya, wilayah Kota Semarang secara umum dapat dibagi menjadi dua (2) bagian, yaitu Kota Semarang Bawah yang merupakan dataran rendah, dan Kota Semarang Atas yang merupakan dataran tinggi (perbukitan). Pada dataran rendah, struktur geologi berupa batuan endapan (alluvium) yang berasal dari endapan sungai yang mengandung pasir dan

lempung. Sedangkan pada daerah perbukitan sebagian besar memiliki struktur geologi berupa batuan beku.

Kondisi morfologi kota Semarang menyebabkan awal perkembangan kehidupan masyarakat berpusat di tengah kota, termasuk perkembangan ekonomi yang berpusat di kota lama yang ditandai aktivitas perdagangan antar pulau melalui pelayaran kapal-kapal kecil yang bisa masuk ke tengah kota melalui kali Semarang sebagaimana diungkap oleh Cook (Pratiwo, 2010).

Seiring berjalannya waktu pusat kegiatan ekonomi kota Semarang berkembang ke arah timur, barat dan selatan ditandai dengan bermunculan pusat perdagangan mall dan hotel yang menjulang tinggi di berbagai tempat, khususnya yang di kawasan segitiga kawasan bisnis PANDAMA (Pandananan Gadjah Mada Pemuda). Perkembangan ini telah merubah bentuk tatanan fungsi kota dan menimbulkan masalah salah satu diantaranya adalah yang berhubungan lingkungan yaitu terjadinya amblesan (*subsidence*) dan penurunan muka air tanah (Soetomo & Sugiono, 2013).

Wilayah Semarang merupakan salah satu kota pesisir yang secara umum terbentuk dari endapan alluvial. Adapun karakteristik dari endapan aluvial ini adalah struktur batuan masih mengalami proses konsolidasi. Proses konsolidasi ini mengakibatkan terjadinya penurunan muka tanah pada daerah tersebut. Selain itu, masalah yang dihadapi kota Semarang saat ini adalah pengambilan air tanah dan pengaruh beban permukaan juga berkontribusi dalam terjadinya penurunan muka tanah di Semarang (Hanief *et al*, 2014).

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan metode gaya berat dan modifikasinya (gradien vertikal) di kawasan PANDAMA yang mempunyai infrastruktur yang berbeda dengan kawasan lainnya di Semarang. Selain itu, digunakan data gaya berat yang diperoleh dari Satelit untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari pengukuran langsung di lokasi penelitian.

Tujuan khusus penelitian ini untuk mengkaji struktur bawah permukaan di kota Semarang, khususnya di kawasan bisnis PANDAMA. Diharapkan dari penelitian ini tersedia data permukaan tanah yang berkaitan dengan penurunan muka air tanah yang disebabkan pemanfaatan air tanah oleh hotel – hotel yang

bertabaran di kawasan tersebut. Data tersebut dapat digunakan untuk menentukan kebijakan pemanfaatan air tanah yang yang terkedali sehingga tidak mengakibatkan dampak amblesan tanah (*subsidence*) di masa mendatang.

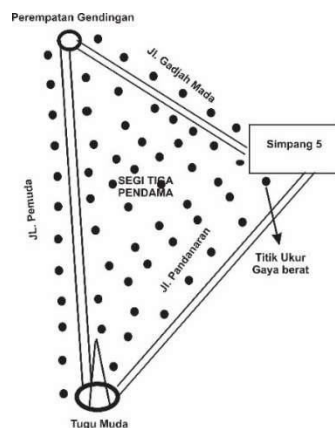
Masalah krusial di kawasan tersebut adalah belum adanya data yang terkait dengan kondisi lapisan tanah bawah permukaan di kawasan tersebut yang terkait dengan kondisi daya dukung tanah yang berkaitan dengan amblesan (*subsidence*) dan perubahan kedalaman muka air tanah.

METODE

Pada metode penelitian terdiri atas tiga kegiatan utama, yaitu pengukuran (1) metode gaya berat mikro antar waktu, (2) metode gradien vertical gaya berat mikro antar waktu, dan (3) memantau perubahan kedalaman muka air tanah pada sumur pantau yang dikelola oleh Dinas Energi Sumber Daya Mineral Propinsi Jawa Tengah. Ketiga kegiatan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

A. Pengukuran gaya berat mikro antar waktu

Metode gaya berat mikro antar waktu, secara prinsip adalah mengukur gaya berat secara berulang dalam selang waktu tertentu di titik yang sama dengan menggunakan alat gravimeter yang sama (Supriyadi at al, 2014). Titik-titik yang dimaksud tersebar di sepanjang Jl. Pandanaran, Jl. Gadjah Mada, Jl. Pemuda. Sebaran titik seperti pada Gambar 1 di bawah ini. Jarak antara titik satu dengan yang lain diperkirakan ± 10 meter.



Gambar 1. Sebaran titik gaya berat di lokasi penelitian.

Alat utama yang digunakan adalah Gravimeter type Scintrex Autograv CG-3 yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sebelum gravimeter digunakan untuk pengukuran, Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan pembacaan alat yang dilakukan pada titik yang sudah diketahui nilai Gaya beratnya.



Gambar 2. Gravimeter scintrex autograv CG-3.

B. Pengukuran gradien vertikal gaya berat mikro antar waktu

Pengukuran gradien vertikal gaya berat mikro antar waktu dilakukan pada titik yang sama pada pengukuran gaya berat mikro antar waktu dengan selang waktu yang sama pula. Prinsip pengukuran ini, pertama posisi gravimeter pada permukaan tanah, kedua gravimeter berada pada ketinggian 50 cm dari permukaan tanah seperti Gambar 3 di bawah ini. Teknik ini untuk mengetahui penambahan atau pengurangan masa fluida (air) di bawah permukaan.



Gambar 3. Posisi gravimeter pada survei gradien vertikal gaya berat mikro antar waktu.

Untuk pengukuran gaya berat dan gradien vertikal gaya berat mikro antar waktu menggunakan persamaan 1 (Supriyadi *et al.*, 2013) yang menunjukkan bahwa selisih nilai Gaya berat hasil pengukuran ($g_{obs_2} - g_{obs_1}$) disebabkan oleh perubahan rapat massa bawah permukaan yang berhubungan dengan perubahan

kedalaman muka air tanah, intrusi air laut dan perubahan elevasi titik amat (amblesan).

$$(g_{obs2} - g_{obs1}) + \left(G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z-\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]} d\alpha d\beta d\gamma \right) + (c_1 + c_2\rho)(h_2 - h_1)$$

C. Pengolahan data gaya berat

Mengingat lokasi penelitian berada dikawasan yang topografinya tidak rata tetapi berbukit, maka data hasil bacaan harus dikoreksi untuk meminimalkan pengaruh-pengaruh di lapangan yang dapat mempengaruhi proses selanjutnya. Koreksi yang dimaksud sebagai berikut:

1. Koreksi pasang surut (*Tide Correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk mengurangi efek pasang surut yang mempengaruhi besarnya nilai gaya berat dikur di lapangan. Pada penelitian ini koreksi pasang surut tidak dilakukan secara real tetapi diganti dengan menggunakan perangkat lunak Tide.

2. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi yang dilakukan untuk mengurangi efek kelelahan alat. Untuk keperluan ini perhitungan koreksi dengan menggunakan Persamaan berikut :

$$drift_n = \frac{t_n - t_1}{t_N - t_1} (g_N - g_1)$$

$$g_{lokal} = g_t - drift_n$$

dengan t_n = waktu pembacaan pada stasiun ke-n, t_1 = waktu pembacaan pada stasiun *base* (awal *looping*) t_N = waktu pembacaan pada stasiun *base* (akhir *looping*) g_1 = bacaan gravimeter terkoreksi tidal pada stasiun *base* (awal *looping*) g_N = bacaan gravimeter terkoreksi tidal pada stasiun *base* (akhir *looping*) g_{lokal} = gayaberat terkoreksi *drift* dan tidal

3. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan efek topografi atau efek ketinggian yang mempengaruhi nilai pembacaan nilai gayaberat tanpa memperhatikan efek dari massa batuan. Dengan kata lain koreksi udara bebas merupakan perbedaan gayaberat yang diukur pada *mean sea level* (geoid) dengan gayaberat yang diukur pada ketinggian h meter dengan tidak ada batuan diantaranya dan dinyatakan sebagai Persamaan sebagai berikut :

$$FAC = \partial g_f = \frac{\partial g_0}{\partial R} h = \frac{\partial \left(G \frac{M}{R^2} \right)}{\partial R} h = -\frac{2GM}{R^3} h = -0.3085 \cdot h$$

$$FAA = g_{obs} - g_{\varphi} + FAC$$

dengan FAA (*Free Air Correction*) $g_0 = 981785$ mGal dan $R=6371000$ meter

4. Koreksi Bouguer

Dari massa batuan yang berada di antara bidang datum (geoid) dan titik amat dengan asumsi memiliki jari-jari tak terhingga dengan tebal h (meter) dan densitas (gr/cm^3). Koreksi bouguer merupakan koreksi ketinggian yang memperhitungkan adanya efek Sehingga koreksi ini dapat ditulis sebagai Persamaan 4 sebagai berikut :

$$BC = 0,0419 \cdot \rho \cdot h \text{ mGal}$$

dimana: rapat massa rata-rata daerah penelitian (gr/cm^3), h = ketinggian titik amat (m)

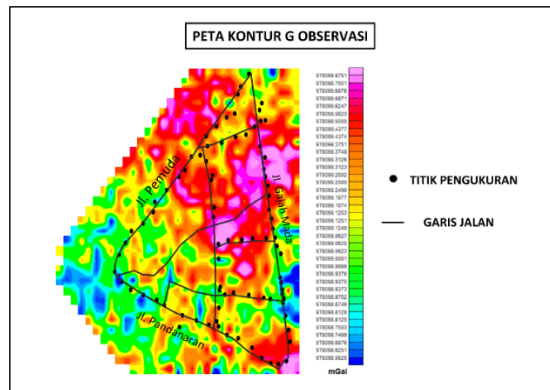
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang telah terukur dalam alat gravimeter dikoreksi awal pasang surut dan koreksi apungan. Langkah koreksi sebagaimana dinyatakan oleh Reza *et al.*, 2013. Gaya berat observasi merupakan nilai gaya berat berupa hasil pengukuran yang telah dikaitkan dengan nilai gaya berat absolut. Penelitian ini menggunakan titik base yang terletak di Jl. Puspanjolo Barat Raya No. 20, Cabean, Kecamatan Semarang Barat yang mempunyai nilai gaya berat 978098,542 mGal. Data hasil pengukuran gaya berat untuk perubahan muka air tanah di daerah PANDAMA (Pandanaran, Gajahmada dan Pemuda) terdiri dari 88 titik lokasi.

A. Data Gaya Berat Observasi

Pada penelitian ini menggunakan titik base yang terletak di Jl. Puspanjolo Barat Raya No. 20, Cabean, Kecamatan Semarang Barat yang mempunyai nilai gaya berat 978098,542 mGal. Data hasil pengukuran gaya berat untuk perubahan muka air tanah di daerah PANDAMA (Pandanaran, Gajahmada dan Pemuda) terdiri dari 88 titik lokasi. Dengan menggunakan perangkat lunak *Oasis Montaj 8.4* mendapatkan peta nilai gaya berat observasi di daerah Pandanaran, Gajahmada

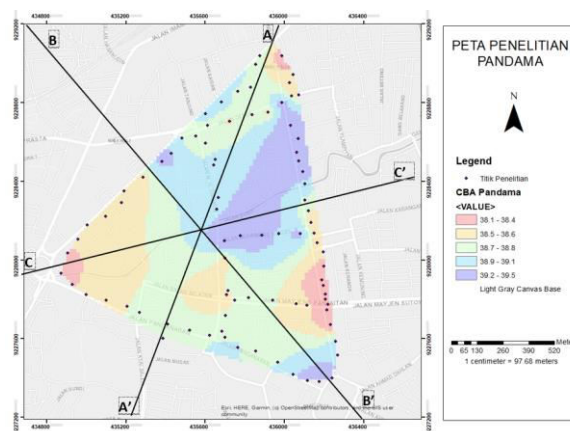
dan Pemuda. Data pengukuran gaya berat ada bulan Juni 2022 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta kontur gaya berat observasi Periode Juni 2022

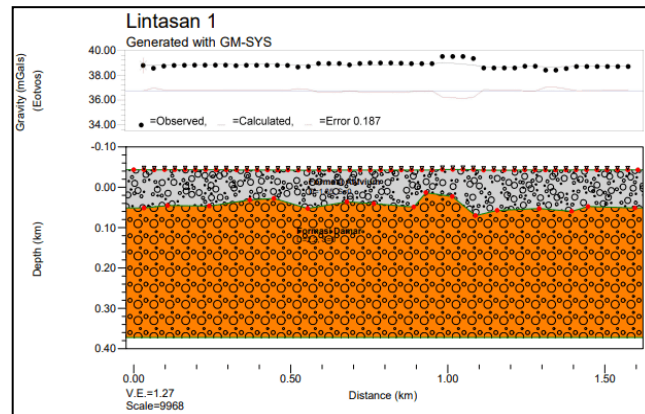
Pengukuran gaya berat observasi ini memiliki rentang nilai 978098,6 – 978099,9 mGal, untuk jalan Gajah Mada memiliki rentang nilai gaya berat yaitu 9227411,69 – 9229128,21 mGal sedangkan jalan Pemuda memiliki rentang nilai gaya berat observasi yaitu antara 9227941,62 – 9229051,41 mGal dan pada jalan Pandanaran memiliki rentang nilai gaya berat observasi antara 9227396,33 – 9227876,39 mGal. Pada kontur hasil perhitungan gaya berat observasi terdapat adanya gaya berat observasi yang nilainya tinggi yang dominan terdapat pada jalan Gajah Mada dan jalan Pemuda yang berarah Timur – Timur Laut.

Berdasarkan data gaya berat obseravasi dibuat ini selanjutnya dibuat tiga lintasan untuk menyatakan penampang daerah penelitian sesuai dengan keperluan mendiskripsikan bawah permukaan dengan lintasan A - A', B - B' dan C-C' Pada Gambar 5.



Gambar 5. Lintasan penampang daerah penelitian

Selanjutnya data gaya berat pada tiap penampang digunakan untuk menghitung densitas dengan menggunakan Parasnis. Nilai densitas yang didapatkan berbanding lurus dengan anomali gravitasi, artinya semakin besar rapat massa atau densitas suatu batuan di suatu permukaan maka nilai gravitasinya yang terukur juga semakin besar. Densitas batuan merupakan massa per satuan volume (Gambar 6, 7, dan 8).

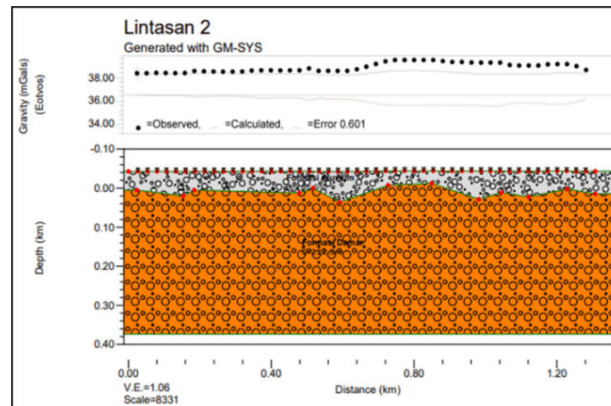


Keterangan:		Hasil Error		Formasi Aluvium
		Hasil Pengukuran		Formasi Damar
		Hasil Perhitungan		

Gambar 6. Penampang melintang lintasan A – A' berdasarkan data gaya berat periode Juni 2022

Densitas dapat dianggap pula sebagai parameter yang dapat menunjukkan keadaan fisika. Anomali gravitasi terjadi karena adanya perbedaan densitas pada batuan. Hasil penampang yang diperoleh seperti Gambar 6. Pemodelan yang dilakukan pada lintasan *Line 1* (A – A'), diperoleh 2 lapisan. Lapisan pertama merupakan Formasi Aluvium merupakan formasi termuda dari lokasi penelitian. Formasi Aluvium merupakan endapan aluvial pantai, sungai dan danau. Endapan pantai litologinya terdiri dari lempung, lanau dan pasir dengan rentang densitas yaitu 1,63-2,30 gr/cm³. Pada formasi ini berumur Holosen dan memiliki total ketebalan 50 meter. Lapisan bawah yaitu Formasi Damar. Formasi Damar Formasi Damar terdiri dari batu pasir tufaan, konglomerat dan breksivolkanik. Batu pasir tufaan berwarna kuning kecoklatan berbutir halus. Formasi Damar

memiliki rentang densitas 1,70-2,30 gr/cm³. *Error* yang diperoleh pada lintasan ini yaitu 0,187.



Keterangan:

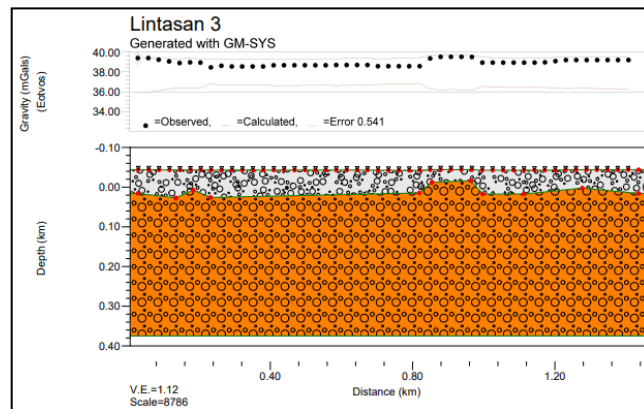
— (orange)	Hasil Error		Formasi Aluvium
— (solid)	Hasil Pengukuran		Formasi Damar
- - -	Hasil Perhitungan		

Gambar 7. Penampang melintang lintasan B – B' berdasarkan data gaya berat periode Juni 2022

Pemodelan yang dilakukan pada lintasan *Line 2* (B – B'), di tunjukan pada Gambar 7 diatas diperoleh 2 lapisan. Formasi Aluvium merupakan endapan aluvial pantai, sungai dan danau serta formasi ini merupakan formasi termuda dari lokasi penelitian. Endapan pantai formasi aluvium litologinya terdiri dari lempung, lanau dan pasir dengan rentang densitas yaitu 1,63-2,30 gr/cm³. Pada formasi ini berumur Holosen dan memiliki total ketebalan 50 meter. Lapisan kedua yaitu Formasi Damar yang terdiri dari batu pasir tufaan, konglomerat dan breksivulkanik. Batu pasir tufaan bewarna kuning keclokatan berbutir halus. Formasi Damar memiliki rentang densitas 1,70-2,30 gr/cm³. *Error* yang diperoleh pada lintasan ini yaitu 0,601, *error* pada lintasan ini adalah yang terbesar dibandingkan lintasan lainnya.

Pemodelan yang dilakukan pada lintasan *Line 3* (C – C'), di tunjukan pada Gambar 8 diatas diperoleh 2 lapisan. Lapisan pertama merupakan Formasi Aluvium merupakan formasi termuda dari lokasi penelitian. Formasi Aluvium merupakan endapan aluvial pantai, sungai dan danau, serta formasi ini berumur

Holosen dan memiliki total ketebalan 50 meter. Endapan pantai pada formasi aluvium litologinya terdiri dari lempung, lanau dan pasir dengan rentang densitas yaitu 1,63-2,30 gr/cm³. Lapisan bawah atau lapisan kedua yaitu Formasi Damar. Formasi Damar terdiri dari batu pasir tufaan, konglomerat dan breksivulkanik. Batu pasir tufaan berwarna kuning kecoklatan berbutir halus. Formasi Damar memiliki rentang densitas 1,70-2,30 gr/cm³. *Error* yang diperoleh pada lintasan ini yaitu 0,541.



Keterangan:

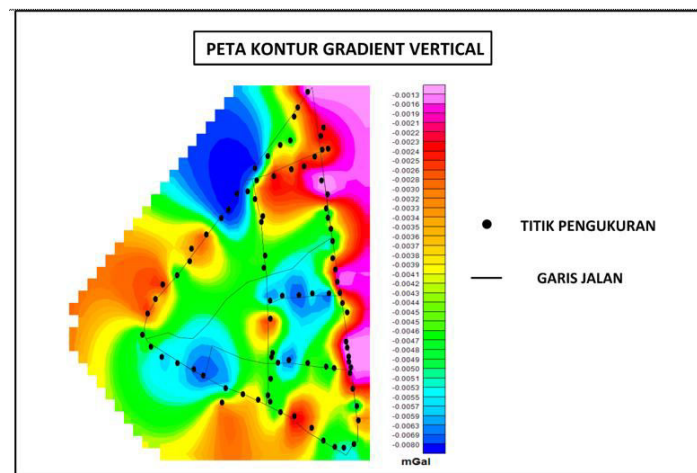
—	Hasil Error		Formasi Aluvium
—	Hasil Pengukuran		Formasi Damar
- - -	Hasil Perhitungan		

Gambar 8. Penampang melintang lintasan C – C' berdasarkan data gaya berat periode Juni 2022

B. Data Gradien Vertikal Gaya berat

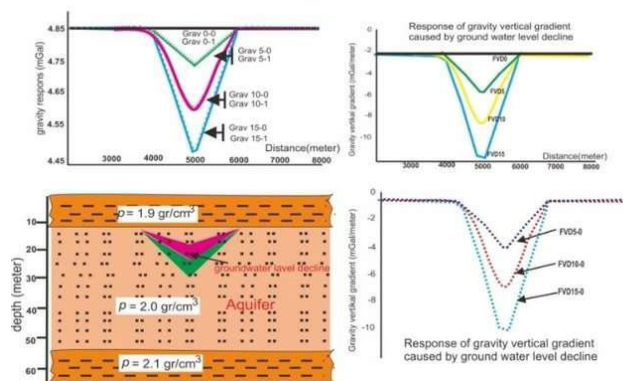
Nilai gaya berat gradien vertikal dan anomali gaya berat dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya perubahan muka air tanah, baik adanya penambahan maupun pengurangan air tanah dibawah permukaan. Penurunan muka air tanah akan memberikan respon gradien vertikal gaya berat antar waktu bernilai negatif (-) dan kenaikan muka air tanah akan memberikan respon gradien vertikal gaya berat antar waktu bernilai (+). Nilai anomali gaya berat gradien vertikal pada periode Juni 2022 yang ditunjukkan pada Gambar 9 bahwa nilai anomali gaya berat gradien vertikal sebesar -0.0000 sampai -0.0090 mGal/cm. Pada Jl.

Gajahmada mengalami nilai anomali gaya berat gradien vertikal sebesar 0.0000 sampai -0.0020 mGal/cm. Sedangkan Jl. Pandanaran mengalami nilai anomali gaya berat gradien vertikal sebesar -0.0030 sampai -0.0060 mGal/cm. Pada Jl. Pemuda mengalami nilai anomali gaya berat gradien vertikal sebesar -0.0070 sampai -0.0090 mGal/cm. Pada anomali gaya berat gradien vertikal periode Juni menunjukkan daerah Pandanaran, Gajahmada dan Pemuda mengalami pengurangan massa bawah permukaan atau pengurangan air tanah.

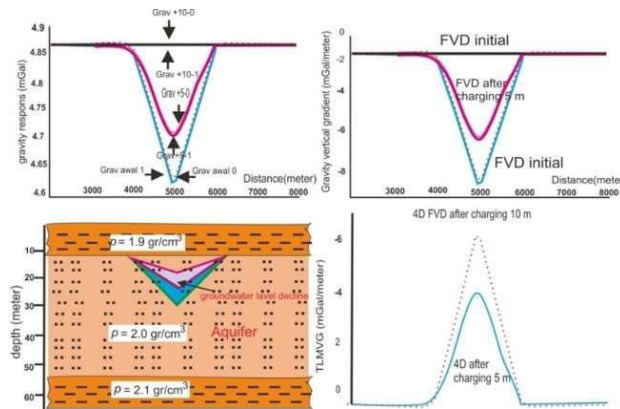


Gambar 9. Peta kontur gradient vertikal gaya berat

Berdasarkan pemodelan perubahan gradien bertival gaya berat dengan perubahan kedalaman muka air tanah seperti pada Gambar 10 a dan Gambar 10 b. Perubahan bernilai (+) akan mengakibatkan penurunan muka air tanah dan sebaliknya.



Gambar 10a. Perubahan gradien vertikal gaya berat akibat penurunan muka air tanah



Gambar 10b. Perubahan gradien vertikal gaya berat akibat kenaikan muka air tanah

Penurunan muka air tanah ini disebabkan adanya pengambilan air tanah oleh warga setempat dan amblesan. Penurunan muka air tanah disebabkan oleh adanya pengambilan air tanah (Yuliyanti *et al.*, 2012). Daerah Kota Semarang telah mengalami amblesan tanah yang intensif pada setiap tahunnya dengan laju amblesan tanah yang bervariasi secara spasial berkisar antara -0,8 sampai -13,5 cm/tahun dengan arah laju semakin membesar ke arah utara (Huddin *et al.*, 2017). Akibat dari amblesan di wilayah pemukiman menjadi rendah, karena sebagian besar lokasi pemukiman berada di daerah pantai, saat sedang terjadi pasang air laut melimpah ke daratan yang melalui sebagian sungai dan saluran drainase lalu menggenangi pada permukiman (Minardi *et al.*, 2014).

Metode vertikal gradient gaya berat biasanya digunakan untuk menentukan batas antara dua buah benda anomali dengan perubahan rapat massa berbeda yang diperoleh dalam anomaly gaya berat antar waktu, seperti menentukan penurunan dan penambahan muka air tanah serta amblesan tanah. Setiap stasiun pengukuran diamati sebanyak dua kali untuk mendapatkan nilai gradien gaya berat. Pengukuran pertama dilakukan dengan menempatkan alat di atas permukaan tanah dan pengukuran kedua dilakukan dengan menempatkan alat pada ketinggian tertentu dari permukaan tanah (Kadir *et al.*, 2010).

Nilai anomali gaya berat gradien vertikal pada periode Juni 2022 yang ditunjukkan pada Gambar 9 bahwa nilai anomali gaya berat gradien vertikal memiliki rentang antara -0,0080 sd -0,0013 mGal/cm. Pada anomali gaya berat gradien vertikal periode Juli menunjukkan daerah Pandanaran, Gajahmada dan

Pemuda mengalami pengurangan massa bawah permukaan atau pengurangan air tanah. Penurunan muka air tanah ini disebabkan adanya pengambilan air tanah oleh warga setempat dan amblesan. Penurunan muka air tanah disebabkan oleh adanya pengambilan air tanah (Yan *et al.*, 2018). Daerah Kota Semarang telah mengalami amblesan tanah yang intensif pada setiap tahunnya dengan laju amblesan tanah yang bervariasi secara spasial berkisar antara -0,8 sampai -13,5 cm/tahun dengan arah laju semakin membesar ke arah utara (Putranto dan Rude, 2011). Akibat dari amblesan di wilayah pemukiman menjadi rendah, karena sebagian besar lokasi pemukiman berada di daerah pantai, saat sedang terjadi pasang air laut melimpah ke daratan yang melalui sebagian sungai dan saluran drainase lalu menggenang pada permukiman (Abidin *et al.*, 2011).

SIMPULAN

Secara umum pada ketiga lintasan (Jl. Pandanaran, Jl. Gajah Mada, dan Jl. Pemuda) secara kuantitatif diperoleh dua kemungkinan nilai gaya berat, yaitu positif dan nol. Pemodelan lapisan bawah permukaan dengan menggunakan data gaya berat diperoleh bagian atas berupa formasi alluvium dan lapisan berikutnya formasi damar. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu menggunakan pendekatan lain, seperti geoteknik (Sarah *et al.*, 2012), sipat datar-leveling (Supriyadi *et al.*, 2020; Supriyadi *et al.*, 2021; Ma'ruf *et al.*, 2021), GPS dan InSAR (Chaussard *et al.*, 2013; Wibowo *et al.*, 2018).

Nilai gradien vertikal gaya berat mempunyai beberapa kemungkinan, yaitu perubahan bernilai (-) berkaitan dengan penurunan muka air tanah, perubahan bernilai (+) berkaitan dengan kenaikan muka air tanah, dan bernilai (0) tidak terjadi penurunan atau kenaikan muka air tanah.

UCAPAN PENGHARGAAN

Ucapan Terima kasih, kami sampaikan kepada Rektor UNNES dan Ketua LPPM atas dukungannya pada penelitian ini dengan melalui Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Dasar (Universitas) Dana DIPA UNNES Tahun 2022 Nomor: 83.8.4/UN37/PPK.3.1/2022. BMKG Jakarta atas bantuannya untuk menggunakan alat gravimeter dengan status sewa untuk keperluan pengukuran gaya berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T. P., & Fukuda, Y. (2012). Land subsidence in coastal city of Semarang (Indonesia): Characteristics, impacts and causes. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1–15, <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2012.692336>.
- Chaussard, E., Amelung, F., Hasanudin Abidin b., Sang-Hoon Hong, 2013, Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction, *Remote Sensing of Environment* 128, pp.150–161.
- Hanief, Farisul dan Dewi, Paulla S. (2014). Pengaruh Urban Sprawl Terhadap Perubahan Bentuk Kota Semarang Ditinjau Dari Perubahan Kondisi Fisik Kelurahan Fisik Kecamatan Tembalang. *JURNAL RUANG*, Vol.2.1, pp.1858-3881.
- Huddin, M. B. S., Pratikso, & Soedarsono. (2017). Pengaruh Amblesan Tanah (Land Subsidence) Terhadap Perubahan Luas Genangan Air Pada Dataran Alluvial Kota Semarang (Studi Kasus: Kecamatan Semarang Barat). *Prosiding SNST Ke-8*, 12–16.
- Kadir WGA, D Santoso, M Sarkowi (2010). Microgravity Measurement for Subsurface Mass Change and Vertical Ground Movement (Subsidence) Identification, Case Study: Semarang alluvial plain, central Java, 2Indonesia. Proceedings of the 7th SEGJ International Symposium, Sendai – Japan 24 – 26 November 2004, 421-426.
- Pratiwo (2010). *Arsitektur Tradisionil Tionghoa dan Perkembangan Kota*. Penerbit Ombak, Yogyakarta.
- Putranto, T. T., & Rude, T. R. (2011). Groundwater Problem in Semarang Demak Urban Area. *Java Indonesia, RWTH Aachen University, Institute of Hydrogeology, Germany*.
- Ma'ruf B., Aminullah A., Herusiswoyo M.A (2021). Analisis Uji Beban Jembatan Menggunakan Metode Levelling, Prosiding FIT ISI Vol 1, hal. 22-30. ISSN 2809-1833.
- Minardi, S., Dahrin, D., 2014. Analisa Penurunan Airtanah dan Amblesan Tanah dengan Metode Gayaberat Mikro dan Gradien Vertikal Antar Waktu: Studi Kasus di Jakarta. *J. ILMU DASAR* 15, 7–14.
- Reza, M.K., Kahar, I.S., Si, M., Sabri, L.M., 2013. *Jurnal Geodesi*, Agustus 2013 2, 16.

- Sarah, D., Soebowo, E., Syahbana, A.J., Murdohardono, D., Setiawan, T., Mulyono, A., dan Satriyo, N.A. (2012). Perhitungan Penurunan Tanah Lintasan Bandarharjo-Poncol, Kota Semarang Berdasarkan Pemodelan 2 Dimensi, Prosiding Pemaparan Geoteknologi LIPI 2012, Bandung.
- Soetomo, Sugiono (2013). Urbanisasi dan Morfologi Proses Perkembangan Peradaban dan Wadah Ruangnya. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Supriyadi, Khumaedi, Sugiyanto, Setiawan F., Yani M., Teguh (2020). Analysis of Time Lapse Microgravity Anomaly Data CaseStudy in Kota Lama Tourism Area Semarang Indonesia, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 846 (2020) 012062, doi:10.1088/1757-899X/846/1/012062. ISBN: 978-979-8636-19-6, hal 199 - 21.
- Supriyadi, Wijanarko E., Khumaedi (2021). Subsurface modelling of Kei Kecil Island with 3D gravity inversion, Journal of Physics: Conference Series 1918 (2021) 022033, ICMSE 2020, doi:10.1088/1742-6596/1918/2/022033.
- Wibowo S.N.E., Mamuaya G.E., Djamaluddin R. (2018). Land Subsidence Analysis of Reclaimed Land using Time-Lapse Microgravity Anomaly in Manado, Indonesia, Forum Geografi, Vol 32 (1), pp. 53-63. DOI:10.23917/Forgeo.v31/2.5882/ISSN: 0852-0682, EISSN: 2460-3945.
- Yan S.F., Yu S., Wu Y.B., Pan D.F., Dong J.G (2018). Understanding groundwater table using a statistical model, *Water Science and Engineering*, 11(1): 1-7.
- Yuliyanti, A, Sarah D, dan Soebowo E, (2012). Pengaruh Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Amblesan Tanah Bawah Permukaan daerah Semarang, *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, Vol.21 No.1, 2012, hal 7 - 18, ISSN 0125-9849.