

ANALISIS HIDROGEOLOGI DAN GERAKAN MASSA TANAH BERDASARKAN METODE GAYABERAT SEBAGAI EVALUASI PENATAAN RUANG KALIWI, BANDAR LAMPUNG

HYDROGEOLOGY AND SOIL MASS MOVEMENT ANALYSIS BASED ON GRAVITY METHOD AS A SPATIAL EVALUATION IN KALIWI, BANDAR LAMPUNG

Rizka^{1*}, Lea Kristi Agustina², Hot Mazmuloh², Andreas Pujian Sihombing¹, Muhammad Iqbal Naufaldi¹, Arvico Putraloka¹, Ervan Prasetyo¹, Indri Safitri¹, Ahmad Rowatul Irham¹, Oktavian Teguh Bagaskara¹

¹Program Studi Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera

²Program Studi Teknik Geomatika Institut Teknologi Sumatera

*Email: rizka@tg.itera.ac.id

ABSTRAK

Informasi model bawah permukaan dapat digunakan untuk penataan ruang dengan memahami aspek geologi dan potensi bencananya. Metode gayaberat dapat dijadikan solusi untuk mendapatkan model bawah permukaan di daerah Kaliwi yang terletak di pusat kegiatan perekonomian Kota Bandar Lampung. Pengukuran gayaberat telah dilakukan sebanyak 24 titik di Kaliwi. Berdasarkan hasil pengolahan data gayaberat diperoleh peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dan peta anomali regional, Kaliwi yang memiliki pola penurunan dari Tenggara ke arah Barat Laut. Nilai anomali rendah mayoritas berada di daerah Barat dan ditafsirkan merupakan batuan sedimen sedangkan anomali tinggi mayoritas berada di daerah Timur dan diduga merepresentasikan cerminan konfigurasi batuan dasar yang memiliki litologi basalt-andesit. Berdasarkan pemodelan ke depan gayaberat diperoleh nilai densitas sedimen 2.3 gr/cc dan batuan dasar (basalt-andesit) dengan nilai densitas 2.8 gr/cc. Nilai anomali gayaberat yang rendah berpotensi menjadi akuifer. Nilai anomali gayaberat yang rendah juga merupakan zona lemah dan rawan terjadi gerakan massa tanah. Sehingga untuk penataan ruang Kaliwi, daerah Barat direkomendasikan sebagai zona konservasi dan sedikit permukiman sedangkan daerah Timur dapat digunakan menjadi area permukiman penduduk.

Kata Kunci: Gayaberat, perkotaan, Kaliwi

ABSTRACT

Information on subsurface models can be used for spatial planning by understanding geological aspects and potential disasters. The gravity method can be used as a solution to obtain subsurface models in the Kaliwi area, which is located in the center of economic activity in the city of Bandar Lampung. Gravity measurements have been carried out at 24 points in Kaliwi. Based on the results of gravity data processing, a Complete Bouguer Anomaly (CBA) map and a regional anomaly map, Kaliwi has a pattern of decline from Southeast to Northwest. The majority of low anomaly values are in the West area and are interpreted as sedimentary rocks, while the majority of high anomalies are in the East and are thought to represent a reflection of the bedrock configuration which has basalt-andesite lithology. Based on the forward gravity modeling, the sediment density value is 2.3 gr/cc and bedrock (basalt-andesite) with a density value of 2.8 gr/cc. Low gravity anomaly value has the potential to become aquifer. The low gravity anomaly value is also a weak zone and prone to soil mass movement. So that for Kaliwi spatial planning, the West area is recommended as a conservation zone and a few settlements, while the East area can be used as a residential area for residents.

Keywords: Gravity, urban, Kaliwi

PENDAHULUAN

Kelurahan Kaliwi terletak di Kecamatan Tanjung Karang Pusat, Kota Bandar Lampung dan berada di pusat kegiatan perekonomian

Kota Bandar Lampung. Kelurahan Kaliwi berbatasan sebelah Utara dengan Kelurahan Kelapa Tiga, sebelah Selatan berbatasan dengan Kelurahan Durian Payung, sebelah

Timur berbatasan dengan Kelurahan Kaliawi Persada dan sebelah Barat berbatasan dengan Tanjung Karang Timur. Berdasarkan posisinya tersebut, Kelurahan Kaliawi juga memiliki banyak permasalahan, diantaranya Kaliawi merupakan kawasan padat dan kumuh yang perlu mendapat perhatian dalam penataannya agar menjadi sehat dan nyaman bagi lingkungan permukiman yang layak dan sehat, Kaliawi yang dialiri oleh sungai Way Awi merupakan daerah yang rawan banjir. Selain itu, Kaliawi memiliki permasalahan ketersediaan air bersih yang terbatas dan merupakan daerah rawan longsor. Adapun kejadian longsor terakhir yang menimbulkan korban terjadi pada tanggal 23 Juni 2018.

Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukannya pemetaan bawah permukaan di Kelurahan Kaliawi dengan menggunakan metode geofisika yang diintegrasikan dengan informasi geologi dan topografi. Metode geofisika dapat memenuhi permintaan teknologi untuk mencitrakan bawah permukaan dengan integrasi yang kuat untuk eksplorasi bawah permukaan di lingkungan perkotaan. Metode geofisika juga mampu merekonstruksi geometri sesar, mendeteksi keberadaan air tanah atau menggambarkan permukaan di lingkungan geologi. Penerapan metode geofisika perkotaan memiliki tantangan ilmiah dan teknologi ilmiah yang baru bagi ahli geofisika karena terdapat kompleksitas geologis dan logistik serta kesulitan intrinsik untuk melakukan survei langsung dan pengeboran invasif (Lapenna, 2017).

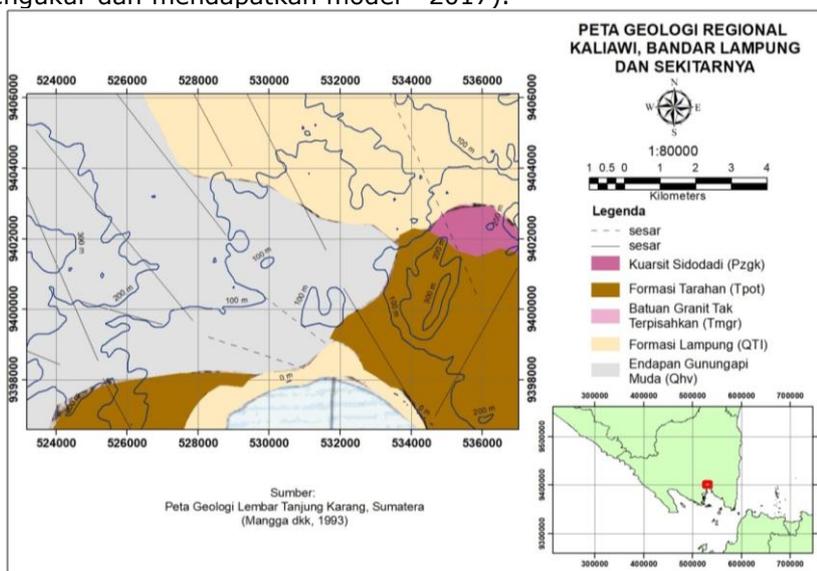
Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang dapat diterapkan di daerah perkotaan. Metode gayaberat merupakan metode pasif karena sumber yang digunakan langsung dari alam. Metode gayaberat mengukur dan mendapatkan model

bawah permukaan berdasarkan sifat fisik densitas batuan di dekat permukaan yang menyebabkan perubahan kecil pada medan gravitasi. Metode gayaberat dapat digunakan di daerah perkotaan untuk mengidentifikasi penurunan muka air tanah dan mendapatkan informasi yang berhubungan dengan infrastruktur fisik yang diperlukan dalam pengembangan tata kota. Beberapa penelitian sebelumnya mengenai metode gayaberat di daerah perkotaan adalah (Sudrajat dkk., 2014), (Yu, 2014), (Araffa dkk., 2015), (Gao dkk., 2015), (Dilalos dkk., 2018), (Rizka dkk., 2020).

Berdasarkan pengetahuan *state of the arts* dan belum pernah adanya penelitian metode gayaberat dalam studi dan karakteristik lingkungan perkotaan di Kaliawi, maka penulis melakukan penelitian metode gayaberat di Kelurahan Kaliawi. Adapun hasil dari pengukuran gayaberat digunakan untuk memetakan tata ruang Kaliawi yang berbasis kebumian dengan mengidentifikasi daerah yang rawan mengalami gerakan massa tanah dan menganalisis hidrogeologi di Kelurahan Kaliawi.

TINJAUAN GEOLOGI

Berdasarkan peta geologi regional (Mangga dkk., 1993) (Gambar 1), Kaliawi berada pada Formasi Endapan Gunungapi Muda (Qhv) yang didominasi oleh satuan batuan yaitu batuan gunungapi. Batuan gunungapi tersebut terdiri dari lava (andesit-basalt), breksi dan tuf. Formasi Endapan Gunungapi Muda ini berumur Kuartar (Holosen), sehingga dapat dikatakan bahwa daerah Kaliawi dikategorikan batuan yang berumur muda. Sedangkan kondisi hidrogeologi daerah penelitian, Kaliawi berada pada Cekungan Air Tanah (CAT) Bandar Lampung (Pamsimas, 2017).



Gambar 1. Geologi regional daerah penelitian (modifikasi Mangga dkk (1993))

METODE PENELITIAN

Metode Gayaberat

Metode gayaberat merupakan metode geofisika yang memanfaatkan medan gravitasi bumi untuk menggambarkan batuan bawah permukaan berdasarkan variasi densitas. Pengukuran gayaberat di lapangan memiliki nilai-nilai yang tidak hanya berasal dari refleksi bawah permukaan. Oleh karena itu, dalam pengolahan datanya diperlukan suatu proses reduksi berupa koreksi-koreksi terhadap nilai gayaberat hasil pengukuran lapangan untuk mendapatkan refleksi bawah permukaannya. Koreksi-koreksi tersebut terdiri dari koreksi pasang-surut (*tide correction*), koreksi apungan (*drift correction*), koreksi spheroid referensi dan geoid, koreksi udara bebas (*free air correction*), koreksi Bouguer (*Bouguer correction*) dan koreksi medan (*terrain correction*).

Setelah direduksi, akan dihasilkan peta anomali gayaberat Bouguer (*Complete Bouguer Anomaly* (CBA)). Pada dasarnya CBA merupakan selisih antara nilai gayaberat pengukuran yang telah direduksi ke bidang referensi pengukuran dengan nilai gayaberat teoritis pada bidang referensi perhitungan di suatu titik. Secara matematis, CBA dihitung dengan menggunakan persamaan (Telford dkk, 1990).

$$CBA = Gobs - G(\varphi) + FAC - BC + TC \quad (1)$$

Keterangan:

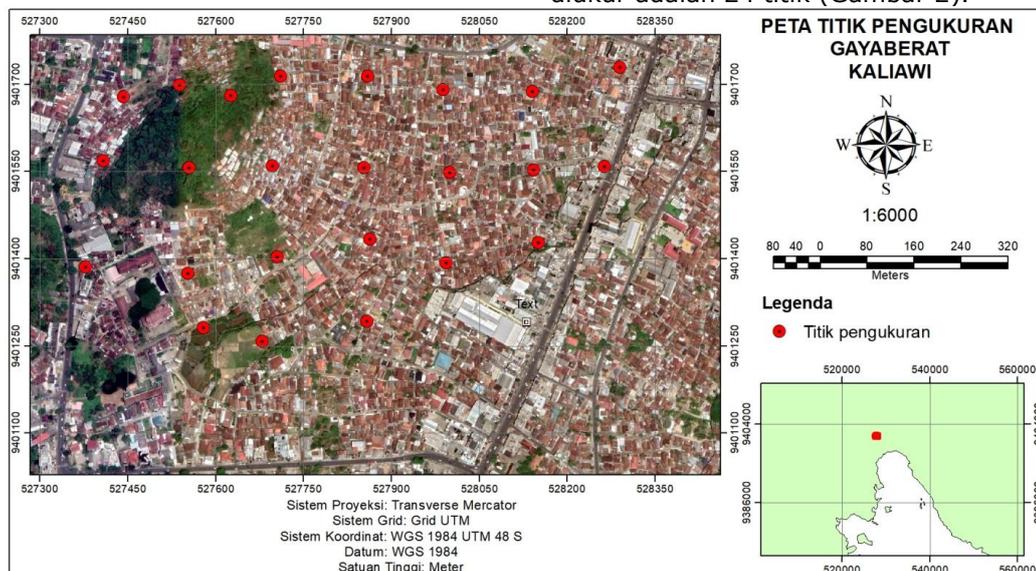
CBA: anomali Bouguer lengkap (*Complete Bouguer Anomaly* (CBA)) (satuan mGal),
gobs: nilai *g* observasi (satuan mGal),
 FAC: koreksi udara bebas (satuan mGal),
 BC: koreksi Bouguer (satuan mGal),
 TC: koreksi medan (terrain) (satuan mGal),
 g_{φ} : koreksi spheroid dan geoid ($g_{lintang}$) (satuan mGal).

Peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA)) selanjutnya dilakukan proses pemisahan anomali regional dan residual untuk memisahkan target *event* yang diinginkan. Proses pemisahan anomali regional dan residual yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Radially Averaged Power Spectrum* (RAPS) dengan *filter Butterworth*. Setelah dilakukan proses pemisahan anomali regional dan residual, penulis membuat pemodelan ke depan gayaberat untuk mendapatkan rekonstruksi bawah permukaan.

Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer merupakan data yang diukur di lapangan berupa data gayaberat dengan menggunakan alat Scintrex CG5, data koordinat dan topografi dengan menggunakan alat GPS *Geodetic*. Sedangkan data sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah data geologi regional (Mangga dkk., 1993) yang digunakan untuk mendapatkan informasi geologi daerah penelitian, data hidrogeologi (Pamsimas, 2017) yang digunakan untuk mengetahui Cekungan Air Tanah (CAT) daerah penelitian, data *Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission* (DEM SRTM) yang digunakan untuk mendapatkan informasi topografi saat perhitungan koreksi medan (*terrain correction*) dan mendapatkan informasi dari parameter pengaruh kerentanan gerakan massa tanah.

Pengambilan data primer dilakukan dengan menggunakan data gayaberat dan GPS *Geodetic* dengan luas area pengukuran 600 m x 1050 m. Adapun spasi pengukuran gayaberat dan GPS *Geodetic* yang digunakan adalah setiap 150 m. Jumlah titik yang akan diukur adalah 24 titik (Gambar 2).



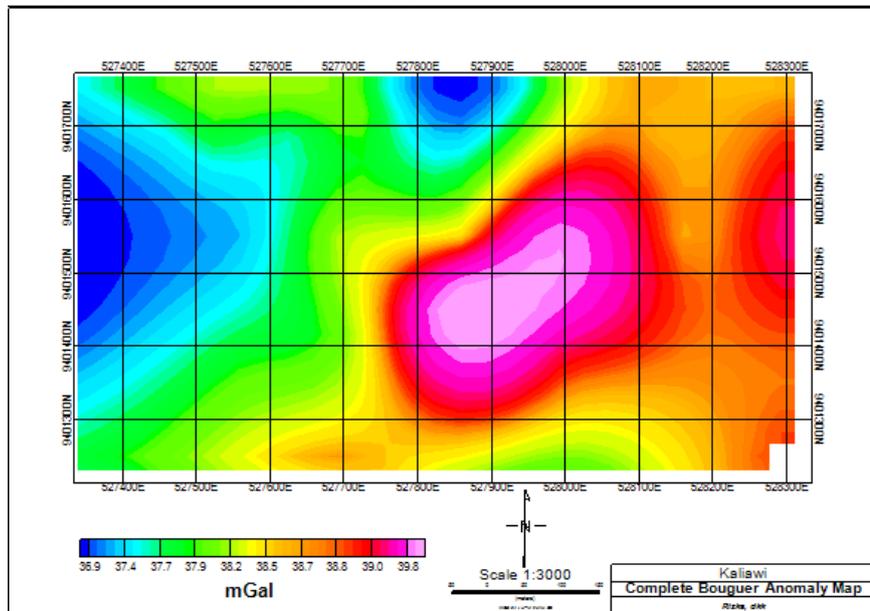
Gambar 2. Peta titik pengukuran gayaberat dan GPS

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Gayaberat

Peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) (Gambar 3) Kaliawi memiliki pola penurunan dari Tenggara ke arah Barat Laut dengan nilai maksimum 39.8 mGal pada bagian tengah dan nilai minimum 36.9 mGal pada bagian Barat. *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) daerah penelitian memiliki nilai rendah

ditafsirkan merupakan litologi sedimen dan memiliki nilai densitas rendah yangmana hal ini berkorelasi dengan ditemukannya batuan sedimen di lapangan. Sedangkan anomali tinggi diduga merepresentasikan cerminan konfigurasi batuan dasar yang memiliki litologi basalt-andesit. Hal ini sesuai dengan informasi geologi regional pada Gambar 1.



Gambar 3. Peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA)

Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan dengan menerapkan metode *Radially Averaged Power Spectrum* dengan *filter Butterworth*. Berdasarkan metode tersebut dapat ditentukan nilai *cut-off* yang diperoleh dari bilangan gelombang. Nilai *cut-off* ini digunakan untuk mengestimasi kedalaman pada setiap zona anomali. Estimasi kedalaman pada zona anomali regional dan residual diperoleh dengan menggunakan persamaan (Geosoft, 2015):

$$h = -\frac{slope}{4\pi} \quad (2)$$

sedangkan untuk mengestimasi *slope* diperoleh dengan persamaan:

$$slope = \frac{\Delta \ln P}{\Delta k} \quad (3)$$

Adapun hasil estimasi kedalaman regional dan residual daerah penelitian berdasarkan

Radially Averaged Power Spectrum (Gambar 4) adalah sebagai berikut:

Regional

$$slope = \frac{\Delta \ln P}{\Delta k} = \frac{3.665 - (-6.814)}{9.126 - 0.0} = \frac{10.479}{9.126} = 1.15$$

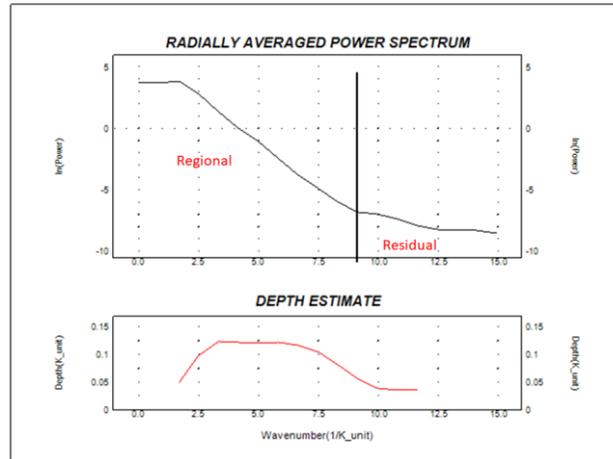
$$h = -\frac{slope}{4\pi} = -\frac{1.15}{4 \times 3.14} = -\frac{1.15}{12.56} = -0.091 \text{ km} = -91 \text{ m}$$

Residual

$$slope = \frac{\Delta \ln P}{\Delta k} = \frac{-6.814 - (-8.477)}{14.934 - 9.126} = \frac{1.633}{5.808} = 0.28$$

$$h = -\frac{slope}{4\pi} = -\frac{0.28}{4 \times 3.14} = -\frac{0.28}{12.56} = -0.022 \text{ km} = -22 \text{ m}$$

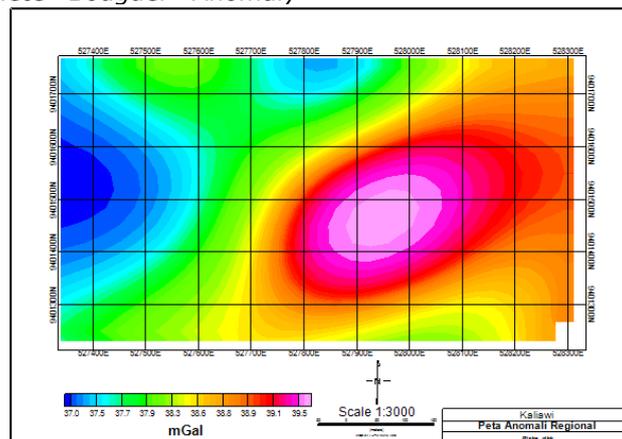
Jadi, nilai kedalaman regional daerah penelitian sekitar -91 meter sedangkan kedalaman residual sekitar -22 meter. Tanda negatif menunjukkan kedalaman di bawah permukaan.



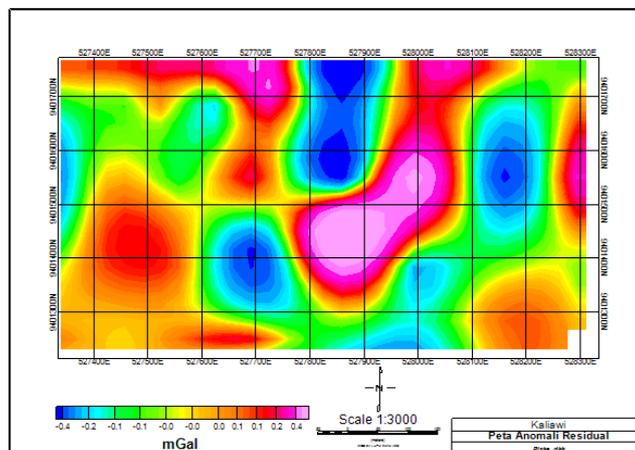
Gambar 4. Radially Averaged Power Spectrum

Setelah melakukan proses *Radially Averaged Power Spectrum* diperoleh peta anomali regional dan residual Kaliawi. Peta anomali regional (Gambar 5) menunjukkan hasil yang lebih *smooth* daripada peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA). Nilai anomali regional yang diperoleh berkisar antara 37 – 39.5 mGal dengan pola penurunan dari Tenggara ke arah Barat Laut yang mirip dengan peta *Complete Bouguer Anomaly*

(CBA). Sedangkan peta anomali residual (Gambar 6) memiliki nilai anomali -0.4 – 0.5 mGal. Peta anomali residual memiliki nilai yang lebih rendah karena peta anomali residual merupakan selisih dari peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dengan peta nilai anomali regional. Peta anomali residual ini merepresentasikan anomali batuan yang lebih dekat dengan permukaan.



Gambar 5. Peta anomali regional



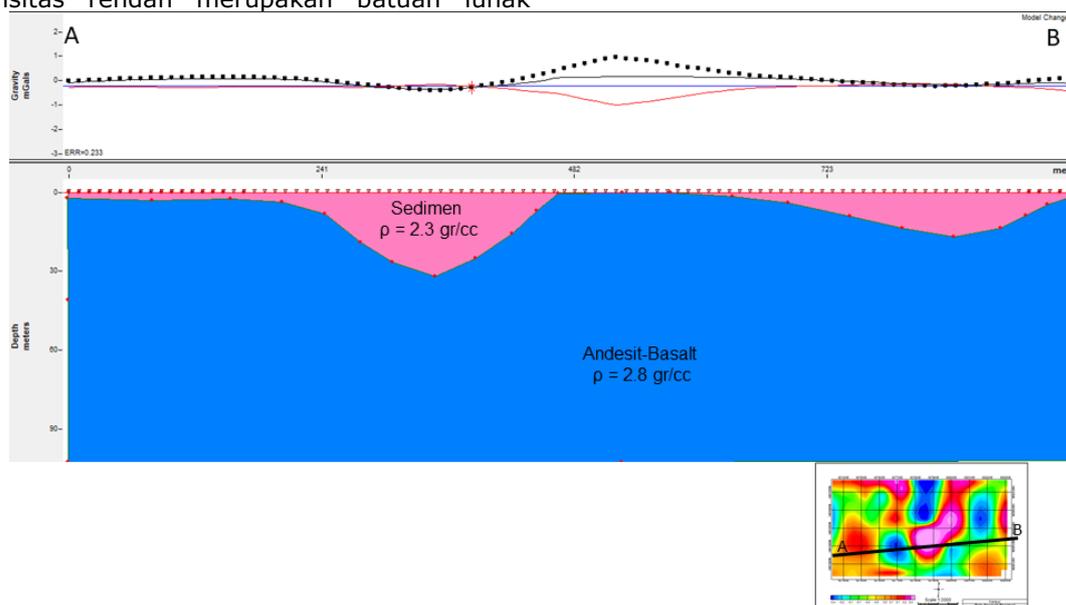
Gambar 6. Peta anomali residual

Analisis Hidrogeologi

Pemodelan ke depan gayaberat diperoleh dengan membuat sayatan pada peta anomali residual (Gambar 7). Pemodelan ke depan gayaberat merupakan model bawah permukaan daerah penelitian. Berdasarkan pemodelan ke depan diperoleh susunan peralipasan batuan yang terdiri dari batuan sedimen dengan nilai densitas 2.3 gr/cc dan batuan dasar (andesit-basalt) dengan nilai densitas 2.8 gr/cc. Ketebalan sedimen maksimal sekitar 32 m.

Batuan sedimen yang mempunyai nilai densitas rendah merupakan batuan lunak

berpori yang belum terkompaksi dan berpotensi sebagai akuifer. Batuan yang mempunyai nilai densitas tinggi merupakan batuan kedap air (akuitar). Hal ini juga berkorelasi dengan peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) yang memiliki kontur anomali negatif yang membentuk cekungan dan diduga merupakan batuan pembawa air (akuifer) dan tempat terakumulasinya air tanah. Namun, peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) yang memiliki kontur positif merupakan batuan kedap air.



Gambar 7. Model bawah permukaan sepanjang profil A-B

Analisis Gerakan Massa Tanah

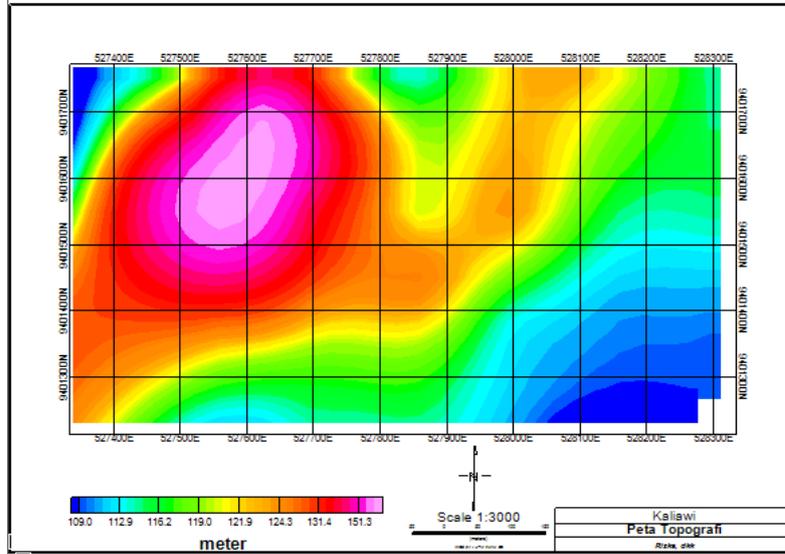
Analisis gerakan massa tanah yang berasosiasi dengan tanah longsor dilakukan berdasarkan data gayaberat, data topografi dari hasil GPS dan data *Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission* (DEM SRTM). Berdasarkan data gayaberat, daerah yang berpotensi mengalami pergerakan tanah adalah daerah yang memiliki nilai anomali gayaberat yang rendah, yaitu daerah Barat penelitian. Nilai anomali gayaberat rendah memiliki nilai densitas rendah berupa batuan sedimen yang diindikasikan merupakan zona lemah. Daerah yang terletak pada zona lemah merupakan daerah yang rawan terjadinya gerakan massa tanah. Hal ini berkorelasi dengan kondisi yang ditemukan di lapangan yang merupakan titik lokasi dari area yang pernah mengalami longsor di Kaliawi.

Data topografi dari hasil GPS, data *Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission* (DEM SRTM) dan data pengamatan di lapangan digunakan sebagai variabel *input* untuk menentukan parameter pengaruh kerentanan gerakan massa tanah

(Karnawati, 2005). Berdasarkan data tersebut dapat dianalisis faktor-faktor pengontrol gerakan massa tanah pada daerah Kaliawi. Kemiringan lereng agak curam dan bervariasi dari datar (daerah Timur) sampai sangat terjal (daerah Barat). Topografi daerah Barat adalah tinggi karena merupakan area perbukitan dengan ketinggian 130 – 152 m sedangkan daerah Timur memiliki topografi yang rendah dengan ketinggian 109 - 125 m (Gambar 8). Kondisi geologi tersusun atas batuan sedimen, andesit-basalt, dan tuf. Penggunaan lahan mayoritas merupakan permukiman yang padat baik pada kelerengan yang datar maupun pada kelerengan yang miring. Selain itu, penggunaan lahan lainnya juga digunakan sebagai hutan di tengah kota yaitu pada bukit Kaliawi. Berdasarkan peta curah hujan Indonesia (BMKG, 2018), tingkat curah hujan daerah penelitian pada saat kejadian longsor (Bulan Juni 2018) tergolong kategori menengah yaitu, 200–300 mm. Berdasarkan penjelasan di atas, menurut penulis faktor utama yang menjadi penyebab gerakan

massa tanah di daerah Barat Kaliawi adalah penggunaan lahan untuk permukiman di perbukitan yang berlereng agak curam dan pembebanan yang berlebihan pada lereng

untuk permukiman. Padahal penggunaan lahan tersebut tidak didukung dengan kondisi geologinya yang terdiri dari batuan sedimen yang diindikasikan sebagai zona lemah.



Gambar 8. Peta topografi

Evaluasi Penataan Ruang Kelurahan Kaliawi

Berdasarkan peta anomali gayaberat yang diintegrasikan dengan data geologi dan data topografi dapat dianalisis bahwa daerah Barat Kaliawi memiliki nilai *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dan anomali regional gayaberat yang rendah. Daerah Barat tersebut diindikasikan merupakan batuan sedimen yang memiliki nilai densitas yang rendah. Berdasarkan analisis hidrogeologi, daerah Barat berpotensi sebagai akuifer. Berdasarkan analisis gerakan tanah, daerah Barat merupakan zona lemah yang rawan terjadi gerakan massa tanah. Oleh karena itu, daerah Barat Kaliawi lebih baik digunakan untuk zona konservasi air dan sedikit permukiman untuk mitigasi bencana gerakan massa tanah.

Berdasarkan peta anomali gayaberat yang diintegrasikan dengan data geologi dan data topografi dapat dianalisis bahwa daerah Timur Kaliawi memiliki nilai *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dan anomali regional gayaberat yang tinggi. Daerah tersebut diindikasikan merupakan cerminan konfigurasi batuan dasar (*bedrock*) karena memiliki nilai densitas yang tinggi. Batuan dasar (*bedrock*) merupakan batuan yang cocok dijadikan fondasi bangunan. Oleh karena itu, daerah Timur Kaliawi sangat cocok digunakan menjadi area permukiman penduduk.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian gayaberat di Kaliawi adalah sebagai berikut:

1. Peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dan peta anomali regional Kaliawi memiliki pola penurunan dari Tenggara ke arah Barat Laut. Nilai anomali rendah ditafsirkan merupakan litologi sedimen sedangkan anomali tinggi diduga merepresentasikan cerminan konfigurasi batuan dasar yang memiliki litologi basalt-andesit.
2. Pemodelan ke depan gayaberat menunjukkan susunan perlapisan batuan yang terdiri dari batuan sedimen dengan nilai densitas 2.3 gr/cc dan batuan dasar (andesit-basalt) dengan nilai densitas 2.8 gr/cc. Ketebalan sedimen maksimal sekitar 32 meter.
3. Peta anomali gayaberat dan pemodelan ke depan gayaberat menunjukkan area yang memiliki kontur anomali negatif yang merupakan cekungan dan diduga merupakan batuan pembawa air (akuifer). Zona akuifer ini terletak di daerah Barat penelitian.
4. Faktor yang menjadi penyebab gerakan massa tanah di daerah Kaliawi dianalisis menggunakan data gayaberat, data topografi dan data *Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission* (DEM SRTM). Faktor utama yang menjadi penyebab gerakan massa tanah adalah penggunaan lahan untuk permukiman di perbukitan yang berlereng agak curam dan pembebanan yang berlebihan pada lereng untuk permukiman. Padahal penggunaan lahan tersebut tidak didukung dengan kondisi geologinya yang merupakan zona lemah dan rawan terjadinya gerakan massa

tanah. Daerah yang terletak pada zona lemah tersebut terletak di daerah Barat.

5. Pada penelitian ini dapat direkomendasikan bahwa daerah Barat Kaliawi lebih baik digunakan untuk zona konservasi dan sedikit permukiman sedangkan daerah Timur Kaliawi dapat digunakan menjadi area permukiman penduduk.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat dan Penjamin Mutu Institut Teknologi Sumatera (ITERA) atas skema hibah mandiri dengan nomor B/336/IT9.C1/PT.01.03/2019. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada BMKG dan Laboratorium Geomatika ITERA atas peminjaman instrumentasi yang digunakan pada penelitian serta kepada semua mahasiswa yang terlibat dalam pengambilan data.

REFERENSI

- Araffa, S.A.S., Helaly, A.S., Khozium, A., Lala, A.M.S., Soliman, S.A., Hassan, N.M., 2015. Delineating groundwater and subsurface structures by using 2D resistivity, gravity and 3D magnetic data interpretation around Cairo–Belbies Desert road, Egypt. *NRIAG J. Astron. Geophys.* 4, 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2015.06.004>
- BMKG, 2018. Analisis Curah Hujan dan Sifat Hujan Bulan Juni 2018 [WWW Document]. www.bmkg.go.id. URL <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=analisis-curah-hujan-dan-sifat-hujan-bulan-juni-2018&lang=ID&tag=informasi-hujan-bulanan> (accessed 4.1.19).
- Dilalos, S., Alexopoulos, J.D., Tsatsaris, A., 2018. Calculation of building Correction for urban gravity surveys. A case study of Athens metropolis (Greece). *J. Appl. Geophys.* <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.09.036>
- Gaol, K.L., Nur, A.A., Sendjaja, Y.A., S, Y., Wardhana, dan D.D., 2015. Prediksi Sebaran Akuifer Berdasarkan Data Gayaberat Dan Provinsi Jawa Barat, in: Pemaparan Hasil Penelitian Geoteknologi. pp. 41–52.
- Geosoft, 2015. Calculating the Energy Spectrum in MAGMAP, in: MAGMAP Filtering How To Guide. pp. 1–5.
- Karnawati, D., 2005. Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya, *Dinamika Teknik Sipil*. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lapenna, V., 2017. Resilient and Sustainable Cities of Tomorrow: The Role of Applied Geophysics. *Boll. di Geofis. Teor. ed Appl.* 58, 237–251. <https://doi.org/10.4430/bgta0204>
- Mangga, S.A., Amiruddin, Suwanti, T., Gafoer, S., Sidarto, 1993. *Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera*.
- Pamsimas, 2017. Peta Cekungan Air Tanah Lampung [WWW Document]. www.new.pamsimas.org. URL www.new.pamsimas.org/Atlas_Cekungan_Air_Tanah/LAMPUNG.jpg (accessed 4.1.19).
- Rizka, R., Agustina, L.K., Mazmuloh, H., 2020. Urban Gravity Measurements for the Subsurface Mapping; Case Study Kaliawi, in: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/537/1/012013>
- Sudrajat, Y., Hidayat, E., Wardhana, D.D., Handoko, A.D., Firmansyah, F., 2014. Pengukuran Data Geofisika untuk Data Dasar Pembangunan dan Tata Ruang Komplek Perkantoran Pemerintah Kabupaten Sukabumi di Pelabuhan Ratu. Pemaparan Has. Penelit. Geoteknologi LIPI 195–206.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Yu, D., 2014. The Influence of Buildings on Urban Gravity Surveys. *J. Environ. Eng. Geophys.* 19, 157–164. <https://doi.org/10.2113/JEEG19.3.157>