

EKSPLORASI GAYABERAT UNTUK AIR TANAH DAN TOPOGRAFI BATUAN DASAR DI DAERAH SERANG, BANTEN

GRAVITY EXPLORATION FOR GROUNDWATER AND BEDROCK TOPOGRAPHY IN SERANG, BANTEN

Lina Handayani dan Dadan D. Wardhana

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

ABSTRAK Pemetaan bawah permukaan diperlukan sebagai acuan dasar dalam kajian sumberdaya alam di daerah Serang, yang merupakan salah satu daerah dengan pertumbuhan industri dan populasi yang sangat pesat. Sebagai tahap awal dalam kajian regional, survey gayaberat dilakukan untuk memetakan anomali gayaberat di Kota Serang dan sekitarnya. Gayaberat diukur pada 204 titik pengamatan di Kota dan Kabupaten Serang dengan jarak antara titik kurang lebih sejauh 1 km. Dari hasil pengukuran diperoleh peta anomali gayaberat Bouguer yang menunjukkan setidaknya tiga kelompok anomali. Sisi barat (Kota Serang ke selatan) memiliki anomali gayaberat tinggi, sisi timur (Ciruas) memiliki anomali gayaberat rendah, dan sisi utara (hingga kepantai utara) memiliki anomali gayaberat sedang. Pemodelan bawah permukaan berdasarkan data anomali gayaberat tersebut menunjukkan adanya cekungan pada batuan dasar di sekitar Serang dan Tanara, yang diapit oleh tinggian batuan dasar di sisi barat dan timurnya. Kondisi batuan dasar demikian

akan mempengaruhi keberadaan akuifer dan kemungkinan arah aliran airtanah.

Kata kunci: gayaberat, batuan dasar, Serang, pemodelan bawah permukaan, cekungan.

ABSTRACT *Subsurface mapping is required as a basic reference in the study of natural resources in Serang area. The Serang City and County are one of the areas with rapid industrial and population growth. In this preliminary study, a gravity survey was executed to map gravity anomaly of the area. The gravity field was measured at 204 stations in Serang City and County, with approximately 1 km distance between two stations. The result is a Bouguer anomaly gravity map that classified the region into 3 (three) units. The western part of study area, which includes Serang City to south, has a high gravity anomaly. The eastern part (Ciruas region) has a low gravity anomaly. And the northern part (to the north coast) has a moderate gravity anomaly. Subsurface modeling indicated a presence of shallow basin at the bedrock beneath the east part of Serang, flanked by ridges on the west and the east sides. Such bedrock topography condition would affect the origin of aquifers and possible flow of groundwaters.*

Keywords: *gravity, basement, Serang, subsurface modeling, basin.*

PENDAHULUAN

Daerah Banten merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki populasi tinggi disertai kecenderungan peningkatan yang cepat pula. Letaknya yang berada dekat pusat pemerintahan dan disekitar pusat kegiatan industri berat tentunya akan memerlukan sumberdaya lokal

Naskah masuk : 16 September 2016
Naskah direvisi : 26 April 2017
Naskah diterima : 7 Agustus 2017

Lina Handayani
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI Gd. 70, Jl Sangkuriang Bandung 40135
Email : lina@geotek.lipi.go.id

yang ada. Berbagai eksploitasi sumberdaya alam telah terasa pengaruhnya terhadap kesetimbangan alam. Sebagai contoh adalah penambangan pasir di daerah Lontar, yang mengakibatkan perubahan karakter hidrodinamika dan turbiditas tinggi di perairan laut dekat pantai. Eksploitasi yang berlebihan juga menyebabkan perubahan tata guna lahan, dimana hutan bakau (*mangrove*) dan tambak ikan berubah menjadi penambangan pasir (Husrin *et al.*, 2014). Pada saat ini juga telah terdeteksi adanya penurunan muka airtanah disertai penurunan permukaan tanah (*subsidence*) di beberapa lokasi di Tangerang Utara (Hadian *et al.*, 2006) yang terletak di sisi timur Provinsi Banten. Seluruh perubahan-perubahan morfologi dan tata guna lahan akan sangat mempengaruhi kondisi lingkungannya. Satu hal utama yang menjadi perhatian adalah bahwa semua perubahan tersebut dapat mempengaruhi kondisi bawah permukaan, terutama yang berkaitan dengan airtanah. Kebutuhan airtanah sebagai sumber utama air tawar merupakan hal yang perlu mendapatkan perhatian saat suatu daerah berkembang menjadi daerah industri atau perkotaan. Untuk itu diperlukan kajian cekungan airtanah yang menyeluruh dari hulu ke hilir dengan semua aspek yang dapat mempengaruhinya. Sebagai tahap awal dari kajian tersebut, studi geologi-geofisika regional diperlukan sebagai dasar untuk kajian berikutnya yang lebih detail.

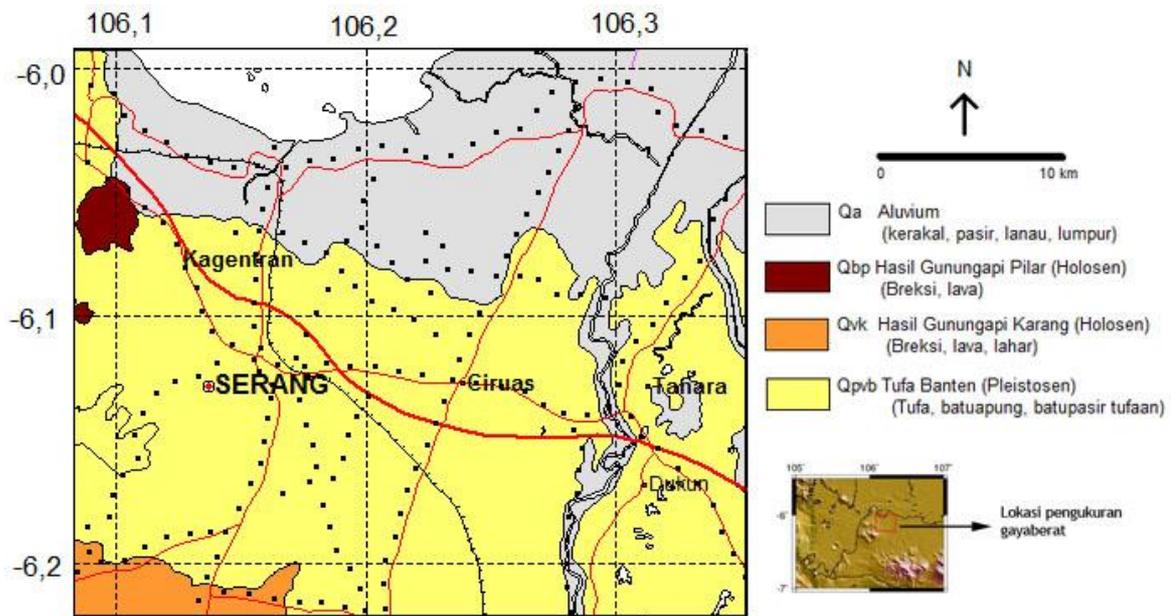
Di antara semua metode geofisika, metode listrik – tahananjenis adalah yang umum digunakan dalam memetakan masalah-masalah airtanah lokal. Tetapi metode gayaberat masih merupakan pilihan terbaik untuk penelaahan cekungan-cekungan regional (Kirsch, 2009). Murty dan Raghayan (2002) menggunakan metode gayaberat dalam eksplorasi airtanah pada lingkungan batuan granit yang keras. Dalam penelitiannya, data anomali sisa gayaberat dapat digunakan untuk membedakan batuan beku yang telah mengalami pelapukan dan yang tidak, membantu menarik kelurusan struktur-struktur sesar, dan mengidentifikasi lapisan yang berpotensi sebagai akuifer. Chandler (1994) menggunakannya dalam memetakan ketebalan dan potensi airtanah dalam lingkungan batuan sedimen. Carmichael dan Henry (1977) melakukan eksplorasi airtanah di daerah glasier. Mereka dapat memetakan lokasi lembah-lembah yang terkubur di bawah permukaan serta secara umum memetakan

permukaan batuan dasar untuk inventarisasi sumber-sumber airtanah. Juga ada beberapa penelitian-penelitian lain yang menggunakan gabungan metode gayaberat dengan metode geofisika lainnya, seperti Santos *et al.*, (2006) dan Overmeeren (1981). Keseluruhan penelitian-penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa metode gayaberat merupakan metode yang efektif untuk tinjauan skala regional dalam eksplorasi airtanah.

Berdasarkan hal-hal tersebut, kami menerapkan metoda gayaberat konvensional dalam studi airtanah regional di Kabupaten Serang dan sekitarnya. Pemetaan anomali gayaberat Bouguer dan turunannya dapat menggambarkan keadaan bawah permukaan secara regional, terutama konfigurasi batuan dasar (*basement*) dan struktur-struktur utama yang secara langsung dapat mempengaruhi sebaran lapisan akuifer dan aliran airtanah.

Pengukuran gayaberat sebelumnya pernah dilakukan oleh Untung dan Sato (1978) yang melakukan pengukuran regional sepanjang jalan raya hampir di seluruh Pulau Jawa dengan jarak antara titik pengukuran sejauh 5 km. Data gayaberat tersebut termasuk ke dalam data gayaberat regional yang cukup baik untuk analisa regional Pulau Jawa. Untuk daerah Serang dan sekitarnya, data regional itu menunjukkan nilai gayaberat yang hampir homogen. Diharapkan pengukuran kembali dengan jarak antar stasiun pengukuran yang lebih rapat akan memberikan data yang lebih detail.

Pengukuran gayaberat dilakukan di daerah Kabupaten Serang, Provinsi Banten, dengan luas daerah penelitian sekitar 750 km². Daerah Kabupaten Serang terletak di pesisir utara Provinsi Banten yang terletak diantara Cilegon dan Tangerang. Hampir keseluruhan daerah penelitian merupakan dataran rendah, kecuali pada sisi tenggara yang berbatasan dengan dataran tinggi, memasuki daerah lereng Gunung Karang (sisi tenggara daerah penelitian). Secara umum, menurut van Bemmelen (1949), Kota dan Kabupaten Serang terletak di dataran aluvial Jawa Barat Utara atau dataran Pantai Jakarta serta sebagian kecil berada di daerah antiklinorium Bogor. Daerah penelitian tersusun atas tiga formasi geologi, yaitu endapan aluvial kuartar (Qa) di sepanjang pesisir utara, endapan tufa Banten (Qpvb) yang menutupi sebagian besar



Gambar 1. Peta geologi Kabupaten Serang disusun berdasarkan Rusmana *et al.* (1991). Indeks: peta topografi Jawa bagian Barat.

wilayah Kabupaten Serang, dan endapan gunungapi hasil dari Gunung Karang (Qvk) di daerah tenggara, sekitar Gunung Karang (Gambar 1). Satu wilayah kecil di dekat Cilegon (batas barat laut) tertutup endapan breksi lava Gunung Pilar (Qbp) (Rusmana *et al.*, 1991).

METODE

Metode gayaberat merupakan metoda geofisika yang biasa digunakan terutama dalam karakterisasi bumi secara regional, untuk menentukan struktur kerak bumi, mengidentifikasi daerah-daerah yang baik untuk eksplorasi sumberdaya, dan membangun konsep model eksplorasi. Metode gayaberat mengukur dan menganalisa gangguan pada medan gayaberat bumi. Medan gayaberat utama adalah fungsi dari massa, besar dan sifat rotasi bumi. Medan ini dideskripsikan oleh hukum universal gayaberat, yang terkait dengan gaya tarik menarik antara dua benda terhadap jumlah seluruh massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat dari jarak antara keduanya. Variasi spasial dari gayaberat bumi disebabkan oleh heterogenitas massa di dalam bumi. Variasi temporal disebabkan oleh efek *tidal* (pasang surut) yang disebabkan oleh benda-benda di luar angkasa dan juga oleh adanya fluktuasi kandungan fluida dan gas di bumi.

Pengukuran dalam metoda gayaberat adalah mencari perbedaan kecil atau anomali medan gayaberat yang diakibatkan variasi densitas (rapat masa) lateral. Variasi yang terukur tergantung pada hukum gayaberat Newton, yang memperhitungkan perbedaan massa dan jarak antara sumber dan titik observasi. Variasi gayaberat terukur yang disebut anomali merupakan perbedaan antara hasil pengukuran dengan medan teoritis. Medan teoritis dibangun berdasarkan asumsi lapisan bumi yang simetri secara radial. Walaupun interpretasi hasil pengamatan gayaberat tidak unik, interpretasi dapat sangat berarti jika dibatasi oleh data-data geologi dan geofisika lainnya. Metode gayaberat sangat umum digunakan dalam usaha memahami dan memberikan konfirmasi adanya struktur geologi, baik yang tampak di permukaan maupun yang tertutup di bawah permukaan (e.g. Frifita *et al.*, 2016; Stagpoole *et al.*, 2016; Panjaitan & Subagio, 2015; Oruc *et al.*, 2013).

Metode gayaberat terdiri dari tiga tahap, yaitu akuisisi atau pengukuran gayaberat di lapangan, pengolahan data dan interpretasi hasil pengolahan data. Dalam tahap akuisisi termasuk juga perencanaan yang matang, dimana titik-titik atau daerah survey ditentukan berdasarkan penelaahan data-data sekunder dan juga disesuaikan dengan

tujuan yang ingin dicapai. Pengolahan data terdiri dari berbagai koreksi data yang timbul dari efek-efek yang mempengaruhi pengukuran gayaberat seperti efek elevasi, *Bouguer*, topografi, dan pasang-surut. Tahap terakhir adalah interpretasi data dengan menentukan dan menganalisa lokasi obyek yang dicari. Pada umumnya pada tahap ini dilakukan inversi untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan.

Dalam penelitian ini, peralatan yang digunakan adalah gravimeter La Coste & Romberg type G-804. Gravimeter ini memiliki kemampuan pembacaan dari 0 hingga 7000 mGal dengan ketelitian 0,01mgal. Pengukuran gayaberat dilakukan pada 204 titik yang berjarak kurang lebih 1 km (Gambar 1) dalam beberapa lintasan berarah Barat-Timur dan Utara-Selatan, disesuaikan dengan akses jalan raya yang ada.

Koreksi udara bebas (*free air*) perlu dilakukan untuk pengukuran di daratan. Koreksi ini merupakan koreksi dari selisih antara elevasi terukur dengan tinggi muka laut, dengan asumsi bumi bulat uniform. Koreksi masa udara ini ditentukan dengan:

$$g_{fa} = 0,87 - 0,0000965h,$$

dimana h adalah ketinggian dalam meter.

Koreksi pasang surut adalah koreksi yang diterapkan karena adanya efek pergerakan matahari dan bulan. Tetapi koreksi ini tidak diterapkan dalam pengamatan gayaberat ini dengan asumsi efek pasang surut sangat rendah dan sulit dibedakan dengan apungan (*drift*) instrument. Oleh karena itu, efek pasang surut dianggap sebagai bagian dari *drift*, yang diatasi dengan koreksi berdasarkan pengukuran tertutup. Sistem pengukuran tertutup artinya pengukuran dimulai dan diakhiri di titik stasiun yang sama yaitu *base station* (BS). Dengan demikian, kesalahan penutup dan apungan (*drift*) dapat dihitung kemudian, dikoreksi terhadap semua data hasil pengukuran (Blakely, 1995; Hinze et al., 2013).

Koreksi Bouguer memperhitungkan massa dari perbedaan elevasi antara titik observasi dan muka air laut. Koreksi Bouguer sederhana mendekati semua massa di atas muka laut sebagai satu lempeng tak hingga dengan tebal setinggi titik pengamatan, atau dapat digambarkan sebagai:

$$g_{sb} = 2\pi\gamma\rho h,$$

dimana γ adalah konstanta gravitasi Newton ($= 6,67384 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}\cdot\text{det}^2$) (Mohr et al., 2012), ρ adalah kerapatan batuan di bawah permukaan (berat jenis batuan rata-rata bumi 2,67 gr/cm³) dan h adalah ketinggian di atas muka laut.

Koreksi Bouguer sederhana di atas mengabaikan faktor bentuk topografi. Daratan yang lebih tinggi (bukit/gunung) dan lebih rendah (lembah) di sekitar titik pengamatan dapat mempengaruhi pengukuran. Oleh sebab itu, perlu ditambahkan koreksi medan g_t (*terrain*).

Kemudian, nilai anomali Bouguer lengkap diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta g = g_{obs} - g_{sb} + g_t - g_{fa} - G$$

Harga gravitasi normal G ditentukan berdasarkan *International Gravity Formula* 1967 sebagai:

$$G = 978031,85 \left(1 + 0,005278895 \sin^2 \phi + 0,000023462 \sin^4 \phi \right) \text{ mGal},$$

dimana ϕ adalah lintang titik ukur gravitasi.

Dari pengolahan data di atas, akan diperoleh peta anomali Bouguer. Analisa yang berkaitan dengan sebaran variasi anomali gayaberat dapat dilakukan berdasarkan peta anomali tersebut.

Anomali gayaberat dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu anomali regional dan anomali residual. Anomali regional merupakan kompensasi isostatik berdasarkan beban topografi regional sehingga bisa dikorelasikan dengan keberadaan batuan dasar (*basement*). Sedangkan anomali residual dapat dikorelasikan dengan struktur geologi yang lebih dangkal. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan pemodelan bawah permukaan yang lebih akurat, perlu dipisahkan anomali residual dari anomali regionalnya, atau dapat dinyatakan sebagai:

$$\Delta g_{residual} = \Delta g_{Bouguer} - \Delta g_{regional}$$

Salah satu cara memisahkan kedua faktor anomali tersebut adalah dengan menggunakan konsep pencocokan polinomial (*polynomial fitting*) atau metode kuadrat terkecil (Lowrie, 2007). Pada metode pencocokan polinomial ini, diasumsikan bahwa permukaan polinomial merupakan bidang model regional yang semakin halus dengan semakin tingginya orde. Nilai gayaberat regional dapat dinyatakan sebagai kurva polinomial sebagai berikut:

$$\Delta g_g = \Delta g_o + \Delta g_{1x} + \Delta g_{2x2} + \Delta g_{3x3} + \dots + \Delta g_{xxx}$$

Dengan x adalah titik posisi pada profil horisontal. Polinomial dicocokkan dengan metode *least squares* kepada profile nilai gayaberat observasi.

Tahap selanjutnya adalah melakukan interpretasi dari data yang diperoleh. Hasil yang diharapkan adalah berupa deskripsi bawah permukaan. Metode yang digunakan adalah metode pemodelan kedepan (*forward modelling*). Dalam metode ini, satu model awal ditentukan berdasarkan data-data lain yang ada, seperti misalnya geologi regional. Anomali dari model awal ini dihitung dan dibandingkan dengan anomali hasil pengukuran. Lalu model awal disesuaikan hingga perbedaan antara anomali perhitungan dengan anomali pengukuran makin kecil. Penyesuaian ini dilakukan berulang-ulang sehingga diperoleh nilai perhitungan dan pengukuran yang sama atau mendekati.

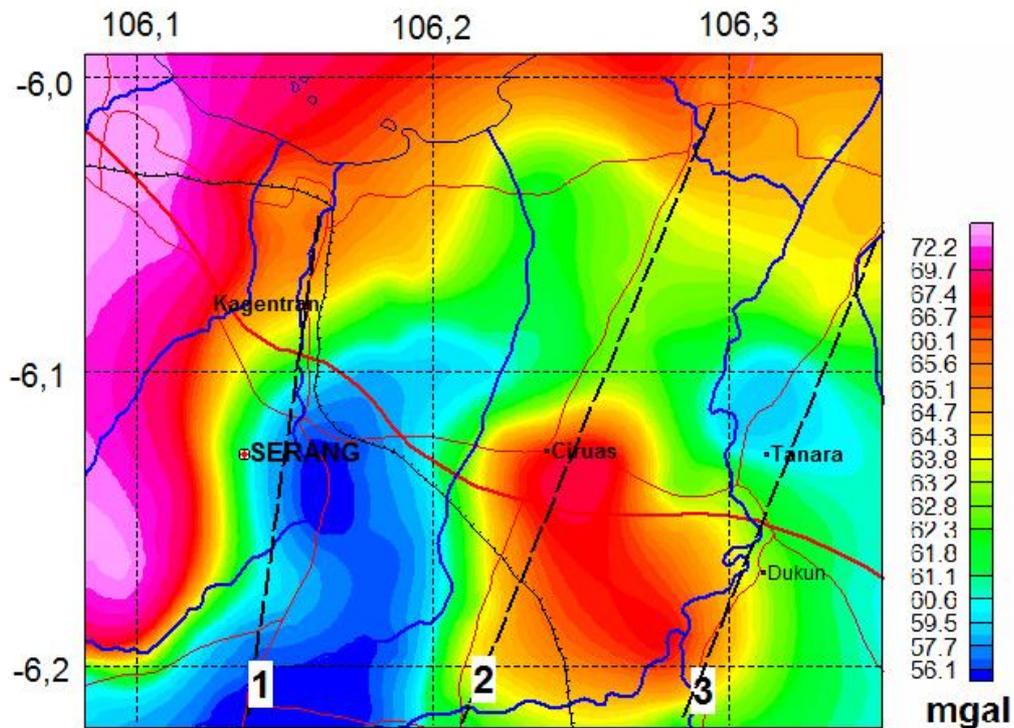
Pada prinsipnya, pemodelan kedepan gayaberat adalah menghitung medan gayaberat yang disebabkan oleh suatu distribusi massa (Hirt, 2016). Dalam pemodelan ini digunakan pendekatan lembaran horizontal semi tak hingga

(Talwani & Ewing, 1960). Pemodelan tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GMSYS (Popowski *et al.*, 2009).

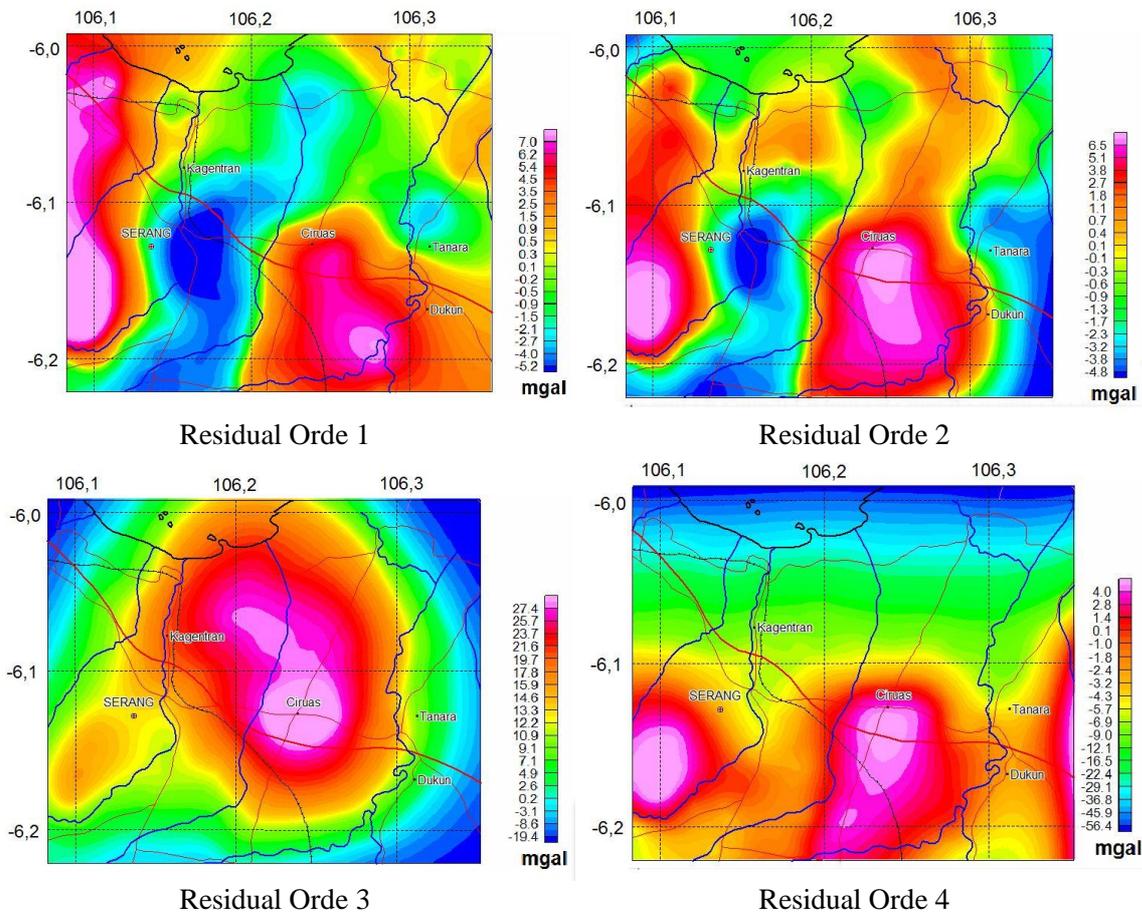
HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Gayaberat

Pengukuran gayaberat dilakukan pada 204 titik stasiun yang berjarak kurang lebih 1 km (Gambar 1), terdiri dari dua lintasan utama Barat-Timur dan tiga lintasan utama Utara-Selatan. Beberapa lintasan pendek dilakukan untuk melengkapi daerah yang jarak antar lintasan cukup jauh dengan menyesuaikan kondisi jalan raya yang ada. Nilai gayaberat hasil pengukuran kemudian diolah untuk mendapatkan nilai anomali dengan menggunakan metoda seperti yang tercantum pada bagian sebelumnya. Peta anomali Bouguer (Gambar 2) merupakan hasil akhir perhitungan anomali Bouguer lengkap. Sebaran anomali Bouguer dalam peta tersebut menunjukkan variasi anomali yang berkisar antara 56,1 – 72,2 mgal. Daerah bagian utara menunjukkan variasi sangat kecil dengan nilai anomali antara 61 – 67 mgal, yang merupakan kisaran menengah dari keseluruhan nilai anomali. Tetapi nilai anomali



Gambar 2. Peta Anomali Bouguer. Garis hitam putus-putus bernomor adalah garis lintasan model pada Gambar 4.



Gambar 3. Peta-peta anomali sisa (residual).

tinggi juga muncul di sisi barat dan timur daerah bagian utara ini.

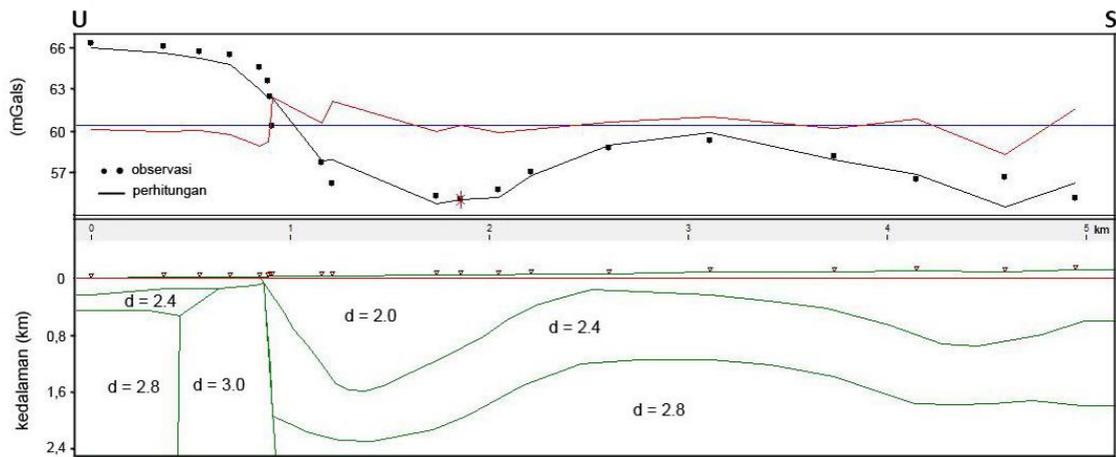
Di bagian selatan daerah penelitian (sebelah selatan dari lintang $6,1^{\circ}$ S) terdapat nilai anomali yang lebih bervariasi. Peta anomali Bouguer menunjukkan adanya dua tutupan (*closure*) utama anomali rendah dan tinggi di daerah ini. Kelompok anomali rendah berada di sisi timur Kota Serang dan memanjang ke selatan (Jalan Raya Serang-Pandeglang). Tutupan (*closure*) anomali tinggi dengan luasan yang hampir sama terdapat di sampingnya, dari sekitar Ciruas memanjang ke selatan. Di bagian timur (Tanara) juga terdapat tutupan kecil anomali rendah.

Anomali sisa atau residual gayaberat dihitung hingga orde ke-4 (Gambar 3). Peta anomali residual orde ke 1 menunjukkan pola yang mirip dengan peta anomali Bouguer, namun tampak di bagian utara, di sekitar pantai terdapat anomali residual negatif. Pola yang hampir serupa dijumpai pada peta residual orde ke-2, tetapi

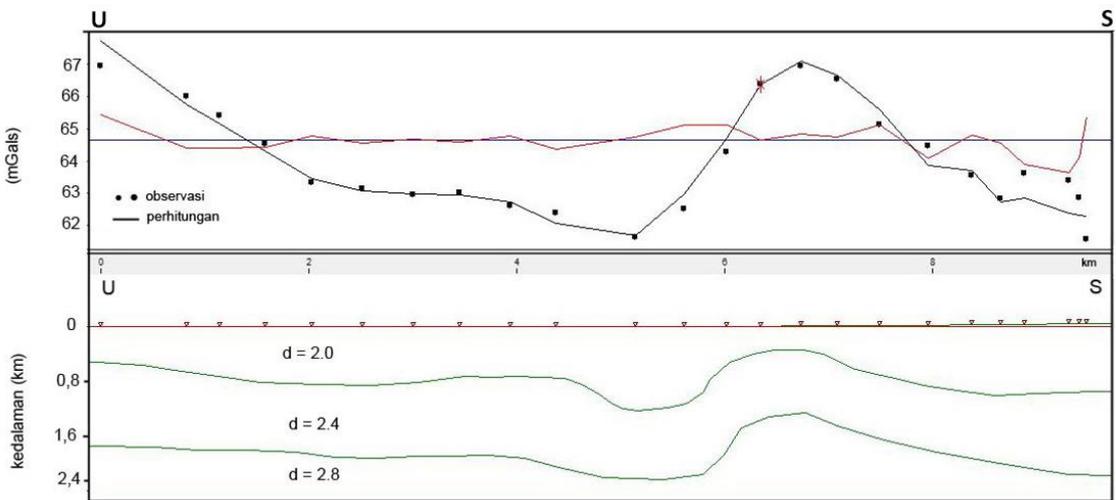
muncul residual positif di daerah utara yang semula merupakan anomali negative. Di antara bujur $106,2$ T – $106,3$ T tampak anomali positif yang merupakan kelanjutan daerah beranomali tinggi di Ciruas dan menerus ke arah utara hingga ke pantai. Anomali residual negatif muncul di sisi timur daerah penelitian, dari sekitar Tanara menerus ke selatan. Pada peta residual orde ke 3 dan ke 4, kesamaan pola dengan anomali Bouguer berkurang. Pada residual orde 3, tampak anomali berbentuk lingkaran dimana pada pusatnya, di Ciruas, nilai anomali relatif paling tinggi. Tutupan anomali tinggi masih ada di sekitar Ciruas, tetapi muncul dua anomali positif baru di sisi barat dan timur.

Model Bawah Permukaan

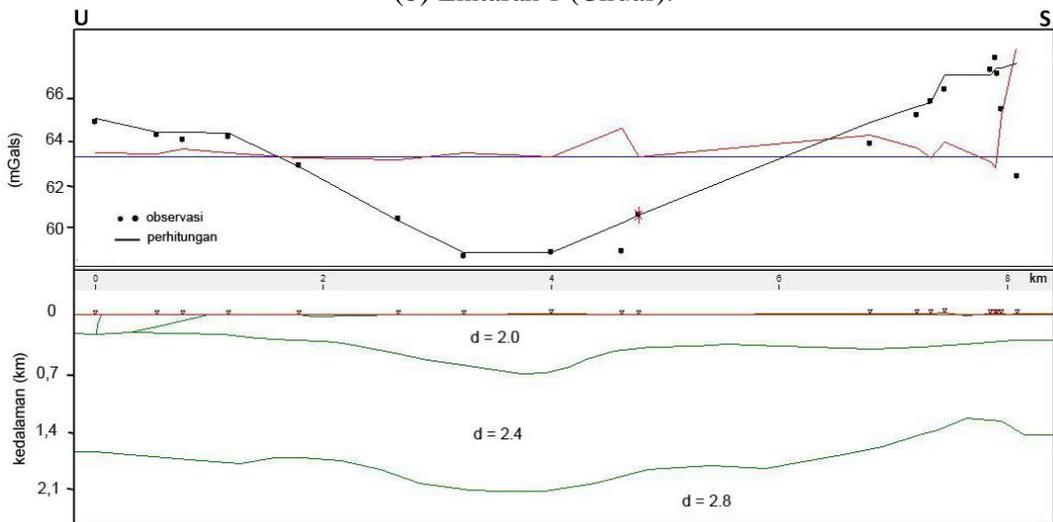
Gambar 4 menunjukkan tiga model bawah permukaan yang diperoleh dengan pendekatan pemodelan ke depan (*forward modeling*). Model pada Lintasan 1 (Lintasan Serang) menunjukkan anomali tinggi di sisi utara. Daerah ini merupakan



(a) Lintasan 1 (Serang).



(b) Lintasan 1 (Ciruas).



(c) Lintasan 1 (Tanara).

Gambar 4. Model penampang bawah permukaan berarah utara (kiri) – selatan (kanan), dengan garis penampang tercantum pada Gambar 2.

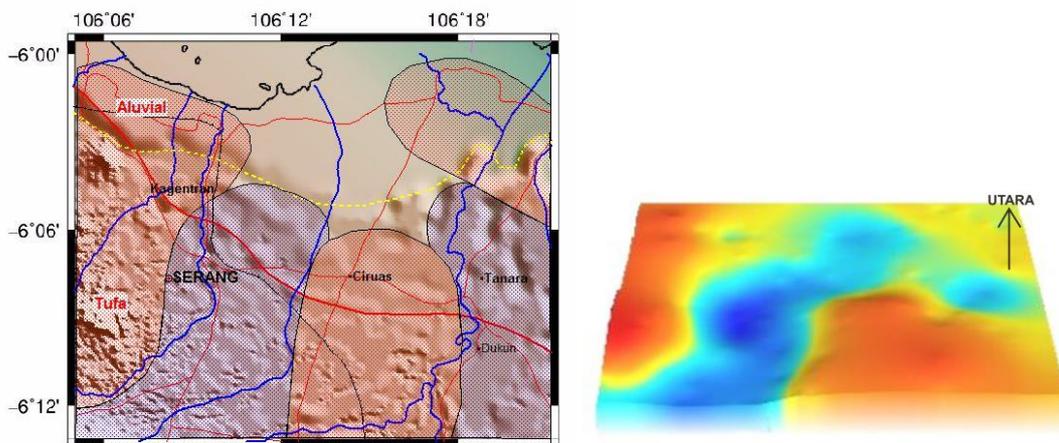
bagian dari deretan gunung-gunung yang berada di sisi barat laut Banten, yang beberapa diantaranya adalah Gunung Gede, Gunung Pinang, Gunung Payung (Rusmana *et al.*, 1991). Tampak pada peta geologi (Gambar 1) dan topografi (Gambar 4), Gunung Pinang merupakan satu tinggian kecil menyerupai kerucut gunungapi, yang menurut Rusmana *et al.*, (1991) merupakan batuan Qpb (breksi lava). Dengan tingginya anomali gayaberat di sini, model menunjukkan adanya kolom batuan beku berdensitas tinggi. Tidak jauh dari daerah beranomali tertinggi, terdapat daerah dengan nilai anomali yang sangat rendah. Anomali rendah tersebut dikompensasi pada model berupa cekungan pada batuan dasar yang cukup dalam. Pada sisi selatan juga masih terdapat cekungan lain. Secara keseluruhan, lintasan ini didominasi oleh nilai anomali rendah yang direpresentasikan sebagai daerah cekungan pada batuan dasarnya. Lintasan 2 (Ciruas) melintasi daerah beranomali tinggi, sehingga model bawah permukaan menunjukkan adanya tinggian batuan dasar di bawah permukaan. Sedangkan lintasan 3 (Tanara) melintasi anomali tinggi dan rendah, tetapi dengan amplituda yang lebih kecil. Model bawah permukaan menunjukkan pola naik dan turun yang sangat landai pada batuan dasar.

Cekungan Serang

Pola peta anomali Bouguer dan turunan anomali sisanya menunjukkan anomali tinggi yang relatif konsisten di Ciruas. Pada Bouguer dan anomali

residual order 1 tampak anomali rendah di bagian barat yang diapit oleh anomali tinggi dengan arah relatif Utara-Selatan. Selain itu tampak anomali yang sangat rendah, lebih kecil dari 50 mgal yang kemudian terpisah menjadi dua bagian anomali negative pada residual orde 2. Di bagian utara anomali rendah tersebut berbelok ke arah timur. Pola anomali yang tampak pada residual orde 1 ini berhubungan dengan struktur bawah permukaan yang menyerupai graben berarah utara selatan. Pada residual orde 2, pada kedalaman yang relatif lebih dangkal timbul anomali positif berarah utara-selatan yang merupakan kelanjutan dari anomali tinggi di Ciruas. Boleh jadi anomali ini merupakan kenampakan dari sebuah punggungan yang dibatasi oleh patahan yang berarah utara-selatan (Gambar 5). Secara keseluruhan tampak pada Cekungan Serang ini struktur yang berarah utara-selatan dan membentuk graben. Pada graben terdapat anomali sangat rendah yang boleh jadi merupakan manifestasi dari danau.

Peta geologi untuk daerah penelitian ini secara umum hanya menunjukkan dua jenis tutupan saja, yaitu aluvial dan tufa Banten. Dengan daerah yang memiliki variasi anomali gayaberat berada di daerah tufa Banten (Gambar 5). Peta topografi daerah ini juga relatif datar, terkecuali daerah pegunungan di sudut tenggara daerah penelitian. Walaupun terdapat perbedaan ketinggian antara bagian tenggara (elevasi tertinggi) dan bagian utara, variasinya sangat kecil (Gambar 5). Dengan membandingkan peta anomali Bouguer dengan



Gambar 5. (Kiri) Peta topografi dengan sketsa daerah anomali rendah (arsir biru) di antara daerah beranomali tinggi (arsir merah). Garis putus-putus kuning adalah batas antara daerah tutupan aluvial dengan tufa. Garis biru adalah aliran sungai. (Kanan) Sketsa topografi batuan dasar berdasarkan sebaran nilai anomali residual orde 1.

peta topografi, tampak bahwa keduanya tidak berkaitan secara langsung. Jika keduanya sebanding, dapat dikatakan bahwa variasi gayaberat disebabkan oleh adanya variasi pada topografi. Karena tidak berkaitan langsung, maka perbedaan anomali yang diperoleh untuk Serang dan sekitarnya ini dapat dipastikan merupakan manifestasi dari kondisi batuan dasar di bawah permukaan. Gambaran topografi batuan dasar ditampilkan dalam sketsa tiga dimensi pada Gambar 5 (kanan) yang diturunkan berdasarkan nilai anomali sisa orde pertama.

Daerah beranomali rendah (bagian yang berwarna biru) mungkin menggambarkan cekungan yang berbentuk graben dan keberadaan danau di masa lalu yang boleh jadi merupakan sisa-sisa kaldera yang kemudian tertutup lapisan tufa tebal. Sedangkan daerah dengan anomali tinggi (bagian berwarna merah, sekitar Ciruas) menunjukkan adanya tinggian dengan tutupan yang lebih tipis (Gambar 5 kiri).

Terdapat beberapa kemungkinan penyebab terjadinya cekungan dan tinggian pada batuan dasar di daerah ini. Salah satu kemungkinan asalmulanya adalah sebagai bekas danau yang terbentuk sebagai sisa kaldera. Bekas danau ini bisa serupa dengan Rawa Danau yang merupakan kaldera tua berumur Plio-Pleistosen (Van Der Kaars *et al.*, 2001) di arah barat daya daerah penelitian ini. Dalam sekitar 200 tahun terakhir, Rawa Danau mengalami perubahan yang sangat signifikan akibat aktivitas manusia (Yulianto *et al.*, 2004). Beberapa puluh tahun lalu masih terdapat rawa-rawa, dan saat ini sudah menjadi tanah persawahan, kebun dan perkampungan. Selain itu, penelitian geologi kuartar di sekitar Gunung Karang hingga batas Pantai Carita menunjukkan adanya danau kaldera tua yang terbentuk akibat letusan gunungapi pada Pleistosen tengah. Danau tersebut kemudian terisi oleh Formasi Bojong (Lumban batu dan Poedjoprajitno, 2012). Proses serupa pada sekitar umur yang sama mungkin terjadi juga di daerah Serang, yang berada di sisi barat laut daerah Gunung Karang.

Dalam kaitannya dengan aliran airtanah, tebalnya lapisan tufa Banten, yang terdiri dari tufa, batuapung, batu pasir tufaan, menjadikan daerah bersir biru ini ideal sebagai cekungan airtanah atau akuifer. Sedangkan di daerah bersir merah, lapisan akuifer memiliki ketebalan yang lebih

tipis. Tinggian pada batuan dasar ini boleh jadi menjadi penghalang aliran. Airtanah akan lebih mudah mengalir ke arah cekungan, sehingga daerah ini akan cenderung memiliki airtanah lebih banyak.

KESIMPULAN

Peta anomali gayaberat Bouguer untuk Kabupaten Serang menunjukkan variasi yang cukup penting, yang belum tampak pada peta anomali gayaberat sebelumnya. Daerah Kota Serang ke arah selatan terletak pada daerah beranomali rendah, yang diapit oleh daerah bernomali tinggi di sisi barat dan timurnya. Model bawah permukaan yang diperoleh dengan pemodelan ke depan (*forward modeling*) menggambarkan topografi batuan dasar, dengan fitur utama berupa cekungan Serang dan cekungan Tanara yang lebih kecil. Cekungan tersebut diapit tinggian di sekitar Ciruas dan sisi barat Serang, dan juga sebagian daerah pantai di utara dari Tanara. Dalam kondisi seperti itu, dapat diperkirakan bahwa airtanah di daerah cekungan batuan dasar (Serang dan Tanara) akan cenderung lebih berlimpah. Selain itu, airtanah dari daerah tersebut juga mungkin sulit mengalir ke daerah dengan tinggian pada batuan dasarnya, di sisi timur dan baratnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dengan judul “*Kajian sumberdaya air daerah urban sebagai antisipasi pengembangan Jawa bagian Barat dan Sumatera bagian Selatan*” dengan sumber dana DIPA Pusat Penelitian Geoteknologi, tahun anggaran 2015. Terimakasih kami ucapkan untuk Bapak Priyo Hartanto selaku Ketua Tim Lapangan dan Bapak Prof. Dr. Robert Delinom sebagai Koordinator Kelompok Penelitian Ketahanan Air dan Lingkungan yang telah memberi kesempatan kepada kami untuk ikut serta dalam kegiatannya. Juga untuk Bapak Ir. Sudaryanto, M.T untuk diskusi dan dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R. J., 1995. Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge University Press, Cambridge, UK. DOI:10.1017/CBO9780511549816.
- Carmichael, R. S., Henry, G. J., 1977. Gravity exploration for groundwater and bedrock topography in glaciated areas. *Geophysics* 42, 850–859.

- Chandler, V. W., 1994. Gravity Investigation for Potential Groundwater Resources in Rock County, Minnesota. St. Paul.
- Frifita, N., Arfaoui, M. S., Zargouni, F., 2016. Relationship between surface and subsurface structures of the northern Atlas foreland of Tunisia deduced from regional gravity analysis. *J. Geophys. Eng.* 13, 634–645. DOI:10.1088/1742-2132/13/4/634.
- Hadian, M. S. D., Mardiana, U., Abdurahman, O., Iman, M. I., 2006. Sebaran akuifer dan pola aliran air tanah di Kecamatan Bataceper dan Kecamatan Benda. *Indones. J. Geosci.* 1, 115–128.
- Hinze, W. J., von Frese, R. R. B., Saad, A. H., 2013. Gravity and Magnetic Exploration, 1st ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK. DOI:10.1017/CBO9780511843129.
- Hirt, C., 2016. Gravity Forward Modeling, in: Grafarend, E. (Ed.), *Encyclopedia of Geodesy*. Springer International Publishing, pp. 1–5. DOI:10.1007/978-3-319-02370-0_106-1.
- Husrin, S., Prihantono, J., Sofyan, H., 2014. Impacts of Marine Sand Mining Activities to the Community of Lontar Village, Serang - Banten. *Bull. Mar. Geol.* 29, 81–90.
- Kirsch, R., 2009. *Groundwater Geophysics*, 2nd ed. Springer, Berlin Heidelberg. DOI:10.1007/978-3-540-88405-7.
- Lowrie, W., 2007. *Fundamentals of Geophysics*, second edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK. DOI:10.1017/CBO9780511807107.
- Lumban Batu, U. M., Poedjoprajitno, S., 2012. Quaternary Geological Phenomena in Labuhan Area, Pandeglang Regency, Banten Province. *Fenomena Geologi Kwartir Daerah Labuhan*. *Indones. J. Geol.* 7, 211–226.
- Mohr, P. J., Taylor, B. N., Newell, D. B., 2012. CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants:2010. *J. Phys. Chem. Ref. Data* 41, 1527–1605. DOI:10.1063/1.555817.
- Murty, B. V. S., Raghavan, V. K., 2002. The gravity method in groundwater exploration in crystalline rocks: a study in the peninsular granitic region of Hyderabad, India. *Hydrogeol. J.* 10, 307–321. DOI:10.1007/s10040-001-0184-2.
- Oruç, B., Sertçelik, I., Kafadar, Ö., Selim, H. H., 2013. Structural interpretation of the Erzurum Basin, eastern Turkey, using curvature gravity gradient tensor and gravity inversion of basement relief. *J. Appl. Geophys.* 88, 105–113. DOI:10.1016/j.jappgeo.2012.10.006.
- Overmeeren, R. A. Van, 1981. A combination of electrical resistivity, seismic refraction, and gravity measurements for groundwater exploration in Sudan. *Geophysics* 46, 1304–1313.
- Panjaitan, S., Subagio, 2015. Prospek Sumber Daya Energi Berdasarkan Analisis Pola Anomali Gaya Berat Di Daerah Biak Dan Sekitarnya, Papua. *J. Geol. Kelaut.* 13, 87–98.
- Popowski, T., Connard, G., French, R., 2009. GMSYS-3D Gravity and magnetic modeling for Oasis montaj. Geosoft Inc., Toronto, Canada.
- Rusmana, E., Suwitodirdjo, K., Suharsono, 1991. Geological map of Serang quadrangle. Geological Research and Development Center, Bandung.
- Santos, F. A. M., Sultan, S. A., Sorady, A. L. El, 2006. Joint inversion of gravity and geoelectrical data for groundwater and structural investigation: application to the northwestern part of Sinai, Egypt. *Geophys. J. Int.* 165, 705–718. DOI:10.1111/j.1365-246X.2006.02923.x.
- Stagpoole, V., Caratori Tontini, F., Barretto, J., Davy, B., Edbrooke, S. W., 2016. Inversion of magnetic and gravity data reveals subsurface igneous bodies in Northland, New Zealand. *New Zeal. J. Geol. Geophys.* 59, 416–425. DOI:10.1080/00288306.2016.1162178.
- Talwani, M., Ewing, M., 1960. Rapid Computation of Gravitational Attraction

- of Three-Dimensional Bodies of arbitrary Shape XXV, 203–225.
- Untung, M., Sato, Y., 1978. Gravity and geological studies in Jawa, Indonesia, Spesial Pu. ed. Direktorat Geologi, Indonesia, Bandung.
- Van Bemmelen, R. W., 1949. The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes.
- Van Der Kaars, S., Penny, D., Tibby, J., Fluin, J., Dam, R. A. C., Suparan, P., 2001. Late quaternary palaeoecology, palynology and palaeolimnology of a tropical lowland swamp: Rawa Danau, West-Java, Indonesia. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 171, 185–212. DOI:10.1016/S0031-0182(01)00245-0.
- Yulianto, E., Tsuji, H., Sukapti, W. S., Tanaka, N., 2005. A Holocene pollen and charcoal record from a tropical lowland swamp in Rawa Danau, West Java, Indonesia. *Tropics* 14, 271–281. DOI: 10.3759/tropics.14.271.