

## PEMODELAN ZONA SESAR OPAK DI DAERAH PLERET BANTUL YOGYAKARTA DENGAN METODE GRAVITASI

*M Irham Nurwidyanto, Rina Dwi Indriana, Zukhrufuddin Thaha Darwis  
Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika FMIPA UNDIP.*

### ABSTRACT

*A gravity research was done in Pleret, Bantul, Yogyakarta. It's covering 55 measurements points. This research aims to estimated subsurface structure fault zone of the area, correctly along Opak River's. Type of Gravimeter La Coste & Romberg G-1118 using electronics feedback system with accuracy 0.005 miligal was used to measure gravitational field. Interpretation result from kualitative and kuantitative are estimated the structure in the research area consist of tree layer that arre limestone, breccia, and alluvial sediment and Opak sediment's.*

### INTISARI

*Telah dilakukan penelitian dengan metode gravitasi di daerah Pleret, Bantul, Yogyakarta, yang meliputi 55 titik pengukuran. Penelitian ini bertujuan untuk menafsirkan struktur bawah permukaan zona sesar, tepatnya di sepanjang sungai Opak. Pengukuran gravitasi dilakukan dengan menggunakan Gravimeter type La Coste & Romberg G-1118 MVR yang dilengkapi dengan feedback system dengan akurasi 0.005 miligal. Hasil interpretasi kualitatif dan kuantitatif didapatkan adanya dugaan sesar normal dengan struktur lapisan terdiri dari tiga lapisan yaitu batuan gamping, batuan breksi dan batuan penutup permukaan yang meliputi endapan alluvial dan endapan sungai opak.*

### PENDAHULUAN

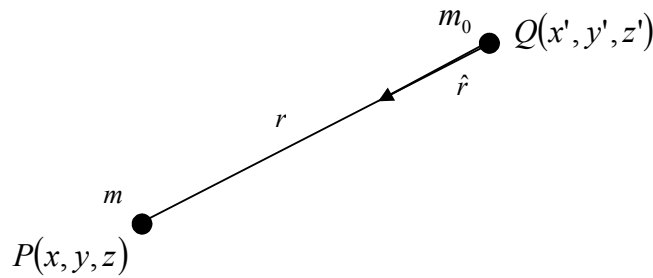
Gempa bumi yang terjadi pada 27 mei 2006 sebesar 5,9 skala *Richter* telah menimpa daerah Yogyakarta dan sekitarnya meliputi daerah Bantul, Kulonprogo, Gunung kidul, Sleman, Solo, Karanganyer, Klaten, dan Prambanan. Kurang lebih 5500 jiwa kehilangan nyawa, ribuan warga luka-luka, dan kehilangan keluarga serta hartanya. Sumber gempa tersebut berpusat pada kedalaman 33 km, tepatnya terletak 37 km dari garis pantai dengan episentrum di dasar samudera Hindia pada koordinat  $8.26^{\circ}$  LS  $110.31^{\circ}$  BT ) [1]. Aktifitas gempa tersebut telah memicu pergerakan sesar di wilayah Bantul dan sekitarnya. Sesar (patahan) aktif tersebut diidentifikasi membentuk garis lurus di mulai dari pusat gempa pada koordinat  $8,007^{\circ}$  LS- $110, 286^{\circ}$  BT (1 kilometer dari garis pantai Parangtritis) ke arah timur laut sampai ke Prambanan. Daerah yang dilewati sesar itu yakni Depok, Tritohargo, Ngambangan, dan Gondowulung di Yogyakarta. Sesar itu

berada 10 kilometer dari Yogyakarta atau sekitar 5 kilometer dari Bantul) [2].

Studi kasus mengenai sesar (patahan) menjadi penting mengingat korban parah (korban jiwa maupun materiil) akibat gempa Yogyakarta 27 Mei 2005 adalah daerah yang kondisi bawah permukaannya diperkirakan berupa sesar Opak. Pada penelitian ini dicoba memodelkan struktur bawah permukaan dari zona sesar Opak di daerah Pleret Bantul dengan metode *Gravity*.

### DASAR TEORI

Teori yang melandasi metode gravitasi adalah hukum Newton tentang gravitasi yang menyatakan bahwa besar gaya gravitasi antar dua massa sebanding dengan perkalian kedua massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar kedua pusat massa (gambar-1). Gaya yang ditimbulkan antara partikel dengan massa  $m$  yang berpusat pada titik  $Q(x', y', z')$  dan partikel  $m_0$  pada titik  $P(x, y, z)$  persamaan matematiknya sebagai berikut [3]



Gambar 1. Gaya gravitasi antara  $m_0$  dan  $m_1$  sebanding dengan  $r^{-2}$

$$\vec{F}(\vec{r}) = -G \frac{m_0 m}{r^2} \hat{r} \tag{2.1}$$

dengan:

$$r = [(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2]^{1/2} \tag{2.2}$$

$G$  adalah konstanta gravitasi universal ( $6,6732 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ ), dan  $\vec{r}$  adalah vektor satuan  $r$ ,  $\vec{r} = r \hat{r}$ . Jika persamaan (2.1) menyatakan gaya tarik yang dialami partikel  $m$  maka tanda negatif menyatakan gaya tarik tersebut memiliki arah yang berlawanan dengan vektor satuan  $\hat{r}$ . Dari persamaan (2.1) dapat diketahui besarnya medan gravitasi di  $m$  oleh adanya  $m_0$  adalah:

$$\vec{E}(\vec{r}) = -G \frac{m}{r^2} \hat{r} \tag{2.3}$$

Medan gravitasi adalah medan yang bersifat konservatif, maka medan gravitasi bisa dinyatakan sebagai gradien dari suatu fungsi potensial skalar  $U(\vec{r})$  sebagai berikut:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \nabla U(\vec{r}) \tag{2.4}$$

dengan :

$$U(\vec{r}) = -G \frac{m}{r} \tag{2.5}$$

merupakan potensial gravitasi dari massa  $m$ . Potensial medan gravitasi dari suatu distribusi massa yang kontinu dapat dihitung dengan pengintegralan.

$$U_P(\vec{r}) = -G \int_V \frac{dm}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \tag{2.6}$$

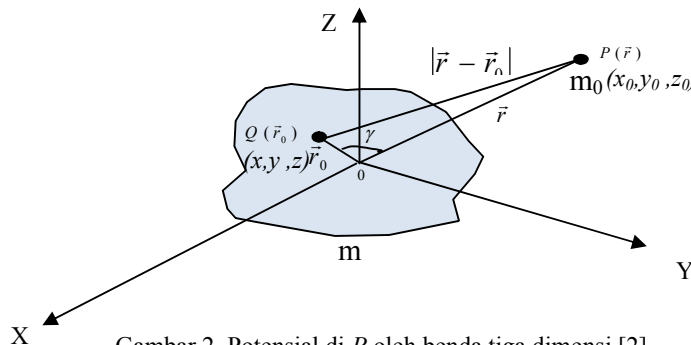
Jika massa yang terdistribusi kontinu tersebut mempunyai rapat massa  $\rho(\vec{r})$  di dalam volume  $V$ , maka potensial di suatu titik  $P$  di luar benda tersebut adalah [3]. (gambar 2.2):

$$U_P(\vec{r}) = -G \int_V \frac{\rho dV}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} = -G \iiint_{(x,y,z)} \frac{\rho \partial x \partial y \partial z}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \tag{2.7}$$

Jika  $P$  berada di permukaan bumi, maka percepatan gravitasi pada titik  $P$  adalah:

$$g(\vec{r}) = |-\vec{E}(\vec{r})| = |\nabla U_P(\vec{r})| \tag{2.8}$$

Jika persamaan 2.8 diturunkan ke arah sumbu  $z$ , (dalam arah vertical) maka diperoleh persamaan [3]:



Gambar 2. Potensial di  $P$  oleh benda tiga dimensi [2]

$$g_z(\vec{r}) = \frac{\partial U_p(\vec{r})}{\partial z} = -G \int \frac{\rho(\vec{r}_0)(z_0 - z)d^3\vec{r}_0}{\sqrt{[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{\frac{3}{2}}}} \quad (2.9)$$

Dari persamaan (2.9) bahwa medan gravitasi  $g$  di permukaan bumi bervariasi dan harganya bergantung pada distribusi massa di bawah permukaan  $\rho(\vec{r}_0)$  dan jaraknya dari pusat massa bumi (inti bumi). Pada sistem satuan cgs, satuan medan gravitasi adalah  $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-2}$  atau Gal (Galileo), untuk satuan lebih kecil yang biasa digunakan dalam metode gravitasi adalah  $\text{mgal}$  ( $1 \text{ mgal} = 10^{-3} \text{ Gal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ).

### Geologi Daerah Penelitian.

Stratigrafi daerah Bantul dan sekitarnya tersusun oleh batuan tersier yang terdiri dari batuan sedimen klastik vulkanik, batuan gunung api, dan sedimen klastik karbonatan, serta endapan permukaan yang berumur Kuartar. Berdasarkan sifat-sifat batuan dapat diperinci menjadi tujuh formasi yaitu Formasi Yogyakarta (46%), Formasi Sentolo (18%), Formasi Sambipitu (3%), Formasi Semilir Nglanggran (24%), Formasi Wonosari (8%), dan gumuk pasir (1%) [4].

Struktur geologi yang berkembang di daerah Opak Pleret adalah sesar geser dan sesar normal. Di sepanjang Sungai Opak terdapat sesar normal yang berada di sepanjang hampir 40 km dari pantai selatan Jawa di mulut sungai ke arah Prambanan Kabupaten Klaten dengan arah 30 sampai 40 derajat ke timur laut. Sesar Opak memotong Yogya *Low* dan Wonosari *High* dengan batuan andesit tua (OAF) sebagai penyusun struktur pemotongan sesar, sedangkan di timur Opak masih terdapat Formasi Semilir dan Nglanggran yang juga terlibat dalam sistem sesar.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di daerah seputar kecamatan Pleret Kabupaten

Bantul pada koordinat  $7^{\circ}51'12.7''$  LS sampai  $7^{\circ}53'54.0''$  LS dan  $110^{\circ}22'42.5''$  BT sampai  $110^{\circ}25'39.8''$  BT. Pengambilan data dilakukan pada awal bulan juli 2007 sebanyak 55 titik pengamatan yang berada di daerah penelitian. Pengambilan data medan gravitasi menggunakan Gravimemeter La Coste & Romberg Model G-1118 MVR, pengukuran koordinat lokasi titik pengamatan menggunakan GPS Garmin III Plus, sedangkan penentuan ketinggian titik pengamatan menggunakan peta topografi dari Bakorsutanal.

Data medan gravitasi yang terukur dilakukan pengolahan data gravitasi melalui tahapan berikut :

1. Konversi satuan yang bertujuan untuk penyeragaman satuan skala bacaan alat ke satuan miliGal.
2. Reduksi data gravitasi

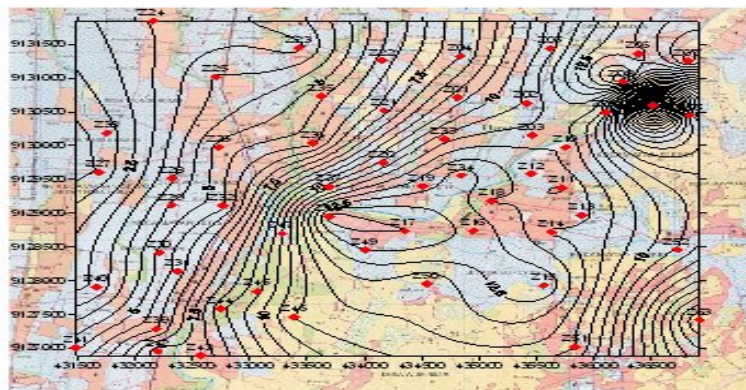
Data gravitasi yang terukur pada suatu titik pengamatan merupakan gabungan dari berbagai faktor gravitasi sehingga belum mencerminkan pengaruh kontras densitas bawah permukaannya, maka diperlukan reduksi yang menghilangkan pengaruh efek gravitasi luar. Reduksi dilakukan dengan melakukan koreksi antara lain: koreksi pasang surut, koreksi *drift*, koreksi  $g$  teoritis (pengaruh koordinat lintang), koreksi udara bebas, koreksi *bouguer* dan koreksi topografi. Data gravitasi setelah mengalami tahapan ini merupakan data anomali gravitasi (*Bouguer*) lengkap [5]. Pendugaan struktur bawah permukaan didapatkan melalui proses interpretasi data. Untuk mempermudah interpretasi, data yang berupa nilai anomali *Bouguer* lengkap yang berada pada topografi diproyeksikan ke bidang datar terlebih dahulu dengan bantuan *software Damney*. Kemudian nilai anomali yang telah terpapar di bidang datar di pisahkan nilai anomali lokal untuk mendapatkan nilai anomali regionalnya. Anomali regional yang telah terpapar di

bidang datar kemudian dibuat pemodelan menggunakan software *geomodel* [6]. Pemodelan berdasarkan respon medan gravitasi terhadap struktur persesaran yang menjadi target penelitian hingga didapat model dengan geometri, ketebalan, struktur pembentuk batuan, dan struktur perlapisan yang mempunyai respon medan gravitasi model sesuai dengan respon medan gravitasi yang diperoleh dari data pengukuran.

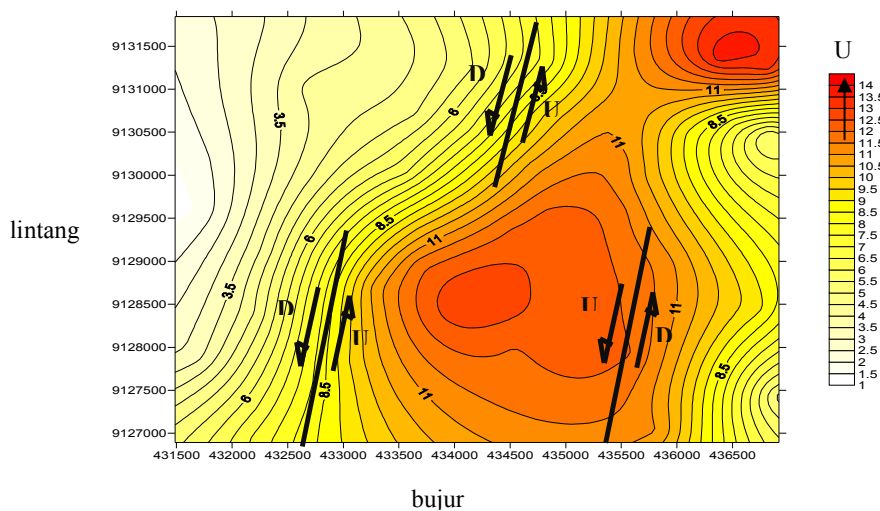
terlihat di dua titik pada koordinat UTM (453363, 9130579) dengan nilai 0.4 mgal dan (434175, 9128818) sebesar 13 mgal, yang dapat digambarkan bahwa titik tersebut memberikan respon sebagai anomali lokal. Struktur kelurusan, kerapatan, dan pembelokan kontur dapat mengidentifikasi adanya formasi sesar di bawah permukaan daerah penelitian. Struktur kelurusan sejajar dan rapat berkisar antara nilai 7.5 mgal hingga 12.5 mgal. Sesar normal memberikan respon nilai anomali gravitasi tinggi di bagian yang terangkat (*hanging wall*) dan memberikan respon rendah di bagian yang turun (*foot wall*). Sedangkan struktur pembelokan kontur menunjukkan batas blok batuan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

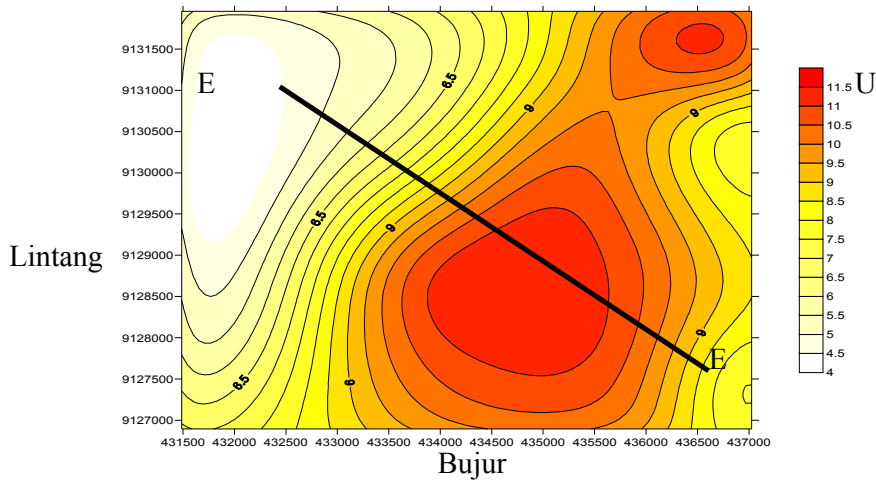
Peta kontur gambar 3 menunjukkan respon anomali gravitasi *Bouguer* lengkap pada bidang topografi. Dapat dilihat struktur kelurusan sejajar, kerapatan, dan pembelokan kontur. Struktur pengkutuban



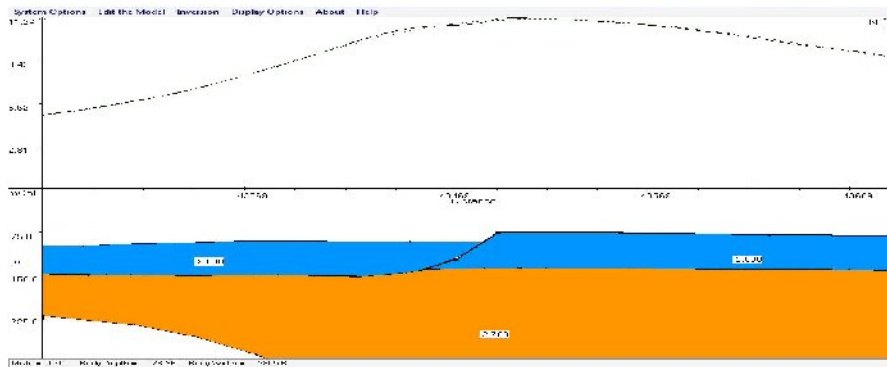
Gambar 3. Peta topografi dan kontur anomali *Bouguer* lengkap daerah penelitian



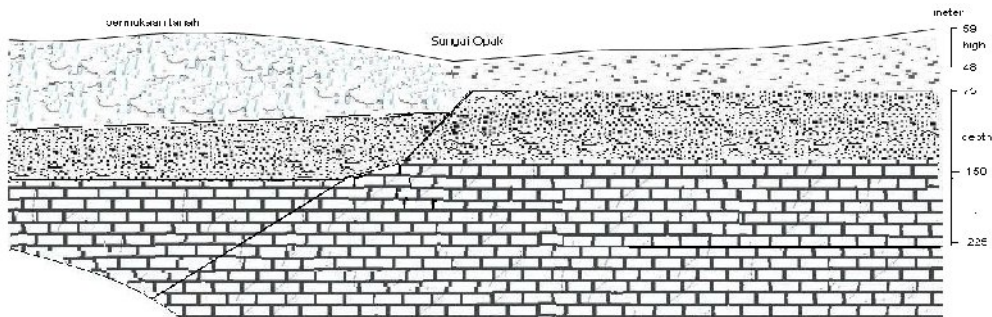
Gambar 4. Kontur Reduksi Bidang Datar (kedalaman bidang equivalent 2500 m dan ketinggian bisang datar 100 m)



Gambar 5. Kontur anomali regional (*Upward Continuation 300 m*)



Gambar 6a Pemodelan sayatan E-F



Gambar 6b, Penampang lapisan batuan (Sayatan E-F)

Keterangan gambar:

- : Batuan Gamping
- : Batuan Breksi Lapili
- : Sedimen purba sungai Opak
- : Batuan Sedimen Vulkanik Gunung Merapi

Gambar 4 merupakan anomali *Bouguer* lengkap yang diproyeksikan ke bidang datar dengan metode equivalen titik massa. Ditentukan kedalaman equivalen titik massa 2500 m dengan ketinggian bidang datar 100 m dari permukaan tanah. Hasil ini menunjukkan kontur yang cenderung lebih halus, sehingga tampak jelas arah perpotongan sesarnya. Analisis ini dilakukan dengan membuat pemodelan sayatan menyilang zona perpotongan sesar dari anomali gravitasi regionalnya diperlihatkan pada gambar 5, sedangkan model bawah permukaan ditunjukkan pada gambar 6. Dari hasil pemodelan ini dapat dilihat bahwa daerah penelitian kondisi bawah permukaannya diestimasi tersusun oleh tiga kelompok batuan. Batuan yang paling atas yang diasosiasikan sebagai batuan penutup dengan densitas  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , batuan ini tersusun oleh batuan alluvial. Batuan dibawah lapisan penutup diperkirakan tersusun oleh batuan breksi dengan densitas  $2.63 \text{ g/cm}^3$ . Batuan di bawah breksi adalah batu gamping dengan densitas  $2.7 \text{ g/cm}^3$  diasosiasikan sebagai batuan dasar

### KESIMPULAN

Secara garis besar sayatan (profil dan penampang model ditunjukkan pada gambar 6a dan 6b. daerah penelitian mempunyai struktur lapisan batuan yang terbentuk dari batuan gamping ( $2.7 \text{ g/cm}^3$ ), batuan breksi ( $2.63 \text{ g/cm}^3$ ), dan lapisan penutup berupa sedimen vulkanik dan pasir kerikil atau *sandstone* endapan Opak.

Di daerah penelitian juga diperkirakan ada sesar normal dengan selisih kedalaman pergeseran blok sesar antara *hanging wall* dan *foot wall* rata-rata sejauh 20 meter

### UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini dapat terwujud berkat dukungan dana dari hibah PHK A2 jurusan fisika FMIPA Undip, Laboratorium Geofisika UGM atas pinjaman Gravitymeternya. Atas kerjasama dan bantuannya diucapkan banyak terima kasih

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hardjono, I, 2006, *Hierarki Gempa Bumi dan Tsunami (Aceh, Nias, Bantul, Pangandaran, dan Selat Sunda)*, Jurnal, Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- [2] Salahuddin. dkk, 2007, *Misteri di dalam Bumi Mataram*, Jurnal, Fakultas Geologi UGM, Yogyakarta. <http://www.ugm.ac.id/index.php?page=rilis&artikel=642>.
- [3] Blakely, R.J. 1995. *Potential Theory in Gravitation and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA.
- [4] Info Bantul. <http://bantul.go.id/2005/09/05/>.
- [5] Telford, M.W., et al, 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.
- [6] Kirbani, SB., 2001. *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori dan Aplikasi)*. Laboratorium Geofisika FMIPA UGM, Yogyakarta