



PEMETAAN MAAR DAN CINDER CONE WILAYAH GUNUNG LAMONGAN MENGGUNAKAN ANALISIS *POWER SPECTRUM* DAN *UPWARD CONTINUATION*

Toviatun, Supriyadi*, Agus Suprianto

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Kampus Tegalboto Jember 68121

*Email : supriyadi@unej.ac.id

Abstrak

Metode gravitasi merupakan metode yang sering digunakan dalam eksplorasi geofisika. Dengan perkembangan teknologi sekarang ini, akuisis data telah berkembang dengan memanfaatkan data satelit dan pemodelan, salah satunya adalah data gravitasi GGMplus. Pada penelitian ini, data gravitasi GGMplus akan digunakan untuk memetakan sebaran maar dan *cinder cone* di Wilayah Gunung Lamongan. Agar mendapatkan hasil anomali lokal data gravitasi yang optimal, dilakukan kombinasi metode *filtering* analisis *power spectrum* dan *upward continuation*. Kontur data ABL dilakukan sayatan, data anomali gravitasi dari setiap lintasan sayatan di-FFT sehingga didapatkan bilangan gelombang dan nilai *power spectrum* beserta grafik hubungan antara keduanya. Metode analisis *power spectrum* memberikan data lebar jendela yang dijadikan sebagai informasi penentuan ketinggian pada metode *upward continuation*. Peta kontur ABL di wilayah Gunung Lamongan menunjukkan rentang nilai medan gravitasi antara -20 mGal hingga 50 mGal. Nilai anomali tinggi menunjukkan keberadaan Gunung Lamongan yang didominasi oleh batuan intrusif. Struktur bawah permukaan wilayah Gunung Lamongan diduga terdiri atas tuf, lahar, breksi gunungapi, dan lava. Keberadaan maar dan *cinder cone* di wilayah Gunung Lamongan dapat dipetakan dari kontur anomali lokal. Kontur anomali lokal diperoleh dari data ABL dengan menghubungkan dua metode *filtering* analisis *power spectrum* dan *upward continuation*. Terdapat 10 *cinder cone* dan 8 maar yang tampak pada peta kontur anomali lokal.

Kata kunci: GGMplus, maar, cinder cone, power spectrum, upward continuation

Abstract

The gravity method is a method often used in geophysical exploration. According to recent technological developments, data acquisition has evolved by utilizing satellite data and modelling, one of which is GGMplus gravity data. In this study, GGMplus gravity data will be used to map the distribution of maar and cinder cones in the Gunung Lamongan Region. To obtain the optimal local anomaly results of gravity data, a combination of power spectrum analysis and upward continuation filtering methods is carried out. ABL data contours are sliced, gravity anomaly data from each slicing path is processed using FFT so that the wave number and power spectrum values are obtained as well as the relationship graph between the two. The power spectrum analysis method provides window width data that is used as information on determining the height of the upward continuation method. The ABL contour map in the Gunung Lamongan region shows a range of gravitational field values between -20 mGal to 50 mGal. High anomaly values indicate the existence of Mount Lamongan which is dominated by intrusive rocks. The subsurface structure of the Gunung Lamongan region is thought to consist of tuff, lava, volcanic breccia, and lava. The existence of maar and cinder cones in the Gunung Lamongan area can be mapped from the contours of the local anomaly. Local anomaly contours are obtained from ABL data by connecting the two methods of filtering i.e power spectrum analysis and upward continuation. There are 10 cinder cones and 8 maar visible on the local anomaly contour map.

Keywords: GGMplus, maar, cinder cone, power spectrum, upward continuation

Cara Menulis Sitasi: Toviatun, Supriyadi, dan A. Suprianto (2020). Pemetaan Maar dan Cinder Cone Wilayah Gunung Lamongan Menggunakan Analisis Power Spectrum dan Upward Continuation. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*, 7 (2), hal. 150-161.

PENDAHULUAN

Metode gravitasi adalah metode eksplorasi yang mengukur medan gravitasi pada kelompok titik lokasi yang berbeda dalam area tertentu. Metode gravitasi sering digunakan untuk mempelajari batuan dasar, lubang di dalam massa batuan dan shaft terpendam karena metode ini sensitif terhadap perubahan vertikal. Medan gravitasi yang bervariasi karena perbedaan massa batuan di bawah permukaan bumi merupakan hal yang diperhatikan dalam metode gravitasi. Metode gravitasi dapat digunakan untuk mengetahui gambaran bawah permukaan bumi melalui perbedaan rapat massa suatu material dibandingkan dengan lingkungan sekitarnya [1]. Struktur bawah permukaan bumi dapat digambarkan berdasarkan perbedaan nilai medan gravitasi. Anomali medan gravitasi dapat disebabkan oleh pengendapan mineral, alterasi hidrotermal, patahan, intrusi batuan, variasi porositas dan lain-lain [2]. Metode gravitasi telah banyak diaplikasikan untuk penelitian dengan tujuan mengetahui struktur bawah permukaan, diantaranya yaitu Sihombing [3] untuk kajian panas bumi, Sulistianingsih [4] untuk penentuan pasir besi, Hidayat [5] dan sebagainya.

Secara konvensional, akuisisi data pada metode gravitasi dilakukan melalui pengambilan data secara langsung di lapangan. Seiring dengan kemajuan teknologi, pengambilan data gravitasi dapat dilakukan melalui satelit dan datanya tersedia di internet. Data gravitasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu data GGMplus (*Global Gravity Model plus*). GGMplus merupakan model dari medan gravitasi berdasarkan pada gravitasi topografi dan data satelit GOCE (TIM-4), EGM2008, dan satelit GRACE. GGMplus memberikan gambaran baru berupa data percepatan gravitasi, komponen medan radial dan horizontal dan ketinggian quasigeoid dengan jumlah titik lebih dari 3 miliar yang mencakup 80 % massa daratan bumi dalam $\pm 60^\circ$, berbentuk grid dan spasi antar titiknya ~ 220 m [6]. Aziz et al [7] telah memanfaatkan data medan gravitasi GGMplus untuk melakukan penelitian identifikasi struktur bawah permukaan lapangan panas bumi di wilayah Gunung Lamongan. Dalam penelitian tersebut, data gravitasi GGMplus berupa data *gravity disturbance* diperlakukan setara dengan data *gravity free-air* sehingga diperlukan koreksi topografi untuk menghasilkan Anomali Bouger Lengkap (ABL).

Menurut Telford et al [8], koreksi topografi merupakan perhitungan massa yang memiliki pengaruh terhadap nilai anomali medan gravitasi. Koreksi topografi terdiri dari koreksi Bouger dan koreksi medan (koreksi terrain). Koreksi Bouger digunakan untuk menghilangkan gaya berat yang ditimbulkan akibat massa tersebut. Besar koreksi Bouger yaitu :

$$\text{Koreksi Bouger} = 0,04193\rho h \text{ (mGal)} \quad (1)$$

dengan ρ adalah nilai densitas rata-rata ($2,67 \text{ g/cm}^3$) dan h adalah ketebalan *slab*. Koreksi terrain dilakukan karena pada koreksi Bouger menganggap bidang pengukuran datar, sedangkan pada kenyataan terdapat beberapa undulasi seperti lembah dan bukit. Koreksi terrain dapat dilakukan dengan menggunakan software Oasis Montaj dengan mengatur zona dekat, zona tengah dan zona jauh [9].

Menurut Blakely [10], anomali Bouger merupakan hasil pengurangan dari data medan gravitasi (g_{obs}) dengan nilai medan gravitasi teoritis (g_n) di titik pengamatan. Anomali medan gravitasi setelah dilakukan koreksi dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

1. Anomali Bouger Sederhana (ABS)

$$ABS = g_{ob} - g_n + 0,3086h - 0,04193\rho h \quad (2)$$

2. Anomali Bouger Lengkap (ABL)

$$ABL = g_{ob} - g_n + 0,3086h - 0,04193\rho h - \text{koreksi terrain} \quad (3)$$

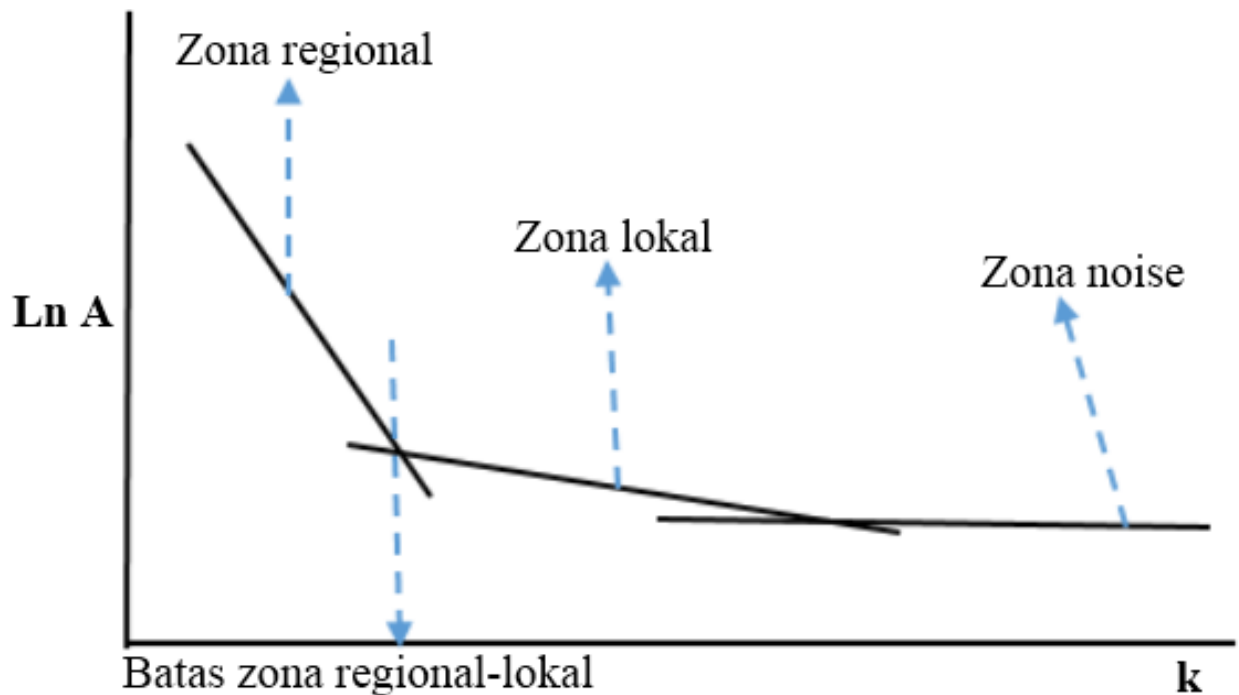
Data ABL terdiri dari komponen anomali lokal dan anomali regional. Pemisahan antara kedua komponen tersebut dilakukan dengan menggunakan metode *filtering*, salah satunya yaitu metode analisis *power spectrum*. Analisis *power spectrum* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kedalaman sumber anomali dengan menggunakan Fast Fourier Transform dari domain

spasial ke dalam bilangan gelombang [11],[12]. Analisis *power spectrum* menghasilkan estimasi lebar jendela (*filter window*) dan estimasi kedalaman diskontinuitas dari anomali gravitasi. Estimasi lebar jendela yang optimal didapatkan dengan cara menghitung logaritma spektrum amplitudo yang didapatkan dari transformasi Fourier yang memberikan hasil persamaan garis lurus. Nilai bilangan gelombang (k) menjadi berbanding lurus dengan nilai *power spectrum*.

$$\ln A = (z_0 - z')|k| \tag{4}$$

Batas antara orde satu (regional) dengan orde dua (residual) didapatkan dari regresi linier, maka nilai bilangan gelombang (k) pada batas tersebut digunakan sebagai penentu lebar jendela (n).

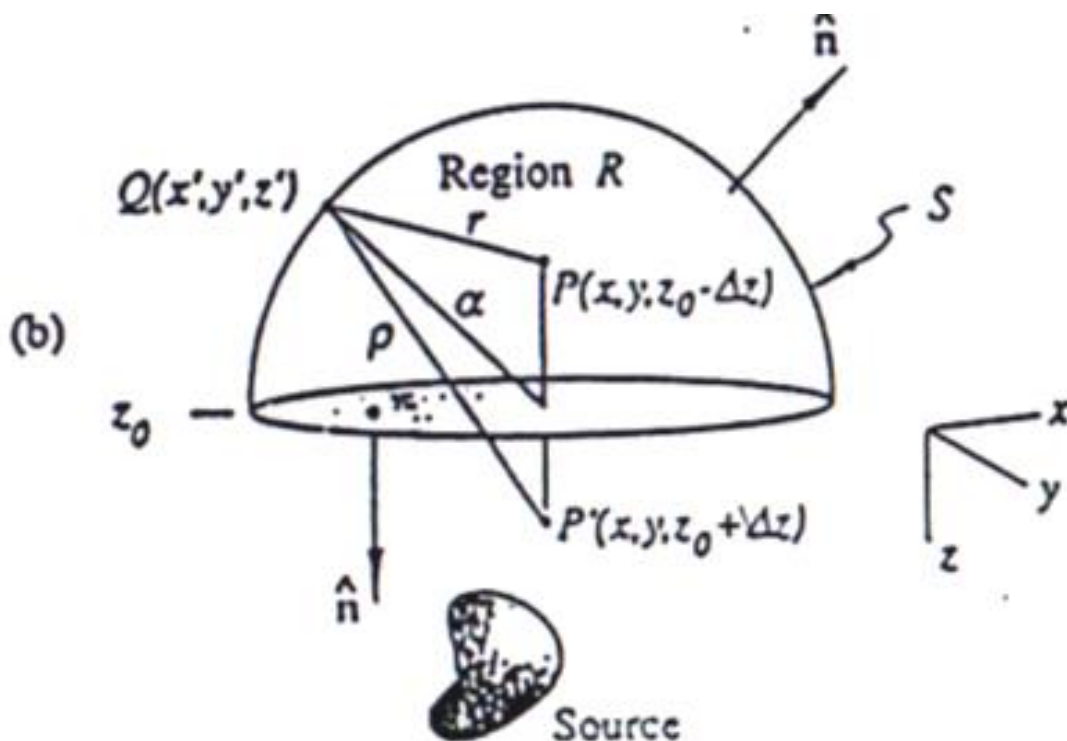
$$n = \frac{2\pi}{k\Delta z} \tag{5}$$



Gambar 1. Grafik hubungan antara $\ln A$ dengan k [10]

Gambar 1 merupakan grafik hubungan antara spektrum amplitudo dengan bilangan gelombang (k) yang digunakan untuk penentuan batas zona regional, zona residual (lokal) dan batas noise [10]. Pemanfaatan analisis *power spectrum* pada gravitasi telah dilakukan oleh Indriana [13] dan Zulvawati et al [14] untuk mengkaji ketebalan lapisan sedimen.

Metode *filtering* lain yang digunakan pada penelitian yaitu metode *upward continuation*. *Upward continuation* merupakan metode yang melakukan transformasi medan potensial yang terukur pada permukaan ke permukaan lain yang memiliki jarak dengan permukaan sumber, dengan tujuan menghilangkan anomali akibat sumber dangkal dan menampakkan anomali akibat sumber yang lebih dalam [10].



Gambar 2. Upward continuation dari bidang horizontal [10]

Berdasarkan Gambar 2, misalkan suatu medan potensial diasumsikan terukur pada bidang data $z = z_0$, dan diharapkan suatu medan di titik tunggal $P(x, y, z_0 - \Delta z)$ di atas bidang datar (*level surface*), dimana $\Delta z > 0$.

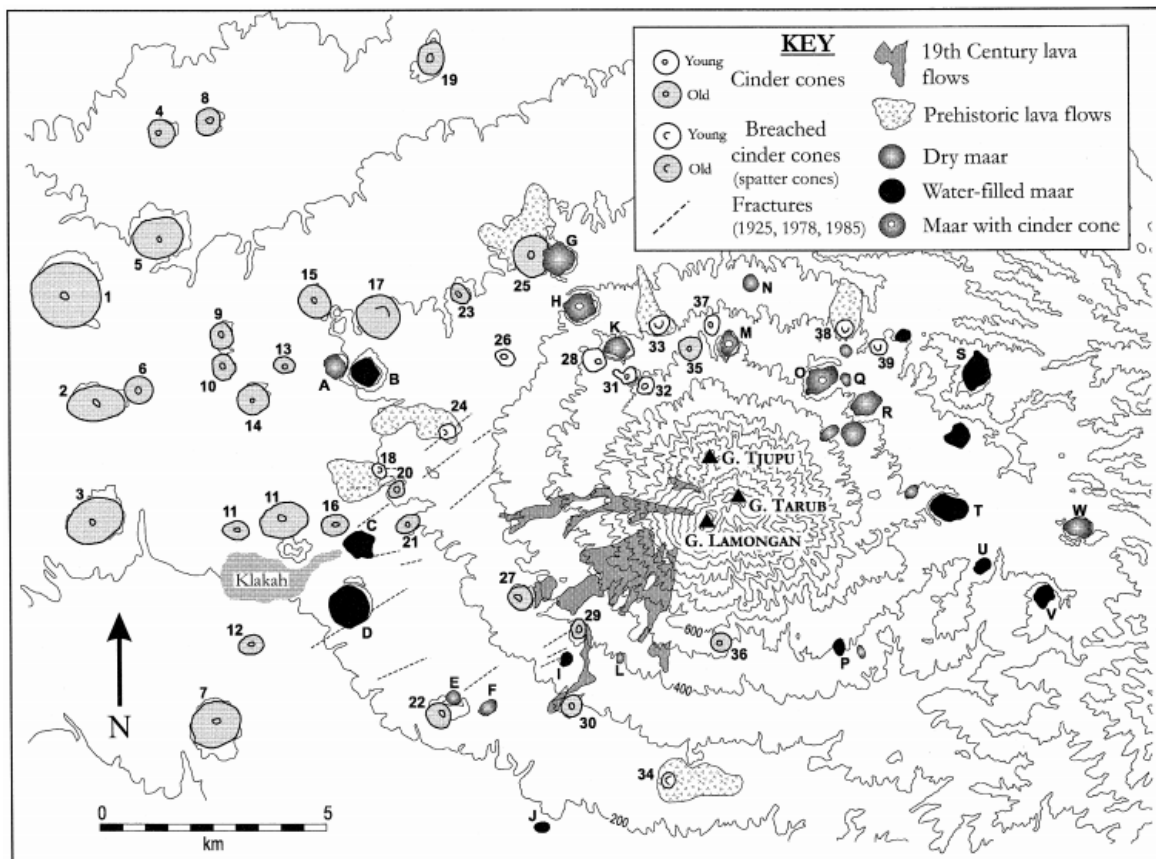
$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(x', y', z_0)}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2]^{\frac{3}{2}}} dx' dy', \Delta z > 0 \quad (6)$$

Metode *upward continuation* merupakan metode filtering standar dalam metode gravitasi dan telah banyak dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, diantaranya Salimi dan Motlagh [15], Agussalim [16], Setiadi et al [17], Kebede et al [12], dan sebagainya.

Metode *filtering analisis power spectrum* yang dihubungkan dengan metode *upward continuation* dapat menghasilkan dua peta kontur anomali lokal dan anomali regional yang optimum. Penelitian penentuan kedalaman optimum menggunakan data anomali gaya berat dengan metode korelasi antara analisis *power spectrum* dan *upward continuation* telah dilakukan oleh Nugraha [18] dengan menggunakan data gravitasi hasil akuisisi LIPI di Wilayah Semarang. Karakter data medan gravitasi GGMplus dengan spasi ~200m cukup sesuai untuk dilakukan gabungan *filtering* kedua metode tersebut.

Wilayah yang dijadikan sebagai objek penelitian yaitu Gunung Lamongan. Gunung Lamongan adalah gunung api aktif di Indonesia, terletak di Jawa Timur, perbatasan antara Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Probolinggo yang memiliki tipe stratovolcano. Gunung Lamongan terletak pada titik koordinat $7^{\circ}55'-8^{\circ}5'LS$ dan $113^{\circ}15'-113^{\circ}25' BT$ dengan ketinggian 1651 mdpl. Gunung Lamongan memiliki karakteristik yang unik yaitu memiliki 36 *cinder cone* dan 22 maar (Gambar 3), diantaranya maar kering (*dry maar*) maupun yang telah terisi air menjadi ranu (*water-filled maar*). *Cinder cone* merupakan gunung api yang dikelilingi oleh abu dan pecahan kecil batuan vulkanik yang menyebar. *Cinder cone* berbentuk bukit kerucut vulkanik dengan bagian atas mengandung kawah yang berbentuk mangkuk, dengan ketinggian lebih dari 500 m dari tanah [19]. Maar adalah cekungan yang di sekelilingnya terdapat endapan yang terbentuk karena adanya letusan gunung api, terisi oleh

air, serta berdiameter hingga 2 km. Gunung api maar timbul karena adanya letusan besar yang membentuk lubang besar atau eksplosif pada puncak yang dinamakan kawah. Karakteristik gunung api maar yaitu memiliki corong dan dapur magma yang dangkal bertekanan tinggi [20].



Gambar 3. Peta sebaran aliran lava, *cinder cone*, dan maar di sekitar Gunung Lamongan [19]

Karakteristik fisik *cinder cone* dan maar yaitu ukuran dan struktur geologi diduga dapat dipetakan dengan baik menggunakan data medan gravitasi GGMplus dengan spasi data ~200m. Pemanfaatan kombinasi 2 metode *filtering* yaitu analisa *power spectrum* dan *upward continuation* diharapkan semakin memperjelas sebaran *cinder cone* dan maar di Wilayah Gunung Lamongan.

METODE

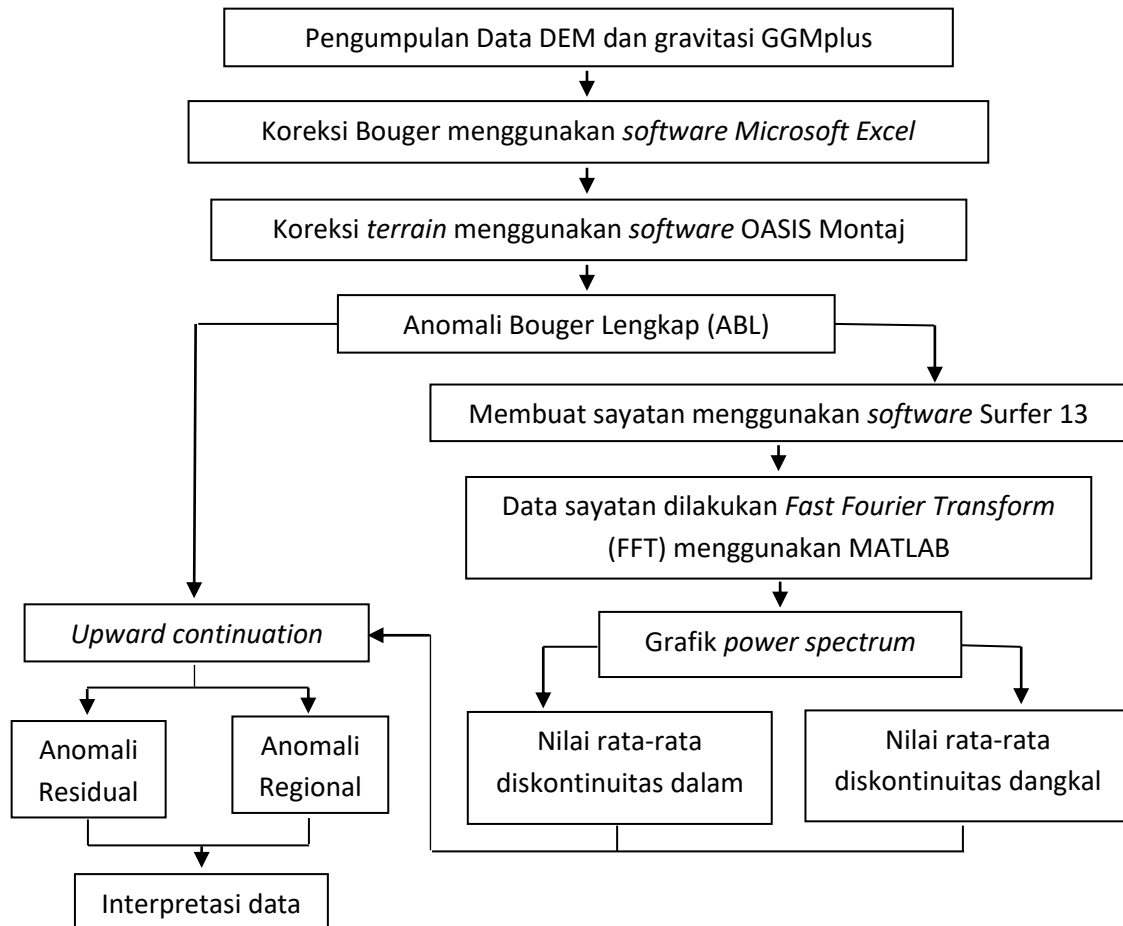
Wilayah Penelitian dan Sumber Data

Wilayah yang dijadikan sebagai objek penelitian yaitu Gunung Lamongan yang terletak pada koordinat 7°55' - 8°5' LS dan 113°15' - 113°25' BT. Data gravitasi GGMplus dapat diakses dari laman <http://bgi.omp.obs-mip.fr/data-products/Grids-and-models/GGMplus2013gravity-model>. Data GGMplus yang diunduh yaitu berupa data *gravity disturbance* dengan format .dg. yaitu S10E110.dg yang merupakan kode untuk wilayah Jawa Timur. Kode tersebut mewakili informasi koordinat geografi yaitu lintang selatan dengan koordinat -10° hingga -5° dan bujur timur dengan koordinat 110° hingga 115°. Data diekstrak lebih lanjut menggunakan script yang juga tersedia dalam alamat web tersebut dengan menyesuaikan koordinat geografi yaitu 7°55' - 8°5' LS dan 113°15' - 113°25' BT sehingga didapatkan data *gravity disturbance* sebanyak 8.500 data.

Data pendukung yang dibutuhkan dalam proses koreksi data gravitasi GGMPlus menggunakan

software Oasis Montaj adalah data DEM SRTM yang diperoleh dari situs <http://srtm.csi.org/srtmdata/>. Data DEM diperoleh dengan mengunduh sesuai daerah penelitian dengan grid $5^\circ \times 5^\circ$. Software Global Mapper 13 digunakan untuk mendapatkan grid regional dan residual DEM.

Tahapan Pengolahan Data



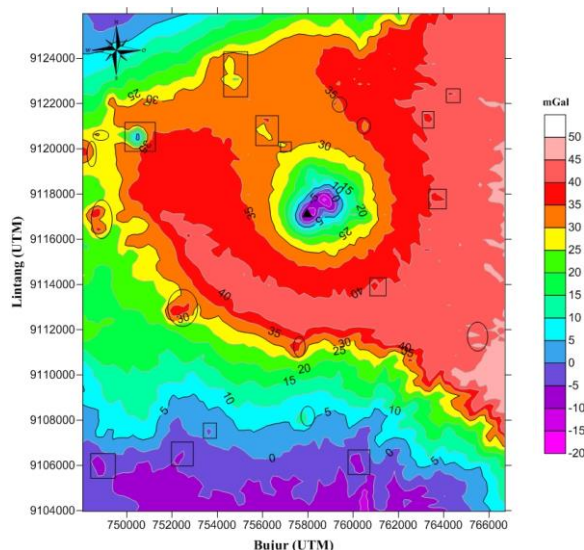
Gambar 4. Tahapan pengolahan data

Tahapan pengolahan data diawali dengan koreksi topografi diantaranya koreksi bouger dengan menggunakan *software spreadsheet* (persamaan 1) dan koreksi terrain dengan menggunakan *software OASIS Montaj*. Luaran dari koreksi terrain tersebut diolah dengan menggunakan *software Global Mapper 13* dalam bentuk grid. Nilai Anomali Bouger Lengkap (ABL) dihitung dengan menggunakan persamaan 3. Kontur ABL dibuat menggunakan *software Surfer 13* dalam satuan koordinat Universal Transverse Mercator (UTM). Data ABL dilakukan interpretasi kualitatif melalui pembacaan pola anomali medan gravitasi yang dihubungkan dengan kondisi geologinya dan data-data kebumihan lainnya. Kontur ABL dibuat sayatan dengan menggunakan *software Surfer 13*. Data hasil sayatan berupa medan gravitasi dan nilai *latitude* kemudian dilakukan FFT (*Fast Fourier Transform*) sehingga diperoleh grafik hubungan antara bilangan gelombang dan nilai *power spectrum*. Grafik tersebut memberikan informasi rata-rata diskontinuitas dalam dengan frekuensi rendah dan diskontinuitas dangkal dengan frekuensi tinggi. Nilai rata-rata diskontinuitas dari metode analisis *power spectrum* berkaitan dengan nilai bilangan gelombang (k) dan lebar jendela (n) yang selanjutnya digunakan sebagai referensi dalam melakukan *upward continuation* data ABL. Metode *upward continuation* menghasilkan data medan gravitasi regional dan medan gravitasi lokal (residual). Peta kontur medan gravitasi lokal digunakan untuk mengetahui intrusi batuan yang diindikasikan dengan nilai anomali gravitasi yang tinggi. Nilai anomali tinggi yang dikelilingi oleh anomali rendah berkorelasi dengan keberadaan *cinder cone*. Nilai anomali rendah yang dikelilingi oleh anomali tinggi

berkorelasi dengan keberadaan maar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Bouger Lengkap (ABL) diperoleh setelah melakukan serangkaian koreksi terhadap data *gravity disturbance* GGMplus yang meliputi koreksi Bouger dan koreksi terrain. Medan gravitasi ABL nilainya dipengaruhi oleh variasi densitas batuan di bawah permukaan bumi. Gambar 5 menunjukkan peta kontur ABL di wilayah gunung Lamongan.



Ket : □ : maar, ○ : *cinder cone*

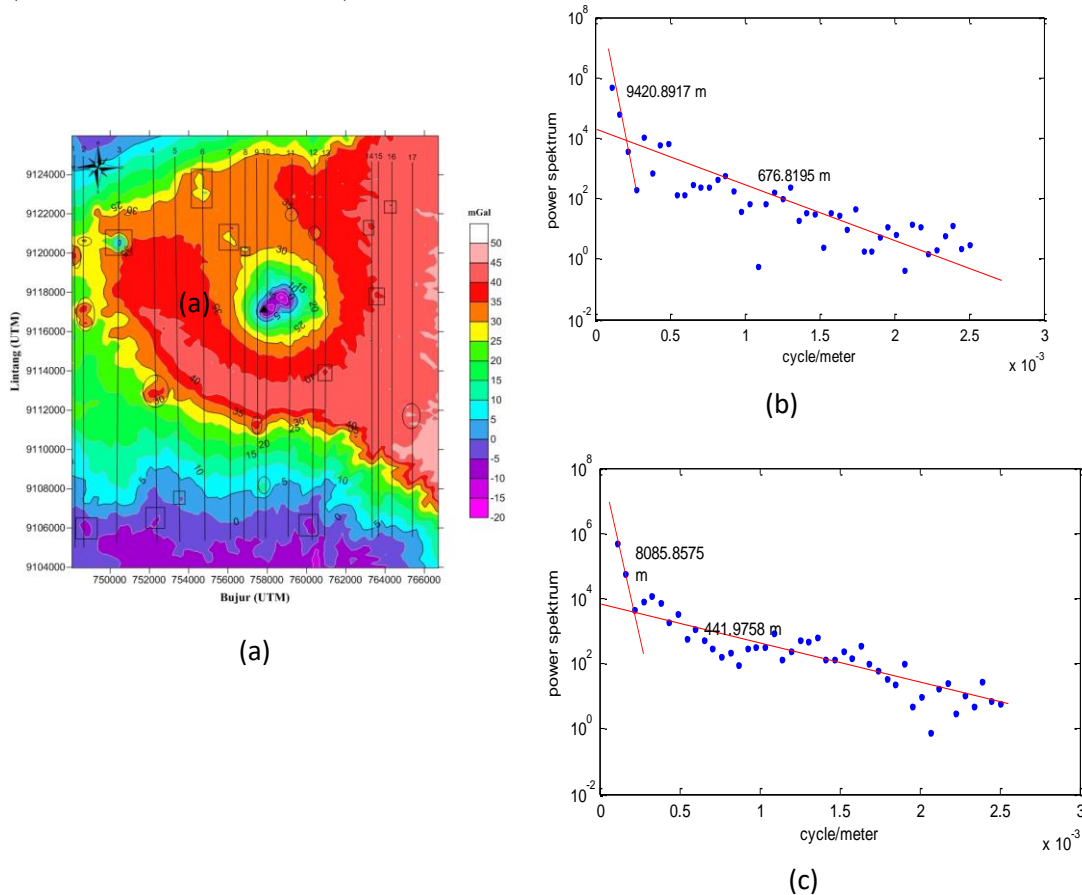
Gambar 5. Peta kontur Anomali Bouger Lengkap (ABL) wilayah Gunung Lamongan

Berdasarkan kontur anomali pada Gambar 5, diperoleh rentang nilai medan gravitasi antara -20 mGal yang ditandai dengan warna ungu muda sampai 50 mGal yang ditandai warna merah muda. Anomali medan gravitasi negatif (-20 mGal – 0 mGal) terletak pada bagian selatan yang merupakan wilayah kaki Gunung Lamongan dan berupa dataran rendah. Anomali medan gravitasi tinggi (>30 mGal) merupakan tubuh Gunung Lamongan yang didominasi dengan kontur warna coklat sampai merah muda. Anomali menengah dengan warna kontur biru sampai kuning dengan rentang nilai medan gravitasi 0 mGal – 30 mGal mendominasi bagian kaki dan bagian puncak Gunung Lamongan. Variasi nilai medan gravitasi tersebut dipengaruhi oleh perbedaan nilai densitas penyusun batuan. Struktur bawah permukaan wilayah Gunung Lamongan berdasarkan kontur ABL (Gambar 5), didukung dengan hasil penelitian Indriana [13], hasil penelitian Indrawati [21], dan peta geologi Gunung Lamongan tersusun oleh batuan yang meliputi tuf, lahar, breksi gunungapi, dan lava andesit-basaltik. Tuf, lahar, breksi gunungapi, dan lava merupakan hasil dari kegiatan Gunung Lamongan dan pusat erupsi parasit yang ada pada bagian lereng. Lava ini keluar melalui kerucut parasiter pada bagian lereng atau kaki Gunung Lamongan, dan membentuk tebing kawah. Breksi terdiri dari komponen andesit, basal, mineral mafik dan batu apung.

Pada wilayah Gunung Lamongan ditemukan maar dan *cinder cone* (simbol persegi dan lingkaran pada Gambar 5). Keberadaan *cinder cone* ditunjukkan oleh nilai anomali tinggi yang dikelilingi oleh anomali rendah. Sedangkan keberadaan maar ditunjukkan oleh nilai anomali tinggi yang mengelilingi anomali rendah. Sebaran *cinder cone* pada peta kontur ABL (Gambar 5) terdapat pada sisi barat, utara, selatan dan tenggara dari Gunung Lamongan yang ditunjukkan oleh simbol lingkaran. Maar yang ditemukan pada peta kontur ABL pada penelitian ini lebih banyak apabila dibandingkan dengan penelitian Aziz [22]. Pada penelitian Aziz [22] memaparkan peta sebaran maar hanya ditemukan pada sisi barat laut dari Gunung Lamongan. Sedangkan sebaran maar pada peta

kontur ABL (Gambar 4) terdapat pada sisi barat, utara dan selatan dari Gunung Lamongan yang ditunjukkan oleh simbol persegi. Hasil interpretasi maar dan *cinder cone* menggunakan data ABL kurang maksimal karena ABL terdiri dari komponen anomali lokal dan anomali regional. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan menghubungkan metode *filtering* analisis *power spectrum* dan *upward continuation* untuk memisahkan anomali lokal dan anomali regional.

Peta kontur ABL dilakukan sayatan (*slicing*) yang sejajar dengan garis bujur pada wilayah Gunung Lamongan (Gambar 6 a). Terdapat 17 sayatan dengan kerapatan yang berbeda agar sayatan yang dibuat melewati setiap maar dan *cinder cone* yang telah diidentifikasi sebelumnya pada gambar 5. Data ABL hasil dari setiap lintasan sayatan dilakukan *filtering* yaitu metode analisis *power spectrum* sehingga diperoleh grafik hubungan antara bilangan gelombang dan *power spectrum* (Gambar 6 b dan Gambar 6c).



Gambar 6. Analisis *power spectrum* pada wilayah Gunung Lamongan (a) sayatan peta kontur ABL, (b) grafik *power spectrum* lintasan 1, dan (c) grafik *power spectrum* lintasan 2

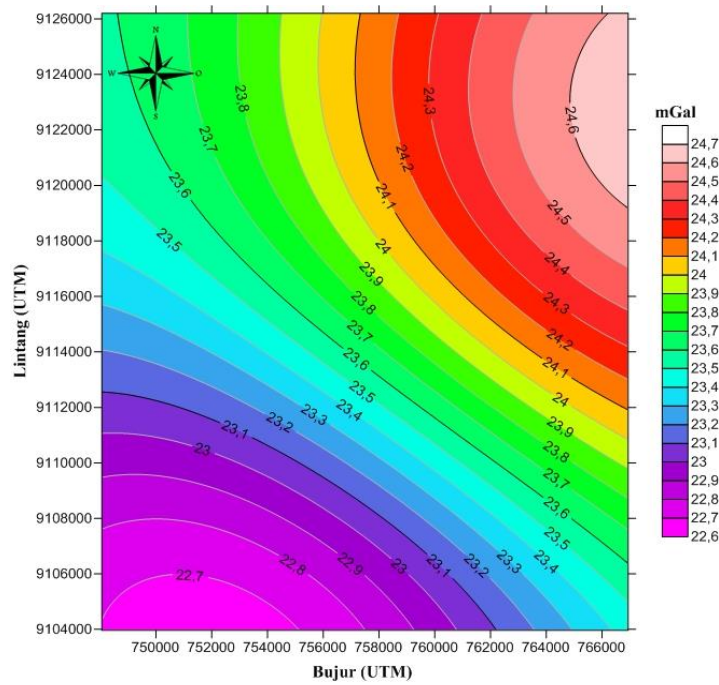
Grafik pada Gambar 6 b dan Gambar 6 c menjelaskan hubungan antara *power spectrum* dan bilangan gelombang. Pada grafik tersebut terdapat dua gradien garis yang memberikan informasi kedalaman diskontinuitas dalam dan diskontinuitas dangkal. Informasi kedalaman diskontinuitas dalam dan diskontinuitas dangkal secara lengkap untuk 17 lintasan terlihat pada Tabel 1. Batas antara diskontinuitas dalam dan dangkal memiliki besar gelombang yang disebut dengan bilangan gelombang cutoff (k_c), yang digunakan untuk menentukan lebar jendela (n). Besar bilangan gelombang cutoff (k_c) berbanding terbalik dengan besar lebar jendela (n). Semakin besar nilai bilangan gelombang cutoff (k_c) maka semakin kecil lebar jendela (n) dan sebaliknya.

Tabel 1. Hasil analisis *power spectrum* di wilayah Gunung Lamongan

No. Lintasan Sayatan	Diskontinuitas Dalam (m)	Diskontinuitas Dangkal (m)	Bilangan gelombang k_c (m)	Lebar jendela n (m)
Lintasan Sayatan 1	9420,9	676,8	0,00020	157,00
Lintasan Sayatan 2	8085,8	441,9	0,00022	144,43
Lintasan Sayatan 3	7429,6	476,6	0,00022	142,86
Lintasan Sayatan 4	4612,4	543,8	0,00027	115,57
Lintasan Sayatan 5	5273,3	450,6	0,00027	114,31
Lintasan Sayatan 6	5952,3	409,7	0,00022	142,86
Lintasan Sayatan 7	2773,6	180,2	0,00044	70,66
Lintasan Sayatan 8	3188,8	286,6	0,00038	82,87
Lintasan Sayatan 9	1715,3	194,9	0,00062	50,81
Lintasan Sayatan 10	3263,6	584,6	0,00032	97,12
Lintasan Sayatan 11	2095,3	182,5	0,00062	50,81
Lintasan Sayatan 12	1750,7	107,4	0,00068	45,89
Lintasan Sayatan 13	2146,2	256,1	0,00039	80,74
Lintasan Sayatan 14	2867,2	280,8	0,00034	93,15
Lintasan Sayatan 15	2021,9	281,8	0,00039	80,51
Lintasan Sayatan 16	1717,9	269,8	0,00050	62,80
Lintasan Sayatan 17	1712,5	226,5	0,00052	60,71
Rata-Rata	3883,9	344,2	0,00039	93,71

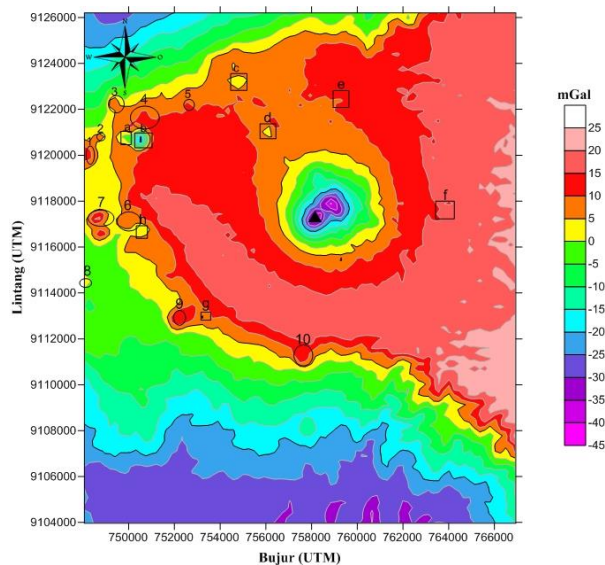
Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 1, nilai kedalaman diskontinuitas di wilayah Gunung Lamongan berbeda-beda. Nilai kedalaman diskontinuitas dalam memiliki rentang nilai antara (1712,5-9420,9) m dengan rata-rata 3883,9 m. Nilai diskontinuitas dangkal memiliki rentang nilai antara (107,4-676,8) m dengan rata-rata 344,2 m. Nilai diskontinuitas dalam diasumsikan sebagai kedalaman lapisan sedimen tersier atau pre-kuarter yang terdiri dari dua komponen yaitu batuan beku dan batuan basal. Nilai diskontinuitas dangkal diasumsikan sebagai kedalaman lapisan sedimen kuarter yang tersusun oleh batu pasir (alluvial).

Metode *filtering* lain yang digunakan pada penelitian yaitu metode *upward continuation*. Metode *upward continuation* merupakan salah satu metode *filtering* yang digunakan untuk memisahkan anomali lokal dan anomali regional dari Anomali Bouger Lengkap (ABL) dengan membawa bidang pengukuran ke atas dengan ketinggian tertentu. Data kedalaman rata-rata diskontinuitas yang dihasilkan dari metode analisis *power spectrum* (Tabel 1) digunakan untuk menentukan ketinggian pada metode *upward continuation*. Berdasarkan Tabel 1, diperoleh lebar jendela 93,71 m dengan spasi 200 m, sehingga dilakukan *upward continuation* pada ketinggian 18742,34 m. Besar ketinggian 18742,34 m didapatkan dari hasil perkalian antara nilai lebar jendela rata-rata dengan spasi grid yang digunakan.



Gambar 7. Peta kontur anomali regional wilayah Gunung Lamongan

Setelah dilakukan upward continuation pada data ABL dengan ketinggian 18742,34 m menggunakan *software* magpick maka diperoleh peta kontur anomali regional wilayah Gunung Lamongan seperti pada Gambar 7. Peta kontur anomali regional pada Gambar 8 memiliki nilai dengan interval (22-24) mGal. Nilai tersebut rentangnya kecil yang menunjukkan bahwa anomali regional untuk wilayah Gunung Lamongan didominasi oleh struktur batuan yang hampir sama. Anomali tinggi berkorelasi dengan efek keberadaan Gunung Lamongan dan Gunung Argopuro. Anomali tinggi menunjukkan pula batuan dengan densitas besar yang dalam. Berdasarkan peta geologi, wilayah Gunung Lamongan didominasi oleh batuan aluvial dan batuan beku Pleistosen-Holosen.



Ket : □ : maar, ○ : cinder cone

Gambar 8. Peta kontur anomali lokal daerah penelitian yang di-overlay dengan peta sebaran cinder cone dan maar di sekitar Gunung Lamongan

Peta kontur anomali lokal seperti pada Gambar 8 memiliki nilai dengan interval -41 mGal hingga 24 mGal. Anomali lokal didapatkan dari pengurangan antara ABL dengan anomali regional. Nilai anomali tinggi berkorelasi dengan adanya batuan intrusif yang tidak nampak pada permukaan dan keberadaan gunung api. Batuan intrusif terbentuk dari hasil pembekuan magma di bawah permukaan bumi. Nilai anomali rendah di pusat Gunung Lamongan berkorelasi dengan keberadaan kantong magma Gunung Lamongan. Anomali rendah yang dikelilingi anomali tinggi menunjukkan keberadaan maar. Anomali rendah yang mengelilingi anomali tinggi menandakan keberadaan *cinder cone*. Gambar 8 merupakan peta yang memberikan penjelasan sebaran *cinder cone* dan maar di wilayah Gunung Lamongan. Gambar 8 memberikan informasi pada wilayah Gunung Lamongan ditemukan 10 *cinder cone* dan 8 maar. *Cinder cone* disimbolkan dengan angka dan lingkaran diantaranya (1) G. Pakem, (2) G. Yoso, (3) G. Tengu, (4) G. Dadapsulur, (5) G. Rindang, (6) G. Matruki, (7) G. Melawung (dua kerucut), (8) G. Kidulkali, (9) G. Ranuwulung, (10) G. Kenek. Maar disimbolkan dengan huruf dan kotak diantaranya (a) R. Bedali, (b) R. Bedali, (c) R. Gunungparang, (d) R. Air, (e) R. Gedang, (f) R. Agung, (g) R. Kalianyar, (h) R. Lamongan (atau R. Klakah). Penelitian Carn (2000), dilakukan melalui metode geokimia dan observasi kondisi geologi di lapangan. Penelitian Carn menggunakan geochronology terhadap sampel-sampel batuan di wilayah Gunung Lamongan dan berhasil menemukan 36 *cinder cone* dan 22 maar. Berdasarkan hasil ini, data medan gravitasi GGMplus sudah mampu memetakan sebaran maar dan *cinder cone* yang merupakan obyek-obyek geologi yang relatif kecil dan dapat digunakan sebagai alternatif data gravitasi yang mudah diperoleh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa peta kontur Anomali Bouger lengkap (ABL) menggunakan data medan gravitasi GGMplus di wilayah Gunung Lamongan menunjukkan rentang nilai medan gravitasi antara -20 mGal hingga 50 mGal. Nilai anomali tinggi menunjukkan keberadaan Gunung Lamongan dan batuan intrusif. Nilai medan gravitasi yang bervariasi disebabkan oleh adanya densitas batuan. Struktur bawah permukaan wilayah Gunung Lamongan diduga terdiri atas tuf, lahar, breksi gunungapi, dan lava. Kombinasi metode *filtering* analisis *power spectrum* dan *upward continuation* berhasil memetakan keberadaan maar dan *cinder cone* melalui peta kontur anomali lokal. Terdapat 10 *cinder cone* dan 8 maar yang tampak pada peta kontur anomali lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Arif, *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2016.
- [2] P. A. Santos and J. A. Rivas, "Gravity Survey Contribution to Geothermal Exploration in El Salvador: The Cases of Berlín, Ahuachapán and San Vicente Areas," 2009.
- [3] R. B. Sihombing, "Pemodelan dan Analisis Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi Kepihang Berdasarkan Metode Gaya Berat," Universitas Lampung, 2017.
- [4] F. Sulistianingsih, "Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Daerah X untuk Menentukan Sumber Pasir Besi dengan Metode Gravitasi," Universitas Indonesia, 2009.
- [5] F. Hidayat, "Penyelidikan Gaya Berat untuk Pemetaan Struktur Bawah Permukaan di Daerah Karanganyar Bagian Barat," Universitas Sebelas Maret UNS, 2011.
- [6] C. Hirt, S. Claessens, T. Fecher, M. Kuhn, R. Pail, and M. Rexer, "New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 40, no. 16, pp. 4279–4283, 2013.
- [7] N. Aziz, E. Hartantyo, and S. W. Niasari, "The Study of Fault Lineament Pattern of the Lamongan Volcanic Field Using Gravity Data," 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1011/1/012025.
- [8] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Applied Geophysics*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

- [9] W. J. Hinze, R. R. B. . Frese, and A. . Saad, *Gravity and Magnetic Exploration*. New York: Cambridge University Press, 2012.
- [10] R. Blakely, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Edinburgh: Cambridge University Press, 1996.
- [11] C. M. Uang and V. V Bertero, *Implication of Recorded Earthquake Ground Motions on Seismic Design Building Structures*. Berkeley: Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, 1998.
- [12] H. Kebede, A. Alemu, and S. Fisseha, "Upward continuation and polynomial trend analysis as a gravity data decomposition, case study at Ziway-Shala basin, central Main Ethiopian rift," *Heliyon*, vol. 6, 2020.
- [13] R. Indriana, "Estimasi Ketebalan Sedimen dan Kedalaman Diskontinuitas Mohorovicic Daerah Jawa Timur dengan Analisis Power Spectrum Data Anomlai Gravitasi," *Berk. Fis.*, vol. 11, no. 2, pp. 67–74, 2008.
- [14] L. Zulfawati, S. Minardi, and L. Angraini, "Analisis Spektrum pada Data Gaya Berat Daerah Lombok Tengah dan Lombok Timur untuk Menentukan Estimasi Kedalaman Sedimen," *J. Inov. dan Pembelajaran Fis.*, vol. 1, no. 1, pp. 34–44, 2019, doi: <https://doi.org/10.36706/jipf.v6i1.10401>.
- [15] P. Salimi and A. Motlagh, "Mapping of the Bedrock Topography Using Gravity Data: A Case Study in the South of Hormozgan Province, Iran," *J. Remote Sens. GIS*, vol. 1, no. 2, 2012, doi: 10.4172/2169-0049.1000105.
- [16] Agussalim, "Aplikasi Metode Gravitasi dengan Kontinuasi ke Atas (Upward Continuation) dalam Menginterpretasi Data Anomali Medan Gravitasi di Daerah Gunung Merapi," *J. Ilmu Fis. Dan Apl.*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [17] I. Setiadi, C. Purwanto, D. Kusnida, and Y. Firdaus, "Interpretasi Geologi Berdasarkan Analisis Data Gayaberat Menggunakan Filter Optimum Upward Continuation dan Pemodelan 3D Inversi (Studi Kasus: Cekungan Akimeugah Selatan, Laut Arafura)," *J. Geol. Kelaut.*, vol. 17, no. 1, 2019.
- [18] P. Nugraha, "Penentuan Kedalaman Optimum Anomali Gaya Berat dengan Metode Korelasi Antara Analisis Spektrum dan Continuation Studi Kasus Semarang Jawa Tengah," Universitas Negeri Semarang, 2016.
- [19] S. A. Carn, "The Lamongan Volcanic Field, East Java, Indonesia: Physical Volcanology, Historic Activity and Hazards," *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 95, pp. 81–108, 2000.
- [20] A. A. Schieferdecker, "Geological Nomenclature Royal Geology and mining Soc. Of the Netherlands," *J Noorduijn en Zoon N.V.*, vol. 523, 1959.
- [21] Y. Indrawati, "Sifat Fisika Batuan di Area Panasbumi Tiris, Gunung Lamongan," yogyakarta, 2019.
- [22] N. Aziz, "Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Lamongan Panasbumi Lamongan Berdasarkan Analisis Data Gravitasi GGMplus.," UGM, 2018.