



**PEMETAAN MAAR DAN CINDER CONE WILAYAH
GUNUNG LAMONGAN MENGGUNAKAN ANALISIS
POWER SPECTRUM DAN *UPWARD CONTINUATION*
PADA DATA GRAVITASI GGMPLUS**

SKRIPSI

Oleh

**Toviatun
NIM 161810201042**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2020**



**PEMETAAN MAAR DAN CINDER CONE WILAYAH
GUNUNG LAMONGAN MENGGUNAKAN ANALISIS
POWER SPECTRUM DAN *UPWARD CONTINUATION*
PADA DATA GRAVITASI GGMPLUS**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S-1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Toviatun
NIM 161810201042**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibu Rofiah dan Bapak Slamet Wahyudi yang selalu mendukung dan mendoakan yang terbaik.
2. Ogan Kurniawan yang selalu menemani dan memberi semangat.



MOTTO

“Janganlah kamu bersikap lemah dan janganlah pula kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi derajatnya jika kamu beriman”

(QS Al Imran : 139)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Toviatus

NIM : 161810201042

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemetaan Maar dan *Cinder Cone* Wilayah Gunung Lamongan Menggunakan Analisis *Power Spectrum* dan *Upward Continuation* pada Data Gravitasi GGMplus” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Juli 2020

Yang menyatakan,

Toviatus

NIM 161810201042

SKRIPSI

**PEMETAAN MAAR DAN CINDER CONE WILAYAH
GUNUNG LAMONGAN MENGGUNAKAN ANALISIS
POWER SPECTRUM DAN *UPWARD CONTINUATION*
PADA DATA GRAVITASI GGMPLUS**

Oleh :

Toviatun

NIM 161810201042

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Supriyadi, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Agus Suprianto, S.Si., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pemetaan Maar dan *Cinder Cone* Wilayah Gunung Lamongan Menggunakan Analisis *Power Spectrum* dan *Upward Continuation* pada Data Gravitasi GGMplus” karya Toviatus telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Supriyadi, S.Si., M.Si.
NIP. 19820424006041003

Anggota II,

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.
NIP. 198111112005012001

Anggota I,

Dr. Agus Suprianto, S.Si., M.T.
NIP. 197003221997021001

Anggota III,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP. 196102041987111001

Mengesahkan
Dekan,

Drs. Sjaifullah, M.Sc., Ph.D.
NIP 195910091986021001

RINGKASAN

Pemetaan Maar dan *Cinder Cone* Wilayah Gunung Lamongan Menggunakan Analisis *Power Spectrum* dan *Upward Continuation* pada Data Gravitasi GGMplus; Toviatus, 161810201042; 2020: 49 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Metode gravitasi adalah metode eksplorasi yang mengukur medan gravitasi pada kelompok titik yang berbeda dalam area tertentu. Metode gravitasi dapat digunakan untuk mengetahui gambaran struktur bawah permukaan bumi melalui anomali gravitasi. Data gravitasi yang digunakan pada penelitian ini berupa data gravitasi satelit yaitu *Global Gravity Model Plus* (GGMplus). Hasil pengolahan data gravitasi disebut Anomali Bouger. Anomali Bouger terdiri dari komponen anomali lokal dan anomali regional. Pemisahan anomali lokal dan anomali regional dapat dilakukan dengan menghubungkan dua metode *filtering* yaitu analisis *power spectrum* dan *upward continuation*. Metode analisis *power spectrum* merupakan metode *filtering* yang mengubah domain spasial menjadi domain frekuensi menggunakan FFT. Metode *upward continuation* merupakan metode *filtering* yang melakukan pengangkatan ABL dengan ketinggian tertentu.

Tujuan dari penelitian yaitu untuk mengetahui struktur bawah permukaan wilayah Gunung Lamongan berdasarkan data Anomali Bouger Lengkap (ABL) GGMplus. Penelitian ini bertujuan pula untuk mengetahui peta sebaran keberadaan *cinder cone* dan maar dengan menggunakan metode analisis *power spectrum* dan metode *upward continuation*. Data ABL dilakukan interpretasi kualitatif melalui pembacaan pola anomali yang kemudian dihubungkan dengan tatanan geologinya dan data-data kebumihan lainnya sehingga dapat memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan bumi. Data ABL masih mengandung data anomali regional dan anomali lokal. ABL yang telah dibuat konturnya kemudian dibuat lintasan sayatan penampang. Data anomali gravitasi dari masing-masing lintasan sayatan ditransformasikan dengan menggunakan FFT sehingga didapatkan bilangan gelombang dan nilai *power spectrum* beserta grafik hubungan antara keduanya. Metode analisis *power spectrum* berhubungan dengan metode *upward continuation*. Metode analisis *power spectrum* memberikan data lebar jendela yang dijadikan sebagai informasi ketinggian pada metode *upward continuation*.

Peta kontur ABL menunjukkan rentang nilai medan gravitasi antara -17 mGal hingga 49 mGal di wilayah Gunung Lamongan. Nilai anomali tinggi menunjukkan keberadaan Gunung Lamongan yang didominasi oleh batuan intrusif. Nilai medan gravitasi yang bervariasi disebabkan oleh adanya perbedaan densitas batuan di bawah permukaan bumi. Nilai medan gravitasi berbanding lurus dengan nilai densitas batuan. Semakin besar nilai densitas batuan maka semakin besar pula nilai medan gravitasi. Sebaliknya, semakin kecil nilai densitas batuan maka semakin

kecil pula nilai medan gravitasi. 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*. Metode analisis *power spectrum* menghasilkan grafik yang memberikan informasi kedalaman rata-rata diskontinuitas dalam 3883,9 m dan diskontinuitas dangkal 344,2 m. Batas antara diskontinuitas dalam dan diskontinuitas dangkal digunakan untuk menentukan lebar jendela. Besar lebar jendela rata-rata yaitu 93,71 m. Lebar jendela dijadikan sebagai referensi ketinggian pada metode *upward continuation*. Besar ketinggian pada metode *upward continuation* yaitu 18742,34 m. Metode *upward continuation* menghasilkan dua peta kontur yaitu peta kontur anomali regional dan peta kontur anomali lokal. Peta kontur anomali regional memiliki nilai dengan interval (22-24) mGal. Nilai tersebut rentangnya kecil yang menunjukkan bahwa wilayah Gunung Lamongan didominasi oleh struktur batuan yang hampir sama yaitu batuan aluvial dan batuan beku Pleistosen-Holosen. Peta kontur anomali lokal memiliki nilai dengan interval -41 mGal hingga 24 mGal. Peta kontur anomali lokal digunakan untuk mengetahui sebaran maar dan *cinder cone*. Anomali rendah yang dikelilingi anomali tinggi menunjukkan keberadaan maar. Anomali rendah yang mengelilingi anomali tinggi menandakan keberadaan *cinder cone*. Terdapat 10 *cinder cone* dan 8 maar yang tampak pada peta kontur anomali lokal. Keberadaan maar dan *cinder cone* hanya tampak beberapa, karena data yang digunakan pada penelitian berupa data sintesis satelit. *Cinder/spatter cone* yang tampak diantaranya G. Pakem, G. Yoso, G. Tengu, G. Dadapsulur, G. Rindang, G. Matruki, G. Melawung (dua kerucut), G. Kidulkali, G. Ranuwulung, G. Kenek. Maar yang tampak diantaranya dua R. Bedali, R. Gunungparang, R. Air, R. Gedang, R. Agung, R. Kalianyar, R. Lamongan (atau R. Klakah).

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemetaan Maar dan *Cinder Cone* Wilayah Gunung Lamongan Menggunakan Analisis *Power Spectrum* dan *Upward Continuation* pada Data Gravitasi GGMplus” sesuai waktu yang telah direncanakan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

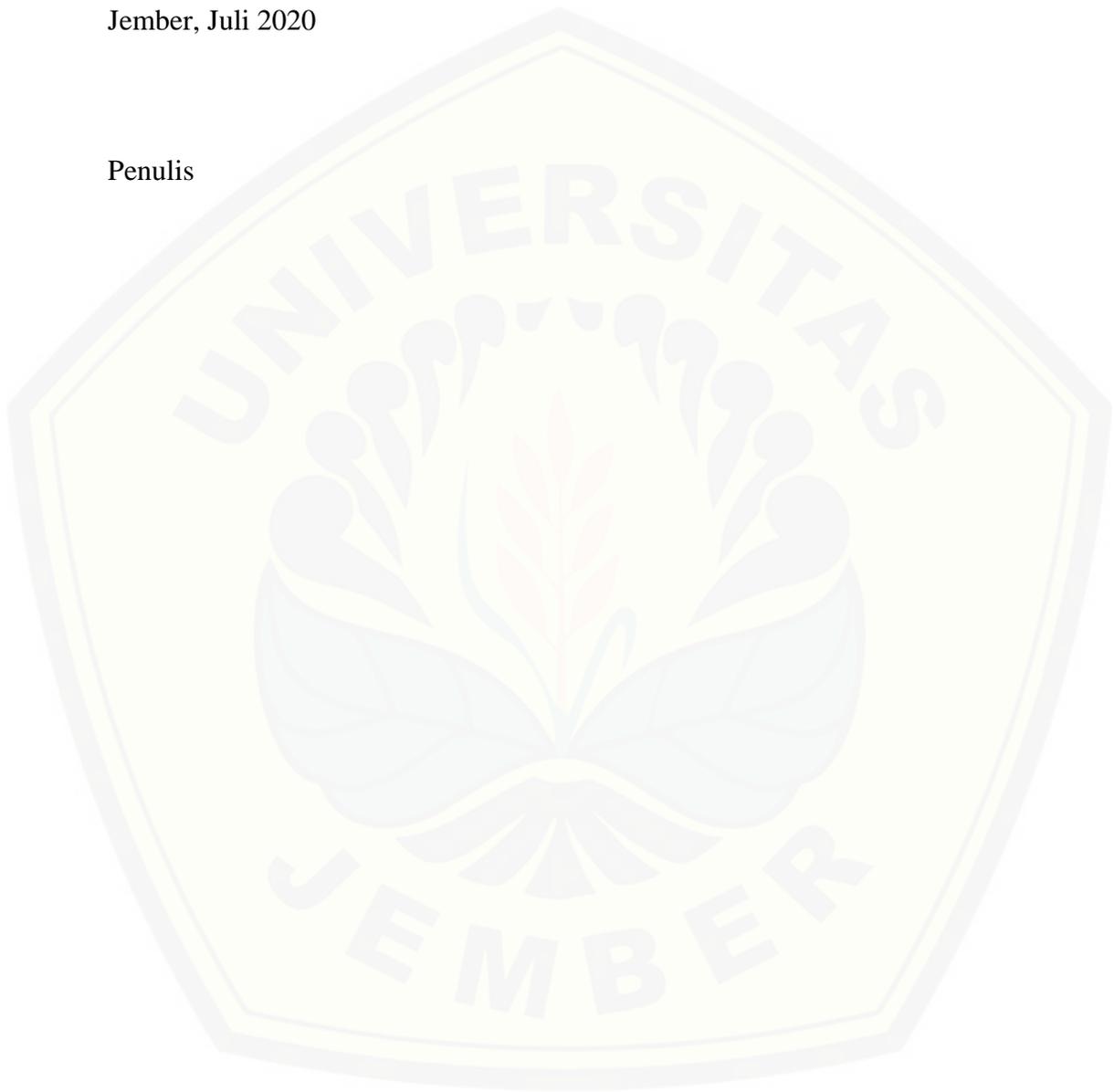
1. Bapak Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Agus Suprianto, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran serta ilmu yang sangat bermanfaat dalam penulisan skripsi ini;
2. Ibu Endhah Purwandari, S.Si., M.Si, selaku Dosen Penguji I dan Bapak Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Penguji II, yang telah memberikan nasehat serta kritik dan saran untuk kesempurnaan skripsi ini;
3. Bapak Ir. Misto, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
4. Sahabat saya Devi Ramadhani yang selalu menemani dalam suka dan duka;
5. Teman-teman saya : Vina Soraya, Hanifah Zulkarnain, Dimas Sony Santoso, Ega Abi Bachtiar, Gladys Ramadhani Ningtyas, Istirhochah, Rara Ajeng Decita Sari, Yuni Aristasari, Ika Dian Pawarti, Elvira Ulfa Azizah, Herlina Putri R. S. dan seluruh mahasiswa fisika angkatan 2016, yang telah mendukung dan membantu saya;
6. Tim Geofisika yang selalu menemani selama menulis skripsi ini;
7. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat

bermanfaat bagi para pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan di bidang fisika maupun bidang lainnya.

Jember, Juli 2020

Penulis



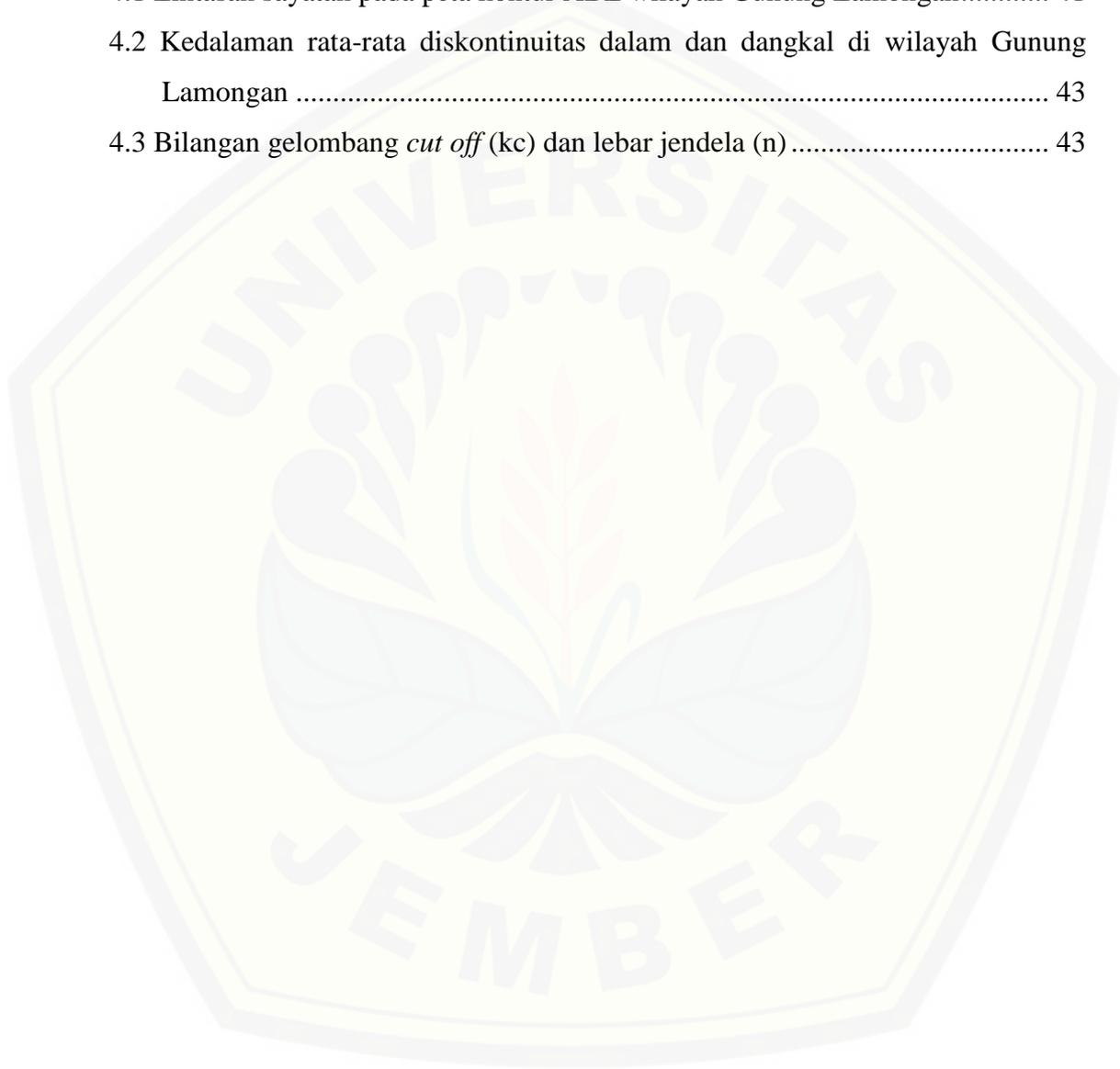
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Metode Gravitasi	6
2.2 Teori Dasar Medan Gravitasi	7
2.3 Data Gravitasi GGMplus	9
2.4 Koreksi Topografi	11
2.4.1 Koreksi Bouger.....	11
2.4.2 Koreksi Medan (Koreksi <i>Terrain</i>).....	12
2.5 Anomali Bouger	13
2.6 Analisis Power Spectrum	13
2.7 Upward Continuation	18
2.8 Gunung Lamongan	22

BAB 3. METODE PENELITIAN	26
3.1 Rancangan Penelitian	26
3.2 Jenis dan Sumber Data	27
3.3 Definisi Operasional Variabel	28
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah	29
3.5 Prosedur Penelitian	30
3.5.1 Studi Awal	30
3.5.2 Pengumpulan Data.....	30
3.5.3 Koreksi Topografi.....	31
3.5.4 Anomali Bouger Lengkap (ABL).....	31
3.5.5 Lintasan Sayatan Penampang (<i>Slicing</i>)	32
3.5.6 <i>Fast Fourier Transform</i> dan Analisis <i>Power Spectrum</i>	32
3.5.7 Grafik <i>Power Spectrum</i>	32
3.5.8 <i>Upward Continuation</i>	33
3.5.9 Interpretasi Data.....	33
3.5.10 Kesimpulan	34
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Data Gravity Disturbance GGMplus	35
4.2 Anomali Bouger Sederhana (ABS)	36
4.3 Anomali Bouger Lengkap (ABL)	37
4.4 Sayatan Peta Kontur Anomali Bouger Lengkap	39
4.5 Hasil Analisis Diskontinuitas Wilayah Gunung Lamongan Menggunakan <i>Power Spectrum</i>	41
4.6 Pemisahan Anomali Lokal dan Regional Menggunakan Metode <i>Upward Continuation</i>	45
BAB 5. PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Lintasan sayatan pada peta kontur ABL wilayah Gunung Lamongan.....	41
4.2 Kedalaman rata-rata diskontinuitas dalam dan dangkal di wilayah Gunung Lamongan	43
4.3 Bilangan gelombang <i>cut off</i> (kc) dan lebar jendela (n)	43



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Gaya antar dua buah massa dengan jarak r	7
2.2 Potensial gravitasi di titik permukaan bumi	8
2.3 Ilustrasi koreksi <i>terrain</i>	12
2.4 Grafik hubungan antara $\ln A$ dengan k	17
2.5 Fungsi harmonik di seluruh wilayah R dapat dievaluasi di setiap titik dalam R dari perilakunya pada batas S	19
2.6 <i>Upward continuation</i> dari bidang horizontal	19
2.7 Domain fourier yang merepresentasikan dari permukaan yang satu menuju permukaan yang lebih jauh dari sumber dengan ketinggian tertentu pada metode <i>upward continuation</i>	22
2.8 Peta sebaran aliran lava, <i>cinder cone</i> dan maar di sekitar Gunung Lamongan	23
3.1 Diagram alir rancangan kegiatan penelitian	26
3.2 Daerah penelitian wilayah Gunung Lamongan	27
3.3 Diagram alir kerangka pemecahan masalah dalam penelitian	29
4.1 Peta kontur gravity disturbance wilayah Gunung Lamongan	35
4.2 Peta kontur Anomali Bouger Sederhana (ABS) wilayah Gunung Lamongan	36
4.3 Peta kontur Anomali Bouger Lengkap (ABL) wilayah Gunung Lamongan ..	37
4.4 Peta kontur ABL wilayah Gunung Lamongan dengan lintasan sayatan	40
4.5 Analisis <i>power spectrum</i> sayatan 1 wilayah Gunung Lamongan	42
4.6 Analisis <i>power spectrum</i> sayatan 2 wilayah Gunung Lamongan	42
4.7 Peta kontur anomali regional wilayah Gunung Lamongan	45
4.8 Peta kontur anomali lokal daerah penelitian yang di- <i>overlay</i> dengan peta sebaran <i>cinder cone</i> dan maar di sekitar Gunung Lamongan	46

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Script MATLAB GGMplus.....	54
2. Script MATLAB <i>Test Access</i> GGMplus.....	59
3. Script MATLAB Analisis <i>Power Spectrum</i>	68
4. Topografi Wilayah Gunung Lamongan.....	69
5. Peta Geologi Wilayah Gunung Lamongan	70
6. Tabel Densitas Batuan di Wilayah Gunung Lamongan.....	71
7. Grafik Hasil Analisis <i>Power Spectrum</i>	72

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode gravitasi adalah metode eksplorasi yang mengukur medan gravitasi pada kelompok titik 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 (Arif, 2016). Struktur bawah permukaan bumi dapat digambarkan karena adanya anomali gravitasi. Anomali gravitasi merupakan perbedaan nilai percepatan gravitasi jika dibandingkan dengan daerah di sekitarnya. Anomali gravitasi ada karena beberapa faktor pendorong, diantaranya pengendapan mineral, alterasi hidrotermal, patahan, intrusi batuan, variasi porositas dan lain-lain (Santos dan Rivas, 2009).

Data yang diperoleh dari proses pengolahan data gravitasi berupa data terkoreksi dengan menghilangkan pengaruh eksternal. Data tersebut merupakan anomali Bouger. Data ini merupakan superposisi dari komponen anomali lokal dengan komponen anomali regional. Anomali regional menggambarkan kondisi geologi daerah pada umumnya berupa *basement*, lipatan dan patahan yang memiliki ciri anomali frekuensi kecil. Anomali residual menggambarkan kondisi geologi setempat berupa reservoir, intrusi batuan, jenis dan bentuk struktur, mineral atau bijih yang memiliki ciri anomali frekuensi tinggi (Haerudin dan Karyanto, 2012). Anomali regional memiliki luas anomali lebih besar daripada anomali lokal, sedangkan kedalaman anomali residual lebih dangkal dibandingkan dengan anomali regional. Anomali regional dan anomali residual saling berinteraksi dan tumpang tindih (Purnomo *et al*, 2013).

Penelitian untuk mendapatkan data medan gravitasi dilakukan dengan melakukan beberapa metode diantaranya *land surface*, *marine* dan *airbone survey*. Seiring dengan kemajuan teknologi, pengambilan data gravitasi dapat dilakukan dengan menggunakan citra satelit. Citra satelit memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode lapang yaitu membutuhkan biaya murah dan dapat melakukan

perluasan wilayah penelitian dengan mudah. Metode gravitasi yang digunakan pada penelitian ini berupa data dari penyedia data gravitasi satelit yaitu *Global Gravity Model Plus* (GGMplus). Data gravitasi pada GGMplus mencakup zona pantai di Bumi dengan total 3 miliar poin data serta seluruh wilayah daratan. Data gravitasi GGMplus berupa data *free-air* sehingga diperlukan koreksi topografi untuk menghasilkan Anomali Bouger Lengkap (ABL) (Aziz *et al*, 2018).

Anomali Bouger terdiri dari komponen anomali lokal dan anomali regional. Pemisahan antara kedua komponen tersebut dilakukan dengan menggunakan metode *filtering*. Salah satu metode *filtering* yang digunakan yaitu metode analisis *power spectrum*. Metode analisis *power spectrum* merupakan salah satu metode *filtering* yang digunakan untuk pemisahan anomali regional dan anomali residual (lokal). Kedalaman dari anomali lokal dan anomali regional penting untuk diketahui, hal tersebut berguna untuk mengetahui posisi atau kedalaman target (Sari, 2012). Metode analisis *power spectrum* dilakukan dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah domain spasial menjadi domain frekuensi (Maus dan Dimri, 1996).

Metode *filtering* lain yang sering digunakan pada penelitian yaitu metode *upward continuation*. Metode *upward continuation* pada umumnya dilakukan di darat. Metode ini dilakukan apabila pengukuran gravitasi berupa bidang datar. Metode ini dilakukan dengan membawa bidang pengukuran ke atas dengan ketinggian yang bervariasi. Hal ini bertujuan agar pengaruh *noise* dan efek dari anomali lokal minimal dan memaksimalkan anomali regional. Variasi ketinggian pada metode *upward continuation* didasarkan pada hasil dari metode *filtering* lain yaitu analisis *power spectrum* (Prasetyo, 2012).

Umumnya variasi ketinggian yang digunakan pada metode *upward continuation* didasarkan pada intuisi peneliti. Diperlukan metode *filtering* lain sebagai referensi data ketinggian pada metode *upward continuation*. Metode tersebut yaitu metode analisis *power spectrum*. Metode analisis *power spectrum* memberikan data lebar jendela yang dijadikan sebagai informasi ketinggian pada metode *upward continuation*. Metode *filtering* analisis *power spectrum* yang dihubungkan dengan metode *upward continuation* dapat menghasilkan dua peta

kontur anomali lokal dan anomali regional yang optimum dari wilayah penelitian. 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 36 *cinder cone* dan 22 maar yang tersebar (Carn, 2000). *Cinder cone* merupakan gunung berapi dengan abu dan pecahan kecil batuan vulkanik tersebar di sekeliling gunung. Gunung berapi jenis ini membentuk mangkuk di puncaknya. Ketinggian dari *cinder cone* mencapai sekitar 500 m dari tanah di sekitarnya (Carn, 2000). Maar adalah cekungan yang di sekelilingnya terdapat endapan yang terbentuk karena adanya letusan gunung api, terisi oleh air, serta berdiameter hingga 2 km (Schieferdecker, 1959).

Metode gravitasi sangat sesuai digunakan untuk mengamati kedalaman optimum dari anomali gravitasi salah satunya yaitu maar pada wilayah Gunung Lamongan. Pemisahan anomali lokal dan regional dapat dilakukan dengan menggunakan metode *filtering* diantaranya metode analisis *power spectrum* dan *upward continuation*. Pemisahan anomali lokal dan regional penting dilakukan. Kontur anomali regional yang digunakan untuk mengetahui kondisi geologi daerah secara umum seperti lipatan dan patahan yang dicirikan dengan anomali berfrekuensi rendah. Kontur anomali lokal digunakan untuk mengetahui intrusi batuan yang diindikasikan dengan nilai anomali gravitasi yang tinggi. Nilai anomali gravitasi yang rendah pada kontur anomali lokal menggambarkan adanya kantong magma yang mengindikasikan adanya maar. Kontur anomali lokal digunakan untuk mengetahui keberadaan *cinder cone* (Sari, 2012).

Penelitian mengenai pemodelan dan analisa struktur bawah permukaan dengan metode gravitasi telah dilakukan oleh Sihombing (2017). Penelitian pemodelan dan analisa struktur bawah permukaan dilakukan untuk menentukan sumber pasir besi dengan menggunakan metode gravitasi oleh Sulistianingsih (2009). Penelitian penyelidikan gaya berat untuk pemetaan struktur bawah permukaan dilakukan oleh Hidayat (2011). Penelitian analisis data anomali

gravitasi untuk memodelkan struktur geologi bawah permukaan dilakukan oleh Islamiyah (2015). Penelitian identifikasi struktur bawah permukaan lapangan panas bumi di wilayah Gunung Lamongan berdasarkan analisis data gravitasi GGMplus dilakukan oleh Aziz (2018). Penelitian penentuan kedalaman optimum menggunakan data anomali gaya berat dengan metode korelasi antara analisis *power spectrum* dan *upward continuation* dilakukan oleh Nugraha (2016). Data yang digunakan berupa data anomali gravitasi yang diakuisisi oleh LIPI di Semarang. Penelitian pemodelan struktur bawah permukaan menggunakan data gravitasi dengan metode *upward continuation* dilakukan oleh Jacobsen (1987). Penelitian estimasi kedalaman dengan menggunakan metode *upward continuation* dilakukan oleh Zeng (2007). Metode *filtering* yang digunakan yaitu metode *upward continuation*. Metode *upward continuation* melakukan estimasi variasi ketinggian. Metode *upward continuation* memberikan informasi yang optimum maka diperlukan referensi dari metode *filtering* lain seperti analisis *power spectrum*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penulis melakukan penelitian mengenai kedalaman anomali dangkal dan anomali dalam di wilayah Gunung Lamongan menggunakan data gravitasi GGMplus sebagai dasar melakukan *upward continuation*. Metode analisis *power spectrum* dan *upward continuation* merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan anomali regional dan anomali lokal. Metode analisis *power spectrum* dan metode *upward continuation* memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing yang apabila keduanya dihubungkan dapat saling melengkapi. Metode analisis *power spectrum* menentukan lebar jendela dan memberikan informasi estimasi kedalaman diskontinuitas yang digunakan sebagai informasi dalam variasi ketinggian pada metode *upward continuation*. Pemisahan anomali lokal dan regional bertujuan untuk mengetahui sebaran maar dan *cinder cone* pada wilayah Gunung Lamongan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan yaitu :

1. Bagaimanakah struktur bawah permukaan wilayah Gunung Lamongan berdasarkan data Anomali Bouger Lengkap (ABL) GGMplus ?
2. Bagaimanakah peta sebaran keberadaan maar dan *cinder cone* dengan menggunakan metode analisis *power spectrum* dan metode *upward continuation*

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Mengetahui struktur bawah permukaan wilayah Gunung Lamongan berdasarkan data Anomali Bouger Lengkap (ABL) GGMplus
2. Mengetahui peta sebaran keberadaan maar dan *cinder cone* dengan menggunakan metode analisis *power spectrum* dan metode *upward continuation*

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan bumi dengan kedalaman anomali optimum berdasarkan data gravitasi berupa data *Global Gravity Model plus* (GGMplus) di wilayah Gunung Lamongan. Penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber informasi awal dalam pengembangan aplikasi dari data gravitasi satelit maupun penelitian lapang yang berkaitan dengan metode gravitasi. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk instansi maupun lembaga tertentu apabila akan dilakukan penelitian lebih lanjut.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Gravitasi

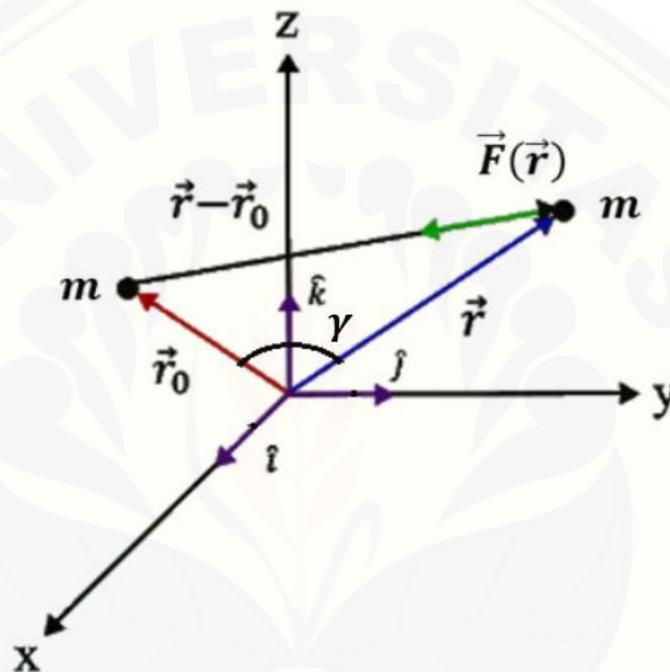
Geofisika merupakan cabang ilmu bumi yang membahas tentang bumi dengan menggunakan kaidah fisika. Geofisika merupakan salah satu bentuk penelitian yang digunakan untuk mengetahui gambaran struktur bawah permukaan bumi dengan menggunakan parameter-parameter fisika. Metode gravitasi adalah metode eksplorasi 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. Medan gravitasi yang teramati dalam metode ini yaitu perbedaan antara titik observasi yang satu dengan yang lainnya. Metode gravitasi dapat digunakan untuk mengetahui gambaran bawah permukaan bumi melalui perbedaan rapat massa suatu material dibandingkan dengan lingkungan sekitarnya (Arif, 2016).

Sumber anomali di bawah permukaan bumi dapat mempengaruhi nilai percepatan gravitasi bumi dan medan gravitasi. Medan gravitasi akibat sumber anomali dengan arah vertikal yang bervariasi disebut sebagai kedudukan sumber anomali. Nilai medan gravitasi mengalami perubahan karena adanya sumber anomali yang nilainya lebih kecil dari nilai medan gravitasi bumi disebut anomali gravitasi (Grant dan West, 1965).

Struktur bawah permukaan bumi dapat digambarkan karena adanya anomali gravitasi. Anomali gravitasi merupakan perbedaan nilai percepatan gravitasi jika dibandingkan dengan daerah di sekitarnya. Anomali gravitasi ada karena beberapa faktor pendorong, diantaranya pengendapan mineral, alterasi hidrotermal, patahan, intrusi batuan, variasi porositas dan lain-lain (Santos dan Rivas, 2009).

2.2 Teori Dasar Medan Gravitasi

Teori dasar yang digunakan dalam metode gravitasi yaitu hukum Newton mengenai gravitasi. Hukum Newton menjelaskan bahwa dua benda yang bermassa $m(\vec{r}_0)$ dan $m(\vec{r})$, kedua massa tersebut terpisah sejauh $\vec{r} - \vec{r}_0$ akan menimbulkan gaya tarik-menarik. Massa benda sebanding dengan gaya tarik-menarik. Gaya tarik-menarik berbanding terbalik dengan kuadrat jarak benda, terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gaya antar dua buah massa dengan jarak \vec{r} (Grant dan West, 1965)

Gaya gravitasi berdasarkan hukum Newton dapat dituliskan dengan formulasi berikut:

$$\vec{F}(\vec{r}) = -G \frac{m(\vec{r}_0)m(\vec{r})}{|\vec{r} - \vec{r}_0|^3} \quad (2.1)$$

dengan $\vec{F}(\vec{r})$ merupakan gaya yang bekerja pada massa $m(\vec{r})$ karena terdapat massa $m(\vec{r}_0)$, G merupakan konstanta gravitasi sebesar $6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$, (\vec{r}_0) merupakan vektor posisi elemen massa, (\vec{r}) merupakan vektor posisi pengamat, dan $\vec{r} - \vec{r}_0$ merupakan vektor satuan yang arahnya dari $m(\vec{r}_0)$ menuju $m(\vec{r})$ (Blakely, 1996).

Menurut Grant dan West (1965), percepatan gravitasi dari partikel yang memiliki massa $m(\vec{r}_0)$ dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{m(\vec{r})} = -G \frac{m(\vec{r}_0)}{|\vec{r} - \vec{r}_0|^3} (\vec{r} - \vec{r}_0) \quad (2.2)$$

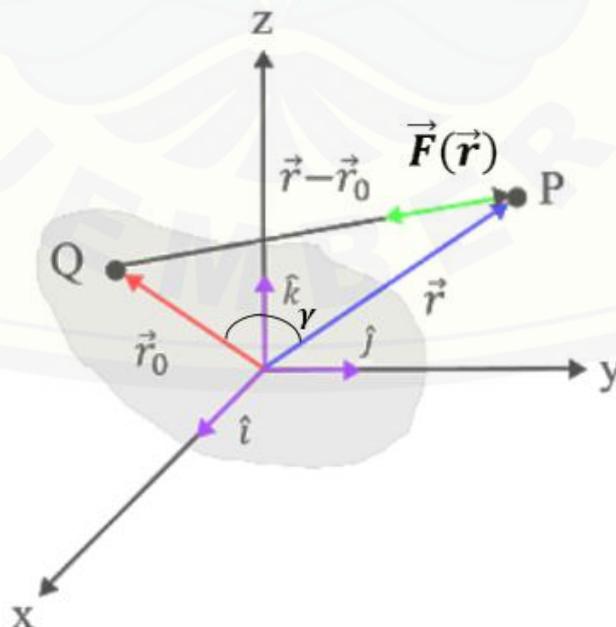
Persamaan 2.2 menyatakan bahwa besar percepatan gravitasi \vec{g} merupakan rasio antara gaya $\vec{F}(\vec{r})$ dengan massa. Partikel bermassa $m(\vec{r}_0)$ dan $m(\vec{r})$ terpisah sejauh $|\vec{r} - \vec{r}_0|$. Persamaan percepatan gravitasi \vec{g} , dengan mengasumsikan bahwa bumi bersifat homogen dengan bentuk sferis, tidak berotasi, memiliki massa M_b , dan jari-jari R_b , dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\vec{g}(\vec{r}) = G \frac{M_b}{R_b^3} \hat{r} \quad (2.3)$$

Percepatan gravitasi dapat dikatakan sebagai medan gravitasi. Medan gravitasi merupakan medan konservatif yang usahanya tidak dipengaruhi oleh lintasan tapi dipengaruhi oleh posisi akhir. Percepatan gravitasi diperoleh dari turunan fungsi potensial skalar $U(\vec{r})$ yang diformulasikan sebagai berikut :

$$\vec{g} = \vec{E}(r) = -\nabla U(\vec{r}) \quad (2.4)$$

dengan $U(\vec{r}) = -G \frac{m(\vec{r}_0)}{|\vec{r} - \vec{r}_0|}$ merupakan potensial gravitasi dari partikel yang bermassa $m(\vec{r}_0)$ atau potensial yang masih berada pada benda anomali.



Gambar 2.2 Potensial gravitasi di titik permukaan bumi (Grant dan West, 1965)

Gambar 2.2 menunjukkan potensial gravitasi dari distribusi massa kontinu dalam dimensi ruang di suatu titik P di luar distribusi massa tersebut. Perhitungan potensial gravitasi merupakan suatu bentuk integrasi setiap elemen massa dengan densitas $\rho(\vec{r}_0)$. Titik P memiliki jarak \vec{r} dari distribusi massa kontinu. Nilai potensial gravitasi di titik P dapat dirumuskan sebagai :

$$U(\vec{r}) = \int -G \frac{dm}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (2.5)$$

dimana $dm = \rho dv$ dan $dv = d^3r$, sehingga persamaan 2.5 menjadi :

$$U(\vec{r}) = -G \int \frac{\rho(\vec{r}_0) d^3r}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (2.6)$$

Fungsi densitas $\rho(\vec{r}_0)$ menunjukkan besar percepatan gravitasi bumi yang berbeda bergantung pada distribusi massa bawah permukaan, dengan

$$|\vec{r} - \vec{r}_0| = \sqrt{\vec{r}^2 + \vec{r}_0^2 - 2\vec{r}\vec{r}_0 \cos \gamma} \quad (2.7)$$

dimana γ merupakan sudut antara \vec{r} dan \vec{r}_0 .

2.3 Data Gravitasi GGMplus

GGMplus (*Global Gravity Model plus*) merupakan model dari medan gravitasi berdasarkan pada gravitasi topografi dan data satelit GOCE (TIM-4), EGM2008, satelit GRACE (ITG2010). Satelit GOCE merupakan satelit yang digunakan untuk menentukan medan gravitasi bumi dengan akurasi 1mGal dan geoid dengan akurasi 1 cm pada resolusi spasial 100 km dengan tinggi orbit 250 km. Medan gravitasi bumi terukur dengan menggunakan gradiometer. Gradiometer tersusun oleh tiga pasang akselerometer identik (Stummer *et al*, 2008). Sinyal yang terukur pada satelit GOCE berupa perbedaan percepatan gravitasi dalam pesawat ruang angkasa. Sinyal gravitasi memberikan gambaran gaya tarik medan gravitasi yang nilainya bervariasi akibat pegunungan, lembah, zona subduksi, dan inhomogenitas mantel dan lain-lain (Drinkwater *et al*, 2003). Satelit GRACE merupakan satelit gravimetri yang digunakan untuk memberikan informasi medan gravitasi bumi dalam jangka waktu proyek lima tahun. Satelit GRACE dalam mengukur medan gravitasi bumi menggunakan dua satelit yang identik yang terkoreksi dengan *K-band microwave ranging system*. Satelit GRACE mendeteksi

perubahan medan gravitasi bumi dengan cara memonitor perubahan medan gravitasi bumi dengan memonitor perubahan jarak yang terjadi (Tapley *et al*, 2004).

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. Terdapat lima fungsi medan gravitasi dari GGMplus diantaranya percepatan gravitasi, *gravity disturbance*, defleksi vertikal timur-barat dan utara-selatan serta ketinggian quasigeoid. Seiring dengan berjalannya waktu metode yang digunakan GGMplus berupa kombinasi dari satelit GOCE, GRACE dan EGM 2008. Ketiga proses dikombinasi yaitu sintesis *spherical harmonic* medan gravitasi, *forward modelling* serta perhitungan gravitasi normal pada permukaan guna mendapatkan model gravitasi dengan resolusi tinggi. Data gravitasi GGMplus memiliki spasi yang lebih rapat apabila dibandingkan dengan TOPEX dan BGI. Data gravitasi BGI merupakan kombinasi dari data anomali *free-air* dan Bouger lengkap dengan resolusi spasi antar titiknya 3,6 km. Data gravitasi TOPEX merupakan data yang dihasilkan dari satelit altimetri dengan resolusi spasi antar titiknya 1,8 km. Satelit altimetri merupakan satelit yang memberikan informasi berupa topografi muka laut. Data gravitasi GGMplus memiliki kelebihan lain yaitu memberikan keuntungan dari segi biaya, ketersediaan data dan tenaga karena dapat disesuaikan dengan target wilayah penelitian yang dikehendaki (Hirt *et al*, 2013).

Pita spektral orde 2 hingga 2190 digunakan pada koefisien *spherical harmonic* model GGE untuk mensintesis fungsi medan gravitasi di permukaan bumi, seperti yang direpresentasikan dengan koordinat tiga dimensi meliputi lintang, bujur dan ketinggian. Sintesis *spherical harmonic* medan gravitasi di permukaan bumi dihitung secara komputasi dengan pendekatan gradien. Pendekatan gradien memiliki tingkat akurasi tinggi untuk sintesis tiga dimensi pada titik permukaan yang rapat terlihat pada model elevasi. *Forward modelling* dengan resolusi tinggi digunakan untuk mendapat informasi medan gravitasi dalam skala pendek. Pendekatan *forward modelling* dilakukan dengan membawa batimetri SRTM30_PLUS V7.0 ke kedalaman *rock-equivalent*. Efek gravitasi topografi skala

pendek memberikan informasi medan gravitasi yang lebih jelas di atas topografi (Hirt *et al*, 2013).

Gravitasi normal disebut sebagai nilai gravitasi teoritis yang berguna untuk reduksi nilai gravitasi bumi dan nilainya dipengaruhi oleh posisi lintang. Nilai gravitasi normal di ekuator lebih rendah dibandingkan nilai gravitasi di kutub. Seluruh fungsi medan gravitasi diantaranya ketinggian *quasigeoid*, *gravity disturbance*, defleksi vertikal merupakan jumlah fungsi yang disintesis dari koefisien *spherical harmonic* GGE dan fungsi *forward modelling* (Moritz, 2000).

2.4 Koreksi Topografi

Menurut Telford *et al* (1990), koreksi topografi merupakan perhitungan massa yang memiliki pengaruh terhadap nilai anomali gravitasi. Koreksi topografi terdiri dari koreksi Bouger dan koreksi medan (koreksi terrain). Koreksi topografi diperlukan sebab data GGMplus hanya mencakup data anomali *gravity disturbance* (*free-air*). Massa yang terletak antara permukaan topografi dan referensi tidak diperhitungkan.

2.4.1 Koreksi Bouger

Menurut Telford *et al* (1990), massa di bawah permukaan tidak diperhitungkan pada koreksi udara bebas perhitungan ketinggian. Massa tersebut mempengaruhi nilai gaya berat yang ditimbulkan. Koreksi Bouger digunakan untuk menghilangkan gaya berat yang ditimbulkan akibat massa tersebut. Data hasil koreksi Bouger memberikan informasi anomali yang ditimbulkan karena adanya perbedaan rapat massa di bawah permukaan bumi.

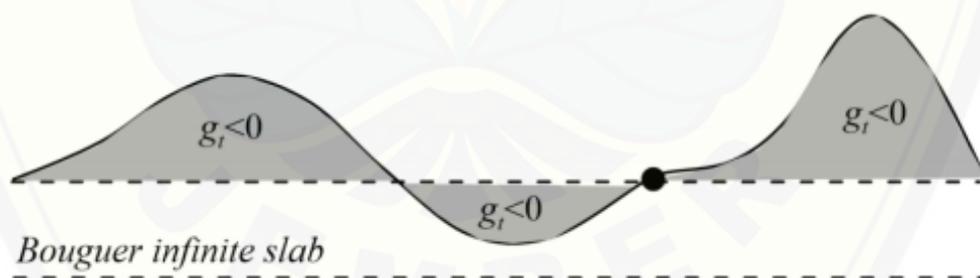
$$\text{Koreksi Bouger} = 0,04193\rho h \text{ (mGal)} \quad (2.8)$$

Persamaan 2.8 merupakan formulasi koreksi Bouger, dengan ρ adalah nilai densitas rata-rata (g/cm^3) dan h adalah ketebalan *slab* (m). Titik pengukuran di atas bidang *geoid* maka pada koreksi Bouger akan dikurangi. Hal ini dikarenakan massa yang terkandung di atas bidang *geoid* memberikan nilai g titik pengukuran lebih besar dari nilai g pada bidang *geoid*, sehingga untuk menarik titik pengukuran ke bidang

geoid koreksi dikurangi. Titik pengukuran yang berada di bawah bidang *geoid* maka koreksi ditambah.

2.4.2 Koreksi Medan (Koreksi *Terrain*)

Struktur bawah permukaan bumi dapat diketahui melalui peta kontur Anomali Bouger Lengkap (ABL). Peta kontur ABL didapatkan setelah melakukan koreksi medan (*terrain*). Koreksi *terrain* dilakukan karena pada koreksi Bouger menganggap bidang pengukuran datar, sedangkan pada kenyataan terdapat beberapa undulasi seperti lembah dan bukit. Undulasi tersebut berpengaruh terhadap pengukuran nilai percepatan gravitasi sehingga diperlukan koreksi medan (*terrain*). Koreksi medan (*terrain*) pada dasarnya digunakan pada daerah yang memiliki topografi berbukit. Gaya tarik antara pusat massa bukit ditimbulkan karena adanya bukit dan lembah yang letaknya dekat dengan stasiun pengukuran. Koreksi *terrain* dapat diukur dengan menggunakan *Hammer Chart*. Adanya lembah dapat mengurangi besarnya medan gravitasi di titik pengamatan. Sedangkan bukit dapat memberikan pengaruh berupa menambah besar medan gravitasi di titik pengamatan. Efek dari lembah dan bukit ini dibutuhkan adanya koreksi yaitu koreksi medan (Telford *et al*, 1990).



Gambar 2.3 Ilustrasi koreksi *terrain* (Hinze *et al*, 2013)

Gambar 2.3 memberikan penjelasan efek medan gravitasi terhadap topografi permukaan relatif terhadap ketinggian data. Koreksi *terrain* dapat dilakukan dengan menggunakan *software* Oasis Montaj. Koreksi *terrain* dihitung berdasarkan zona dekat, zona tengah dan zona jauh. Algoritma perhitungan efek dari empat sisi *sloped triangle* dilakukan pada zona dekat. Algoritma tersebut menggambarkan permukaan antara titik data gravitasi dan elevasi di setiap sudut diagonal. Pada zona

tengah, efek medan dihitung untuk setiap titik. Pada zona jauh, efek medan diturunkan menggunakan pendekatan metode segmen cincin melingkar ke prisma persegi (Hinze *et al*, 2013).

2.5 Anomali Bouger

Menurut Blakely (1996), anomali Bouger merupakan hasil pengurangan dari nilai gravitasi pengamatan (g_{obs}) dengan nilai gravitasi teoritis (g_n) di titik pengamatan. Hasil pengurangan ini dapat merefleksikan rapat massa yang bervariasi di suatu daerah dengan daerah di sekelilingnya ke arah lateral atau vertikal. Anomali Bouger yang bernilai positif menggambarkan kontras densitas pada lapisan bawah permukaan yang besar, pada umumnya dapat ditemukan pada dasar suatu samudra. Anomali Bouger bernilai negatif karena terdapat perbedaan yang kecil pada densitas yang ditemukan pada saat survey gaya berat di darat. Anomali medan gravitasi setelah dilakukan koreksi dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

1. Anomali Bouger Sederhana (ABS)

$$ABS = g_{ob} - g_n + 0,3086h - 0,04193\rho h \quad (2.9)$$

2. Anomali Bouger Lengkap (ABL)

$$ABL = g_{ob} - g_n + 0,3086h - 0,04193\rho h - koreksi\ terrain \quad (2.10)$$

2.6 Analisis Power Spectrum

Anomali gravitasi sangat banyak digunakan dalam eksplorasi geofisika sebagai literatur. Survei gravitasi merupakan alat yang digunakan dalam menginvestigasi sumber mineral dan struktur geologi regional. Sejak diketahui bahwa survey gravitasi penting maka berbagai macam metode grafik, numerik data analitik telah dikembangkan. *Prossesing* data medan potensial, salah satunya teknik *filtering* yang dapat dilakukan dalam domain spasial maupun domain frekuensi. Salah satu teknik *filtering* yaitu analisis *power spectrum*. *Power spectrum* dihitung dengan menggunakan transformasi Fourier Cepat (*Fast fourier Transform*) memudahkan proses data anomali gravitasi dalam domain frekuensi. Analisis *power spectrum* mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi. Sumber

dangkal menghasilkan sinyal yang memiliki panjang gelombang kecil sedangkan sumber yang lebih dalam menghasilkan sinyal dengan panjang gelombang tinggi (Indriana, 2008). Analisis *power spectrum* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kedalaman sumber anomali dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* dari domain spasial ke dalam bilangan gelombang (Uang dan Bertero, 1988).

Analisis *power spectrum* merupakan suatu metode *filtering* yang digunakan dalam menganalisa fenomena osilator harmonik di alam yang memiliki tujuan dalam mendapatkan distribusi spektrum serta menunjukkan karakteristik statik. Data anomali gravitasi dari suatu penampang lintang pada analisis *power spectrum* satu dimensi ditransformasikan ke dalam deret *Fourier* seperti pada persamaan berikut :

$$\Delta \bar{g}(x_i) = \sum_{n=0}^N \lambda_n \left(A_n \cos \frac{n\pi x_i}{L} + B_n \sin \frac{n\pi x_i}{L} \right) \quad (2.11)$$

N merupakan jumlah maksimum dari data pada arah x , n bernilai $0,1,2,3,\dots$, A_n merupakan koefisien suku cosinus, B_n merupakan koefisien suku sinus, L adalah setengah dari nilai panjang interval cuplikan, x_i merupakan interval cuplik dalam arah x , λ_n bernilai setengah apabila n bernilai 0, λ_n bernilai satu apabila n bernilai lebih dari nol. Dengan menggunakan metode kuadrat terkecil maka diperoleh :

$$A_n = \frac{2}{K} \sum_{k=0}^K \Delta g_k(x_i) \cos n\pi \left(\frac{2k}{K} - 1 \right) \quad (2.12)$$

$$B_n = \frac{2}{K} \sum_{k=1}^K \Delta g_k(x_i) \sin n\pi \left(\frac{2k}{K} - 1 \right) \quad (2.13)$$

dengan :

$K = \frac{2L}{x_i}$ = harga indeks maksimum dari titik sampling ke arah x

$$x_i = \left(\frac{2k}{K} - 1 \right) L$$

k = indeks titik sampling pada arah x

Logaritma *power spectrum* E_n dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan seperti berikut :

$$\text{Log}E_n = \text{Log}(A_n^2 + B_n^2) \quad (2.14)$$

Persamaan *power spectrum* satu dimensi yaitu sebagai berikut :

$$E_n = (A_n^2 + B_n^2) \quad (2.15)$$

Anomali medan gravitasi merupakan bentuk superposisi dari anomali lokal dan anomali regional. Anomali regional memberikan informasi mengenai kondisi geologi secara umum area penelitian, dicirikan dengan frekuensi rendah. Anomali residual (lokal) dicirikan dengan frekuensi tinggi.

Persamaan 2.16 menggambarkan hubungan antara densitas di sepanjang bidang batas yang terdapat kontras dengan anomali medan gravitasi :

$$\Delta g(\omega) = 2\pi G \Delta \rho(\omega) e^{-\omega d} \quad (2.16)$$

dimana $\Delta g(\omega)$ merupakan frekuensi respon dari anomali medan gravitasi, $\Delta \rho(\omega)$ merupakan frekuensi respon dari kontras densitas, d merupakan kedalaman bidang batas dari *spheroid reference*, dan ω merupakan frekuensi sudut. Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$E_n = C e^{-2\omega|d|} \quad (2.17)$$

dimana C adalah konstanta, $\omega = 2\pi k$ merupakan frekuensi sudut, k merupakan bilangan gelombang (*cycle/meter*), d merupakan kedalaman bidang batas di bawah *spheroid reference*.

$$\text{Log}E = \text{Log}C - 2\omega|d| \quad (2.18)$$

Persamaan 2.14 dapat menjadi persamaan seperti di atas. Nilai mutlak dari kedalaman bidang batas di bawah *spheroid reference* dapat dituliskan dengan persamaan seperti berikut :

$$|d| = -\frac{1}{4\pi} \frac{\text{Log}E_1 - \text{Log}E_2}{k_1 - k_2} = \frac{1}{4\pi} \tan\varphi \quad (2.19)$$

dimana nilai E_1 dan E_2 merupakan *power spectrum*, k_1 dan k_2 merupakan bilangan gelombang (*cycle/meter*), φ merupakan besar dari sudut kemiringan garis kurva *power spectrum*. Kedalaman rata-rata dari bidang diskontinuitas sebanding dengan gradien kemiringan kurva *power spectrum* (Untung, 1978).

Menurut Blakely (1996), analisis *power spectrum* merupakan metode yang digunakan untuk melakukan estimasi lebar jendela (*filter window*) dan estimasi kedalaman diskontinuitas dari anomali gravitasi. Metode analisis *power spectrum*

dapat digunakan untuk membandingkan respon spektrum dari beberapa metode *filtering*. Analisis *power spectrum* melakukan transformasi lintasan-lintasan dengan *Fast Fourier Transform* (FFT). FFT dilakukan untuk mengurai gelombang dengan bentuk sembarang menjadi gelombang sinus yang memiliki nilai frekuensi berbeda. Gelombang sinus yang dijumlahkan akan menghasilkan gelombang aslinya. Hubungan antara gelombang $s(t)$ yang diidentifikasi gelombang sinusnya dan $S(f)$ sebagai hasil transformasi Fourier dapat dituliskan dengan formulasi berikut :

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi d} \quad (2.20)$$

Dengan nilai sebagai berikut :

$$j = \sqrt{-1} \quad (2.21)$$

Nilai spektrum merupakan hasil turunan dari potensial gravitasi yang teramati pada bidang horizontal. Transformasi Fourier dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F(U) = \gamma\mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (2.22)$$

$$F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z^r)}}{|k|} \quad (2.23)$$

sehingga menjadi

$$F(U) = 2\pi\gamma\mu \frac{e^{|k|(z_0-z^r)}}{|k|} \quad (2.24)$$

dimana U adalah potensial gravitasi, γ adalah konstanta gravitasi, μ adalah anomali gravitasi dan r adalah jarak. Transformasi fourier anomali gravitasi yang diamati pada bidang horizontal dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F(g_z) = \gamma\mu F\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) \quad (2.25)$$

$$F(g_z) = \gamma\mu \frac{\partial}{\partial z} F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (2.26)$$

$$F(g_z) = 2\pi\gamma\mu e^{|k|(z_0-z^r)} \quad (2.27)$$

dimana g_z adalah anomali gravitasi, k adalah bilangan gelombang, z_0 adalah ketinggian titik amat dan z adalah kedalaman benda anomali. Hasil transformasi *Fourier* anomali gravitasi dapat dituliskan pada persamaan 2.28 apabila distribusi

rapat massa bersifat acak dan tidak ada korelasi dengan masing-masing nilai gaya berat ($\mu = 1$).

$$A = C e^{|k|(z_0 - z)} \quad (2.28)$$

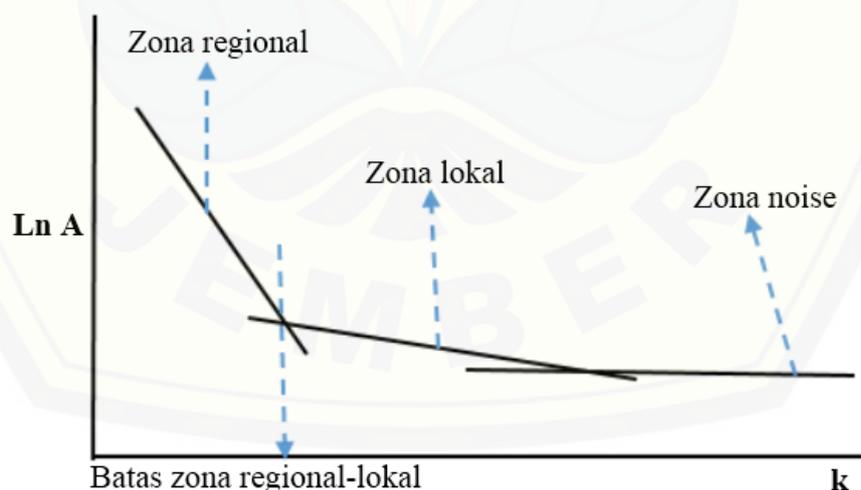
dengan A adalah amplitudo dan C adalah konstanta. Metode analisis *power spectrum* melakukan estimasi lebar jendela (*filter window*) yang digunakan untuk pemisahan anomali regional dan anomali residual (lokal). Estimasi lebar jendela (*filter window*) yang optimal didapatkan dengan cara menghitung logaritma spektrum amplitudo yang didapatkan dari transformasi Fourier yang memberikan hasil persamaan garis lurus. Nilai bilangan gelombang (k) menjadi berbanding lurus dengan *power spectrum*.

$$\ln A = (z_0 - z')|k| \quad (2.29)$$

Dari persamaan di atas, 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).

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.30)$$

$$n = \frac{2\pi}{k\Delta z} \quad (2.31)$$



Gambar 2.4 Grafik hubungan antara $\ln A$ dengan k (Blakely, 1996)

Gambar 2.4 merupakan grafik hubungan antara spektrum amplitudo dengan bilangan gelombang (k) yang digunakan untuk penentuan batas zona regional, zona residual (lokal) dan batas *noise*.

2.7 Upward Continuation

Metode *upward continuation* pada umumnya dilakukan di darat. Metode ini dilakukan apabila pengukuran gravitasi berupa bidang datar. Metode ini dilakukan dengan membawa bidang pengukuran ke atas dengan ketinggian yang bervariasi. Hal ini bertujuan agar pengaruh *noise* dan efek dari anomali lokal minimal dan memaksimalkan anomali regional. Anomali residual (lokal) didapatkan dari anomali regional dan mengurangkan dengan anomali Bouger (Sari, 2012).

Menurut Blakely (1996), *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. Apabila fungsi U merupakan bentuk fungsi yang harmonik, kontinu dan memiliki turunan kontinu di dalam ruang R , sehingga nilai U pada sembarang titik P dalam ruang P dapat dituliskan berdasarkan persamaan berikut :

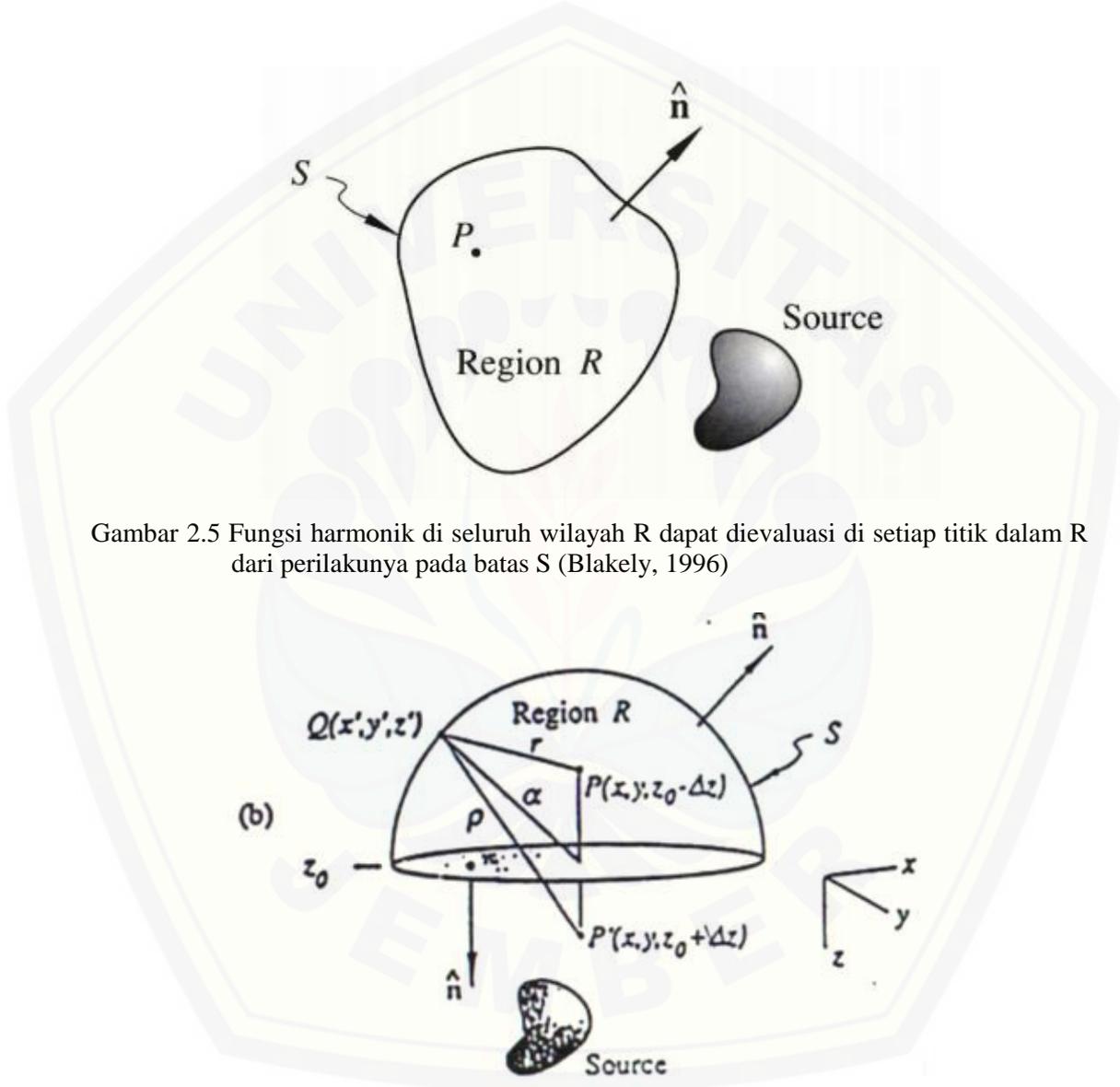
$$U(p) = \frac{1}{4\pi} \int_s \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (2.32)$$

dimana s merupakan batas dari R , n menyatakan arah normal ke luar dan r merupakan jarak dari P ke titik integrasi dari S . Persamaan 2.32 memberikan informasi mengenai prinsip dasar *upward continuation* yaitu suatu potensial dapat dihitung pada sembarang titik di dalam ruang dari sifat medan pada permukaan yang dilingkupi ruang tersebut. Bentuk sederhana dari metode *upward continuation* yaitu untuk medan potensial yang terukur pada bidang datar (*level surface*) kemudian diturunkan. Koordinat yang digunakan yaitu sistem koordinat kartesian dimana sumbu z mengarah ke bawah, 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 $\Delta z > 0$. Permukaan S terdiri dari bidang datar dan *hemisphere* dengan radius α , terlihat pada Gambar 2.5, sumber terletak pada $z > z_0$. Apabila $\alpha \rightarrow \infty$, maka dapat dituliskan seperti persamaan berikut :

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U(x', y', z_0)}{\partial z'} - U(x', y', z_0) \frac{\partial}{\partial z'} \frac{1}{r} \right) dx' dy' \quad (2.33)$$

dimana nilai r dapat dicari dengan menggunakan formulasi berikut :

$$r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z_0 - \Delta z - z')^2}, \Delta z > 0 \quad (2.34)$$



Gambar 2.5 Fungsi harmonik di seluruh wilayah R dapat dievaluasi di setiap titik dalam R dari perilakunya pada batas S (Blakely, 1996)

Gambar 2.6 Upward continuation dari bidang horizontal (Blakely, 1996)

Pada Gambar 2.6 titik P' merupakan proyeksi dari P . Integrasi pada permukaan S , r merupakan jarak antara Q dan P dan ρ merupakan jarak dari Q ke P' . Persamaan 2.33 dalam bentuk aplikatif memerlukan gradien vertikal U . Identitas kedua *green*

digunakan untuk mengeliminasi suku derivatif dalam persamaan tersebut. Fungsi V merupakan bentuk fungsi harmonik sehingga identitas kedua *green* dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{4\pi} \int_S \left(V \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial V}{\partial n} \right) ds = 0 \quad (2.35)$$

Persamaan tersebut ditambahkan dengan persamaan 2.33, sehingga menjadi persamaan 2.36.

$$U(p) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\left(\left(V + \frac{1}{r} \right) \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left(V + \frac{1}{r} \right) \right) \right] ds \quad (2.36)$$

Suku pertama pada integran dapat tereliminasi dengan menggunakan fungsi harmonik V sehingga $V + \frac{1}{r} = 0$ pada setiap titik dari S . P' terpilih sebagai bayangan dari $(x, y, z_0 + \Delta z)$ dan diberikan $V = -\frac{1}{\rho}$, dimana nilai ρ dapat dituliskan berdasarkan persamaan berikut :

$$\rho = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z_0 + \Delta z - z')^2} \quad (2.37)$$

Pada persamaan tersebut, nilai V memenuhi syarat $V + \frac{1}{r} = 0$ pada bidang horizontal, apabila nilai α semakin besar maka $V + \frac{1}{r}$ akan hilang pada bidang hemisfer. V selalu harmonik karena ρ tidak pernah hilang, sehingga persamaan menjadi seperti berikut :

$$U(p) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\left(\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right) \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\rho} \right) \right) \right] ds \quad (2.38)$$

Suku pertama hilang pada setiap titik pada S dan suku kedua akan hilang kecuali pada permukaan horizontal apabila hemisfer membesar, sehingga persamaan menjadi seperti berikut :

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = -\frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(x', y', z_0) \frac{\partial}{\partial z'} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right] dx' dy' \quad (2.39)$$

dengan melakukan turunan dan membawa z' ke bidang horizontal maka didapatkan persamaan seperti berikut :

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2]^{\frac{3}{2}}} dx' dy', \Delta z > 0 \quad (2.40)$$

Persamaan 2.40 merupakan bentuk integral dari *upward continuation*. Persamaan tersebut menunjukkan cara menghitung nilai medan potensial pada sembarang titik di atas bidang horizontal dari medan di permukaan.

Agar persamaan 2.40 menjadi bentuk yang lebih efisien maka dapat dikerjakan dengan menggunakan domain fourier, sehingga persamaan tersebut merupakan bentuk konvolusi dua dimensi yaitu :

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(x', y', z_0) \Psi_u(x - x', y - y', \Delta z) dx' dy' \quad (2.41)$$

dimana nilai Ψ_u dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\Psi_u(x, y, \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \frac{1}{(x^2 + y^2 + \Delta z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.42)$$

dimana U merupakan potensial yang diukur pada $z = z_0$ yang memenuhi ketidaksamaan seperti berikut :

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)| dx < \infty \quad (2.43)$$

sehingga medan potensial U memiliki bentuk transformasi Fourier $F(U)$. Persamaan 2.41 ditransformasi ke dalam domain Fourier, sehingga diperoleh persamaan seperti berikut :

$$F[U_u] = F[U]F[\Psi_u] \quad (2.44)$$

dimana $F[U_u]$ merupakan bentuk transformasi fourier dari medan *upward continuation*. $F[U_u]$ didapatkan dengan menggunakan transformasi Fourier $F[\Psi_u]$ dari persamaan 2.42.

$$\Psi_u(x, y, \Delta z) = -\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial \Delta z} \frac{1}{r} \quad (2.45)$$

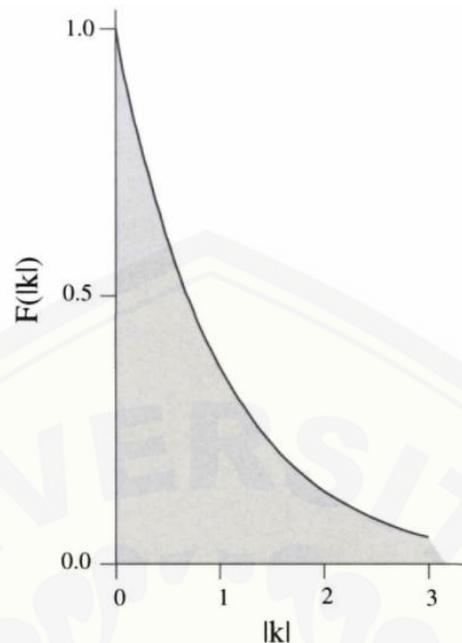
Dengan nilai r dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan seperti berikut :

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + \Delta z^2} \quad (2.46)$$

sehingga transformasi Fourier pada persamaan 2.45 menjadi persamaan seperti berikut :

$$F[\Psi_u] = -\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial \Delta z} F\left[\frac{1}{r}\right] = -\frac{\partial}{\partial \Delta z} \frac{e^{-|k|\Delta z}}{|k|} = e^{-\Delta z|k|}, \Delta z > 0 \quad (2.47)$$

Continuation dari medan potensial dari di bidang yang satu ke bidang yang lain dilakukan dengan cara mengalikan hasil transformasi Fourier dari data pengukuran dengan suku eksponensial pada persamaan 2.47, kemudian hasil transformasi tersebut dilakukan inversi.



Gambar 2.7 Domain Fourier yang merepresentasikan dari permukaan yang satu menuju permukaan yang lebih jauh dari sumber dengan ketinggian tertentu pada metode *upward continuation* (Blakely, 1996)

2.8 Gunung Lamongan

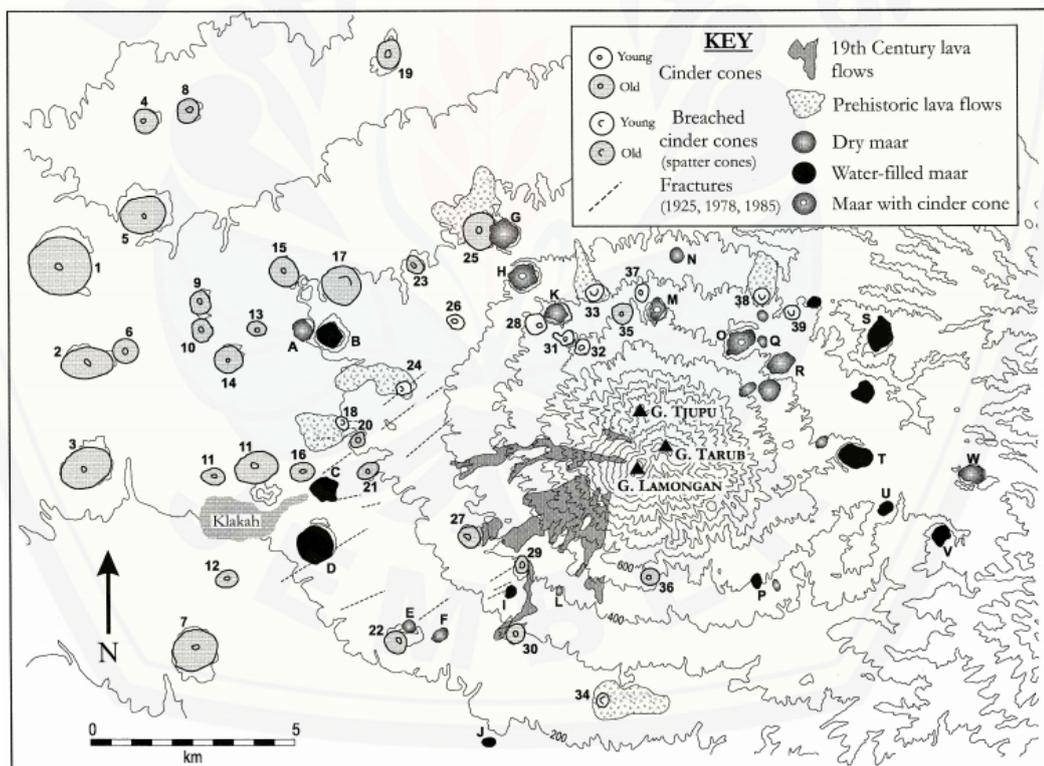
Gunung Lamongan adalah gunung api aktif di Indonesia, terletak di Jawa Timur, perbatasan antara Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Probolinggo yang memiliki tipe stratovolcano. Gunung Lamongan terletak pada titik koordinat $7^{\circ}55'-8^{\circ}5'LS$ dan $113^{\circ}15'-113^{\circ}25' BT$ dengan ketinggian 1651 mdpl. Gunung Lamongan memiliki karakteristik yang unik yaitu memiliki 36 *cinder cone* dan 22 *maar* yang tersebar, diantaranya maar kering (*dry maar*) maupun yang telah terisi air menjadi ranu (*water-filledd maar*) (Carn, 2000).

Gunung Lamongan terbentuk karena adanya pensesaran dari tubuh Gunung Tarub dari arah tenggara sampai barat laut. Gunung Lamongan terbentuk seiring dengan runtuhnya Gunung Tarub akibat adanya pensesaran. Gunung Lamongan dikelilingi oleh beberapa kerucut eksentrik yang terletak pada daerah dengan sumbu utara-selatan berjarak 18 km dan sumbu barat-timur berjarak 37 km (Bemmelen, 1949).

Zona pusat erupsi pada *Lamongan Volcanic Field* (LVF) di Jawa Timur memiliki tiga lubang erupsi salah satunya yaitu gunungapi Lamongan yang masih

aktif sampai saat ini. Lapangan tersebut terletak di sebelah timur gunungapi Tengger-Semeru dan dalam gugus busur vulkanik Sunda. Gunung api Lamongan terus-menerus aktif pada tahun 1799-1898 terbukti dengan selalu mengeluarkan hingga 15 aliran lava. Komposisi aliran lava yang dikeluarkan gunung api tersebut terdiri dari basaltik hingga basaltik andesit (Carn, 2000).

Lereng sebelah utara puncak gunungapi Lamongan teridentifikasi memiliki lubang erupsi prasejarah paling muda berdasarkan klasifikasi morfologi. Gunungapi Lamongan menghasilkan kurang lebih $0,05 \text{ km}^3$ lava basaltik hingga basaltik andesit berdasarkan aktivitas dari titik erupsi yang terletak di bagian barat menggunakan *eruptive rate* dan data volume menyatakan bahwa LVF berumur sekitar (13-40) ka. Pengidentifikasian tersebut menyatakan gunungapi Lamongan merupakan salah satu gunungapi yang paling muda di Indonesia (Carn, 2000).



Gambar 2.8 Peta sebaran aliran lava, *cinder cone*, dan maar di sekitar Gunung Lamongan (Carn, 2000)

Gambar 2.8 merupakan peta yang memberikan penjelasan sebaran *cinder/spatter cone* dan maar di wilayah gunung Lamongan. *Cinder/spatter cone*

disimbolkan dengan G (G=Gunung). Sebaran *cinder/spatter cone* diantaranya (1) G. Panawungan, (2) G. Blingir, (3) G. Jalak, (4) G. Onggo-onggo, (5) G. Mejo, (6) G. Ciut, (7) G. Grobongan, (8) G. Dami, (9) G. Wonoayu, (10) G. Runting, 9 dan 10 terhitung sebagai kerucut tunggal pada analisis morfologis), (11) G. Melawung (dua kerucut), (12) G. Kidulkali, (13) G. Yoso, (14) G. Pakem, (15). G. Tengu, (16) G. Matruki, (17) G. Dadapsulur, (18) G. Kendeng, (19) G. Geni, (20) G. Meja, (21) G. G. Kemaran, (22) G. Ranuwulung, (23) G. Rindang, (24) G. G. Cilik, (25) G. Parang, (26) G. Alun-alun, (27) G. Kenek, (28) G. Pandan, (29) G. Masigit, (30) G. Salak, (31) SE dari G. Pandaan [a], (32) SE dari G. Pandaan [b], (33) G. Bukor, (34) G. Kenek [W], (35) G. Bedian, (36) S Flank Lamongan, (37) G. Kenek [N], (38) G. Rojing, (39) G. Tangke. Maar pada gambar 2.7 ditandai dengan simbol R(R=Ranu, yang memiliki arti ‘maar’ dalam bahasa lokal) diataranya yaitu (A) W dan R. Bedali, (B) R. Bedali, (C) R. Lamongan (atau R. Klakah), (D) R. Pakis, (E) R. Wulung, (F) R. Kalianyar, (G) R. Gunungparang, (H) R. Wurung, (I) R. Lading, (J) R. Logung, (K) R. Air, (L) R. Kambang, (M) R. Semungka, (N) R. Gedang, (O) R. Kembar, (P) R. Curuhputih (dua maar), (Q) R. E dan R. Kembar, (R) R. Tangke, (S) R. Segaran, (T) R. Agung, (U) R. Segaran merah, (V) R. Segaran Duwas, (W) Pateranandjur (Carn, 2000).

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. Terbentuknya *cinder cone* yaitu karena adanya letusan strombolian. Kerucut *cinder cone* terbentuk karena adanya pengendapan dan tumpukan balistik, dengan beberapa jatuhnya butiran yang terbawa oleh angin. Sebagian besar *cinder cone* muncul pada batuan sedimen tersier sepanjang sistem sesar mengarah ke barat laut-tenggara, dan pada rekahan radial (Carn, 2000).

Maar merupakan kata yang berasal dari bahasa Jerman dan memiliki arti “kawah”. 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

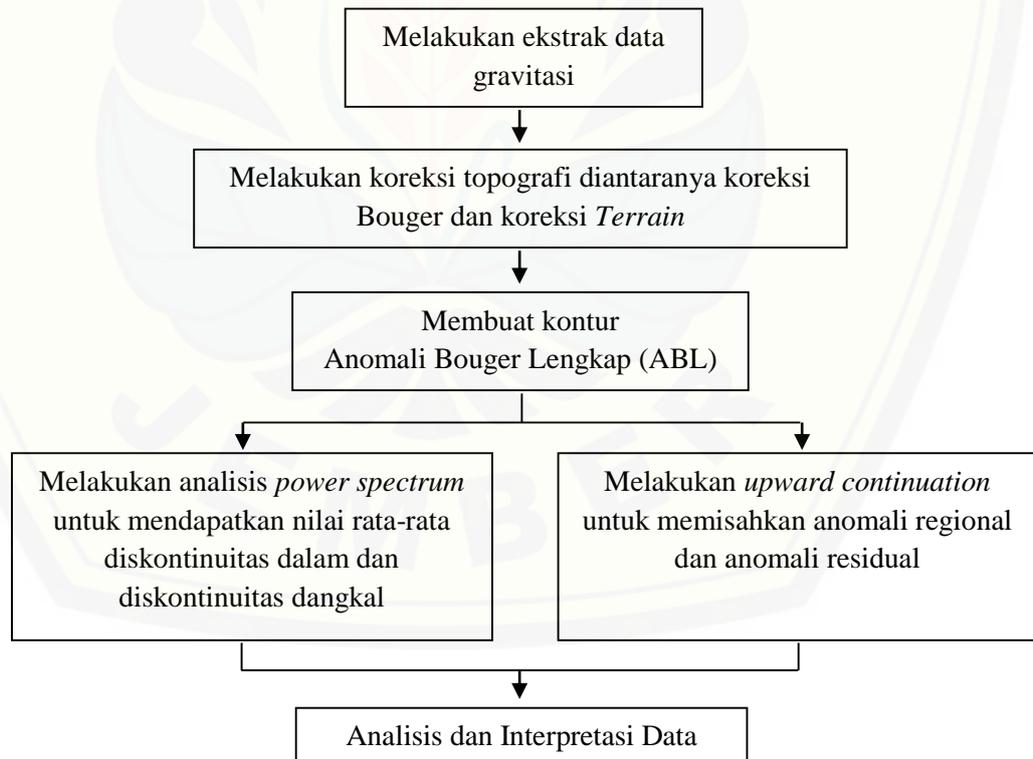
lubang besar atau eksplosif pada puncak yang dinamakan kawah. Karakteristik gunung api maar yaitu memiliki corong dan dapur magma yang dangkal bertekanan tinggi (Schieferdecker, 1959). Menurut Lorentz (1973), terbentuknya gunung api maar dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kedaan air tanah, litologi batuan dasar dan pengaruh struktur rekahan. Gunung api *maar-diatreme* merupakan salah satu jenis gunung api yang banyak muncul di permukaan bumi.



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian “Pemetaan Maar dan *Cinder Cone* Wilayah Gunung Lamongan Menggunakan Analisis *Power Spectrum* dan *Upward Continuation* pada Data Gravitasi GGMplus” merupakan penelitian yang bersifat kuantitatif. Penelitian ini menggunakan data sekunder dari data satelit yang merupakan data *gravity disturbance* dari GGMplus. Data dari GGMplus dilakukan koreksi topografi yaitu koreksi Bouger dan koreksi medan (*terrain*), sehingga didapatkan data anomali Bouger lengkap yang bertujuan untuk memberikan informasi berupa gambaran struktur bawah permukaan. Data anomali Bouger dilakukan dengan menghubungkan dua metode *filtering* yaitu analisis *power spectrum* dan *upward continuation* guna untuk memetakan keberadaan *cinder cone* dan *maar*.

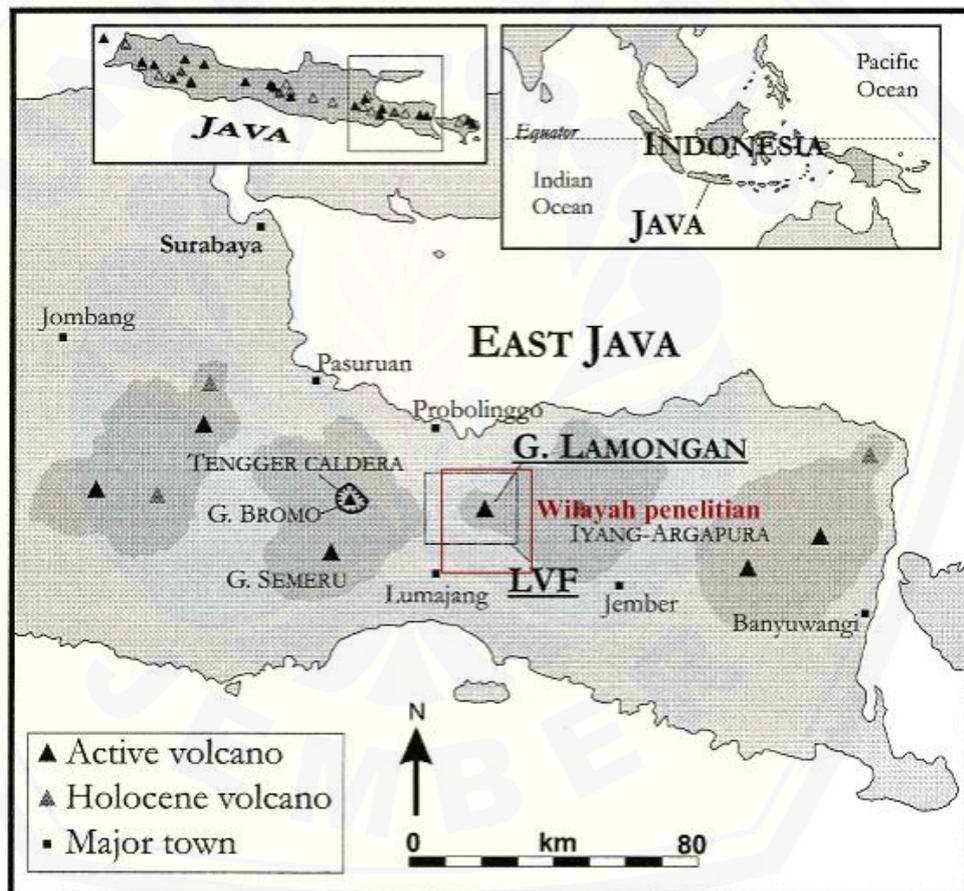


Gambar 3.1 Diagram alir rancangan kegiatan penelitian

3.2 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Data *gravity disturbance* GGMplus merupakan jenis data sekunder dan kuantitatif. Data *gravity disturbance* GGMplus di permukaan dengan bentuk grid, resolusi spasi antar titiknya 200 m. Data yang digunakan sebanyak 8.500 data dengan luas 206 km x 19 km. Data gravitasi GGMplus dapat diakses dari laman <http://bgi.omp.obs-mip.fr/data-products/Grids-and-models/GGMplus2013gravity-model>.



Gambar 3.2 Daerah penelitian wilayah Gunung Lamongan (Carn, 2000)

2. Data *Digital Elevation Model* (DEM) merupakan jenis data sekunder dan kuantitatif. Data DEM diperlukan sebagai data topografi dan koreksi *terrain*. Data DEM memiliki resolusi 90 m di katulistiwa dalam grid

5° x 5°. Data DEM dapat diakses melalui laman yaitu <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>.

3. Data yang digunakan pada metode analisis *power spectrum* berupa nilai anomali gravitasi dan *latitude* dari hasil sayatan kontur ABL. Data *latitude* digunakan karena sayatan yang dilakukan pada peta kontur ABL sejajar garis bujur sehingga nilai *latitude* bervariasi sedangkan nilai *longitude* konstan. Data anomali gravitasi dan data *latitude* merupakan jenis data sekunder dan kuantitatif.

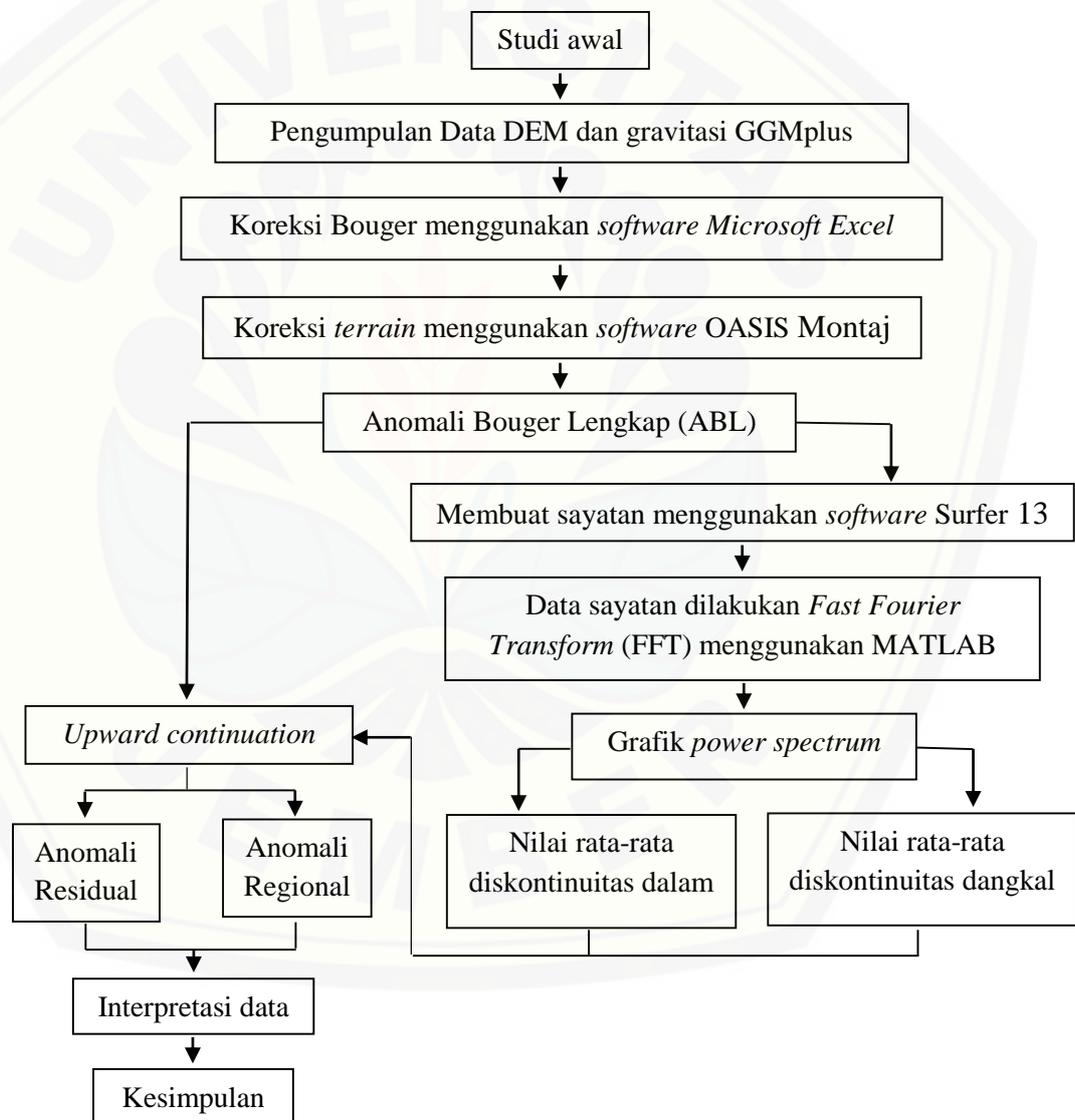
3.3 Definisi Operasional Variabel

Variabel merupakan parameter-parameter fisika dengan nilai yang dapat berubah, dan hal ini mempengaruhi peneliti dalam penarikan kesimpulan. Variabel yang mempengaruhi penelitian ini diantaranya koordinat penelitian, data topografi, data gravitasi GGMplus, ABL, anomali gravitasi FFT (*Fast Fourier Transform*), bilangan gelombang yang diperoleh dari hasil transformasi FFT, nilai *power spectrum*. Koordinat penelitian yaitu posisi wilayah penelitian, dinyatakan dalam derajat lintang dan derajat bujur. Koordinat penelitian yang digunakan yaitu 7°55' - 8°5' LS dan 113°15' - 113°25' BT. Data topografi merupakan data yang diperoleh dari data DEM, yang memberikan informasi berupa elevasi pada suatu daerah. Data gravitasi GGMplus merupakan data gravitasi satelit yang berbentuk grid dan memiliki resolusi spasi antara titiknya 200 m. Data gravitasi GGMplus terdiri dari lima fungsi yaitu percepatan gravitasi, *gravity disturbance*, defleksi vertikal barat-timur dan utara-selatan serta ketinggian quasigeoid. Data yang digunakan pada penelitian yaitu data *gravity disturbance* GGMplus. ABL merupakan data yang diperoleh dari hasil pengurangan antara Anomali Bouger Sederhana (ABS) dengan koreksi medan (*terrain*). Anomali gravitasi FFT (*Fast Fourier Transform*) merupakan data yang diperoleh dari setiap lintasan sayatan pada peta kontur ABL yang ditransformasi, dengan tujuan mengubah domain jarak menjadi domain frekuensi. Bilangan gelombang yang diperoleh dari hasil transformasi FFT (*Fast Fourier Transform*) merupakan data yang didapatkan dari kedalaman bidang batas antara diskontinuitas dalam dan diskontinuitas dangkal yang dijadikan sebagai

penentu lebar jendela. Nilai *power spectrum* merupakan data yang diperoleh dari logaritma *spectrum* sinyal hasil transformasi menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*).

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah merupakan langkah secara keseluruhan yang mewakili setiap proses penelitian. Kerangka pemecahan masalah pada penelitian ini yaitu :



Gambar 3.3 Diagram alir kerangka pemecahan masalah dalam penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini memuat rincian mengenai tahapan dalam menjalankan penelitian yang disajikan seperti pada Gambar 3.3.

3.5.1 Studi Awal

Hal yang terpenting dalam suatu penelitian setelah mendapatkan topik yaitu studi awal berupa literatur yang diperlukan dan berkaitan dengan topik. Studi awal berguna untuk memberikan gambaran secara global mengenai penelitian yang dilakukan. Studi awal mengenai ilmu yang mendasari penelitian perlu dikuasai sehingga penelitian dapat tercapai sesuai tujuan. Studi awal dari penelitian ini yaitu melakukan pencarian referensi berupa beberapa jurnal, buku, skripsi dan tesis yang berkaitan dengan kedalaman anomali gravitasi dengan menggunakan metode analisis *power spectrum* dan metode *upward continuation* menggunakan data GGMplus. Agar dapat berjalan sesuai tujuan, peneliti perlu mempelajari *software* yang menunjang diantaranya *software Microsoft Excel*, *Global Mapper 13*, *Surfer 13*, *magPick*, *OASIS Montaj* dan *MATLAB 2014*. Hasil dari studi awal dapat digunakan sebagai penunjang tahap berikutnya yaitu pengumpulan data.

3.5.2 Pengumpulan Data

Data yang harus dikumpulkan pada penelitian ini yaitu data gravitasi satelit berupa data gravitasi GGMplus dan data DEM. Data DEM digunakan sebagai data topografi dan input pada koreksi medan (*terrain*). Data gravitasi GGMplus dapat diperoleh dengan mengunduh data sesuai dengan koordinat geografi (*longitude/latitude*) dari wilayah yang akan menjadi objek penelitian. Data GGMplus yang diunduh yaitu berupa data *gravity disturbance* dengan format *.dg*. Wilayah yang menjadi objek penelitian yaitu Jawa Timur dengan kode *S10E110.dg*. Kode tersebut mewakili informasi koordinat geografi yaitu lintang selatan dengan koordinat -10° hingga -5° dan bujur timur dengan koordinat 110° hingga 115° . Terdapat file lain yang diunduh berupa script yang digunakan untuk mengekstrak data dengan format *.dg* yaitu *test_access_ggmplus.m* seperti pada Lampiran 2. Data diekstrak dengan menggunakan *script* yang telah diunduh dengan menyesuaikan koordinat geografi yaitu $7^{\circ}55'$ - $8^{\circ}5'$ LS dan $113^{\circ}15'$ - $113^{\circ}25'$ BT.

Proses ekstrak data menghasilkan data sebanyak 8.500 data. 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.

3.5.3 Koreksi Topografi

Koreksi topografi terdiri dari koreksi Bouger dan koreksi *terrain* yaitu :

a. Koreksi Bouger

Koreksi Bouger dilakukan dengan menggunakan *software Microsoft Excel*. Koreksi Bouger didapatkan melalui perhitungan yaitu ρ dan h atau FA (dalam satuan mGal) dikalikan menggunakan persamaan 2.8. Nilai ρ yang digunakan didasarkan pada massa jenis kerak bumi yaitu $2,67 \text{ g/cm}^3$ (Grant dan West, 1965). Nilai h atau FA (*free air*) didapatkan dari ekstrak data *gravity disturbance* GGMplus. Koreksi Bouger berguna untuk memperoleh nilai Anomali Bouger Sederhana (ABS) melalui perhitungan mengurangi FA dengan nilai koreksi Bouger.

b. Koreksi Medan (*Terrain*)

Data DEM digunakan sebagai input untuk koreksi *terrain*. Grid regional dan residual DEM disamakan dengan grid data GGMplus dengan menggunakan *software Global Mapper 13*. Grid regional dan lokal DEM memiliki jumlah data yang sama dengan hasil ekstrak data *gravity disturbance* GGMplus yaitu 8.500 data. Koreksi *terrain* dilakukan dengan membuka file ekstrak data *gravity disturbance* GGMplus yang mengandung informasi *longitude*, *latitude* dan elevasi dengan bantuan *software* OASIS Montaj. Koreksi *terrain* menghasilkan data sebanyak 8.500 data.

3.5.4 Anomali Bouger Lengkap (ABL)

Anomali Bouger Lengkap (ABL) didapatkan dengan bantuan *software Microsoft Excel* dengan perhitungan mengurangi nilai Anomali Bouger Sederhana (ABS) dengan nilai koreksi medan (*terrain*). Kemudian kontur ABL dibuat dengan menggunakan *software* Surfer 13 dengan satuan koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM). Kontur ABL dibuat dengan menyesuaikan koordinat

wilayah yang menjadi objek penelitian yaitu $7^{\circ}55'$ - $8^{\circ}5'$ LS dan $113^{\circ}15'$ - $113^{\circ}25'$ BT.

3.5.5 Lintasan Sayatan Penampang (*Slicing*)

Anomali Bouger Lengkap (ABL) yang telah dibuat konturnya dengan menggunakan *software* Surfer 13 kemudian dibuat lintasan sayatan penampang lintang. Sayatan yang dibuat sejajar dengan garis bujur. Lintasan sayatan dibuat dengan melewati maar dan *cinder cone* yang diindikasikan pada peta kontur ABL. Pembuatan sayatan tersebut berguna untuk mendapatkan profil anomali.

3.5.6 *Fast Fourier Transform* dan Analisis *Power Spectrum*

Anomali Bouger Lengkap (ABL) yang telah dibuat kontur dengan menggunakan *software* Surfer berguna untuk mendapatkan data anomali medan gravitasi dari setiap lintasan. Data ABL merupakan data dalam domain spasial, ditransformasikan ke dalam domain frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). FFT dapat dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. Nilai *power spectrum* dan bilangan gelombang didapatkan dengan menggunakan *software* MATLAB pula. Metode analisis *power spectrum* dapat dilakukan dengan memasukkan data anomali gravitasi setiap lintasan sayatan dalam format .txt pada *listing program* tertera di Lampiran 3. Selanjutnya program dijalankan dan dimasukkan nilai spasi antar titik lintasan. Bilangan gelombang dan nilai *power spectrum* akan didapatkan beserta grafik hubungan antara keduanya. Kemudian dari grafik tersebut dilakukan pencocokan dua gradien garis. Garis tersebut menggambarkan nilai kedalaman diskontinuitas dalam dan diskontinuitas dangkal.

3.5.7 Grafik *Power Spectrum*

Grafik *power spectrum* menggambarkan hubungan antara bilangan gelombang dengan nilai *power spectrum*. Grafik tersebut terdapat gradien garis yang memberikan informasi kedalaman diskontinuitas. Pernyataan tersebut merujuk pada penelitian Indriana (2008), diskontinuitas dalam dicirikan dengan frekuensi rendah dan diskontinuitas dangkal dicirikan dengan frekuensi tinggi. Nilai diskontinuitas berkaitan dengan nilai anomali. Anomali lokal (residual)

dicirikan oleh anomali dengan frekuensi tinggi yaitu diskontinuitas dangkal. Anomali regional dicirikan oleh anomali berfrekuensi rendah yaitu diskontinuitas dalam. Nilai rata-rata diskontinuitas dari metode analisis *power spectrum* berkaitan dengan anomali medan gravitasi menjadi dasar untuk estimasi ketinggian pada metode *upward continuation*.

3.5.8 Upward Continuation

Anomali Bouger Lengkap (ABL) terdiri dari anomali residual dan anomali regional. Metode *upward continuation* merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan anomali lokal (residual) dengan anomali regional. Metode *upward continuation* dapat dilakukan dengan menggunakan *software magPick*. Metode *upward continuation* dilakukan dengan pengangkatan ABL sampai ketinggian tertentu di atas bidang datar. Perlakuan tersebut bertujuan agar pola kontur anomali regional terbentuk secara konstan. Metode *upward continuation* menghasilkan data anomali regional dan anomali lokal (residual).

3.5.9 Interpretasi Data

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui kedalaman anomali gravitasi wilayah Gunung Lamongan menggunakan data gravitasi GGMplus dengan menghubungkan metode analisis *power spectrum* dan metode *upward continuation*. Data Anomali Bouger Lengkap (ABL) dilakukan interpretasi kualitatif melalui pembacaan pola anomali yang kemudian dihubungkan dengan tatanan geologinya dan data-data kebumian lainnya sehingga dapat memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan bumi. Gambaran umum yang dihasilkan berupa pola-pola struktur geologi, tidak termasuk ukuran geologinya. Data ABL masih mengandung data anomali regional dan anomali lokal (residual). ABL yang telah dibuat konturnya kemudian dibuat lintasan sayatan penampang. Data anomali gravitasi dari masing-masing lintasan sayatan ditransformasikan dengan menggunakan FFT. Kemudian melakukan analisis *power spectrum* dari grafik *power spectrum* yang dihasilkan. Analisis *power spectrum* merupakan metode yang digunakan untuk mengestimasi kedalaman diskontinuitas dari anomali gravitasi. Analisis *power spectrum* memberikan informasi kedalaman diskontinuitas dalam

dan diskontinuitas dangkal. Nilai diskontinuitas berkaitan dengan nilai anomali. Anomali lokal (residual) dicirikan oleh anomali dengan frekuensi tinggi yaitu diskontinuitas dangkal. Anomali regional dicirikan oleh anomali berfrekuensi rendah yaitu diskontinuitas dalam. Metode analisis *power spectrum* berkaitan erat dengan metode *upward continuation*. Metode analisis *power spectrum* memberikan data lebar jendela yang dijadikan sebagai informasi ketinggian pada 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. Metode *upward continuation* dilakukan dengan pengangkatan ABL dengan ketinggian tertentu sehingga peta kontur anomali regionalnya konstan. Metode *upward continuation* menghasilkan dua peta kontur yaitu peta kontur anomali regional dan peta kontur anomali lokal (residual). Peta kontur anomali regional digunakan untuk mengetahui kondisi geologi daerah secara umum. Peta kontur anomali 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.

3.5.10 Kesimpulan

Penarikan kesimpulan merupakan tahapan terakhir dari proses penelitian. Kesimpulan bertujuan untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian. Kesimpulan yang didapatkan berupa informasi gambaran struktur bawah permukaan wilayah Gunung Lamongan dengan menggunakan data Anomali Bouger Lengkap (ABL) GGMplus. Kesimpulan lain yaitu berupa banyaknya maar dan *cinder cone* dapat teramati pada peta kontur ABL. Peta kontur ABL dilakukan metode *filtering upward continuation* dengan estimasi ketinggian berdasarkan data dari metode analisis *power spectrum*. Maar dan *cinder cone* dapat teramati dengan baik pada peta kontur anomali lokal hasil dari metode *upward continuation*.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Peta kontur Anomali Bouger lengkap (ABL) di wilayah Gunung Lamongan menunjukkan rentang nilai medan gravitasi antara -17 mGal hingga 49 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.
2. Penelitian dengan menghubungkan metode *filtering* analisis *power spectrum* dan *upward continuation* dapat mengetahui keberadaan maar dan *cinder cone* melalui peta kontur anomali lokal. Terdapat 10 *cinder cone* dan 8 maar yang tampak pada peta kontur anomali lokal.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian “Pemetaan Maar dan *Cinder Cone* Wilayah Gunung Lamongan Menggunakan Analisis *Power Spectrum* dan *Upward Continuation* pada Data Gravitasi GGMplus” ini diperlukan adanya pengembangan metode *filtering* yang digunakan seperti SVD (*Second Vertical Derivative*). Hal ini dilakukan agar dapat menghasilkan peta kontur anomali lokal yang optimum. Peta kontur anomali lokal yang optimum dapat digunakan untuk menganalisa keberadaan maar dan *cinder cone* lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. I. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Aziz, K., E. Hartantyo, dan S. Niasari. 2018. The Study of Fault Lineament Pattern of the Lamongan Volcanic Field Using Gravity Data, *Proceedings of Journal of Physics: Conference Series*, 1011 (1). IOP Publishing: 012025.
- Aziz, N.K. 2018. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Lamongan Panasbumi Lamongan Berdasarkan Analisis Data Gravitasi GGMplus. *Tesis*. Yogyakarta: Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah mada.
- BGI.2013. GGMplus 2013 Global Model. <http://bgi.omp.obs-mip.fr/data-products/Grids-and-models/GGMplus2013gravity-model>. [Diakses pada 9 Januari 2020].
- CGIAR-CSI. 2004. SRTM Data. <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>. [Diakses pada 12 Januari 2020].
- Bemmelen, R. V. 1949. *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. The Hague: US Government Printing Office.
- Blakely, R.J. 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Edinburgh: Cambridge University Press.
- Carn, S. A. 2000. The Lamongan Volcanic Field, East Java, Indonesia: Physical Volcanology, Historic Activity and Hazards. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 95 (1-4): 81-108.
- Drinkwater, M., R. Floberghagen, R. Haagmans, D. Muzi, dan A. Popescu. 2003. VII: Closing Session: GOCE: ESA's First Earth Explorer Core Mission. *Space Science Reviews* 108 (1-2): 419-432.
- Grant, F.S. dan West, G.F., 1965, *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Haerudin, N., dan K. Karyanto. 2012. Aplikasi Metode Polinomial Least Square Berbasis Matlab Untuk Memisahkan Efek Residual Anomali Regional Pada Data Gravitasi. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung* 5 (1).

Lampiran 1. *Script* MATLAB GGMplus

```
%-----  
% Testdriver for GGMplus access and use  
%  
% Requires ggmpplus2013_v3.m for seamless access of GGMplus binary  
files  
%  
% Christian Hirt and Sten Claessens,  
% Western Australian Centre for Geodesy,  
% Curtin University, Perth, Australia  
% 2013-05-30  
%-----  
  
clear all  
close all  
  
% -----  
% INPUT SELECTION  
% -----  
  
% Insert path where GGMplus files are located -----  
pathGGMplus = 'D:\GGMplus\data';  
  
% Choose no-data value for points where GGMplus is unavailable ---  
ndv = NaN; %NaN produces best results for plotting  
  
% Define desired target area -----  
minlon1 = 113.25; % longitude of western edge (negative for  
western hemisphere)  
maxlon1 = 113.42; % longitude of eastern edge (negative for  
western hemisphere)  
minlat1 = -8.1; % geodetic latitude of southern edge (negative  
for southern hemisphere)  
maxlat1 = -7.9; % geodetic latitude of northern edge (negative  
for southern hemisphere)  
  
% NB: In this example, the files N45E010.suffix are assumed to be  
available  
% at the following locations  
% 'E:\GGMplus\data\dg\N45E010.dg' (gravity disturbances)  
% 'E:\GGMplus\data\ga\N45E010.ga' (gravity accelerations)  
% 'E:\GGMplus\data\xi\N45E010.xi' (NS DoVs)  
% 'E:\GGMplus\data\eta\N45E010.eta' (EW DoVs)  
% 'E:\GGMplus\data\geoid\N45E010.ha' (quasigeoid)  
  
% Factor applied on GGMplus basis resolution of 0.002 deg -----  
% Use facX=facY=1 to extract GGMplus data over target area  
*without*  
% interpolation.  
% Use facX=facY=2 to downsample GGMplus data by factor 2 using the  
% interpolation method specified below. Other factors can also be  
used.  
  
facX =1.0;
```