



**IDENTIFIKASI PATAHAN KAWASAN BLAWAN-IJEN
BERDASARKAN DATA ANOMALI GRAVITASI GGMPLUS
DENGAN ANALISA *SECOND VERTICAL DERIVATIVE* (SVD)**

SKRIPSI

Oleh

**Vina Soraya
NIM 161810201046**

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



**IDENTIFIKASI PATAHAN KAWASAN BLAWAN-IJEN
BERDASARKAN DATA ANOMALI GRAVITASI GGMPPLUS
DENGAN ANALISA *SECOND VERTICAL DERIVATIVE* (SVD)**

SKRIPSI

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

Oleh

Vina Soraya
NIM 161810201046

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

PERSEMBAHAN

Rasa syukur saya haturkan kepada Allah SWT karena-Nya saya diberikan sebuah kenikmatan yang luar biasa, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta, Ibu Nur Abidah dan Ayah Abdul Fanan sebagai wujud rasa terimakasih sebanyak-banyaknya atas do'a, dukungan serta semangat yang diberikan sehingga skripsi ini terselesaikan demi tercapainya gelar sarjana.
2. Kakak Wahyu Budi Utomo, Kakak Widya Nur Lestari, Adik Moh. Triya Hardiansah, Adik Adistiya May Abita. Terimakasih telah mendampingi dan memberi semangat untuk menyelesaikan berbagai hal.

MOTTO

فَبِأَيِّ آلَاءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبِينَ

“maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan”

(QS. Ar-rahman)



*) Departemen Agama Republik Indonesia 2012. *Al-Qur'an Cordoba*.
Bandung : Cordoba Internasional Indonesia

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Vina Soraya

Nim : 161810201046

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Identifikasi Patahan Kawasan Blawan-Ijen Berdasarkan Data Anomali Gravitasi GGMplus dengan Analisa *Second Vertical Derivative* (SVD)” adalah benar – benar hasil karya sendiri kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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, Juli 2020
Yang menyatakan,

Vina Soraya
NIM 161810201046

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI PATAHAN KAWASAN BLAWAN-IJEN
BERDASARKAN DATA ANOMALI GRAVITASI GGMPPLUS
DENGAN ANALISA *SECOND VERTICAL DERIVATIVE* (SVD)**

Oleh

**Vina Soraya
NIM 161810201046**

Pembimbing

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

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

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Identifikasi Patahan Kawasan Blawan-Ijen Berdasarkan Data Anomali Gravitasi GGMPPLUS dengan Analisa *Second Vertical Derivative* (SVD)” telah disetujui pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember.

Tim Penguji,

Ketua,

Anggota I,

Supriyadi, S.Si., M.Si.
NIP. 198204242006041003

Dr. Agus Suprianto, S.Si., M.T.
NIP. 197003211997021001

Anggota II,

Anggota III,

Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197202101998021001

Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.
NIP. 197208201998021001

Mengesahkan
Dekan

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

RINGKASAN

Identifikasi Patahan Kawasan Blawan-Ijen Berdasarkan Data Anomali Gravitasi GGMplus dengan Analisa *Second Vertical Derivative* (SVD); Vina Soraya, 161810201046; 2020; 94 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Kawasan Blawan-Ijen merupakan kawasan yang memiliki potensi panas bumi. Potensi panas bumi pada suatu daerah ditandai dengan adanya batuan waduk (*reservoir*), sumber panas (*heat source*), *meteoric water*, batuan penutup, dan rekahan atau patahan. Metode gravitasi merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengidentifikasi keadaan struktur bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan variasi medan gravitasi yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan. Data gravitasi yang digunakan pada penelitian ini merupakan data gravitasi satelit GGMplus. Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu mengidentifikasi patahan yang berada pada kawasan Blawan-Ijen berdasarkan data gravitasi GGMplus, dan mengetahui jenis patahan menggunakan analisa *Second Vertical Derivative* (SVD).

Data gravitasi GGMplus yang digunakan merupakan data gravitasi *disturbance*. Data gravitasi *disturbance* ini dilakukan pengolahan hingga mendapatkan nilai gravitasi Anomali Bouguer Lengkap (ABL) yang merupakan data gravitasi yang hanya terpengaruh oleh densitas pada daerah tersebut. Data gravitasi ABL ini digunakan untuk mengetahui struktur patahan berdasarkan anomali gravitasi yang berkesesuaian dengan informasi geologi kawasan Blawan-Ijen. Analisa *Second Vertical Derivative* (SVD) dilakukan dengan tujuan mengetahui jenis patahan. Interpretasi yang dilakukan berupa interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan cara melihat perbedaan warna kontur pada peta ABL, peta SVD berdasarkan *filter* Elkins dan *filter* Rosenbach. Sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan mencari grafik hubungan antara SVD maksimum dan minimumnya, yang kemudian nilai SVD maksimum dan SVD

minimumnya digunakan untuk mengetahui jenis patahan pada kawasan Blawan – Ijen.

Hasil dari pengolahan data gravitasi *disturbance* GGMplus berupa data gravitasi ABL menunjukkan bahwa anomali gravitasi yang berkesesuaian dengan informasi patahan pada kawasan Blawan-Ijen yaitu patahan Pedati dan patahan Blawan. Besarnya anomali gravitasi pada patahan Pedati sebesar 30 mGal – 110 mGal dan patahan Blawan sebesar 90 mGal – 130 mGal. Patahan Pedati dan patahan Blawan berkaitan dengan adanya manifestasi yang berupa mata air panas di kawasan Blawan-Ijen. Berdasarkan analisa SVD *filter* Elkins terlihat anomali SVD yang bersesuaian dengan informasi patahan kawasan Blawan-Ijen diantaranya patahan Pedati, patahan Blawan, patahan Jampit, patahan Rante, dan patahan Kendeng Merapi. Sedangkan berdasarkan analisa SVD *filter* Rosenbach anomali SVD yang berkesesuaian dengan informasi patahan kawasan Blawan-Ijen yaitu patahan Pedati, patahan Blawan, patahan Kendeng Merapi, dan patahan Rante. Jenis patahan berdasarkan pengolahan SVD menggunakan *filter* Elkins dan Rosenbach diantaranya: patahan pedati merupakan patahan naik, patahan Blawan memiliki jenis patahan naik, patahan Kendeng Merapi memiliki jenis patahan naik, patahan Rante merupakan patahan naik, dan patahan Jampit merupakan patahan naik.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Identifikasi Patahan Kawasan Blawan-Ijen Berdasarkan Data Anomali Gravitasi GGMplus dengan Analisa *Second Vertical Derivative* (SVD)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Alam Universitas Jember.

Penyusun skripsi tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa, dan Dr. Agus Suprianto, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, dan pikiran dalam membimbing penulisan skripsi ini;
2. Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dosen Penguji I dan Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Segenap dosen dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember yang banyak membantu selama penulis kuliah;
4. Teman-teman tim geofisika yang mendukung dan menemani selama penulisan skripsi ini
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, penulis berharap agar skripsi ini bermanfaat bagi pembaca di kemudian hari.

Jember, Juli 2020

Penulis

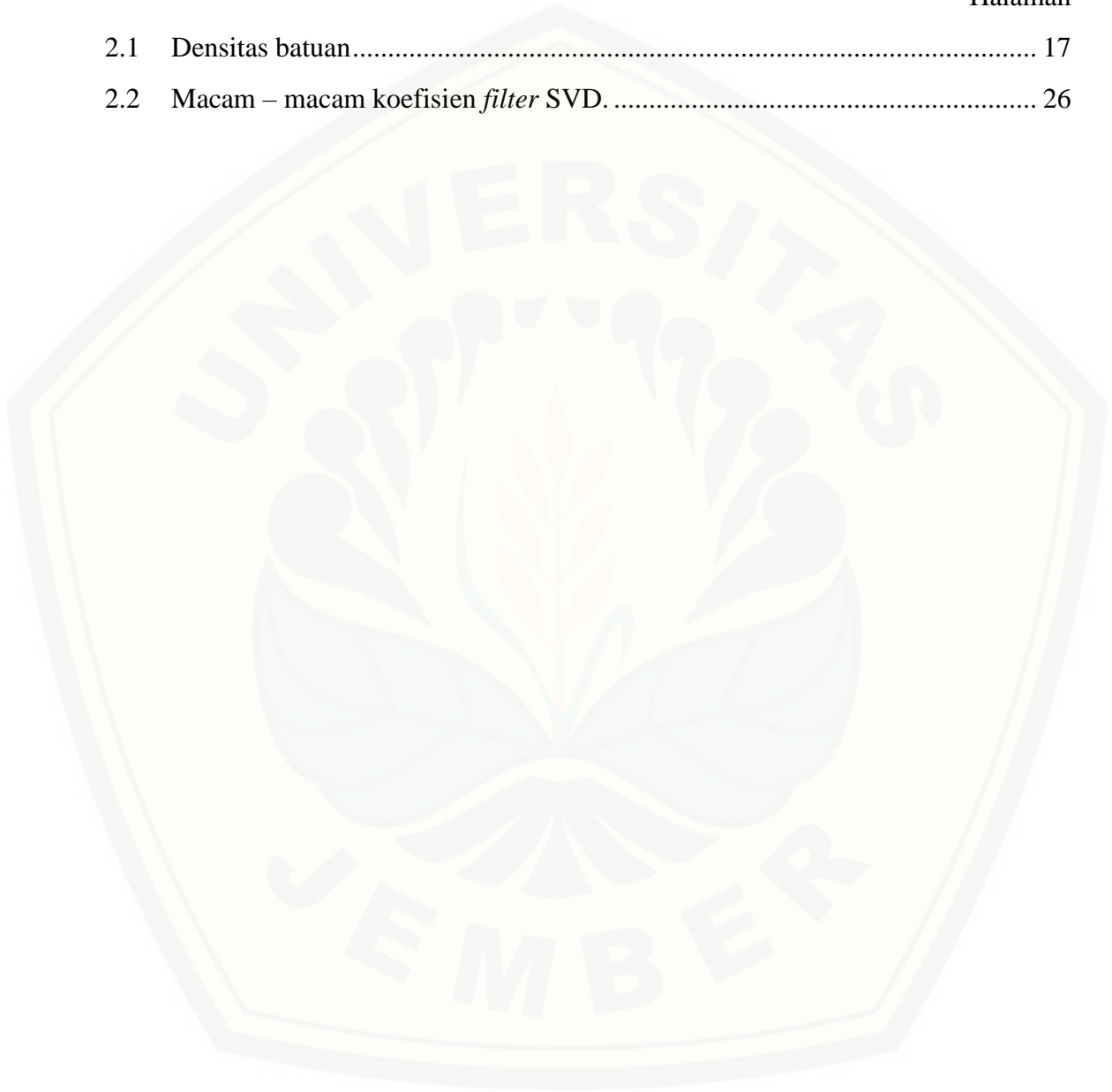
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA.....	x
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	6
1.4 Manfaat	6
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Geologi Gunung Ijen	7
2.1.1. Geografis Wilayah.....	10
2.1.2. Morfologi.....	10
2.1.3. Panas Bumi Blawan.....	12
2.2 Patahan.....	13
2.3 Densitas Batuan	16
2.4 Metode Gravitasi.....	18
2.5 Data Gravitasi GGMplus 2013	19
2.6 Koreksi Metode Gravitasi.....	21
2.6.1. Koreksi Bouguer.....	21
2.6.2. Koreksi Terrain.....	22
2.6.3. Anomali Bouguer Lengkap	23
2.7 <i>Second Vertical Derivative (SVD)</i>	24
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Rancangan Penelitian.....	27
3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	28

3.3	Definisi Operasional Variabel data Skala Pengukuran.....	28
3.4	Kerangka Pemecahan Masalah	29
3.5	Prosedur Penelitian	30
3.5.1.	Studi Literatur.....	31
3.5.2.	Pengumpulan Data	31
3.5.3.	Koreksi Topografi	32
3.5.4.	<i>Second Vertical Derivative</i> (SVD).....	33
3.5.5.	Interprestasi	34
3.5.6.	Kesimpulan.....	34
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Topografi Kawasan Blawan-Ijen.....	35
BAB 5.	PENUTUP	36
5.1	Kesimpulan	36
5.2	Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
DAFTAR ISTILAH	42
LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Densitas batuan.....	17
2.2 Macam – macam koefisien <i>filter</i> SVD.	26



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Sketsa Gunung Ijen Tua sebelum terbentuk kaldera	7
2.2 Sketsa letusan Gunung Api Ijen Tua setelah terjadi erupsi eksplosif	8
2.3 Sketsa patahan dekat Blawan karena proses erosi sehingga menjadi celah	9
2.4 Skema kompleks Ijen saat ini.....	9
2.5 Patahan <i>right lateral (dextral)</i>	14
2.6 Patahan <i>left lateral (sinistral)</i>	14
2.7 Patahan naik (<i>reverse fault</i>).....	15
2.8 Patahan turun (<i>normal fault</i>)	15
2.9 Peta geologi panas bumi kawasan Ijen	15
2.10 Gaya tarik menarik antara 2 buah benda	19
2.11 Koreksi Bouguer.....	21
2.12 Stasiun yang berada dekat dengan gunung.....	22
2.13 Stasiun yang berada dekat dengan lembah	23
3.1 Diagram alir rancangan kegiatan penelitian	27
3.2 Kerangka pemecahan masalah	30

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
3. 1 <i>Script</i> MATLAB untuk mengekstran data gravitasi GGMplus.....	43
4. 1 Peta geologi pegunungan Ijen	48
4. 2 Peta geologi pegunungan Ijen bagian Situbondo	51
4. 3 Peta Geologi Bondowoso	53
4. 4 Hasil perhitungan masing – masing sayatan berdasarkan SVD <i>filter</i> Elkins dan Rosenbach.....	57

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia menjadi salah satu negara yang masuk dalam kawasan cincin api pasifik. Kawasan cincin api Pasifik (*Pacific's ring of fire*) merupakan kawasan pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Tiga lempeng yang saling bertemu tersebut menyebabkan sering terjadi gempa bumi dan letusan gunung berapi, karena ketiga lempeng tektonik tersebut membentuk zona subduksi. Zona subduksi yang berada di antara lempeng benua dan samudra tersebut menghasilkan peleburan magma dalam lapisan mantel bumi. Magma dalam lapisan mantel bumi mengalami diferensiasi pada saat perjalanan ke permukaan bumi sehingga membentuk kantong – kantong magma yang mengakibatkan terbentuknya jalur gunung berapi sepanjang kawasan cincin api pasifik. Terdapat 240 buah gunung berapi di Indonesia dengan 70 diantaranya masih aktif sehingga Indonesia memiliki aktivitas vulkanik yang tinggi (Rinaldi, 2010).

Aktivitas vulkanik terjadi akibat aktivitas dari gunung berapi, sedangkan aktivitas tektonik dapat terjadi karena adanya pergeseran lempeng. Aktivitas tektonik dan vulkanik dapat menyebabkan terjadinya suatu patahan. Patahan merupakan retakan pada kulit bumi yang disebabkan karena pergerakan antara dua sisi dengan arah yang berlawanan. Patahan dapat terjadi karena adanya tekanan tenaga endogen yang sangat cepat sehingga permukaan bumi tidak sempat melipat. Faktor yang mempengaruhi terjadinya patahan adalah struktur geologi. Sesar (*fault*) merupakan salah satu jenis penyusun struktur geologi bumi. Sesar (*fault*) adalah suatu bentuk patahan yang ada di lapisan batuan kerak bumi yang dapat menyebabkan blok batuan bergerak relatif terhadap blok batuan lainnya (Mustifa dan Sehad, 2016).

Menurut Scholz (2019), berdasarkan arah gerak sesar relatif terhadap bidang horizontal permukaan bumi, sesar dapat dibedakan menjadi sesar mendatar atau horizontal dan sesar tidak mendatar atau sesar vertikal. Sesar mendatar atau

horizontal merupakan jenis sesar yang menyebabkan blok batuan yang patah bergerak ke kanan dan ke kiri. Sesar horizontal terdiri dari sesar dekstral yaitu sesar horizontal yang bergerak ke arah kanan dan sesar sinistral yaitu sesar horizontal yang bergerak ke arah kiri. Sesar vertikal merupakan jenis sesar yang menyebabkan sesar yang patah bergerak ke atas dan ke bawah. Sesar vertikal dapat dibedakan menjadi sesar naik, sesar turun, dan sesar miring. Patahan tersebar di seluruh dunia, umumnya patahan banyak ditemukan dalam zona subduksi gunung berapi salah satunya yaitu patahan Blawan yang berada di sekitar gunung Ijen.

Gunung Ijen merupakan salah satu gunung berapi aktif yang berada di Jawa Timur. Daerah Gunung Ijen terbentuk karena proses vulkanik *quaternary* dan serangkaian erupsi yang terjadi pada Gunung Ijen Tua. Topografi yang mendominasi pada kaldera Gunung Ijen yaitu kerucut vulkanik (Bergen et. al., 2000). Gunung Ijen Tua tersusun dari batuan basalt tuf, breksi, dan lava, sedangkan Gunung Ijen Muda tersusun dari batuan lava, breksi, dan tuf (Utama et. al., 2012). Rangkaian proses vulkanik *quaternary* pada Gunung Ijen Tua menyebabkan terbentuknya kaldera Ijen dan danau purba Blawan. Danau purba Blawan yang terbentuk pada proses tersebut menyisakan jejak berupa lapisan sedimen klasik tebal di sekitar daerah Blawan. Endapan dari danau purba Blawan tersebut dapat ditemukan pada tebing bukit kaldera Ijen Tua, sedangkan dataran luas yang berada di sekitar Blawan sebagian telah tererosi oleh aliran sungai dan sesar yang berada di daerah tersebut (Sitorus et. al., 1990).

Daerah Blawan-Ijen merupakan daerah yang memiliki potensi panas bumi (Afandi et. al., 2013). Keberadaan potensi panas bumi dapat ditandai dengan adanya beberapa faktor, diantaranya batuan waduk (*reservoir*), sumber panas (*heat source*), *meteoric water*, batuan penutup (*cap rocks*), dan permeabilitas (rekahan, patahan) (Indarto et. al., 2013). Mata air panas yang berada di sekitar kawasan Gunung Ijen terjadi akibat adanya patahan kaldera yang berada di bagian utara atau biasa disebut patahan Blawan (Zaennudin et. al., 2012). Mata air panas dapat terjadi karena *meteoric water* masuk ke dalam bumi melalui rekahan atau patahan yang kemudian

terpanaskan oleh sumber panas berupa magma sehingga menyebabkan naiknya kembali *meteoric water* melalui zona lemah yang berada di sekitar daerah tersebut menuju permukaan bumi sebagai mata air panas. Energi panas bumi merupakan energi alam yang dihasilkan dari serangkaian proses pemanasan akuifer oleh sumber panas yang berasal dari magma (Hiroshi, 1993). Manifestasi energi panas bumi dapat muncul menuju permukaan bumi melalui jalur sesar normal atau zona rekahan sebagai air panas maupun uap panas (Indarto et al., 2013). Manifestasi panas bumi yang terdapat di daerah Pegunungan Ijen antara lain kawah di Gunung Ijen dan sumber air panas yang berada di Blawan.

Metode gravitasi merupakan salah satu metode geofisika yang dapat mengidentifikasi keadaan struktur bawah permukaan bumi (Wachidah dan Minarto, 2018). Keadaan struktur bawah permukaan bumi dapat menunjukkan informasi berupa keadaan geologi daerah tersebut. Metode gravitasi memanfaatkan variasi medan gravitasi yang disebabkan karena perbedaan densitas setiap lapisan batuan. Terdapat sumber massa di bawah permukaan bumi berupa batuan yang dapat menyebabkan adanya gangguan medan gravitasi. Metode gravitasi sangat cocok diterapkan untuk mendeteksi patahan bumi karena metode gravitasi ini mampu mendeteksi adanya perbedaan kontras densitas batuan. Batuan yang memiliki nilai perbedaan kontras yang signifikan menandakan bahwa daerah tersebut merupakan daerah patahan (Sota, 2011). Data gravitasi yang digunakan pada metode gravitasi dapat diperoleh dengan dua cara yaitu pengambilan data gravitasi langsung dan pengambilan data gravitasi melalui satelit. Penggunaan data gravitasi satelit memiliki kelebihan yaitu tidak memakan biaya banyak dan dapat melakukan perluasan daerah dengan mudah.

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data variasi gravitasi yang didapatkan dari satelit GGMplus. Data satelit GGMplus memiliki kelebihan dibandingkan data satelit lainnya. Data satelit GGMplus memiliki resolusi sekitar 200 m sedangkan data satelit TOPEX memiliki spasi antar titik 1,8 km, dan untuk data satelit BGI memiliki spasi antar titik sebesar 3,6 km. Data gravitasi yang

didapatkan dari satelit tersebut sudah mengandung informasi posisi. Data gravitasi satelit yang kemudian diolah akan dapat mendeteksi struktur bawah permukaan bumi. Struktur bawah permukaan bumi ini mencakup geologi daerah tersebut, batuan penyusun, dan dapat mendeteksi adanya patahan bawah permukaan bumi. Pengolahan data gravitasi GGMplus pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap hingga didapatkan data gravitasi Anomali Bouguer Lengkap (ABL) yang kemudian dianalisis menggunakan *Second Vertical Derivative* (SVD). SVD merupakan suatu analisis yang dapat menggambarkan anomali regional yang berasosiasi dengan struktur dangkal sehingga nilainya dapat dijadikan untuk mengidentifikasi jenis patahan yang berada di daerah penelitian (Hartati, 2012). Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengidentifikasi patahan yang berada di kawasan Blawan-Ijen.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui struktur patahan bawah permukaan bumi menggunakan data gravitasi, baik data gravitasi satelit ataupun data gravitasi lapang. Penelitian menggunakan data gravitasi satelit diantaranya Parera et. al. (2015) melakukan penelitian mengenai pemodelan tiga dimensi anomali gravitasi dan identifikasi sesar lokal dalam penentuan jenis sesar di daerah Pacitan berdasarkan data gravitasi satelit TOPEX. Analisis yang digunakan pada penelitian tersebut adalah SVD pada data Anomali Bouguer Sederhana (ABS). Sari et. al. (2018) telah melakukan penelitian tentang penerapan SVD pada data gravitasi untuk mengidentifikasi keberadaan patahan di sepanjang Pengunungan Serayu Selatan Kabupaten Banyumas. Interpretasi yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah *upward continuity* dengan analisis SVD pada peta anomaly bouguer lengkap. Justia dan Hiola (2018) melakukan penelitian mengenai patahan Walanae menggunakan data gravitasi satelit Topex dengan analisa SVD. Sedangkan, penelitian menggunakan data gravitasi lapang diantaranya Sarkowi (2012) telah melakukan penelitian mengenai identifikasi struktur daerah panas bumi Ulubelu berdasarkan analisa data SVD anomali bouguer menggunakan data gravitasi lapang dengan analisa SVD. Firdaus et. al. (2016) telah melakukan penelitian mengenai

identifikasi dan penentuan jenis sesar pada sesar Lembang menggunakan data gravitasi lapang dengan analisa *Second Vertical Gradient* (SVG).

Penelitian lain yang pernah dilakukan mengenai identifikasi struktur bawah permukaan bumi pada daerah Blawan-Ijen diantaranya Raehanayati et. al. (2013), mengenai dugaan awal potensi panas bumi Blawan-Ijen dengan menggunakan metode gravitasi lapang. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tersebut didapatkan bahwa batuan yang berada di reservoir umumnya didominasi oleh batuan yang memiliki densitas rendah dengan porositas dan permeabilitas yang tinggi. Metode lain yang pernah digunakan untuk mengidentifikasi reservoir panas bumi Blawan-Ijen yaitu metode geomagnetik yang dilakukan oleh Afandi et al. (2013). Penelitian ini menyatakan bahwa manifestasi panas bumi yang berada di Blawan-Ijen berasal dari pegunungan Kendeng yang mengalir melalui patahan.

Berdasarkan penelitian – penelitian dengan menggunakan metode gravitasi di atas untuk pendugaan patahan yang ada di bawah permukaan bumi sangatlah bermanfaat. Keberadaan patahan dapat menjadi salah satu faktor adanya manifestasi panas bumi pada suatu daerah (Mardiana, 2017). Penelitian ini diawali dengan mengumpulkan data gravitasi dari satelit GGMplus dan data DEM. Kedua data tersebut kemudian diolah hingga mendapatkan data Anomali Bouger Lengkap (ABL). Peta ABL yang telah didapatkan kemudian dianalisis menggunakan SVD. Analisis SVD dilakukan untuk mengetahui jenis patahan yang ada di sekitar Blawan-Ijen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil pemetaan patahan di kawasan Blawan-Ijen berdasarkan data gravitasi GGMplus ?
2. Apa jenis patahan yang dapat diidentifikasi di kawasan Blawan-Ijen berdasarkan data gravitasi GGMplus dengan analisa *Second Vertical Derivative* (SVD) ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui keberadaan patahan yang berada di kawasan Blawan-Ijen berdasarkan data gravitasi GGMplus.
2. Mengidentifikasi jenis patahan di kawasan Blawan-Ijen berdasarkan data gravitasi GGMplus dengan analisa *Second Vertical Derivative* (SVD).

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh setelah melakukan penelitian ini diantaranya adalah :

1. Mengetahui jumlah patahan yang berada di kawasan Blawan-Ijen berdasarkan data gravitasi GGMplus.
2. Mengetahui jenis patahan yang berada di kawasan Blawan-Ijen.
3. Dapat menjadi rujukan sumber informasi awal untuk potensi panas bumi karena daerah yang berpotensi panas bumi dicirikan dengan adanya patahan.

BAB 2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Geologi Gunung Ijen

Gunung Kendeng atau Gunung Ijen Tua merupakan gunung api strato terbentuk pada zaman Plistosen yang memiliki ketinggian 4.000 mdpl (Bemmelen, 1949). Gunung Kendeng mengalami letusan paraksisma yang mengakibatkan puncaknya hilang sehingga terbentuk Gunung Ijen Muda atau Kompleks Gunung Ijen yang sekarang (Zaennudin et al., 2012). Kompleks Gunung Ijen secara fisiografi terletak pada zona Solo di bagian timur Pulau Jawa (Bemmelen, 1949). Zona Solo adalah zona depresi yang terbentuk karena terpatahkan pada saat pembentukan geantiklin Jawa dengan arah memanjang barat – timur.

Kaldera adalah kawah yang terbentuk akibat letusan yang sangat dahsyat (Nandi, 2006). Kompleks Kaldera Ijen memiliki kaldera dengan diameter sekitar 14-16 km dengan bentuk oval (Zaennudin et al., 2012). Kaldera Ijen terbagi menjadi tiga fase pembentukan, yaitu : fase Gunung Kendeng atau Gunung Ijen Tua, fase non vulkanisme dengan terbentuknya Danau Blawan, dan fase vulkanisme pasca Kaldera Ijen. Gambar 2.1 merupakan ilustrasi Gunung Ijen Tua sebelum terbentuk kaldera.



Gambar 2.1 Sketsa Gunung Ijen Tua sebelum terbentuk kaldera (Sartohadi et. al., 2014)

Proses vulkanik yang berupa erupsi eksplosif yang cukup besar menyebabkan terbentuknya kaldera dengan diameter 14-16 Km. Kaldera ini berbentuk elips dengan kondisi saat ini hanya menyisakan dinding kaldera bagian utara yang melengkung ke arah selatan (Zaennudin et al., 2012). Ukuran kaldera yang cukup besar ini menandakan bahwa pada saat itu terjadi erupsi eksplosif yang sangat besar. Proses

vulkanik erupsi eksplosif ini menyebabkan sebagian besar material tubuh gunung api bagian atas terlontar sehingga menyebabkan terbentuknya lubang kepundan besar yang terbuka ke arah selatan yang ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Sketsa letusan Gunung Api Ijen Tua setelah terjadi erupsi eksplosif (Sartohadi et al., 2014)

Aktivitas magma pada dinding kaldera bagian selatan menunjukkan bahwa bagian tersebut merupakan bagian lemah dari kaldera. Bagian lemah dari suatu kaldera dapat disebabkan karena adanya sesar yang menjadi jalan bagi magma untuk keluar ke permukaan bumi (Sartohadi et al., 2014).

Proses vulkanik erupsi eksplosif ini juga menyebabkan terbentuknya sesar – sesar. Sesar dapat diartikan sebagai suatu retakan yang terjadi pada batuan yang telah mengalami pergeseran dari posisi semula (Supartoyo, 2019). Sesar yang terbentuk pada dinding kaldera Ijen dapat disebabkan karena dua hal, yaitu : (1) terjadi karena proses vulkanik erupsi eksplosif Gunung Api Ijen yang besar sehingga menyebabkan terbentuknya sesar pada dinding bagian selatan yang sangat dalam, (2) sesar dapat terbentuk karena proses amblesan pada dinding kaldera pasca terjadinya erupsi besar Gunung Api Ijen (Sartohadi et al., 2014). Sesar yang terbentuk yaitu sesar Pedati di dinding Utara dan sesar Jampit di dinding kaldera Barat Daya (Zaennudin et al., 2012).

Sesar yang berada di sepanjang dinding bagian selatan merupakan tempat keluarnya magma dari dapur magma Gunung Api Ijen yang menyebabkan munculnya gunung api baru pada bekas dinding bagian selatan. Aktivitas vulkanik Gunung Api Ijen Tua berhenti sejak terbentuknya kaldera dan sesar (Zaennudin et al., 2012).

Daerah sesar merupakan daerah terlemah pada tubuh gunung api sehingga daerah tersebut mudah tererosi. Proses erosi terjadi akibat curah hujan yang terus menerus terjadi. Sesar besar yang berada pada daerah sekitar Blawan menjadi sebuah celah yang terus tererosi secara intensif. Lereng bagian utara Gunung Api Ijen tertoreh karena proses erosi sehingga menjadi sebuah celah dan gunung api baru mulai muncul pada bekas dinding bagian Selatan seperti Gambar 2.3



Gambar 2.3 Sketsa patahan dekat Blawan karena proses erosi sehingga menjadi celah (Sartohadi et al., 2014)

Proses geomorfologi menghasilkan bagian utara terdapat *escarpment* yang menjadi aliran Sungai Pahit dan bagian Selatan terdapat deretan gunung api diantaranya Gunung Raung yang berada di sebelah barat dan Gunung Merapi di sebelah timur (Sartohadi et al., 2014).



Gambar 2.4 Skema kompleks Ijen saat ini (Sartohadi et al., 2014)

Pegunungan Ijen merupakan gunung api yang terbentuk karena proses vulkanik dengan tipe monogenetik dan poligenetik tumbuh setelah terbentuknya Kaldera Ijen. Gunung api monogenetik merupakan gunung api yang terbentuk oleh satu proses erupsi gunung berapi sehingga menyebabkan gunung berapi memiliki

waktu aktif yang sebentar. Gunung api poligenetik merupakan suatu gunung api yang terbentuk dari beberapa kali erupsi dengan jeda waktu antar erupsi yang relatif lama sehingga memperlihatkan adanya evolusi magma selama fase vulkanismenya. Kompleks Pegunungan Ijen tersusun oleh batu apung, sebagian litik andesit, dan basalt (Zaennudin et al., 2012).

2.1.1 Geografis Wilayah

Secara geografi Pegunungan Ijen terletak di $8^{\circ}2'30''$ – $8^{\circ}5'30''$ LS dan $114^{\circ}12'30'$ – $114^{\circ}16'30''$ BT Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur. Geografi puncak Gunung Ijen terletak pada $8^{\circ}03' 30$ LS dan $114^{\circ}14' 30''$ BT. Gunung Ijen merupakan gunung api strato yang memiliki ketinggian 2386 mdpl dan danau kawah 2145 mdpl. Pegunungan Ijen terletak dalam wilayah dengan curah hujan tinggi sehingga terbentuk siklus hidrologi.

2.1.2 Morfologi

Kompleks pegunungan Ijen terbentuk dari serangkaian proses vulkanik dan erupsi yang terjadi pada Gunung Kendeng atau Gunung Ijen Tua. Topografi bagian dalam kaldera didominasi oleh kerucut vulkanik (Bergen et al., 2000). Aktivitas ini menyebabkan sebagian kerucut gunung api strato tumbuh di dasar kaldera dan sebagian tumbuh di pinggir kaldera sehingga mengakibatkan hanya sebagian kaldera Ijen Tua yang masih terlihat utuh (Zaennudin et al., 2012). Pegunungan Ijen sendiri merupakan model pertumbuhan gunung api poligenetik dan monogenetik yang terbentuk di dasar dan di dinding kaldera. Beberapa kerucut gunung api strato yang tumbuh di kompleks Gunung Ijen adalah Gunung Kukusan, Gunung Merapi, Gunung Rante, Gunung Pendil – Jampit, dan Gunung Suket. Sedangkan untuk gunung api strato yang tumbuh di dasar kaldera yaitu Gunung Blau, Gunung Pawenan, dan Gunung Ijen (Kusumadinata, 1979).

Morfologi di wilayah pegunungan Ijen memiliki perbukitan rendah bergelombang, dikarenakan kerucut sinder dan lerengnya tumbuh di dasar kaldera.

Morfologi tersebut menyebabkan jarang dijumpai lembah sungai permanen. Namun, terdapat dua sungai yaitu Kali Banyu Pait dan Kali Sengon yang berhulu di lereng atas Kawah Ijen. Sungai ini memiliki arah aliran menuju utara kaldera dan keluar kaldera melewati celah sempit yang berada di sekitar desa Blawan (Zaennudin et al., 2012).

Menurut Kemmerling (1919), morfologi Ijen diantaranya adalah :

1. Runtuhan Gunung Api Ijen Tua yaitu Gunung Ringgih (2000 m) dan Gunung Kendeng.
2. Sebelah timur terdiri dari beberapa gunung api diantaranya adalah Gunung Marapi, Gunung Papak, Kawah Ijen, Gunung Pawenan dan Gunung Widodaren,.
3. Sebelah selatan terdapat kelompok gunung api diantaranya Gunung Cilik (1600 m), dan Gunung Rante.
4. Sebelah barat terdapat kelompok gunung api diantaranya Gunung Jampit yang merupakan bendungan jebol dari Gunung Raung dan Suket.
5. Terdapat gunung api parasit yang berada di tengah-tengah dataran Ijen diantaranya Gunung Kukusam, Gunung Daleman, Gunung Pendil yang memiliki kawah 100 m, Gunung Panduan, Gunung Anyar, Gunung Kenteng, dan Gunung Lingker.

Wikartadipura (1971) membagi morfologi Ijen menjadi tiga bagian yaitu :

1. Tanah Tinggi Ijen

Tanah tinggi Ijen tersusun dari beberapa puncak gunung, dataran tinggi, dan bukit yang berada di sekitar gunung Ijen. Gunung yang berada Kompleks Ijen tersusun dari gunung berapi aktif dan gunung yang sudah tidak memiliki aktivitas vulkanik. Gunung api yang masih aktif diantaranya Kawah Ijen dan Gunung Raung, sedangkan gunung api padam diantaranya Gunung Blau, Pawenan, Papak, Widodaren, Lempuyangan, Rante, Lebu agung, Kukusan, Delaman, Pedot, Cilik, Pendil, Jampit, Genteng, Anyar, Lingker, Melaten dan Merapi. Daratan

yang berada di wilayah kompleks Gunung Ijen mayoritas merupakan daerah perkebunan yaitu kopi Blawan, Jampit, dan Kali Sat.

2. Daerah Sekitar Lereng

Daerah di sekitar lereng Ijen merupakan daerah hasil proses pengikisan yang terletak menyebar dengan sebelah utara gunung dengan ketinggian 1550 m – 150 m, timur gunung dengan ketinggian 800 m – 100 m, dan sebelah selatan dengan ketinggian 1400 m – 300 m.

3. Daerah Dataran

Daerah dataran terbentuk karena dahulu merupakan daerah pengendapan dari material aktivitas vulkanik yang terjadi pada gunung Ijen Tua. Daerah ini terdiri dari persawahan, perkampungan, pekarangan, perkebunan, kota, dan sungai.

Gunung Ijen Muda terbentuk karena adanya aktivitas vulkanik dan tektonik pada Gunung Ijen Tua. Batuan dari Ijen Tua terdiri dari batuan basalt-tuf, batuan tuf, batuan lava, dan batuan breksi. Batuan Ijen Muda terdiri dari batuan tuf, batuan lava dan batuan breksi (Utama et al., 2012). Kemmerling (1919) menjelaskan bahwa batuan pada Gunung Ijen terdiri dari andesit augit hipersenter. Terdapat beberapa batuan alterasi hasil dari perubahan batuan beku. Proses alterasi paling banyak terjadi yaitu pada area yang memiliki suhu tinggi. Batuan yang sering ditemukan pada permukaan air danau kawah Ijen diantaranya batuan apung dan belerang mrica.

2.1.3 Panas Bumi Blawan

Indonesia memiliki 256 daerah panas bumi dengan 203 diantaranya tersebar di daerah gunung api kuarter, 53 sumber panas bumi lainnya berada di luar jalur tersebut. Potensi panas bumi salah satunya panas bumi Blawan-Ijen yang berada di Desa Kalianyar, Kecamatan Sempol, Kabupaten Bondowoso, Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan analisis 3G (*Geophysics, Geochemical, Geologic*) menyatakan bahwa cadangan potensi panas yang berada di pegunungan Ijen sebesar 133 MWe, dimana 110 MWe milik Blawan-Ijen dan 23 MWe milik Gunung Raung (Pemprov Jatim,

2015). Berdasarkan hasil penelitian Maryanto et. al. (2016), besarnya cadangan potensi panas bumi yang berada di wilayah Blawan-Ijen sebesar 110 Mwe. Keberadaan panas bumi Blawan-Ijen ini ditandai dengan adanya kolam air panas di sekitar daerah tersebut dengan suhu 39°C - 51°C dengan pH netral (Afandi et al., 2013). Pola sebaran potensi panas bumi Blawan ini mengikuti patahan yang terdapat pada daerah tersebut, sedangkan arah sebaran mata air panas menuju Timur laut mengikuti pola aliran sungai (Karlina et. al., 2013).

Sistem panasbumi yang berada di bawah permukaan bumi bergantung pada beberapa faktor, diantaranya *meteoric water*, sumber panas, batuan waduk, batuan penutup, dan permeabilitas (rekahan, patahan) (Indarto et al., 2013). Pegunungan Ijen memiliki banyak patahan, salah satu patahan utama yang menjadi pengontrol beberapa manifestasi panas bumi adalah Blawan (Azhari et. al., 2016). Panas bumi Blawan – Ijen memiliki puncak reservoir pada kedalaman 1200-1400 m di bawah permukaan. Reservoir panas bumi yang berada di Blawan-Ijen terjadi karena proses dipanaskan oleh instrusi yang berada di sekitar reservoir Watu Capil (Raehanayati et al., 2013).

2.2 Patahan

Patahan merupakan suatu retakan yang terjadi pada kulit bumi karena pergerakan antara dua sisi dengan arah yang berlawanan. Sesar (*fault*) merupakan retakan pada batuan yang telah mengalami pergeseran (Supartoyo, 2019). Patahan dapat disebabkan karena adanya tenaga endogen yang bekerja lebih cepat, sehingga lapisan kerak bumi yang bersifat kaku tidak dapat membentuk lipatan sehingga membentuk suatu patahan (Erviawan, 2011). Menurut Scholz (2019), patahan merupakan mekanisme yang disebabkan adanya tegangan besar yang menumpuk pada lapisan litosfer bumi sehingga menyebabkan permukaan lainnya bergerak. Adanya patahan dapat mempengaruhi arah aliran cairan yang berada di bawah permukaan bumi, memodifikasi transmisi gelombang seismik, dan membuat topografi daerah tersebut beragam (Scholz, 2019). Patahan dapat dikatakan pula

sebagai diskontinuitas struktural yang tajam sehingga mengganggu kesinambungan massa batuan.

Patahan dapat dikategorikan beberapa jenis berdasarkan arah gesernya relatif terhadap bidang horizontal permukaan bumi. Menurut Rahmania et. al. (2010), jenis – jenis patahan adalah sebagai berikut :

1. Patahan mendatar merupakan patahan yang memiliki arah gerak horizontal. Patahan mendatar terbagi menjadi dua yaitu *right lateral* dan *left lateral*. *Right lateral* merupakan jenis patahan yang memiliki arah gerak mendatar searah dengan jarum jam, sedangkan *left lateral* merupakan gerak patahan mendatar yang berlawanan dengan arah jarum jam.

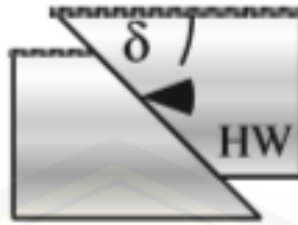
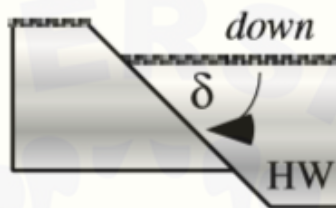


Gambar 2.5 Patahan *right lateral (dextral)* (Scholz, 2019)

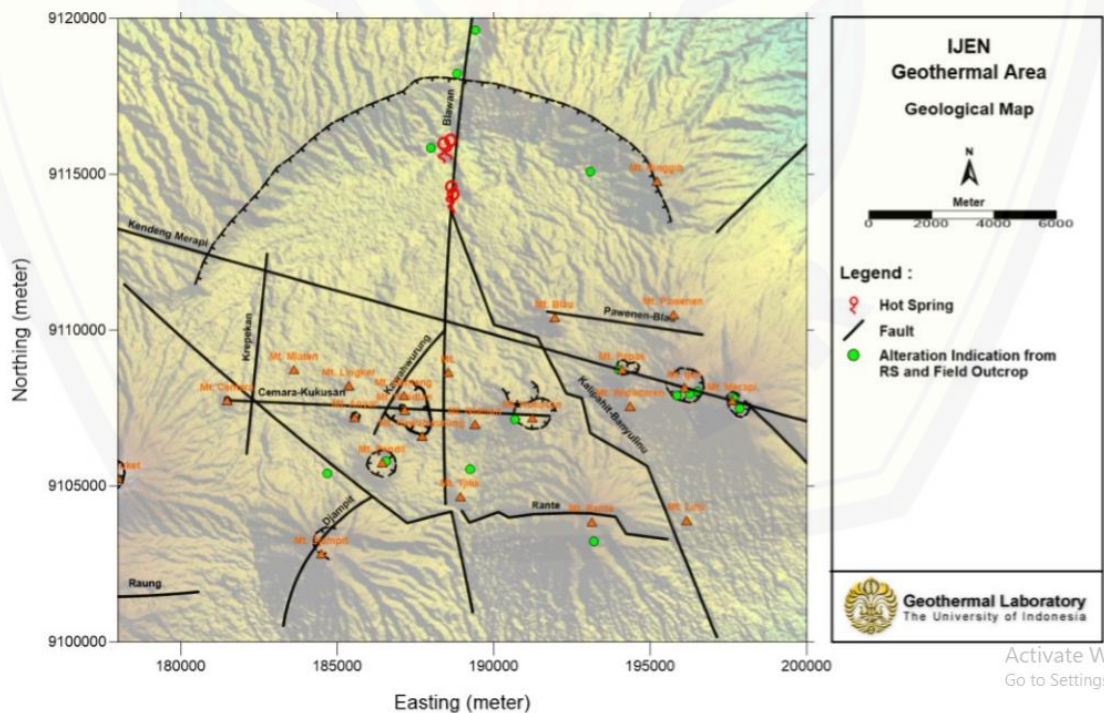


Gambar 2.6 Patahan *left lateral (sinistral)* (Scholz, 2019)

2. Patahan tidak mendatar yaitu arah gerak vertikal terbagi menjadi tiga jenis diantaranya adalah : patahan turun, patahan naik, dan patahan miring. Patahan turun merupakan patahan yang turun lebih rendah dari blok dasar. Patahan naik merupakan patahan yang bloknya naik relatif terhadap blok dasar. Patahan miring merupakan patahan yang memiliki blok vertikal yang diiringi gerakan horizontal.

Gambar 2.7 Patahan naik (*reverse fault*) (Scholz, 2019)Gambar 2.8 Patahan turun (*normal fault*) (Scholz, 2019)

Terdapat beberapa patahan yang berada di wilayah pegunungan Ijen. (Daud et. al., 2018) mengidentifikasi beberapa patahan yang berada di sekitar Gunung Ijen. Berikut Gambar 2.9 *overlay* berdasarkan Daud et al. (2018) :



Gambar 2.9 Peta geologi panas bumi kawasan Ijen (Daud et al., 2018)

Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat terdapat beberapa patahan yang berada di kawasan Blawan-Ijen. Patahan Blawan merupakan patahan yang berasosiasi dengan sumber mata air panas berdasarkan peta tersebut. Patahan Blawan terbentuk saat Gunung Ijen Tua mengalami aktivitas vulkanik dan tektonik yang kemudian disusul dengan erosi oleh air hujan sehingga mengakibatkan terbentuknya patahan.

2.3 Densitas Batuan

Batuan merupakan benda alam penyusun utama bumi (Nandi, 2010). Berdasarkan proses terbentuknya, penyusunnya, dan teksturnya batuan terbagi menjadi tiga jenis yaitu batuan sedimen, batuan beku, batuan metamorf. Densitas suatu batuan atau rapat massa adalah perbandingan antara massa terhadap volume benda. Densitas bisa dikatakan sebagai parameter yang dapat menunjukkan informasi keadaan fisika (Sucipto et. al., 2011). Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai densitas suatu batuan adalah rapat massa matriks pembentuknya, porositas, kedalaman, pelapukan yang terjadi pada batuan dan kandungan fluida yang terdapat pada pori – pori batuan. Menurut Tipler (1998), rapat massa dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

dimana m merupakan massa yang dimiliki oleh suatu benda, V merupakan volume dari suatu benda. Anomali gravitasi terjadi karena adanya perbedaan densitas pada batuan. Perbedaan densitas pada batuan dapat disebabkan oleh perubahan material yang mengisi volume pori – pori batuan.

Batuan terdiri dari banyak jenisnya, dimana setiap batuan memiliki nilai densitas yang berbeda – beda. Berikut rentang nilai densitas batuan:

Tabel 2. 1 Densitas batuan

Jenis Batuan	Densitas (gr/cm³)	Densitas rata – rata (gr/cm³)
Batuan Sedimen		
<i>Alluvium</i>	1,96 – 2,00	1,98
<i>Chalk</i>	1,20 – 2,40	1,92
<i>Soil</i>	1,53 – 2,60	2,00
<i>Clay</i>	1,63 – 2,67	2,21
<i>Gravel</i>	1,70 – 2,40	2,00
<i>Sand</i>	1,70 – 2,30	2,00
<i>Sandstone</i>	1,61 – 2,76	2,35
<i>Shale</i>	1,77 – 3,20	2,40
<i>Limestone</i>	1,93 – 2,90	2,55
<i>Dolomite</i>	2,28 – 2,90	2,70
Batuan Beku		
<i>Rhyolite</i>	2,35 – 2,70	2,52
<i>Andesit</i>	2,40 – 2,80	2,61
<i>Granite</i>	2,50 – 2,81	2,64
<i>Diorite</i>	2,72 – 2,99	2,85
<i>Lavas</i>	2,80 – 3,00	2,90
<i>Basalt</i>	2,70 – 3,30	2,99
<i>Gabbro</i>	2,70 – 3,50	3,03
Batuan Metamorf		
<i>Graywacke</i>	2,60-2,70	2,65
<i>Slate</i>	2,70-2,90	2,79
<i>Gneiss</i>	2,59-3,00	2,80
<i>Amphibolite</i>	2,90-3,04	2,96
<i>Eclogite</i>	3,20-3,54	3,37
<i>Metamorphic</i>	2,40-3,10	2,74

Sumber : (Telford et. al., 1990).

2.4 Metode Gravitasi

Metode gravitasi merupakan salah satu metode dalam geofisika yang dapat digunakan untuk melihat geologi bawah permukaan bumi, potensi mineral, dan patahan (Wachidah dan Minarto, 2018). Metode gravitasi memiliki prinsip pengukuran terhadap variasi medan gravitasi bumi. Medan gravitasi bumi disebabkan karena adanya perbedaan densitas batuan bawah permukaan bumi atau yang biasa disebut sebagai anomali gravitasi. Bumi memiliki medan gravitasi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$ atau 980.000 mGal . Prinsip yang digunakan metode gravitasi yaitu Hukum Newton mengenai gaya tarik menarik. Hukum Newton menyatakan apabila terdapat dua partikel yang saling tarik menarik dengan massa m dan M yang terpisah sejauh r hingga R dari pusat massa maka akan sebanding dengan perkalian antara massa m dengan M dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak (Telford et al., 1990).

Metode gravitasi memiliki prinsip mengukur variasi medan gravitasi bumi yang disebabkan perbedaan densitas batuan bawah permukaan bumi (Reynolds, 2011). Metode gravitasi didasarkan pada Hukum Newton Gravitasi yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda sebanding dengan massa kedua benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar pusat massa kedua benda tersebut (Jacobs et. al., 1974). Persamaan hukum Newton yang menyatakan hubungan gravitasi adalah sebagai berikut:

$$F(r) = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.2)$$

keterangan:

$F(r)$ adalah gaya tarik menarik (N)

m_1 dan m_2 adalah masa benda satu dan masa benda dua (kg)

r adalah jarak antara dua buah benda (m)

G adalah konstanta gravitasi universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)

Persamaan tersebut diilustrasikan sebagai gambar berikut:



Gambar 2.10 Gaya tarik menarik antara 2 buah benda (Serway dan Jewett, 2009)

Hubungan antara gaya dengan percepatan didefinisikan Newton pada persamaan Hukum II Newton yang menyatakan gaya sebanding dengan perkalian massa benda dengan percepatan yang dialami oleh benda sesuai dengan persamaan berikut:

$$F = m \cdot g \quad (2.3)$$

Benda dengan massa M apabila mengalami gaya tarik oleh benda bermassa m pada jarak sebesar r maka akan memiliki percepatan yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$g = \frac{F}{m} \quad (2.4)$$

sehingga percepatan gaya tarik bumi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M \cdot m}{m \times r^2} = G \frac{M}{r^2} \quad (2.5)$$

keterangan:

g adalah percepatan gaya tarik bumi (m/s^2)

M adalah massa bumi (kg)

m adalah massa benda (kg)

F adalah gayaberat (N)

r adalah jari – jari bumi ($6,371 \times 10^6$ m)

(Telford et al., 1990).

2.5 Data Gravitasi GGMplus 2013

Metode gravitasi merupakan salah satu metode geofisika yang cocok untuk menggambarkan geologi bawah permukaan suatu daerah karena dapat mendeteksi

kontras densitas batuan dengan jelas (Nugraha et. al., 2016). Metode gravitasi memiliki sensitivitas respon yang tinggi, secara harga ekonomis, dan praktis. Metode gravitasi memiliki prinsip menggambarkan struktur bawah permukaan bumi berdasarkan nilai anomali gravitasi yang disebabkan karena perbedaan densitas suatu batuan bawah permukaan bumi (Imam, 2014). Seiring dengan perkembangan teknologi besarnya nilai gravitasi yang ada di permukaan bumi dapat diukur menggunakan satelit. Anomali gravitasi satelit merupakan hasil pengembangan dari metode gravitasi relatif (Nugraha et al., 2016). Terdapat beberapa satelit yang dapat diakses untuk mendapatkan data gravitasi salah satunya yaitu gravitasi satelit GGMplus 2013.

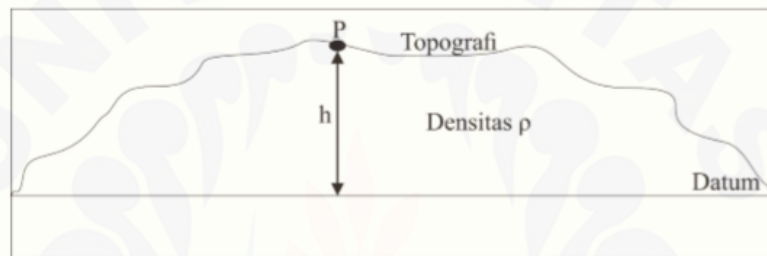
GGMplus (*Global Gravity Model Plus*) merupakan gabungan dari gravitasi satelit *GRACE* dan *GOCE*, EGM2008, dan efek gravitasi topografi dengan resolusi kurang lebih 200 m (Hirt et. al., 2013). Satelit *GRACE* merupakan jenis satelit gravitimeter yang menyediakan data gravitasi dalam kurun waktu lima tahun. Prinsip dari satelit ini yaitu mendeteksi perubahan medan gravitasi bumi secara berkala dengan mengamati perubahan jarak yang terjadi. Satelit *GROCE* merupakan satelit gravitimeter yang berfungsi menentukan medan gravitasi bumi dengan akurasi 1mGal dengan akurasi geoid 1 cm pada resolusi 100 km pada ketinggian orbit 25 km.

Data gravitasi pada GGMplus merupakan data gravitasi *disturbance* yang setara dengan data gravitasi *free air*. Data gravitasi yang akan digunakan pada penelitian ini merupakan data gravitasi Anomali Bouguer Lengkap (ABL). Data ABL didapatkan dari pengolahan data gravitasi GGMplus melalui koreksi bouguer, dan koreksi terrain. Koreksi bouguer merupakan koreksi yang bertujuan untuk menghilangkan perbedaan nilai ketinggian dengan massa di bawah permukaan bumi tidak diabaikan. Koreksi bouguer dilakukan untuk mendapatkan data gravitasi Anomali Bouguer Sederhana (ABS). Koreksi terrain dilakukan dengan tujuan menghilangkan adanya pengaruh penyebaran massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran.

2.6 Koreksi Metode Gravitasi

2.6.1 Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer adalah koreksi yang dilakukan dengan tujuan menghilangkan nilai ketinggian yang berbeda dengan massa di bawah permukaan bumi tidak diabaikan. Koreksi Bouguer dilakukan dengan cara memperhitungkan massa batuan yang terdapat diantara stasiun dengan bidang *geoid*. Koreksi Bouguer menghitung tarikan massa antar titik amat dengan titik datum yang diabaikan ketika melakukan koreksi udara bebas (Telford et al., 1990).



Gambar 2.11 Koreksi Bouguer (Telford et al., 1990)

Lokasi titik pengamatan yang terletak pada tengah lempeng horizontal dengan ketebalan dan densitas yang seragam akan memiliki nilai percepatan gravitasi yang meningkat sesuai lempeng yang terbentuk antara ketinggian titik amat dengan titik datum. Titik pengamat yang berada di atas datum maka dilakukan pengurangan harga gravitasi pengamat hal ini akibat adanya efek massa diantara titik pengamat dengan datum (Telford et al., 1990).

Menurut Sarkowi (2014), koreksi Bouguer sederhana dirumuskan sebagai berikut :

$$BC = 2\pi G\rho H = 0,04191 \times \rho \times H \quad (2.6)$$

dengan :

G : konstanta gravitasi = $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$

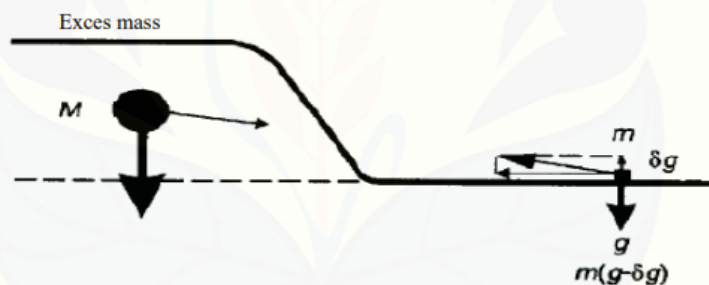
BC : Koreksi Bouguer Sederhana

ρ : Densitas batuan ($2,67 \text{ gr/cm}^3$)

H : Ketinggian titik amat pengukuran gravitasi dengan suatu datum

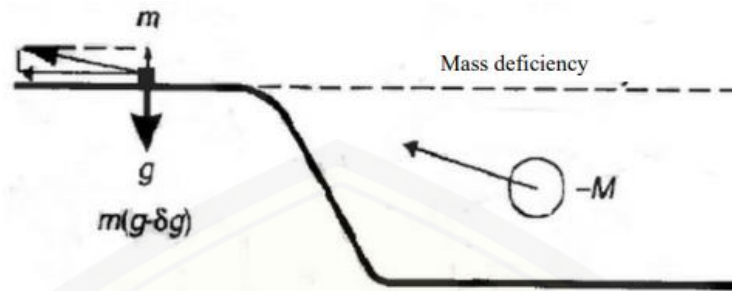
2.6.2 Koreksi Terrain

Koreksi terrain adalah tahapan koreksi yang dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan adanya pengaruh penyebaran massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran. Koreksi Bouguer mengasumsikan bahwa titik amat yang diambil data percepatan gravitasi berada pada sebuah bidang yang sangat luas, namun pada saat di lapangan data yang diambil tidak selalu pada bidang datar. Terdapat beberapa dataran yang memiliki ketinggian tidak seragam misalnya pada perbukitan, pegunungan, dan lembah. Menurut Reynolds (2011), apabila stasiun pengukuran berada di dekat gunung, maka akan terdapat gaya ke atas yang dapat menarik pegas pada gravitimeter. Kondisi demikian akan menyebabkan nilai gravitasi yang terbaca akan berkurang. Ilustrasi kondisi titik pengukuran apabila dekat daerah gunung ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Stasiun yang berada dekat dengan gunung (Reynolds, 2011)

Kondisi apabila stasiun pengukuran berada pada daerah yang dekat dengan lembah, maka akan mengakibatkan terjadinya gaya ke bawah hilang sehingga pegas pada gravitimeter akan tertarik ke atas. Pegas yang kehilangan gaya tarik ke bawah menyebabkan nilai gravitasi yang terbaca berkurang. Kondisi tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.3



Gambar 2.13 Stasiun yang berada dekat dengan lembah (Reynolds, 2011)

Menurut Reynolds (2011), nilai dari koreksi terrain dapat dicari dengan menggunakan pendekatan cincin silinder. Persamaan tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$TC = \left(\frac{2\pi\rho G}{n} \left[r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + z^2} - \sqrt{r_2^2 + z^2} \right] \right) mGal \quad (2.7)$$

dengan:

N = Jumlah kompartemen pada zona penelitian

r_2 = radius luar (m)

r_1 = radius dalam (m)

z = Perbedaan ketinggian rata – rata kompartemen dengan titik ukur

2.6.3 Anomali Bouguer Lengkap

Anomali Bouguer adalah perbedaan nilai gravitasi bumi sebenarnya dengan besarnya nilai gravitasi model bumi homogen teoritis. Nilai Anomali Bouguer Lengkap (ABL) merupakan nilai yang telah menghilangkan efek medan gravitasi yang timbul di sekitar titik pengukuran. Nilai gravitasi sekitar yang telah dihilangkan menyebabkan nilai ABL pada suatu titik pengukuran dapat menggambarkan atau mewakili keberadaan geologi bawah permukaan titik pengukuran. Besarnya nilai ABL menurut Robinson (1988) merupakan selisih antara nilai gravitasi pengukuran dengan nilai gravitasi teoritis dengan titik acuan pengamatan bukan pada bidang referensi. Persamaan pada anomali Bouguer Lengkap:

$$ABL = g_{observasi} - g_n + FAC - BC + TC \quad (2.8)$$

dengan:

<i>ABL</i>	: Anomali Bouguer Lengkap
<i>g_{observasi}</i>	: Percepatan gravitasi observasi
<i>g_n</i>	: Percepatan gravitasi setelah dikoreksi lintang
<i>FAC</i>	: Koreksi udara bebas
<i>BC</i>	: Koreksi Bouguer
<i>TC</i>	: Koreksi Terain

2.7 Second Vertical Derivative (SVD)

Analisis *derivative* dilakukan untuk mengetahui jenis patahan yang berada pada suatu daerah penelitian. *Second Vertical Derivative* (SVD) digunakan untuk memunculkan sumber anomali yang bersifat dangkal. SVD merupakan analisis yang memiliki sifat sebagai *high pass filter*, dimana dapat menggambarkan anomali lokal yang berasosiasi dengan struktur dangkal sehingga nilainya dapat dijadikan untuk mengidentifikasi jenis patahan yang berada di daerah tersebut termasuk patahan naik atau patahan turun (Hartati, 2012). Menurut Telford et al. (1990), nilai SVD secara teoritis dapat diturunkan dari persamaan Laplace untuk anomali gaya berat di bawah permukaan sebagai berikut:

$$\partial g = -\frac{\partial U}{\partial z} \quad (2.9)$$

$$\nabla^2 \Delta g = \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = 0 \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = - \left[\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} \right] \quad (2.12)$$

Berdasarkan data penampang besarnya nilai y akan tetap atau $dy = 0$ sehingga persamaannya menjadi:

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = - \left[\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} \right] \quad (2.13)$$

Persamaan di atas dapat menunjukkan bahwa nilai SVD dari suatu anomali gaya berat memiliki nilai sama dengan negatif dari *derivative* orde dua horizontalnya.

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = \frac{g_i - g_{i-1} - g_{1+i} - g_i}{\Delta x} \quad (2.14)$$

sehingga

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = \frac{g_{i+1} - 2g_i + g_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (2.15)$$

Persamaan untuk menentukan nilai SVD turunan kedua adalah sebagai berikut:

$$SVD = \frac{g_{i+1} - 2g_i + g_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (2.16)$$

Filter SVD yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *filter* SVD hasil perhitungan Elkins (1951) dan *filter* SVD hasil perhitungan Rosenbach (1953). Jenis patahan dapat ditentukan berdasarkan nilai mutlak SVD_{min} dengan nilai SVD_{max} . Berikut adalah ketentuan untuk jenis patahan :

$$\text{Patahan normal} = \left| \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \right|_{min} < \left| \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \right|_{max}$$

$$\text{Patahan naik} = \left| \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \right|_{min} > \left| \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \right|_{max}$$

$$\text{Patahan mendatar} = \left| \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \right|_{min} = \left| \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \right|_{max}$$

Struktur cekungan menyebabkan terbentuknya anomali dengan nilai mutlak minimal SVD lebih besar daripada nilai mutlak SVD maksimalnya. Sedangkan, anomali yang disebabkan oleh intrusi akan memiliki nilai sebaliknya yaitu nilai minimal SVD lebih kecil daripada nilai mutlak SVD maksimalnya. Menurut Sarkowi (2011), terdapat beberapa *filter* SVD yang dapat digunakan untuk melakukan analisa SVD yaitu *filter* Henderson dan Zients (1949), Elkins (1951), dan Rosenbach (1953). Operator filter SVD ditunjukkan oleh

Tabel 2.2 Macam – macam koefisien *filter* SVD.

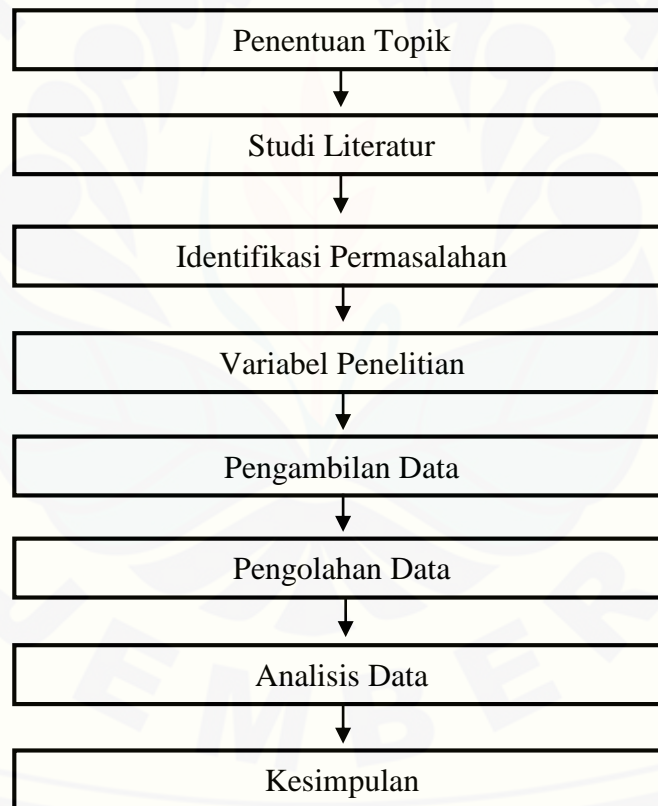
Henderson dan Zietz (1949)				
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
-0.0838	-2.6667	17.0000	-2.6667	-0.0838
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
Elkins (1951)				
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000
-0.0833	0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0334	+1.0668	-0.0334	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000
Rosenbach (1953)				
0.0000	+0.0416	0.0000	+0.0416	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	-0.7500	+4.0000	-0.7500	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	+0.0416	0.0000	+0.0416	0.0000

Sumber : (Sarkowi, 2011)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian mengenai identifikasi patahan kawasan Blawan-Ijen dengan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) dilakukan di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Rancangan penelitian merupakan desain yang dijadikan panduan peneliti dalam melaksanakan rangkaian kegiatan penelitian. Berikut skema kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini:



Gambar 3.1 Diagram alir rancangan kegiatan penelitian

Penelitian ini dimulai dengan penentuan topik. Topik yang diambil dalam penelitian ini yaitu pemanfaatan data gravitasi satelit GGMplus untuk mengidentifikasi patahan bawah permukaan bumi kawasan Blawan-Ijen. Langkah

selanjutnya yaitu melakukan studi literatur mengenai penelitian yang telah dilakukan mengenai penelitian yang akan dilakukan. Permasalahan didapatkan berdasarkan tujuan yang akan dicapai dengan mengacu penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya. Berdasarkan permasalahan dan studi literatur yang ada kemudian mengidentifikasi variabel yang digunakan pada penelitian. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengambilan data. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data gravitasi wilayah Gunung Ijen yang didapatkan dari satelit GGMplus.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi patahan bawah permukaan bumi sehingga data yang telah didapatkan kemudian dilakukan pengolahan data. Pengolahan data ini meliputi koreksi topografi, koreksi terrain, dan mendapatkan data Anomali Bouger Lengkap (ABL). Data ABL kemudian dilakukan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) untuk menentukan jenis patahan. Hasil dari analisis ini kemudian dikaji berdasarkan referensi yang sudah ada untuk menarik kesimpulan.

3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif. Data kuantitatif merupakan data yang dinyatakan dengan angka. Data kuantitatif pada penelitian ini berupa nilai gravitasi *disturbance* GGMplus. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sumber data sekunder. Sumber data sekunder merupakan sumber data yang didapatkan secara tidak langsung atau data yang sudah ada. Penelitian ini menggunakan data gravitasi dari satelit GGMplus 2013 yang diperoleh dengan mengunduh dari *website* <http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/GGMplus/data/>.

3.3 Definisi Operasional Variabel data Skala Pengukuran

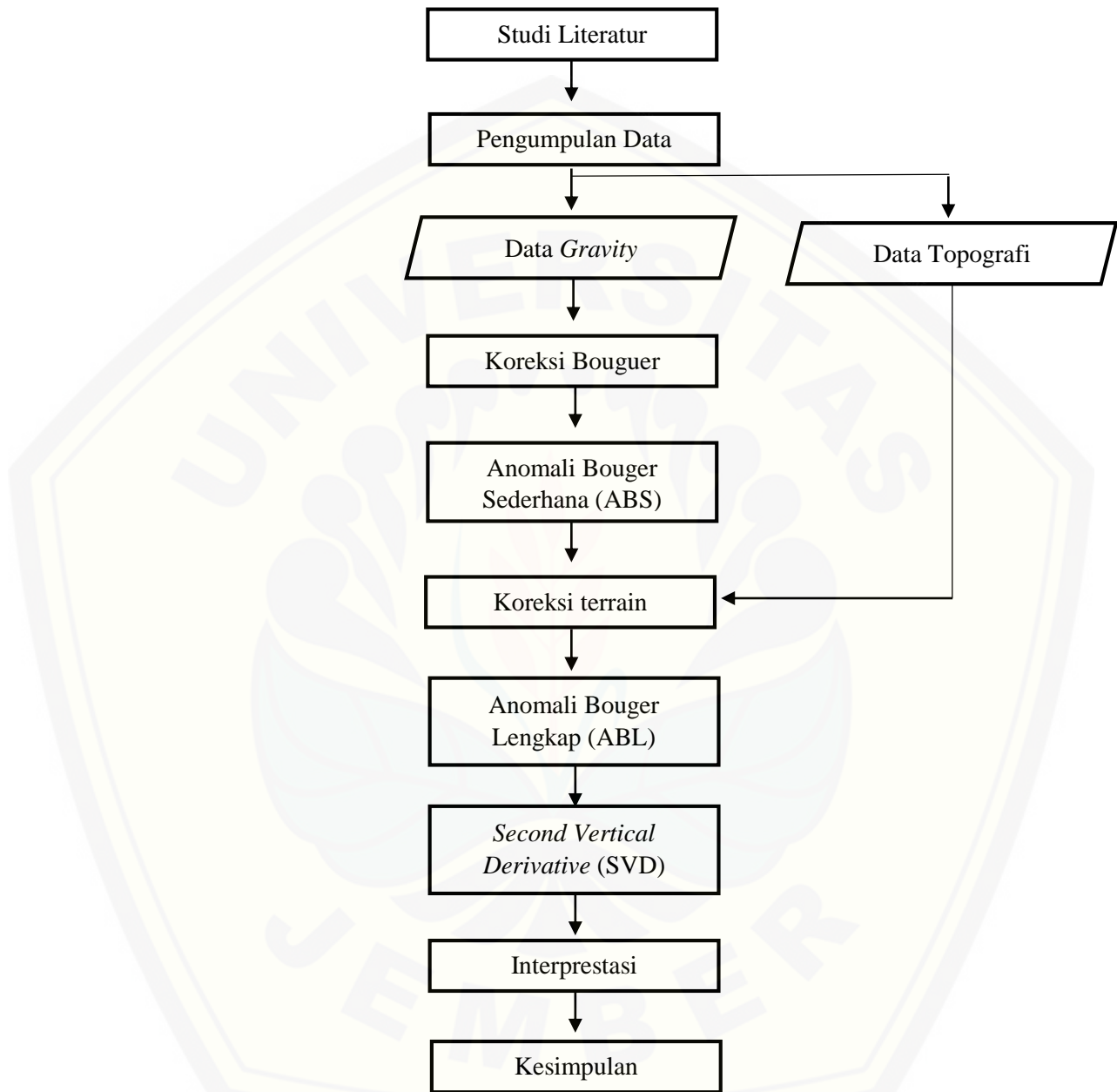
Variabel penelitian merupakan faktor yang berpengaruh dalam suatu penelitian dan memiliki nilai yang dapat berubah atau diubah pada setiap penelitian. Nilai yang bersifat dapat berubah atau diubah ini dapat dianalisa untuk mendapatkan

hasil serta kesimpulan akan penelitian yang telah dilakukan. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Koordinat daerah penelitian yaitu $114,00^{\circ} - 114,33^{\circ}$ BT dan $7,83^{\circ} - 8,17^{\circ}$ LS. Koordinat daerah penelitian merupakan titik yang didapatkan dari hasil perpotongan garis bujur dengan garis lintang sehingga menunjukkan lokasi daerah penelitian. Koordinat penelitian ini digunakan sebagai batas wilayah yang digunakan pada penelitian. Koordinat ini berguna pula sebagai batas data GGMplus yang akan digunakan.
2. Data medan gravitasi satelit *gravity disturbance* GGMplus (mGal) yang didapatkan dari laman <http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/GGMplus/data/>. Data ini berupa grid dengan resolusi spasi antar titiknya 200 m.
3. Data *Digital Elevation Model* (DEM) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) merupakan data topografi pada daerah penelitian yang memiliki resolusi 90 m di katulistiwa dalam grid $5^{\circ} \times 5^{\circ}$. Data ini dapat diakses melalui laman <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata>.
4. Koreksi topografi (koreksi bouguer dan koreksi terrain) berupa data hasil koreksi bouguer dan koreksi terrain. Data hasil koreksi bouguer digunakan untuk mencari Anomali Bouguer Sederhana (ABS), sedangkan data hasil koreksi terrain digunakan untuk mendapatkan ABL.
5. Data ABL dalam mGal merupakan data hasil dari pengolahan koreksi topografi yang merupakan data yang tidak terpengaruh oleh adanya gravitasi di sekelilingnya.
6. Anomali dari analisis SVD yang digunakan untuk menentukan jenis patahan pada daerah penelitian tersebut.

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah merupakan tahapan pengolahan data dan langkah – langkah menyeluruh yang dilakukan dalam suatu penelitian. Kerangka pemecahan masalah pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Kerangka pemecahan masalah

3.5 Prosedur Penelitian

Tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

3.5.1 Studi Literatur

Langkah pertama yang harus dilakukan dalam sebuah penelitian setelah menetapkan sebuah topik yaitu studi literatur. Studi literatur sangat dibutuhkan sebelum merancang sebuah penelitian. Studi literatur dilakukan untuk mempelajari ilmu dasar yang digunakan dalam sebuah penelitian. Ilmu dasar harus dikuasai agar penelitian tersebut dapat mencapai tujuan yang diinginkan. Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini adalah mencari referensi seperti buku, jurnal, skripsi, tesis, maupun penelitian lain yang berkaitan dengan identifikasi sesar bawah permukaan bumi menggunakan analisa SVD.

3.5.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data gravitasi satelit GGMplus 2013, data topografi (DEM SRTM) dan peta geologi daerah kawasan gunung Ijen. Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengunduh data yang akan digunakan. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data pegunungan Ijen dengan koordinat $114,00^{\circ} - 114,33^{\circ}$ BT dan $7,83^{\circ} - 8,17^{\circ}$ LS. Data gravitasi satelit GGMplus 2013 tersedia dalam format .dg (*gravity disturbance*), .ga (percepatan gravitasi), .ha (geoid), .xi (*North –South*), dan .eta (*east-weast*). Data gravitasi yang telah diunduh kemudian disimpan sesuai dengan format yang telah ditentukan. Data kemudian diekstrak menggunakan *software* Matlab dengan menginputkan batas – batas wilayah yang akan diteliti sehingga didapatkan data gravitasi dalam bentuk *gravity disturbance*. *Script* yang digunakan untuk mengekstrak yaitu sesuai dengan *script* pada *website* GGMplus. Data topografi DEM SRTM yang didapatkan berupa peta daerah Jawa Timur kemudian diolah menggunakan *software* *Global Mapper 15* untuk mendapatkan nilai topografi daerah Gunung Ijen. Data *gravity disturbance* ini kemudian dilakukan beberapa koreksi hingga mendapatkan data gravitasi dalam bentuk ABL. Data gravitasi dalam bentuk ABL kemudian dilakukan analisa SVD menggunakan *software* *surfer* dan *microsoft excel*.

3.5.3 Koreksi Topografi

Data gravitasi yang didapatkan dari satelit GGMplus setelah dilakukan proses ekstraksi masih dalam bentuk *gravity disturbance*. Data tersebut perlu dilakukan koreksi lanjut untuk mendapatkan data ABL. Koreksi topografi dilakukan dengan dua tahapan yaitu koreksi bouguer dan koreksi *terrain*. *Software* yang digunakan untuk melakukan koreksi topografi diantaranya Global Mapper 15, Surfer 13, dan Oasis Montaj. Koreksi Bouguer dilakukan untuk menghilangkan pengaruh adanya massa dari datum sampai pada ketinggian titik pengukurannya. Koreksi *terrain* dilakukan untuk menghitung variasi percepatan gravitasi yang disebabkan pada setiap titik penelitian. Berikut langkah – langkah koreksi topografi:

1. Data gravitasi *disturbance* yang telah diekstrak dibuka dengan *software Microsoft Excel*.
2. Koordinat *longitude* dan *latitude* diubah menjadi derajat UTM menggunakan *software* Surfer 13.
3. Data DEM SRTM yang telah didownload dari *website* <http://srtm.csi.cgiar.org/>. Tersedia untuk data DEM dengan resolusi 90 m di katulistiwa dalam grid 5° x 5°. Kemudian dibuka menggunakan *software* Global Mapper 15 dan disesuaikan dengan koordinat yang akan diteliti.
4. Data lokal DEM SRTM dan data gravitasi *disturbance* yang telah didapatkan kemudian disesuaikan posisi lintang dan bujurnya menggunakan *software* Surfer 13. Ekstrak data tersebut sehingga didapatkan output gravitasi *disturbance* dan topografi dengan koordinat yang sesuai.
5. Menghitung koreksi Bouguer dengan menggunakan rumus berikut:

$$B = 0,04191 \times \rho \times H \quad (3.1)$$

Dengan ρ merupakan nilai densitas rata-rata yang ada di bumi sebesar 2,67 gr/cm³.

6. Nilai ABS didapatkan dari nilai *gravity disturbance* dikurangi data koreksi Bouguer.

$$ABS = \text{gravitasi disturbance} - B \quad (3.2)$$

7. Koreksi *terrain* dilakukan dengan menggunakan *software* Oasis Montaj 6.4.2. Data yang diinputkan yaitu data *latitude*, *longitude*, data topografi, *inner* dan *outer* dari data DEM SRTM. Data *inner-outer* didapatkan dari *software* global mapper dengan koordinat yang telah ditentukan.
8. Data ABL didapatkan dengan cara mengurangi ABS dengan koreksi *terrain*.

$$ABL = ABS + \text{Koreksi Terrain} \quad (3.3)$$

3.5.4 *Second Vertical Derivative* (SVD)

Second Vertical Derivative (SVD) merupakan turunan kedua secara vertikal yang digunakan untuk memunculkan anomali yang bersifat dangkal. Analisis ini dilakukan dengan tujuan memunculkan diskontinuitas dari suatu struktur bawah permukaan bumi yang menunjukkan adanya sebuah patahan. Analisis SVD dilakukan pada peta ABL menggunakan *software* surfer dan excel. Pembuatan peta SVD pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan rumus (2.16) berdasarkan perhitungan Elkins (1951) dan Rosenbach (1953), sehingga pada penelitian ini menggunakan *filter* Elkins dan *filter* Rosenbach. Tahapan untuk membuat peta SVD yaitu peta ABL dibuka dengan *software* surfer kemudian dilakukan *filtering* menggunakan koefisien operator *filter* Elkins (1951) dan *filter* Rosenbach (1953). Hasil dari *filtering* ini menghasilkan suatu data serta peta SVD. Penelitian ini menggunakan dua *filter* SVD sehingga menghasilkan dua peta SVD. Masing – masing pada peta hasil SVD kemudian dilakukan sayatan dengan minimal 3 sayatan pada daerah patahan dan diduga patahan dengan lokasi sayatan sama antara peta SVD hasil pengolahan menggunakan *filter* Elkins (1951) dan *filter* Rosenbach (1953). Data daerah sayatan tersebut disimpan dalam bentuk .dat yang kemudian diolah menggunakan excel. Data tersebut terdiri dari koordinat, nilai gravitasi, dan jarak. Data hasil pengolahan sayatan dapat dipanggil di *software* excel untuk dicari grafiknya. Grafik hubungan dicari dari data gravitasi terhadap jarak yang merupakan hasil dari pengolahan sayatan pada peta SVD. Grafik tersebut menunjukkan nilai

SVD maksimum dan SVD minimum yang dapat digunakan untuk menentukan jenis patahan pada daerah tersebut. Daerah yang diduga patahan dilakukan sayatan minimal 3 sayatan sehingga hasil dari beberapa sayatan tersebut digunakan untuk menarik kesimpulan jenis patahan pada daerah yang terduga patahan.

3.5.5 Interpretasi

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengidentifikasi patahan bawah permukaan bumi. Patahan bawah permukaan bumi pada penelitian ini dapat diidentifikasi dengan cara melihat anomali gravitasi yang dihasilkan dari analisa SVD. Peta hasil analisa SVD akan dikorelasi dengan peta geologi daerah penelitian. Dugaan patahan pada daerah penelitian dapat dinyatakan berupa kontras tajam anomali gravitasi yang membentuk pola tertentu. Keberadaan patahan pada penelitian ini akan ditentukan berdasarkan keselarasan antara anomali gravitasi yang kontras pada peta hasil pengolahan data dengan struktur patahan pada daerah penelitian berdasarkan data pada penelitian sebelumnya. Jenis patahan dapat diketahui dengan cara membuat sayatan pada peta hasil analisis SVD untuk mendapatkan data nilai gravitasi pada daerah terduga patahan. Sayatan pada kontur anomali hasil SVD pada daerah yang diduga patahan kemudian disimpan dalam bentuk file .dat yang terdiri dari data koordinat, nilai gravitasi, dan jarak. Data tersebut dibuka menggunakan excel untuk dicari grafik hubungan antara nilai gravitasi dengan jarak. Nilai SVD minimum lebih besar dari nilai SVD maximum menandakan bahwa patahan tersebut merupakan patahan naik. Nilai SVD minimum lebih kecil dari nilai SVD maximum menandakan bahwa patahan tersebut merupakan patahan normal. Nilai SVD minimum sama dengan nilai SVD maximum menandakan bahwa patahan tersebut merupakan patahan mendatar.

3.5.6 Kesimpulan

Berdasarkan data interpretasi yang telah dilakukan kemudian dapat ditarik kesimpulan. Kesimpulan dilakukan untuk menjawab rumusan masalah.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Keberadaan patahan berdasarkan data gravitasi ABL GGMplus pada kawasan Blawan-Ijen yang dapat dideteksi yaitu patahan Pedati dan patahan Blawan yang terletak di sebelah utara kawasan Blawan-Ijen. Sedangkan, berdasarkan hasil SVD menggunakan *filter* Elkins patahan yang dapat dideteksi pada kawasan Blawan-Ijen diantaranya patahan Pedati, patahan Blawan, patahan Kendeng Merapi, patahan Jampit, dan patahan Rante. Berdasarkan hasil SVD menggunakan *filter* Rosenbach patahan yang dapat dideteksi pada kawasan Blawan-Ijen merupakan patahan Pedati, patahan Blawan, patahan Kendeng Merapi, dan patahan Rante.
2. Jenis patahan yang dapat dideteksi berdasarkan pengolahan SVD menggunakan *filter* Elkins dan Rosenbach diantaranya: patahan Pedati merupakan patahan naik, patahan Blawan memiliki jenis patahan naik, patahan Kendeng Merapi memiliki jenis patahan naik, patahan Rante merupakan patahan naik, dan patahan Jampit merupakan patahan naik.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini perlu melakukan pengolahan lanjutan menggunakan pemodelan kedepan 2,5 D. Pengolahan lanjutan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai densitas batuan sehingga dapat memberikan informasi yang ini dapat memberikan informasi litologi batuan yang mengisi struktur bawah permukaan

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A., S. Maryanto, dan A. Rachmansyah. 2013. Identifikasi Reservoir Daerah Panasbumi Dengan Metode Geomagnetik Daerah Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso. *Neutrino* Vol. 6: 10.
- Azhari, A. P., S. Maryanto, dan A. Rachmansyah. 2016. Identifikasi Struktur Geologi dan Pengaruhnya Terhadap Suhu Permukaan Tanah Berdasarkan Data Landsat 8 di Lapangan Panasbumi Blawan *Pengindraan jauh* Vol. 13: 12.
- Aziz, K., E. Hartantyo, dan S. Niasari. 2018. The Study of Fault Lineament Pattern of the Lamongan Volcanic Field Using Gravity Data, *Proceedings of The International Conference on Theoretical and Applied Physics*: 1-5.
- Bemmelen, R. W. v. 1949. *The Geology of Indonesia*. The Hague: Govt. Print. Off.; Sole Agents, Nijhoff:
- Bergen, V. M., A. Bernard, S. Sumarti, T. Sriwana, dan K. Sitorus. 2000. Crater lakes of Java: Dieng, Kelud and Ijen. *Excursion Guidebook—International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI) General Assembly, Bali*.
- Daud, Y., S. Rosid, F. Fahmi, F. M. Yunus, dan R. Mufihendri. 2018. Geomagnetic Survey to Explore High-Temperature Geothermal System in Blawan-Ijen, East Java, Indonesia. *E3S Web of Conferences 31, ICENIS 2017*.
- Elkins, T. A. 1951. The Second Derivative Method of Gravity Interpretation. *Geophysics* Vol. 16 (1): 29-50.
- Erviawan, I. 2011. *Lipatan*. Makasar: UIN Makasar:
- Firdaus, M. W., A. Setyawan, dan M. Yusuf. 2016. Identifikasi Letak dan Jenis Sesar Berdasarkan Metode Gayaberat Second Vertical Gradient Studi Kasus Sesar Lembang, Kota Bandung, Jawa Barat. *Youngster Physics Journal* Vol. 5 (1): 21-26.
- Hartati, A. 2012. Identifikasi Struktur Patahan Berdasarkan Analisa Derivative Metode Gaya Berat di Pulau Sulawesi. *FMIPA UI* Vol. 30.
- Hidayat, N., dan A. J. J. N. J. F. d. A. Basid. 2011. Analisis Anomali Gravitasi Sebagai Acuan dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan dan Potensi Geothermal (Studi Kasus Di Daerah Songgoriti Kota Batu).

- Hiroshi, S. 1993. *Geochemical Exploration, International Group Training Course on Geothermal Energy (Advanced)*. Jepang: Kyushu University.
- Hirt, C., S. Claessens, T. Fecher, M. Kuhn, R. Pail, dan M. Rexer. 2013. New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field. *Geophysical research letters* 40 (16): 4279-4283.
- Imam, S. 2014. Struktur Bawah Permukaan Sekaran dan Sekitarnya Berdasarkan Data Gaya Berat *Unnes Physics Journal* Vol. 3 (1).
- Indarto, S., H. Permana, E. Z. Gaffar, S. Sudarsono, Y. Sudrajat, H. Bakti, I. Setiawan, A. F. Ismayanto, S. Sunardi, dan J. Jakah. 2013. Sistem Panasbumi Dieng Jawa Tengah Berdasarkan Data Manifestasi Permukaan dan Bawah Permukaan *Prosiding Geoteknologi LIPI*.
- Jacobs, J. A., R. D. Russell, dan J. T. Wilson. 1974. *Physics and Geology*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Justia, M., dan M. F. H. Hiola. 2018. Gravity Anomaly to Identify Walanae Fault Using Second Vertical Derivative Method. *Journal of Physics: Theories and Applications* Vol. 2 (1): 34-42.
- Karlina, I., S. Maryanto, dan A. Rachmansyah. 2013. Sebaran Mataair Panas Blawan-Ijen Berdasarkan Data Geolistrik Resistivitas. *Natural B* Vol. 2 (2): 164-171.
- Kemmerling, G. 1919. De uitbarsting van den G. Keloet in den nacht van den 19den op den 20sten mei.
- Kusumadinata, K. 1979. *Data Dasar Gunungapi Indonesia: Catalogue of References on Indonesian Volcanoes with Eruptions in Historical Time*. Indonesia: Departemen Pertambangan dan Energi.
- Mardiana, R. 2017. Analisis Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 dan Sentinel 2 (Studi Kasus: Gunung Ijen), Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Maryanto, S., I. K. L. N. Suciningtyas, C. N. Dewi, dan A. Rachmansyah. 2016. Integrated Resistivity and Ground Penetrating Radar Observations of Underground Seepage of Hot Water at Blawan-Ijen Geothermal Field. *International Journal of Geophysics* 2016.
- Mustifa, I., dan S. Sehad. 2016. Pemodelan Sesar di Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjar Negara Berdasarkan Data Anomali Gravitasi. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika* 3 (1): 22-29.

- Nandi. 2006. *Vulkanisme : Handsouts Geologi Lingkungan* Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Nandi. 2010. *Vulkanisme : Handsouts Geologi Lingkungan*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Nugraha, P., S. Supriyadi, dan I. Yulianti. 2016. Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Kota Semarang Berdasarkan Data Anomali Gravitasi Citra Satelit. *Unnes Physics Journal* Vol. 5 (2): 37-41.
- Parera, A. F. T., I. G. K. S. Bunaga, dan M. Yusuf. 2015. Pemodelan Tiga Dimensi Anomali Gravitasi dan Identifikasi Sesar Lokal Dalam Penentuan Jenis Sesar di Daerah Pacitan. *Prosiding Seminar Nasional Fisika* Vol. 4: 45-48.
- Pemprov Jatim. 2015. *Potensi Panas Bumi di Jawa Timur 2015*. Jawa Timur: Pemprov Jatim.
- Raehanayati, R., A. Rachmansyah, dan S. Maryanto. 2013. Studi Potensi Energi Geothermal Blawan-Ijen, Jawa Timur Berdasarkan Metode Gravity. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*: 31-39.
- Rahmania, M., T. F. Niyartama, dan A. Sungkowo. 2010. Penentuan Jenis Sesar pada Gempa bumi Sukabumi 2 September 2009 Berdasarkan Gerak Awal Gelombang p, *Proceedings of Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir ISSN*, 176.
- Reynolds, J. M. 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons.
- Rinaldi. 2010. Resiliensi Pada Masyarakat Kota Padang Ditinjau Dari Jenis Kelamin. *Jurnal Psikologi* Vol. 3: 99-105.
- Robinson, E. S. 1988. *Basic exploration geophysics*.
- Sari, L., Sehad, dan Hartono. 2018. Penerapan Second Vertical Derivative (SVD) Pada Data Gravitasi Untuk Mengidentifikasi Keberadaan Patahan di Sepanjang Pegunungan Serayu Selatan Kabupaten Banyumas *Jurnal Teras Fisika* Vol. 1: 1-7.
- Sarkowi, M. 2011. *Metode Eksplorasi Gayaberat*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.

- Sarkowi, M. 2012. Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung* 8 (2).
- Sarkowi, M. 2014. *Eksplorasi Gaya Berat*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sartohadi, J., R. S. Sianturi, A. D. W. Rahmadana, F. Maritimo, D. Wacano, Munawaroh, T. Suryani, dan E. S. Pratiwi. 2014. *Bentang Sumberdaya Lahan Kawasan Gunung Api Ijen dan Sekitarnya*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Scholz, C. 2019. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. In *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Serway, R. A., dan J. W. Jewett. 2009. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Sheriff dan Gildart. 1995. *Exploration Seismology*. United State of America: Cambridge University press.
- Sitorus, K., A. P. M, dan A. Zaennudin. 1990. *Geologi Kaldera Ijen*. Pusat vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Sota, I. 2011. Pendugaan Struktur Patahan Dengan Metode Gaya Berat. *POSITRON* Vol. 1 (1).
- Sucipto, D. A., G. Saroja, dan L. Nuriyah. 2011. Pengukuran Densitas Bahan Organik Berskala Milli-Liter (ML) Dengan Metode Levitasi Magneto-Archimedes Menggunakan Sumber Magnet Tunggal. *Brawijaya University*.
- Supartoyo, S. 2019. Analisis Morfotektonik dan Pemetaan Geologi pada Identifikasi Sesar Permukaan di Daerah Plampang, Pulau Ngali dan Pulau Rakit, Provinsi Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* Vol. 21 (1): 45-52.
- Telford, W. M., W. Telford, L. Geldart, R. E. Sheriff, dan R. Sheriff. 1990. *Applied geophysics*. Cambridge university press.
- Tipler, P. A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Utama, A., A. Dwinanto, J. Situmorang, dan M. Hikmi. 2012. Irshamukhti. Green Field Geothermal System in Java, Indonesia, *Proceedings of Suryantini. 1st ITB Geothermal Workshop, 2012*: 6-8.

- Wachidah, N., dan E. Minarto. 2018. Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Daerah Potensial Mineral dengan Menggunakan Metode Gravitasi di Lapangan “A”, Pongkor, Jawa Barat. *Jurnal Sains dan Seni ITS* Vol. 7 (1): 32-37.
- Wikartadipura, S. 1971. *Laporan Pemeriksaan Daerah Bahaya/Waspada Sementara Kawah Ijen pada Lereng Utara – Timur*. Bandung: Dinas Vulkanologi.
- Yulistina, S. 2017. *Studi Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Untuk Mengetahui Sistem Sesar Berdasarkan Analisis First Horizontal Derivative (Fhd), Second Vertical Derivative (Svd), Dan 2,5d Forward Modeling Di Daerah Manokwari Papua Barat*. Universitas Lampung: Teknik Geofisika.
- Zaennudin, A., D. Wahyudin, M. Sumardi, dan E. Kusdinar. 2012. Prakiraan bahaya letusan Gunung Api Ijen Jawa Timur. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 3 (2): 109-132.

DAFTAR ISTILAH

A

ABL Singkatan dari Anomali Bouguer Lengkap ABS

ABS Singkatan dari Anomali Bouguer Sederhana

Anomali gravitasi Perbedaan medan gravitasi yang disebabkan oleh variasi densitas batuan.

K

Kontur Garis yang menghubungkan titik – titik pada ketinggian yang sama

O

Overlay Penggabungan dua peta atau lebih secara tumpang susun atau secara tepat

R

Resolusi Ukuran terkecil objek di lapangan yang dapat direkam oleh data digital maupun data citra

S

SVD Singkatan dari *Second Vertical Derivative*

T

Topografi Keadaan muka bumi pada suatu kawasan atau daerah

Lampiran 3. 1 Script MATLAB untuk mengekstran data gravitasi GGMplus

```

%-----
% Testdriver for GGMplus access and use
%
% Requires ggmplus2013_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 = 114.00; % longitude of western edge (negative for western hemisphere)
maxlon1 = 114.33; % longitude of eastern edge (negative for western hemisphere)
minlat1 = -8.17; % geodetic latitude of southern edge (negative for southern
hemisphere)
maxlat1 = -7.83; % 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;
facY =1.0;
% Interpolation methods available are 'nearest', 'linear', 'spline' and
% 'cubic'.
method = 'cubic';

% Select functionals of interest -----
% Functionals not of interest can be commented out
[x1,y1,z1 ] = ggplus2013_v4('gravity',
minlon1,maxlon1,minlat1,maxlat1,facX,facY,pathGGMplus,ndv,method);
[x1,y1,z2 ] = ggplus2013_v4('acceleration',
minlon1,maxlon1,minlat1,maxlat1,facX,facY,pathGGMplus,ndv,method);
[x1,y1,z3 ] = ggplus2013_v4('xi',
minlon1,maxlon1,minlat1,maxlat1,facX,facY,pathGGMplus,ndv,method);
[x1,y1,z4 ] = ggplus2013_v4('eta',
minlon1,maxlon1,minlat1,maxlat1,facX,facY,pathGGMplus,ndv,method);
[x1,y1,z5 ] = ggplus2013_v4('geoid',
minlon1,maxlon1,minlat1,maxlat1,facX,facY,pathGGMplus,ndv,method);

% Select test point coordinates -----
% Select coordinates of a single point for which functionals will be
% calculated. The point must be inside the area selected above. The
% results will be displayed in Matlab's command window.
% Test point Zugspitze summit, German Alps.
test_phi = 47.421; % geodetic latitude
test_lam = 10.984; % longitude
methodtp = 'cubic'; % interpolation method for test point calculation

% -----
% MAP PRODUCTION
% -----
% Gravity disturbance
if (exist('z1','var')==1)
figure(1)
h=imagesc(x1(1,1:end),y1(1:end,1),z1); set(gca,'XDir','normal','YDir','normal');
axis equal; axis ([minlon1 maxlon1 minlat1 maxlat1]); set(h,'AlphaData',~isnan(z1));
title(' GGMplus Gravity disturbances (mGal)'); colorbar(); hold on; grid on

```

```

xlabel(' Longitude [deg]'); ylabel('Latitude [deg]')
end

% Acceleration
if (exist('z2','var')==1)
figure(2)
h=imagesc(x1(1,1:end),y1(1:end,1),z2); set(gca,'XDir','normal','YDir','normal');
axis equal; axis ([minlon1 maxlon1 minlat1 maxlat1]); set(h,'AlphaData',~isnan(z2));
title(' GGMplus Accelerations (mGal)'); colorbar(); hold on; grid on
xlabel(' Longitude [deg]'); ylabel('Latitude [deg]')
end

% North-South DoV (xi)
if (exist('z3','var')==1)
figure(3)
h=imagesc(x1(1,1:end),y1(1:end,1),z3); set(gca,'XDir','normal','YDir','normal');
axis equal; axis ([minlon1 maxlon1 minlat1 maxlat1]); set(h,'AlphaData',~isnan(z3));
title(' GGMplus North-South DoV (arc-sec)'); colorbar(); hold on; grid on
xlabel(' Longitude [deg]'); ylabel('Latitude [deg]')
end

% East-West DoV (eta)
if (exist('z4','var')==1)
figure(4)
h=imagesc(x1(1,1:end),y1(1:end,1),z4); set(gca,'XDir','normal','YDir','normal');
axis equal; axis ([minlon1 maxlon1 minlat1 maxlat1]); set(h,'AlphaData',~isnan(z4));
title(' GGMplus East-West DoV (arc-sec)'); colorbar(); hold on; grid on
xlabel(' Longitude [deg]'); ylabel('Latitude [deg]')
end

% Geoid
if (exist('z5','var')==1)
figure(5)
h=imagesc(x1(1,1:end),y1(1:end,1),z5); set(gca,'XDir','normal','YDir','normal');
axis equal; axis ([minlon1 maxlon1 minlat1 maxlat1]); set(h,'AlphaData',~isnan(z5));
title(' GGMplus Geoid (m)'); colorbar(); hold on; grid on
xlabel(' Longitude [deg]'); ylabel('Latitude [deg]')
end

% -----
%   CALCULATION AT A SINGLE POINT OF INTEREST
% -----
disp('-----')

```

```

disp(' Interpolated GGMplus functionals at test point')
disp('-----')

% Interpolate GGMplus functionals for the test point-----
if (exist('z1','var')==1)
    test_dg = interp2(x1,y1,z1,test_lam,test_phi,methodtp);
    fprintf('Gravity disturbance: %10.4f mGal\n',test_dg)
end
if (exist('z2','var')==1)
    test_ga = interp2(x1,y1,z2,test_lam,test_phi,methodtp);
    fprintf('Acceleration: %10.2f mGal\n',test_ga)
end
if (exist('z3','var')==1)
    test_xi = interp2(x1,y1,z3,test_lam,test_phi,methodtp);
    fprintf('North-South DoV: %10.4f arcsec\n',test_xi)
end
if (exist('z4','var')==1)
    test_eta = interp2(x1,y1,z4,test_lam,test_phi,methodtp);
    fprintf('East-West DoV: %10.4f arcsec\n',test_eta)
end
if (exist('z5','var')==1)
    test_ha = interp2(x1,y1,z5,test_lam,test_phi,methodtp);
    fprintf('Geoid: %10.4f m\n',test_ha)
end

% -----
% ASCII OUTPUT
% -----
% A text file containing longitude, latitude and functional values in
% ASCII format can be created for each functional using the code below.
% By default, this is commented out, as it may result in very large text
% files if a large area is selected with a low downsampling factor.
% This example (when uncommented) prints gravity disturbances (z1) in the
% selected area to the text file 'gravity.txt'.

outputfile='D:\GGMplus\gravity.txt';
fid=fopen(outputfile,'wt');
[m,n]=size(x1);
for i=1:m
    for j=1:n
        fprintf(fid,'%8.3f %7.3f %6.1f \n',x1(i,j),y1(i,j),z1(i,j));
    end
end
end

```

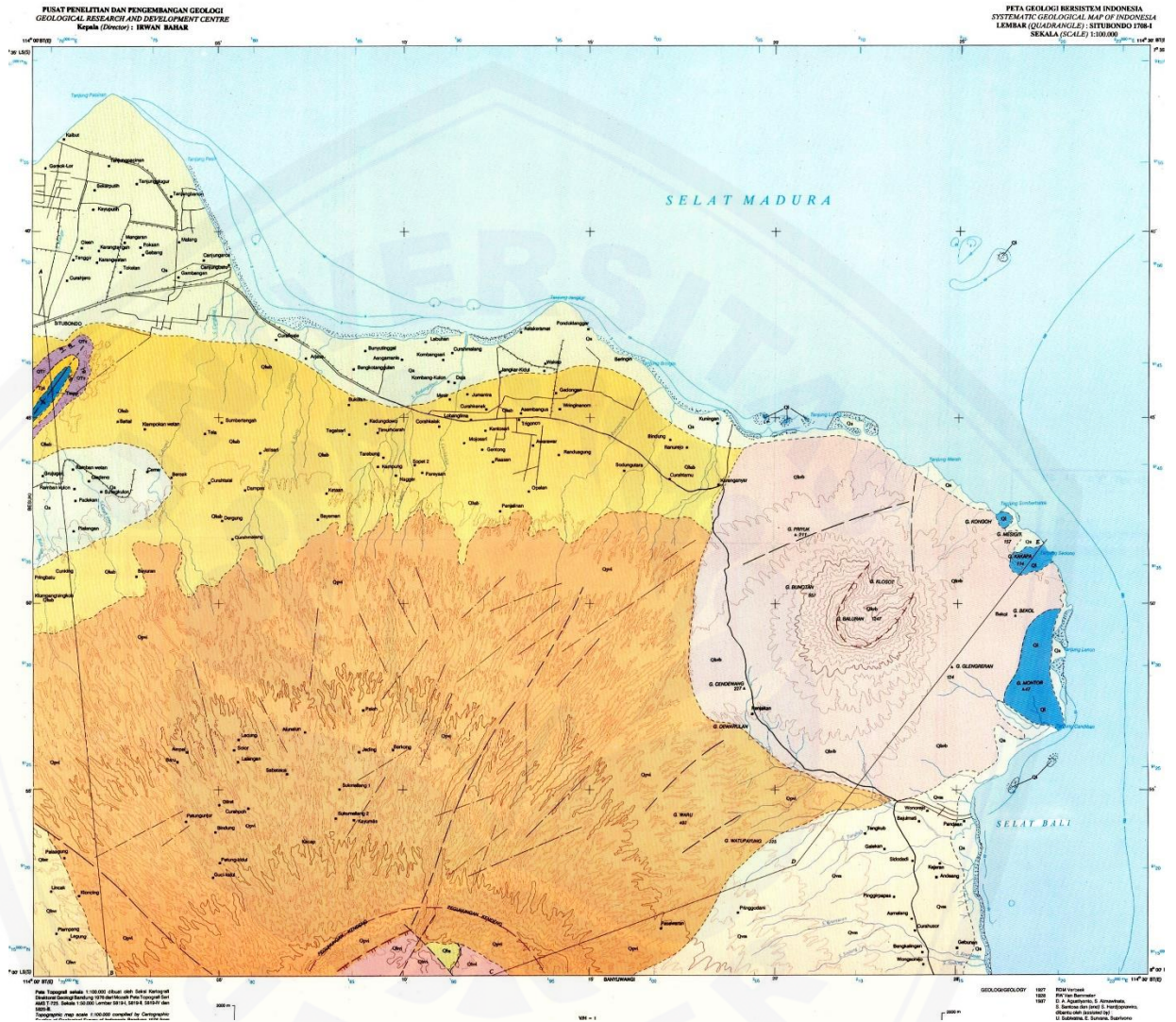
```
outputfile='D:\GGMplus\acceleration.txt';
fid=fopen(outputfile,'wt');
[m,n]=size(x1);
for i=1:m
    for j=1:n
        fprintf(fid,'8.3f %7.3f %6.1f \n',x1(i,j),y1(i,j),z2(i,j));
    end
end
```

```
outputfile='D:\GGMplus\North-South.txt';
fid=fopen(outfile,'wt');
[m,n]=size(x1);
for i=1:m
    for j=1:n
        fprintf(fid, '8.3f %7.3f %6.1f \n',x1(i,j),y1(i,j),z3(i,j));
    end
end
```

```
outputfile='D:\GGMplus\East-West.txt';
fid=fopen(outputfile,'wt');
[m,n]=size(x1);
for i=1:m
    for j=1:n
        fprintf(fid, '8.3f %7.3f %6.1f \n', x1(i,j),y1(i,j),z4(i,j))
    end
end
```

```
outputfile='D:\GGMplus\geoid.txt';
fid=fopen(outputfile,'wt');
[m,n]=size(x1);
for i=1:m
    for j=1:n
        fprintf(fid, '8.3f %7.3f %6.1f \n', x1(i,j),y1(i,j),z5(i,j))
    end
end
```


Lampiran 4. 2 Peta geologi pegunungan Ijen bagian Situbondo



KORELASI SATUAN PETA
CORRELATION OF MAP UNITS

ENDAPAN TERBUKAAN
SURFICIAL DEPOSITS

Qa Qf

Qla Qlb

Qm

Qlab

Qlbt

Qlbr

Qpi

Tj1
Tj2

DAFTAR ISTILAH
GLOSSARY

Batang/Sungai (S) River
Kuala Estuary
Laut Sea
Pulau Island
Teluk Bay
Tanjung (Tg) Cape/Point
Pegunungan (Png) Mountains
Gunung (G) Mountain
Bukit (B) Hill

Ditelaah oleh : N. Rizman
Reviewed by :
Disusun oleh/Drawn by :
- Naskah/manuscript : U. Subiyanto
- Grafis/cartographic : Dedi Sugih
Supervisor kartografi : Saed Oetomo Poetro
Cartography supervisor :

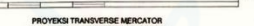
© Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1993

KETERANGAN
EXPLANATION

- Qa ALLUVIUM
ALLUVIUM : Koral, kerikil, pasir dan lempung
: Corals, pebbles, sand and clay
- Qf BATU LAMPING TERIMBU
CORALLINE LIMESTONE : Batugamping dengan sisipan konglomerat dan tuf
: Limestone with conglomerate and tuff intercalations
- Qla ENDAPAN DANAU BLAWAN
LAKE DEPOSITS : Lempung teluk
: Tuffaceous clay
- Qlb BATUAN GUNUNGGAPI
BALURAN VOLCANIC ROCKS : Lava basal, breksi ganggangi dan lahar
: Basaltic lava, volcanic breccia and lahar
- Qm BATUAN GUNUNGGAPI
MERAPI VOLCANIC ROCKS : Perendangan breksi ganggangi dengan tuf pasir dan tuf
dengan sisipan lava dan lahar
: Alternation of volcanic breccia with sandy tuff and tuff with lava
and lahar intercalations
- Qlbt BATUAN GUNUNGGAPI UEN
MUDA VOLCANIC ROCKS : Tuf breksi ganggangi dan lava basal
: Tuff volcanic breccia and basaltic lava
- Qlab FORMASI BAGOR
BAGOR FORMATION : Perendangan breksi batugamping, batugamping tuf dan batugamping
: Alternation of pumice breccia, calcareous sandstone and
sandstone
- Qlbr BATUAN GUNUNGGAPI
BAUNG VOLCANIC ROCKS : Breksi ganggangi dan tuf
: Volcanic breccia and tuff
- Qpi BATUAN GUNUNGGAPI UEN
TUA VOLCANIC ROCKS : Breksi ganggangi, breksi batugamping, tuf dan lava basal
: Volcanic breccia, pumice breccia, tuff and basaltic lava
- Qpi FORMASI RINGGIT
RINGGIT FORMATION : Perendangan batugamping, tuf dan breksi
: Alternations of sandstone, tuff and breccia
- Tj1 FORMASI LEPRAK
LEPRAK FORMATION : Perendangan batugamping tuf ganggangi, batugamping
ganggangi dan sisipan konglomerat
: Alternation of calcareous tuff, sandstone, calcareous siltstone,
calcareous sandstone and conglomerate intercalations
- Tj2 ANGGOTA PACALAN FOR
MASI MURUAN PACALAN MEMBER OF
MURUAN FORMATION : Batugamping dan sapul
: Limestone and marl



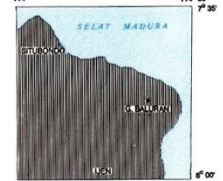
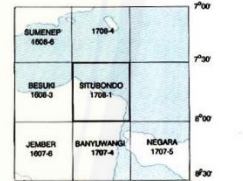
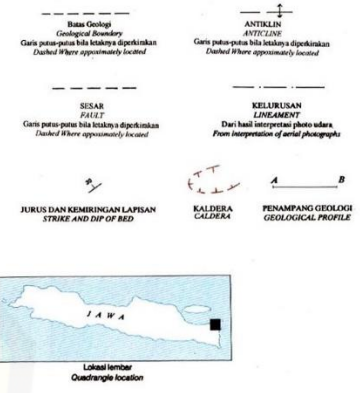
SEKALA (SCALE) 1:100.000



PROYEKSI TRANSVERSE MERCATOR
TRANSVERSE MERCATOR PROJECTION
ANGKA GRID UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR (UTM) PADA ZONE 48 M SPHEROID NASIONAL INDONESIA
DENGAN SELANG JARAK 5000 METER
THE UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR (UTM) GRID ZONE 48 M INDONESIAN NATIONAL SPHEROID
INDICATED BY 5000 METRE INTERVAL

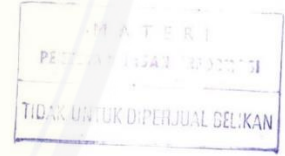
PETA GEOLOGI LEMBAR SITUBONDO, JAWA
GEOLOGICAL MAP OF THE SITUBONDO QUADRANGLE, JAWA

Oleh (By)
D. A. AGUSTIYANTO dan (and) S. SANTOSA
1993



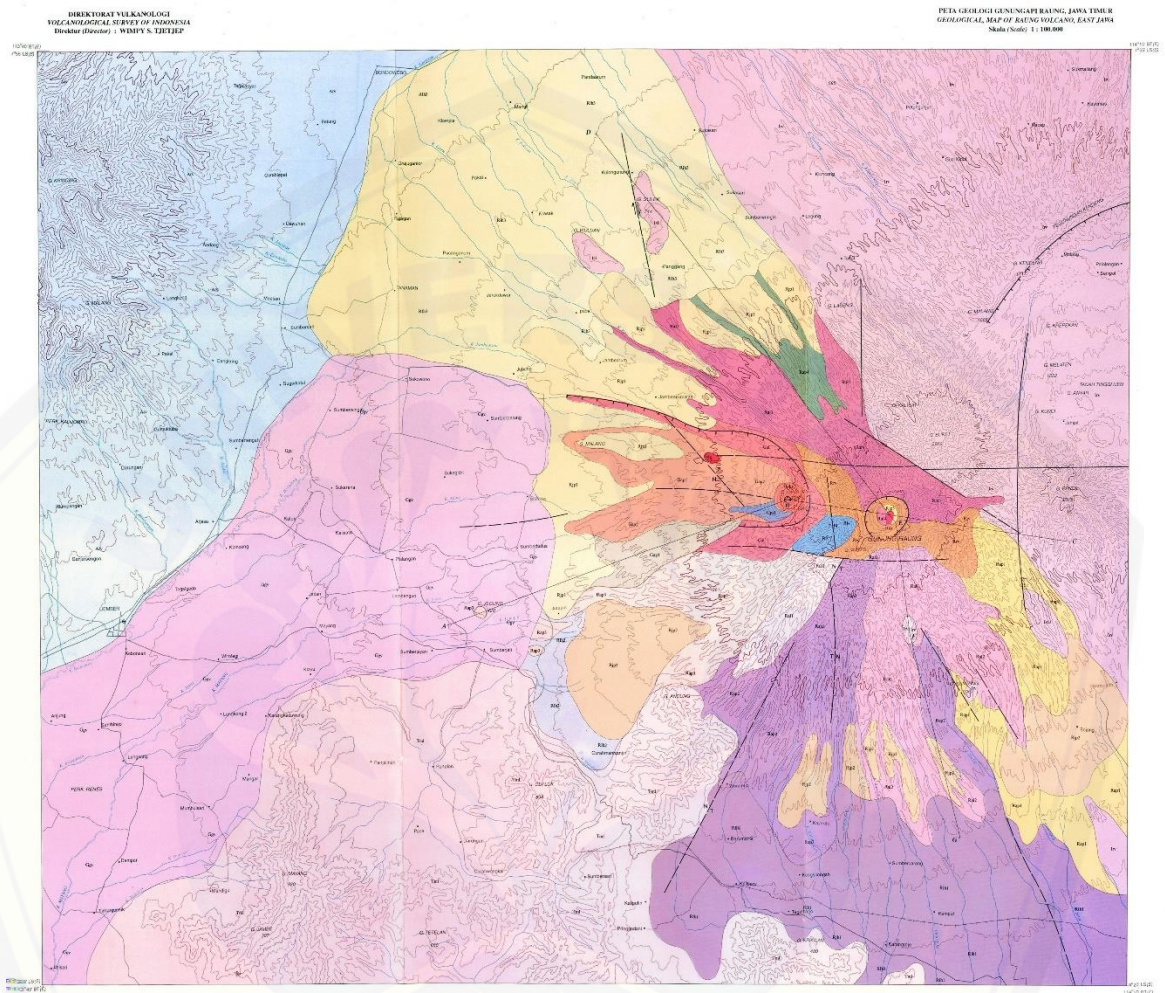
INDIKS LOKASI NAMA DAN NOMOR LEMBAR MENURUT:
BADAN KOORDINASI SURVEI DAN PEMETAAN NASIONAL (BAKOSURTANAL), 1975
INDEX SHOWING QUADRANGLE NAMES AND NUMBERS ACCORDING TO
NATIONAL COORDINATION AGENCY FOR SURVEYS AND MAPPING (NCSAM), 1975

INDIKS LINGKUPAN POTRET UDARA
INDEX OF AERIAL PHOTOGRAPHS COVERAGE



Dipet oleh pada (For sale by)
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN GEOLOGI
GEOLOGICAL RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTRE
Jl. Diponegoro 87, Bandung 40132
Phone 022 703205, Fax 022 703088
Telex 28187 PPGG BD IA, Cable PPGG Bandung

Lampiran 4. 3 Peta Geologi Bondowoso



- Rky** Kerucut Sinder Raung
Terbentuk di dalam kawah G. Raung, tinggi lebih kurang 5 m dari dasar kawah, kawahnya merupakan yang giat sekarang, mengeluarkan asap solfatara setiap hari.
Raung Cindercone
Formed inside the Mt. Raung's crater, 5 m high above the crater bottom; this is the present active crater, emitting solfatara gas.
- Rjp2** Jatuh Piroklastika Raung 2
Tersebar sangat luas hampir menutupi sekeliling lereng kerucut G. Raung dan G. Gadung. Terdiri dari skoria, abu-abu, pasir-lapili, mudah lepas, tebal 10 - 30 cm.
Raung Pyroclastic Airfalls 2
Widely distributed almost covers the entire flanks around Mt. Raung and Mt. Gadung
Consists scoria, grey, sand-lapilli in size, very loose, 10 - 30 cm thick.
- Rjp1** Jatuh Piroklastika Raung 1
Tersebar di lereng barat dan utara G. Raung, terdiri dari batuapung, ukuran butir pasir-lapili, mudah lepas, putih-kuning, tebal endapan sampai 2 m.
Raung Pyroclastic Airfalls 1
Distributed in the west and north flanks of Mt. Raung consist of pumice, sand to lapilli in size, loose, white-yellow, up to 2 m thick.
- Rly** Endapan Longsoran Pung Vulkanik
Longsoran besar di lereng barat G. Raung, endapannya membentuk beberapa bukit di hulu Kali Mayang.
Volcanic Debris Avalanche Deposits
A big avalanche deposits at the west flank of Mt. Raung, the deposits formed several hills at the upper course of Mayang river.
- Rlh3** Lahar Pujer
Tersebar di sekitar Pujer, kaki barat laut G. Raung, menempati dataran daerah Bondowoso, terkonsolidasi baik, endapannya sangat tebal di dinding Kali Sampean lebih dari 10 m.
Pujer Lahar
Distributed in the Pujer area northwest part of Mt. Raung, covers the flat plain of Bondowoso area, consolidated, very thick, exposed in the Sampean river banks, more than 10 m thick.
- Rlh2** Lahar Sempolan
Sebaran di sekitar Sempolan kaki baratdaya G. Raung, membentuk morfologi kipas. Endapan terawetkan di dinding kali di daerah tersebut, adakalanya diselingi endapan fluvial, terkonsolidasi.

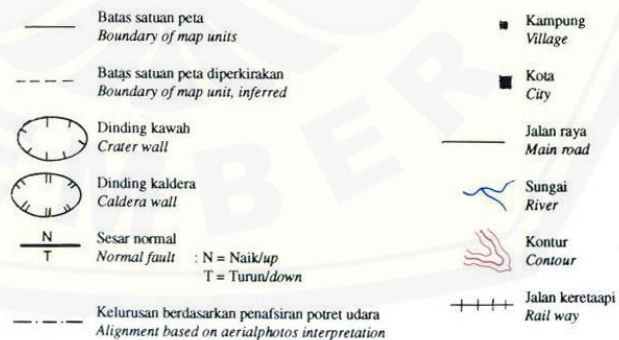
shaped crater of Mt. Raung.

- Gap1** Endapan Aliran Piroklastika Gadung 1
Terdiri dari endapan awanpanas basalan, dominan bom kerakroti bercampur dengan bongkah andesit, diameter 3 meter, lepas, abu-abu, dengan pasir, skoria dan abu sebagai matriks.
Gadung Pyroclastic Flows 1
Basaltic pyroclastic flows, dominantly consist of a mixture of breadcrust bombs, andesite fragments of 3 meters in diameters, loose, grey, set up in scoriaceous sand and ash matrix.
- Ggy** Gumuk Vulkanik Gadung
Kelompok gumuk (bukit kecil) di kaki barat dan baratdaya kerucut G. Raung atau kerucut G. Gadung mulai Sumberjambe sampai Jenggawah lebih kurang 50 km, dapat dibedakan menjadi tiga kelompok; Kelompok dominan aliran piroklastik, dominan lava (bagian selatan) dan dominan jatuhan (bagian baratdaya).
Gadung Volcanic Debris Avalanche Deposits (Hill locks)
A group of small hill (hillock) located in the western and southwestern parts of Mt. Raung 50 km long from Sumberjambe to Jenggawah, can be distinguished in 3 groups i.e: dominantly pyroclastic flows hill lock, dominantly lava flows hill lock in the Southern part and dominantly pyroclastic falls hill lock in the southwestern part.
- Gat** Aliran Lava G. Panjunan
Andesit piroksin, porfiritik, membentuk tubuh G. Panjunan.
Mt. Panjunan Lava Flows
Pyroxene andesite, porphyritic, form the edifice of Mt. Panjunan.
- Rlh1** Lahar Raung 1
Sebarannya sangat luas di selatan G. Raung, terdiri dari komponen-komponen batuan andesit, basal, sedikit batuapung dan sedimen laut, terkonsolidasi kuat, membentuk pendataran Kalibaru sampai Genteng.
Raung 1 Lahar
Widely distributed at the Southern part of Mt. Raung, consists of andesite, basalt with few pumice and Marine sedimentary rock fragments as components, well consolidated, form a flat plain from Kalibaru to Genteng.
- Rap3** Endapan Aliran Piroklastika Raung 3
Tersebar di sekitar Surajun, terdiri dari batuapung dan pecahan-pecahan batuan bersifat andesitan, agak dominan ukuran lapili, putih-susu-kuning, matriks lebih dominan.
Raung Pyroclastic Flows 3
Distributed in Surajun area, consists of pumice and andesitic fragments, whitemilk - yellow colour, dominantly consist of Pumice of lapilli and pumice matrix

- Rjp3** Jatuhan Piroklastika Raung 3
Tersebar di sekitar puncak dan di dalam kawah G. Raung. Diperkirakan hasil kegiatan kerucut baru (Rks) berupa skoria abu-abu kehitaman, pasir-lapili, sangat lepas, ketebalan sukar ditentukan, tersingkap pada morfologi cekungan.
Raung Pyroclastic Airfalls 3
Distributed only around the summit and inside the Raung crater. Estimated as the product of the new cone (Rks) scoria blackish grey, sand-lapilli in size, varies in thickness, exposed in the basin morphology.
- Ral4** Aliran Lava Raung 4
Tersebar di dalam kawah G. Raung, keluar dari kawah baru ke arah Barat, lava basalt.
Raung Lava Flows 4
Distributed in the Raung crater, extruded from new crater to the West of the crater, basalt lavas.
- Rky3** Kerucut Sinder Raung
Terbentuk di dalam kawah G. Raung, tinggi lebih kurang 5 m dari dasar kawah, kawahnya merupakan yang giat sekarang, mengeluarkan asap solfatara setiap hari.
Raung Cindercone
Formed inside the Mt. Raung's crater, 5 m high above the crater bottom; this is the present active crater, emitting solfatara gas.
- Rjp2** Jatuhan Piroklastika Raung 2
Tersebar sangat luas hampir menutupi sekeliling lereng kerucut G. Raung dan G. Gadung. Terdiri dari skoria, abu-abu, pasir-lapili, mudah lepas, tebal 10 - 30 cm.
Raung Pyroclastic Airfalls 2
Widely distributed almost covers the entire flanks around Mt. Raung and Mt. Gadung
Consists scoria, grey, sand-lapilli in size, very loose, 10 - 30 cm thick.
- Rjp1** Jatuhan Piroklastika Raung 1
Tersebar di lereng barat dan utara G. Raung, terdiri dari batuapung, ukuran butir pasir-lapili, mudah lepas, putih-kuning, tebal endapan sampai 2 m.
Raung Pyroclastic Airfalls 1
Distributed in the west and north flanks of Mt. Raung consist of pumice, sand to lapilli in size, loose, white-yellow, up to 2 m thick.
- Ral3** Kerucut Sinder G. Malang
Terletak di dalam kaldera tapalkuda G. Gadung, tersusun dari perlapisan skoria abu-abu kuning, berlapis baik, permukaannya tertutup pepohonan keras.
Mt. Malang Cindercone
Located inside the horseshoe shaped crater of Mt. Gadung caldera, consists of stratification of grey-yellow scoria, shows good layers covered by thick forest.
- Gap2** Endapan Aliran Piroklastika Gadung 2
Keadaannya sama dengan Gpf1 hanya komponen penyusunnya lebih kecil, diameter 5 cm - 1 m, sangat lepas, sebaran lebih luas menutupi bagian dalam kawah tapalkuda G. Gadung.
Gadung Pyroclastic Flows 2
The condition is similar with Gpf1, consists of smaller component of 5 cm - 1 m in diameter, very loose, more widely distributed, cover the inner part of the horseshoe shaped crater of Mt. Gadung.
- Gap1** Endapan Aliran Piroklastika Gadung 1
Terdiri dari endapan awanpanas basalan, dominan bom kerakroti bercampur dengan bongkah andesit, diameter 3 meter, lepas, abu-abu, dengan pasir, skoria dan abu sebagai matriks.
Gadung Pyroclastic Flows 1
Basaltic pyroclastic flows, dominantly consist of a mixture of breadcrust bombs, andesite fragments of 3 meters in diameters, loose, grey, set up in scoriaceous sand and ash matrix.
- Ggv** Gumuk Vulkanik Gadung
Kelompok gumuk (bukit kecil) di kaki barat dan baratdaya kerucut G. Raung atau kerucut G. Gadung mulai Sumberjambe sampai Jenggawah lebih kurang 50 km, dapat dibedakan menjadi tiga kelompok; Kelompok dominan aliran piroklastik, dominan lava (bagian selatan) dan dominan jatuhan (bagian baratdaya).
Gadung Volcanic Debris Avalanche Deposits (Hill locks)
A group of small hill (hillock) located in the western and southwestern parts of Mt. Raung 50 km long from Sumberjambe to Jenggawah, can be distinguished in 3 groups i.e: dominantly pyroclastic flows hill lock, dominantly lava flows hill lock in the Southern part and dominantly pyroclastic falls hill lock in the southwestern part.

- Rlh2** Lahar Sempolan
Sebaran di sekitar Sempolan kaki baratdaya G. Raung, membentuk morfologi kipas. Endapan terawetkan di dinding kali di daerah tersebut, adakalanya diselingi endapan fluviatil, terkonsolidasi.
Sempolan Lahar
Distributed in the Sempolan area southwest part of Mt. Raung, formed a fan like morphology, consolidated, occasionally intercalated with fluvialite sediment.
- Ral3** Aliran Lava Raung 3
Sebarannya ke arah timur dan utara kerucut Raung, basal porfiritik, abu-abu, fenokris olivin dan piroksin, ujung aliran tersingkap di kampung Pasahan dekat Sumberwringin.
Raung Lava Flows 3
Distributed to the east and northwards of Mt. Raung, basalt, porphyritic, grey, olivine and pyroxene phenocrysts; the edge of the flows are exposed at Pasahan village near Sumberwringin.
- Rrv** Satuan Vulkanik Dinding Kawah Raung
Terdiri dari lava dan piroklastik, tersingkap di dinding kawah G. Raung dan di bagian puncaknya
Raung Crater Wall Volcanic Unit
Consists of alternating layers of lava and pyroclastic flows, exposed in the summit crater's wall of Mt Raung.
- Rap4** Endapan Awanpanas Raung 4
Terdiri dari bom kerakroti dan fragment andesit berukuran hingga 1 m, abu-abu, masih lepas, diselingi endapan jatuhan. Tersingkap baik di dinding Kali Belud dekat Sumberwringin.
Raung Pyroclastics Flows 4
Consist of breadcrust bomb and andesite fragments up to 1 m in size, grey, loose, intercalated with pyroclastic airfalls, well exposed in the Belud river near Sumberwringin.
- Ral2** Aliran Lava Raung 2
Aliran ke arah selatan kerucut Raung hingga morfologi perbukitan tua, terdiri dari basal, abu-abu kehitaman, vesikuler, dominan gelas dan olivin.
Raung Lava Flows 2
Distributed to the south of Mt. Raung, reached the old hills morphology, consist of basalt, darkish grey, vesicular, volcanic glass and olivine dominant.
- Ral1** Aliran Lava Raung 1
Aliran ke arah baratdaya kerucut Raung, basal mengandung olivin dan piroksin
Raung Lava Flows 1
Distributed to the southwest of Mt Raung, basalt, contain olivine and pyroxene as phenocrysts.
- Opks** Kerucut Sinder G. Panjunan
Bentuk kerucut sempurna, terletak di dalam kawah tapalkuda G. Gadung, tingginya melebihi bibir kaldera tersebut, tersusun dari pelapisan skorja ukuran pasir-bom, tercampur batuan tua.
Mt. Panjunan Cindercone.
It forms a perfect cone, located inside the horseshoe-shaped crater of Mt. Gadung, it is higher than the caldera rim, consists of scorsia layers of sand to bomb in grain size, mixed up with lithic rock fragments.
- Opal** Aliran Lava G. Panjunan
Sebaran terbatas di lereng kerucut G. Panjunan di dalam kawah tapalkuda G. Gadung, lava basal, mengandung fenokris olivin, abu-abu kehitaman, tebal 2 - 5 meter
Mt. Panjunan Lava Flows
Distribution is confined in the lower flank of Mt. Panjunan inside the horseshoe shaped crater of Mt. Gadung, basalt lavas, contain olivine as phenocryst, darkish grey, thickness 2 - 5 meters.

- Rap3** Endapan di sekitar Sarajan, terdiri dari batupung dan pecahan-pecahan batuan andesit andesitan, agak dominan ukuran lapili, putih-susu-kuning, matriks lebih dominan.
Raung Pyroclastic Flows 3
Distributed in Sarajan area, consists of pumice and andesitic fragments, whitemilk - yellow colour, dominantly consist of Pumice of lapilli and pumice matrix
- Rap2** Endapan Aliran Piroklastika Raung 2
Tersebar di sekitar Glenmore, terdiri dari bongkah batuan andesitan bercampur batupung di dalam matriks litik, terkonsolidasi kuat, bagian atas telah melapuk, kuning-coklat.
Raung Pyroclastic Flows 2
Spreaded in Glenmore area, consists of a mixture of andesitic boulders and pumice, set up in lithics matrix, well consolidated, weathered at the surface, yellow-brown.
- Rap1** Endapan Aliran Piroklastika Raung 1
Tersebar di sekitar Mangarang, terdiri dari komponen batuan andesitik-basaltik, sedikit batupung, terkonsolidasi, tebal 16 meter
Raung Pyroclastic Flows 1
Distributed in Mangarang area, consists of andesitic-basaltic components, few pumice, well-consolidated, thickness about 16 meters.
- Irv** Rempah-rempah gunungapi hasil kegiatan kompleks gunungapi Ijen. Berupa aliran lava, aliran piroklastika, jatuhan piroklastika, lahar dan batuan terobosan.
Volcanic Products of Mt. Ijen complex. Consist of lava flows, pyroclastic flows, pyroclastic airfalls, lahar and intrusive rock.
- Arv** Rempah-rempah gunungapi hasil kegiatan kompleks gunungapi Iyang Argapura. Berupa aliran lava, aliran piroklastika, jatuhan piroklastika dan lahar
Volcanic products of Mt. Iyang Argapura complex. Consists of lava flows, pyroclastic flows, pyroclastic airfalls and lahar.
- Isl** Aliran lava Sulek-Wuluan
Andesit piroksin, abu-abu terang, porfiritik, tidak diketahui sumbernya, tetapi diduga termasuk produk vulkanik G. Ijen, terletak di Baratlaut kerucut G. Raung.
Sulek-Wuluan Lava Flows
Pyroxene andesite, light grey, porphyritic, unknown source but largely derived from Mt. Ijen volcanic product, exposed at the Northwest part of Mt. Raung
- Tml** Aliran lava, merupakan anggota Formasi Merawan
Komposisi andesitan, telah mengalami kloritisasi dan piritisasi.
Lava Flows, member of Merawan Formation
Andesitic, chloritized and pyritized.



Lampiran 4. 4 Hasil perhitungan masing – masing sayatan berdasarkan SVD filter Elkins dan Rosenbach

Tabel L4.1 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan A-A'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,1801556	-7,917138312	4,85561807	0
114,1820833	-7,918556837	9,371473271	266,4387914
114,1837288	-7,919767677	8,221159488	493,8684533
114,1855	-7,921070988	-1,477265636	738,6667426
114,1883686	-7,923181818	-30,20205392	1135,13982
114,1889167	-7,923585139	-28,75959823	1210,894694
114,1923333	-7,92609929	6,3170641	1683,122645
114,1930083	-7,92659596	6,272157313	1776,411186
114,1941217	-7,927415261	4,896389809	1930,298802

Tabel L4.2 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan B-B'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,183186	-7,908047164	6,760881459	0
114,184783	-7,909525253	8,773987116	242,2424443
114,1855	-7,910188867	8,21627435	351,001608
114,1884718	-7,912939394	-26,410882	801,782745
114,1889167	-7,913351102	-30,33739321	869,2570542
114,1921607	-7,916353536	8,865060405	1361,323046
114,1923333	-7,916513336	10,71110396	1387,5125
114,195571	-7,919509915	8,928915458	1878,619017

Tabel L4.3 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan C-C'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,1926724	-7,903040446	7,486976116	0
114,19529	-7,906111111	-26,14000296	449,1798366
114,19575	-7,906650718	-29,81722999	528,1140661
114,1982004	-7,909525253	2,442446472	948,6036406
114,1991667	-7,910658731	8,514302394	1114,409934
114,1995237	-7,911077547	6,120692201	1175,674675

Tabel L4.4 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan D-D'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2034764	-7,88986487	7,24638893	0
114,206	-7,892432019	-33,06290978	400,7437029
114,2060221	-7,892454546	-33,09866257	404,2602671
114,2093784	-7,895868687	0,583334322	937,2234656
114,2094167	-7,895907593	0,891527846	943,2969208
114,2111182	-7,89763846	8,468336715	1213,493134

Tabel L4.5 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan E-E'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2071655	-7,885121663	7,300042043	0
114,2075396	-7,885626263	5,581361797	69,92685159
114,2094167	-7,888158088	-22,65174205	420,7842659
114,2100708	-7,889040404	-23,80350114	543,0545524
114,212602	-7,892454546	9,652446912	1016,182253
114,212831	-7,892763497	10,98856173	1058,996341

Tabel L4.6 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan F-F'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,1721185	-7,979985807	0,867188279	0
114,1747459	-7,981222223	-4,246744943	323,253178
114,17525	-7,981459458	-4,960480411	385,2768152
114,1786667	-7,983067301	3,114798352	805,6374529
114,178838	-7,983147945	2,982271914	826,7214473

Tabel L4.7 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan G-G'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,1748867	-7,977806945	1,041626434	0
114,17525	-7,977806945	1,147839874	40,44684713
114,1786667	-7,977806945	-3,791666849	420,7970138
114,1820833	-7,977806945	2,076528336	801,1471805
114,1825099	-7,977806945	1,765716106	848,6348287

Tabel L4.8 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan H-H'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,1714597	-7,964306872	1,958746309	0
114,1718333	-7,964453651	2,046428376	44,68654819
114,17525	-7,965795913	-0,105559276	453,3350106
114,1786667	-7,967138175	-15,8536139	861,983473
114,1797548	-7,967565657	-10,546838	992,1293071
114,1820833	-7,968480437	2,257284425	1270,631935
114,1825272	-7,968654812	1,965444902	1323,720032

Tabel L4.9 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan I-I'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2693823	-8,055873861	0,571676324	0
114,2691174	-8,056333334	0,366352129	59,03978106
114,2675	-8,059139054	-10,95652572	419,5597261
114,2671493	-8,059747475	-12,72725072	497,7386454
114,2651811	-8,063161617	-19,672711	936,4375097
114,2640833	-8,065065925	-13,83224555	1181,130834
114,263213	-8,066575758	-10,94877413	1375,136374

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2612448	-8,0699899	-9,742256768	1813,835238
114,2606667	-8,070992795	-8,743608241	1942,701942
114,2592767	-8,073404041	-3,433854291	2252,534103
114,2573971	-8,076664528	0,234829588	2671,489207

Tabel L4.10 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan J-J'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2513037	-8,057458192	1,383223325	0
114,2538333	-8,058251265	-3,574519868	295,1188244
114,25725	-8,059322436	-10,31080872	693,7233898
114,2586057	-8,059747475	-11,41661885	851,8890328
114,2606667	-8,060393608	-12,0401346	1092,327955
114,2640833	-8,061464779	-14,12626774	1490,932521
114,2675	-8,06253595	-24,06886367	1889,537086
114,2694957	-8,063161617	-2,5207186	2122,360453
114,2709167	-8,063607121	14,02206135	2288,141651
114,2743333	-8,064678292	-3,796704882	2686,746217
114,2756785	-8,065100025	-4,001667442	2843,6817

Tabel L4.11 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan K-K'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,276394	-8,059950463	3,480524809	0
114,2755509	-8,063161617	-1,360750566	369,5893261
114,2746544	-8,066575758	-6,0605061	762,541562
114,2743333	-8,067798693	-4,29844304	903,2957794
114,273758	-8,0699899	1,018826548	1155,493798
114,2728615	-8,073404041	2,449346511	1548,446034
114,272562	-8,074544695	0,740618751	1679,730193

Tabel L4.12 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan L-L'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2087466	-8,093427513	2,177793636	0
114,2094167	-8,093835384	2,032325612	87,32626659
114,2095046	-8,09388889	1,933777116	98,78195428
114,2128333	-8,095915094	-8,167577256	532,5976431
114,2151135	-8,097303031	-15,79544657	829,7585545
114,21625	-8,097994804	-17,34599998	977,8690197
114,2196667	-8,100074515	-1,271291038	1423,140396
114,2207225	-8,100717173	0,132518733	1560,735155
114,2230833	-8,102154225	2,217928975	1868,411773
114,2238985	-8,102650416	1,66388176	1974,647613

Tabel L4.13 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan M-M'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2069679	-8,096424956	-0,141855478	0
114,2092144	-8,097303031	-3,397245488	268,5097156
114,2094167	-8,097382092	-3,650483552	292,6861901
114,2128333	-8,098717541	-16,56438503	701,0579176
114,21625	-8,100052989	-17,32171586	1109,429645
114,2179493	-8,100717173	-8,876059669	1312,532712
114,2196667	-8,101388438	0,040084034	1517,801373
114,2199458	-8,101497553	0,23827736	1551,168169

Tabel L4.14 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan N-N'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2049257	-8,099751789	0,322653529	0
114,206	-8,100049294	0,427151587	124,0969097
114,2084118	-8,100717173	-3,751695905	402,6857157
114,2094167	-8,100995448	-5,317482296	518,7615544
114,2128333	-8,101941602	-16,47450645	913,4261991
114,21625	-8,102887756	-10,09462353	1308,090844
114,2196667	-8,10383391	1,454893981	1702,755488
114,2207406	-8,104131314	2,249628031	1826,810257
114,2220539	-8,104494996	2,745444477	1978,511419

Tabel L4.15 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan O-O'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,1198115	-8,068130408	0,714031693	0
114,1205833	-8,069334534	0,153807465	159,2220763
114,1210034	-8,0699899	-0,308471241	245,8813165
114,123192	-8,073404041	-2,850258685	697,3345406
114,124	-8,074664534	-2,840829976	864,0100116
114,1253805	-8,076818183	-0,982874348	1148,787765
114,1274167	-8,079994534	-0,529868135	1568,797947
114,1275691	-8,080232324	-0,367484885	1600,240989
114,1297576	-8,083646465	0,519569413	2051,694213
114,1308333	-8,085324534	0,289468104	2273,585882
114,1319462	-8,087060607	0,342725221	2503,147437
114,1341348	-8,090474748	0,61611423	2954,600661
114,13425	-8,090654534	0,503792359	2978,373818
114,1363233	-8,09388889	-1,879440025	3406,053885
114,1376667	-8,095984534	-6,95474714	3683,161753
114,1385119	-8,097303031	-9,207316115	3857,507109
114,1407004	-8,100717173	-1,909536703	4308,960334
114,1410833	-8,101314534	-0,657113323	4387,949688
114,1428687	-8,104099729	0,34487678	4756,237096

Tabel L4.16 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan P-P'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,1237641	-8,087893771	0,678288907	0
114,124	-8,088134312	0,638437813	37,5031739
114,126295	-8,090474748	-0,835768521	402,4055405
114,1274167	-8,091618635	-0,313282101	580,7513504
114,1296428	-8,09388889	-0,365639279	934,7114929
114,1308333	-8,095102959	-0,517911351	1123,999527
114,1329907	-8,097303031	-2,596977393	1467,017445
114,13425	-8,098587282	-5,919919679	1667,247703
114,1363385	-8,100717173	-9,80968107	1999,323398
114,1376667	-8,102071605	-9,436327035	2210,49588
114,1396864	-8,104131314	-3,02200693	2531,62935
114,1410833	-8,105555929	-2,848078463	2753,744056
114,1430342	-8,107545455	-3,188770681	3063,935303
114,1445	-8,109040252	-0,994074564	3296,992233
114,1463821	-8,110959597	-0,877262212	3596,241255
114,1479167	-8,112524576	-0,296920437	3840,240409
114,1497299	-8,114373738	0,930526568	4128,547207
114,1503788	-8,115035457	0,827097597	4231,717163

Tabel L4.17 Hasil Perhitungan Elkins Sayatan Q-Q'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,1298249	-8,101464614	1,277431695	0
114,1308333	-8,102404684	-0,590342196	153,4742011
114,1326855	-8,104131314	-6,480341048	435,3609548
114,13425	-8,105589712	-6,03950222	673,4565826
114,136348	-8,107545455	-3,958349718	992,7479699
114,1376667	-8,10877474	-6,381588333	1193,438964
114,1400104	-8,110959597	-9,233902405	1550,134985
114,1410833	-8,111959769	-7,789569487	1713,421346
114,1436729	-8,114373738	-0,759160963	2107,522
114,1445	-8,115144797	0,379018052	2233,403727
114,1453721	-8,115957747	0,644433606	2366,124662

Tabel L4.18 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan A-A'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,18028	-7,916938647	4,304053478	0
114,18208	-7,918269708	5,928260333	249,4369458
114,18411	-7,919767677	28,03980381	530,1522336
114,1855	-7,920792784	23,2670102	722,254496
114,18874	-7,923181818	-96,83178877	1169,952776
114,18885	-7,923263055	-95,75021733	1185,176366
114,18892	-7,923319556	-94,71798252	1195,321742
114,19233	-7,926019144	10,32037503	1680,069797

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,19306	-7,92659596	7,948965215	1783,644963
114,19418	-7,927479328	3,655006433	1942,265713

Tabel L4.19 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan B-B'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,18338	-7,907979069	6,714592441	0
114,18502	-7,909525253	12,92417993	251,1425509
114,1855	-7,909977017	15,39582927	324,5213925
114,18865	-7,912939394	-78,45033932	805,6926353
114,18892	-7,913192703	-86,13033176	846,8369245
114,19228	-7,916353536	50,28010986	1360,24272
114,19233	-7,916408389	52,17975436	1369,152457
114,1957	-7,919573817	-2,672425477	1883,304694

Tabel L4.20 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan C-C'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,19273	-7,902906367	31,22330486	0
114,19552	-7,906111111	-91,88195834	472,8576644
114,19575	-7,906375617	-99,24123368	511,8852881
114,19849	-7,909525253	50,45310545	976,6117068
114,19917	-7,910303187	58,84077457	1091,395351
114,19978	-7,911009515	27,12192722	1195,613474

Tabel L4.21 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan D-D'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,20334	-7,889862275	32,78618762	0
114,206	-7,89243783	-102,1117823	412,2908049
114,20602	-7,892454546	-102,0963505	414,9666812
114,20942	-7,895744281	13,70876888	941,5825292
114,20955	-7,895868687	13,49250726	961,4972259
114,21151	-7,897767785	13,66474318	1265,501984

Tabel L4.22 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan E-E'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,20716	-7,884921331	28,02916404	0
114,20767	-7,885626263	25,19073663	96,9285498
114,20942	-7,88803454	-66,78722984	428,0683573
114,21015	-7,889040404	-72,19039271	566,3753742
114,21262	-7,892454546	27,14807379	1035,822199
114,21283	-7,892747184	26,49430999	1076,060146
114,21289	-7,892826842	26,03108811	1087,013147

Tabel L4.23 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan F-F'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,17224	-7,980643883	2,222002355	0
114,17348	-7,981222223	-7,788490359	151,5199974
114,17525	-7,982055056	-17,94920873	369,7152025
114,17867	-7,983658798	10,27807075	789,8816232
114,1787	-7,983674329	10,136196	793,9505582

Tabel L4.24 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan G-G'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,1757	-7,97777215	5,661677042	0
114,1787	-7,97779805	-20,17504208	331,6843172
114,1798	-7,97780808	-11,6436639	460,0542226
114,1815	-7,97782305	1,247891846	651,7336604

Tabel L4.25 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan H-H'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,17172	-7,964832863	2,852214368	0
114,17183	-7,964875587	2,929893137	13,84288912
114,17525	-7,966125587	7,221076236	418,8486515
114,17867	-7,967375587	-54,66657019	823,8544138
114,17919	-7,967565657	-43,93864733	885,4379135
114,18208	-7,968625587	18,07871071	1228,860176
114,18252	-7,968785618	14,54712643	1280,710859

Tabel L4.26 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan I-I'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,2685	-8,05637208	3,459608592	0
114,2675	-8,05818155	-13,18200605	229,6206308
114,2666	-8,05974748	-22,73181524	428,3369703
114,2648	-8,06316162	-28,19122759	861,5910441
114,2641	-8,0644252	-11,9377315	1021,939562
114,2629	-8,06657576	-8,921503044	1294,845118
114,261	-8,0699899	-16,4437907	1728,099192

Tabel L4.27 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan J-J'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,2695	-8,05784838	6,890725913	0
114,2692	-8,05974748	7,615575844	214,0088596
114,2686	-8,06316162	-38,92384832	598,7472852
114,2681	-8,06657576	0,114310694	983,4857108
114,2675	-8,0699899	-2,356043974	1368,224136
114,2675	-8,07029748	-1,650707384	1402,884809
114,267	-8,07340404	7,148461864	1752,962562

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2669	-8,0740367	5,56495961	1824,257201

Tabel L4.28 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan K-K'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,2765	-8,06115731	1,391325988	0
114,2753	-8,06316162	-11,46306273	257,1362098
114,2743	-8,0649093	-23,94682549	481,3494995
114,2734	-8,06657576	-12,61217704	695,1429352
114,2714	-8,0699899	22,45229906	1133,149661
114,2709	-8,07087399	17,36457215	1246,570881
114,2705	-8,07164409	8,269927586	1345,368903

Tabel L4.29 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan L-L'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,20867	-8,093297402	4,104478116	0
114,20942	-8,093736903	4,298366247	95,98952763
114,20967	-8,09388889	5,020069883	129,184149
114,21283	-8,095761063	-0,534708623	538,0771168
114,21544	-8,097303031	-23,25561766	874,8513895
114,21625	-8,097785223	-26,99257138	980,1647059
114,21967	-8,099809382	9,980748189	1422,252295
114,2212	-8,100717173	7,461061229	1620,51863
114,22308	-8,101833542	2,490027464	1864,339884
114,22435	-8,102586376	0,629194003	2028,763027

Tabel L4.30 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan M-M'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,20611	-8,096064331	1,30894269	0
114,20936	-8,097303031	-4,055604643	387,724143
114,20942	-8,097324324	-4,083650363	394,3888609
114,21283	-8,098624471	-26,32857648	801,3464447
114,21625	-8,099924619	-27,90048912	1208,304029
114,21833	-8,100717173	-1,747884057	1456,380394
114,21967	-8,101224766	13,71879237	1615,261612
114,22099	-8,101729946	8,279377274	1773,387434

Tabel L4.31 Hasil Perhitungan Rosenbach Sayatan N-N'

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m2)	Jarak (m)
114,20499	-8,099753569	1,909392599	0
114,206	-8,100026387	3,803358908	116,9404584
114,20857	-8,100717173	2,249268917	413,0370689
114,20942	-8,100945264	1,137308029	510,8055714
114,21283	-8,10186414	-32,90810133	904,6706845

Bujur	Lintang	SVD(mGal/m ²)	Jarak (m)
114,21625	-8,102783016	-15,40561558	1298,535798
114,21967	-8,103701892	6,407138757	1692,400911
114,22126	-8,104131314	8,294342458	1876,467187
114,22238	-8,104430995	9,627982073	2004,922006

