

**PENDUGAAN STRUKTUR WADUK MAGMA KOMPLEKS
ARJUNO-WELIRANG BERDASARKAN ANOMALI MAGNETIK**

TUGAS AKHIR

Oleh :
ILYAS GHOZY BAISA
0110930024



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2007**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**PENDUGAAN STRUKTUR WADUK MAGMA KOMPLEKS
ARJUNO-WELIRANG BERDASARKAN ANOMALI MAGNETIK**

TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Oleh :
ILYAS GHOZY BAISA
0110930024



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2007**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENDUGAAN STRUKTUR WADUK MAGMA KOMPLEKS ARJUNO-WELIRANGBERDASARKAN ANOMALI MAGNETIK

Oleh :
Ilyas Ghozy Baisa
0110930024

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika**

Pembimbing I

Drs. Adi Susilo,M.Si,Ph.D
NIP. 131 960 447

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

Drs. Adi Susilo,M.Si,Ph.D
NIP. 131 960 447

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ilyas Ghozy Baisa
NIM : 011093024
Jurusan : Fisika
Penulis Tugas Akhir Berjudul :

PENDUGAAN STRUKTUR WADUK MAGMA KOMPLEKS ARJUNO-WELIRANG BERDASARKAN ANOMALI MAGNETIK

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Tugas Akhir yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, nama-nama dan karya-karya yang ada dalam daftar pustaka digunakan semata-mata untuk acuan.
2. Apabila di kemudian hari ternyata Tugas Akhir yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 30 Maret 2007
Yang menyatakan

(Ilyas Ghozy Baisa)
NIM. 0110930024

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PENDUGAAN STRUKTUR WADUK MAGMA KOMPLEKS ARJUNO-WELIRANG BERDASARKAN ANOMALI MAGNETIK

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran intensitas medan magnet di komplek Arjuno-Welirang. Penelitian dilakukan untuk mengetahui anomali magnetik yang ada di daerah tersebut. Dari pengolahan data didapatkan anomali negatif di sebelah utara puncak Welirang dengan posisi $(112,558^{\circ}\text{BT}; -7,72^{\circ}\text{LS})$ hingga $(112,617^{\circ}\text{BT}; -7,662^{\circ}\text{LS})$ yang besarnya mencapai -300nT . Pemodelan dengan program MAG2DC menghasilkan model dari lintasan AA' sampai dengan JJ' dimana AA', BB', CC', DD', EE', dan FF' dari arah tenggara ke barat laut sedangkan GG', HH', II' dan JJ' dari barat daya ke timur laut, dengan kontras suseptibilitas $0,0136$ cgs, inklinasi $-33,468^{\circ}$, deklinasi $1,424^{\circ}$, dan intensitas total 45101nT . kedalaman waduk sekitar $1071,006$ m, sedangkan lebar maksimal adalah $3191,631$ m, panjang waduk adalah sekitar $5786,097$ m, volume maksimal waduk diperkirakan $19,77836\text{ km}^3$ dengan kesalahan rata-rata sebesar $5,32\%$

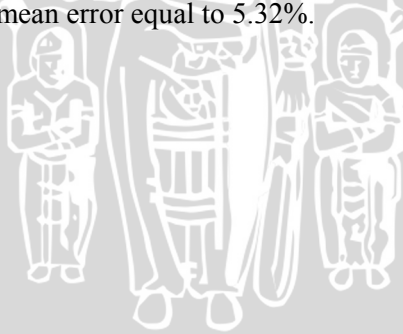
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



ESTIMATION OF MAGMA CHAMBER STRUCTURE IN ARJUNO-WELIRANG COMPLEX RELATING TO THE MAGNETIC ANOMALY

ABSTRACT

Measurement of magnetic field intensity has been done at Arjuno-welirang volcano area. The aim at this study is was to know the magnetic anomaly at this area. The result of data which have been processed showed that negative anomaly was located from $(112.558^{\circ}; -7.72^{\circ})$ to $(112.617^{\circ}; -7.662^{\circ})$ which was -300nT . Ten cross sections were applied to get the model of magma chamber, with susceptibility contrast 0.0136 cgs, inclination -3.468° , declination 1.424° , and total intensity 45101nT . depth of chamber around 1071.006 m, while maximum breadth is 3191.631 m, chamber length is around 5786.097 m, maximum volume of chamber is estimated by 19.77836 km^3 with mean error equal to 5.32% .



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb,

Bismillahirrahmanirrahiim, Alhamdulillah robil ‘alamin, segala puji dan syukur kepada Allah SWT tuhan semesta alam. Atas rahmat dan hidayah kepada hamba-Nya yang lemah ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pendugaan Struktur Waduk Magma Kompleks Arjuno-Welirang Berdasarkan Anomali Magnetik”** sebagai jalan untuk merampungkan pendidikan strata 1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Tak lupa dalam kesempatan terbatas ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Adi Susilo, M.Si, Ph.D selaku pembimbing I dalam penulisan Tugas Akhir ini sekaligus sebagai Ketua Jurusan Fisika, yang dengan ikhlas memberi bimbingan selama masa penyelesaiannya,
2. Segenap dosen Jurusan Fisika khususnya dan Fakultas MIPA umumnya yang telah memberi banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di sini,
3. Seluruh karyawan Jurusan Fisika dan Fakultas MIPA yang sangat membantu dalam berbagai urusan administrasi,
4. Kepada Abah Iyas ku yang kucinta, terima kasih atas sarana dan prasarana serta doa-doanya selama ini sehingga penulis dapat menjadi seperti sekarang,
5. Kepada Umi dan Abahku tercinta yang kasihnya tak lekang oleh waktu dan tak habis oleh zaman, kalianlah pelita hidupku, terima kasih atas kesabarannya dalam mendidik anakmu ini dan maafkan jika penulis sering menyusahkan kalian,
6. Kepada adik-adikku tersayang Mursida, Muvidah, Sarah, Ibrahim dan Yahya, terima kasih atas doa kalian,
7. Kepada Munyati sebagai inspirator, motivator, translator, dan segalanya bagi penulis, dunia ini terasa hampa tanpamu wahai bunga surgaku,
8. Kepada Pak Dody, terima kasih atas segala dukungannya baik moral, ide, saran, sarana dan waktu yang diberikan, penulis tidak tahu bagaimana dapat membalasnya,

9. Teman-teman tim penelitian Gravitasi-Magnetik di Arjuno-Welirang; Helmy, Oky, Kuku, Zona, Dhani, Machrus, Yuniawan, dan Kholil. Tanpa kalian, semuanya tidak mungkin akan dapat terselesaikan,
10. Seluruh mahasiswa dan alumni Fisika Unibraw, terutama angkatan 2001, kalian adalah teman-teman terbaik yang pernah dimiliki oleh penulis,
11. Semua pihak yang telah membantu, sedikit atau banyak, sengaja atau tidak sengaja, masing-masing punya peran dalam penulisan karya ini, walaupun tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Tak sesuatu yang sempurna di dunia ini. Demikian pula dengan penulisan Tugas Akhir yang penulis yakin masih banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karenanya penulis memohon maklum sekaligus mengundang semua pihak untuk memberi kritik dan saran yang membangun.

Semoga karya ini dapat memberi manfaat dan kemaslahatan bagi kita semua, terutama bagi teman-teman mahasiswa yang mendalami ilmu Geofisika. Amin.

Malang, 30 Maret 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	v
ABSTRAK/ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Fisiografi	5
2.2. Tinjauan Geomorfologi	5
2.3. Tinjauan Geologi	7
2.4. Landasan Teori	10
2.4.1. Teori Dasar Magnetik	11
2.4.2. Medan Magnet Dipol Dan Monopol	11
2.4.3. Anomali Medan Magnet	11
2.4.4. Medan Magnet Utama Bumi	12
2.4.5. Variasi Medan Magnet	13
2.4.6. Elemen Medan Magnet Bumi	14
2.4.7. Medan Magnet Luar	17
2.4.8. Suseptibilitas Batuan dan Mineral	18
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1. Waktu dan Tempat	21
3.1.1. Waktu	21
3.1.2. Tempat	21

3.2.	Peralatan.....	22
3.3.	Akuisisi Data.....	22
3.4.	Pengolahan Data dan Interpretasi.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1.	Pengolahan Data Magnetik Total.....	27
4.1.1.	Koreksi Diurnal	27
4.1.2.	Koreksi IGRF.....	27
4.1.3.	Reduksi ke Bidang Datar	30
4.1.4.	Kontinuasi ke Atas.....	32
4.2.	Interpretasi.....	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		49
5.1.	Kesimpulan.....	49
5.2.	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		53



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Peta Geologi daerah penelitian (dari <i>eu soils.jrc.it</i>)	10
Gambar 2.2. Medan magnet bumi	13
Gambar 2.3. Elemen medan magnet bumi.	15
Gambar 2.4. Peta Isodinamik. Kontur intensitas total dengan interval 2500nT (dari <i>swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp</i>).	16
Gambar 2.5. Peta Isogonik. Kontur deklinasi dengan interval 5^0 (dari <i>swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp</i>).	17
Gambar 3.1. Peta permukaan Pulau Jawa.....	21
Gambar 3.2. Kontur ketinggian daerah penelitian secara tiga dimensi.....	22
Gambar 3.3. Distribusi pos pengambilan data.Termasuk lokasi <i>Base Station</i> -nya.....	24
Gambar 3.4. Diagram alir penelitian.	25
Gambar 3.5 Diagram alir <i>prosesing</i> dan interpretasi data	26
Gambar 4.1. Penentuan titik A,B,C, dan D untuk masing-masing kwadran.	29
Gambar 4.2. Peta kontur anomali medan magnet total dengan interval kontur 200nT.....	30
Gambar 4.3. Peta kontur anomali medan magnet total di bidang datar pada ketinggian 1470mdpl (Z_0). Interval kontur 200nT.	31
Gambar 4.4. Kontur anomali medan magnet total setelah kontunuasi pada ketinggian 1471m terhadap ketinggian reduksi bidang datar.	33
Gambar 4.5. Kontur anomali medan magnet total regional setempat hasil kontinuasi pada ketinggian 15000m. Interval kontur 5nT.	34
Gambar 4.6. Kontur anomali sisa medan magnet total Arjuno-Welirang. Interval kontur 100nT.....	35

Gambar 4.7. Kontur anomali sisa Arjuno-Welirang dan ketinggian serta pengambilan garis-garis penampang untuk interpretasi	37
Gambar 4.8.a Penampang Melintang dan profil anomali magnet AA'	38
Gambar 4.8.b Penampang Melintang dan profil anomali magnet BB'	39
Gambar 4.8.c Penampang Melintang dan profil anomali magnet CC'	40
Gambar 4.8.d Penampang Melintang dan profil anomali magnet DD'	41
Gambar 4.8.e Penampang Melintang dan profil anomali magnet EE'	42
Gambar 4.8.f Penampang Melintang dan profil anomali magnet FF'	43
Gambar 4.8.g Penampang Melintang dan profil anomali magnet GG'	44
Gambar 4.8.h Penampang Melintang dan profil anomali magnet HH'	45
Gambar 4.8.i Penampang Melintang dan profil anomali magnet II'	46
Gambar 4.8.j Penampang Melintang dan profil anomali magnet JJ'	47

DAFTAR TABEL

Tabel

Halaman

Tabel 4.1. Koordinat titik acuan di masing-masing
kwadran beserta intensitas totalnya.....29

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1 Reduksi ke Bidang Datar (Pendekatan Deret Taylor)	53
Lampiran 2 List Reduksi Anomali ke Bidang Datar	55
Lampiran 3 Kontinuasi (Integral Kontinuasi)	61
Lampiran 4 List Kontinuasi 1471	63
Lampiran 5 Kontinuasi 15000	67
Lampiran 6 Foto-Foto Penelitian.....	71



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Geofisika adalah ilmu yang mempelajari tentang bumi dengan menggunakan parameter–parameter fisika. Terutama dalam hal ini yang menjadi target adalah bumi bawah permukaan. Parameter–parameter fisika yang digunakan antara lain parameter mekanika yang meliputi metode–metode seismik, gravitasi dan magnetik. Penggunaan parameter–parameter tersebut tergantung pada target yang ingin diketahui.

Ketersediaan sumberdaya energi Bahan Bakar Minyak Bumi (BBM) akan semakin menipis dengan perjalanan waktu. Hal ini terjadi karena proses pembentukannya memerlukan waktu ribuan bahkan jutaan tahun sementara eksplorasi besar-besaran dalam rangka memenuhi kebutuhan energi untuk seluruh aspek kehidupan terus dilakukan. Sumberdaya energi yang merupakan produk sampingan dari BBM, yaitu Bahan Bakar Gas (BBG), keberadaannya juga mengikuti BBM karena keduanya bersifat tidak dapat diperbarui (*non renewable*). Oleh karena itu upaya penelitian yang berkelanjutan dalam rangka mendapatkan energi alternatif pengganti energi yang tidak terbarukan (*non renewable*) ini harus terus dilakukan.

Salah satu potensi sumberdaya alam yang dapat menjawab permasalahan tersebut diatas adalah energi *volcano-geothermal*. Sebagai negara yang terletak pada zona pertemuan tektonika lempeng (*plate tektonic*) dengan sabuk gunung api yang kompleks, baik yang masih aktif (tipe A), yang sudah tidak aktif atau fase *solfatara* dan *fumalora* (tipe B,C dan D) maupun yang sudah masuk dalam tipe sejarah (*history*) menjadikan negara Indonesia sangat kaya akan potensi energi *volcano-geothermal* ini. Dengan sifatnya yang bersih, efisien, dan terbarukan (*renewable*), maka energi *volcano-geothermal* dapat menjadi energi andalan masa depan bagi Indonesia pada khususnya dan pada dunia pada umumnya. Sebagai gunungapi yang bertipe B/C dan ukuran kantong magma (*magma chamber*) yang cukup besar gunungapi Arjuno-Welirang adalah salah satu gunungapi di Indonesia yang sangat potensial sebagai waduk/cadangan potensi *volcano-geothermal*, inilah yang

menjadikan alasan mengapa penelitian ini mengambil objek/lokasi pada gunungapi Arjuno-Welirang ini.

Dengan parameter magnetik akan dapat direkam variasi bidang batas waduk terhadap temperatur, sehingga ke arah mana fluktuasi temperatur mengarah akan bisa dilihat (Sunaryo,2001). Pemodelan menggunakan metode $2\frac{1}{2}$ dimensi yang nantinya dapat memodelkan bentuk kantong vulkanik secara tiga dimensi. Dipadukan dengan data geologi daerah penelitian, diharapkan dapat diperoleh informasi lengkap tentang kompleks pegunungan ini. Interpretasi data dilakukan dengan menggunakan metode Manik Talwani $2\frac{1}{2}$ dimensi metode poligon untuk benda bentuk sembarang.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka sasaran yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir (skripsi) ini adalah sebagai berikut :

- a. Penggunaan metode magnetik berdasarkan anomali magnetik untuk pendugaan struktur waduk magma kompleks Arjuno-Welirang.
- b. Nilai anomali magnetik yang ada di kompleks Arjuno-Welirang
- c. Bentuk struktur waduk magma kompleks Arjuno-Welirang.

1.3. Batasan Masalah

Agar permasalahan lebih terkonsentrasi, maka dilakukan pembatasan–pembatasan dalam penelitian. Batasan masalah yang akan diteliti yaitu :

- a. Metode geofisika yang digunakan adalah hanya metode magnetik, dengan menggunakan instrumen akuisisi data berupa magnetomer.
- b. Area cakupan penelitian berada dalam kompleks gunung Arjuno-Welirang.
- c. Interpretasi data dilakukan secara kuantitatif dengan metode $2\frac{1}{2}$ dimensi menggunakan perangkat lunak Mag2DC.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Untuk memperkirakan struktur waduk magma kompleks Arjuno-Welirang berdasarkan anomali magnetik.
- b. Mampu menggambarkan struktur waduk magma kompleks Arjuno-Welirang.

1.5. Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini akan diperoleh manfaat yaitu :

- a. Mampu mengetahui dan memperkirakan struktur waduk magma kompleks Arjuno-Welirang.
- b. Dapat menerapkan salah satu metode geofisika dalam menentukan struktur waduk magma kompleks Arjuno-Welirang.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Fisiografi

Secara fisiografi, kompleks gunungapi Arjuno-Welirang termasuk pada deretan gunungapi zona solo. Gunungapi ini termasuk pada golongan gunungapi kuartar (*Quaternary Volcano*). Pada jalur zona ini dijumpai deretan gunungapi, baik yang masih aktif (tipe A), maupun yang sudah tidak aktif lagi, baik bertipe B,C maupun bertipe sejarah, yang memang sudah tidak ada aktivitas sama sekali, misalnya gunung Kawi-Batak (Santosa dan Suwarti,1992).

2.2. Tinjauan Geomorfologi

Gunungapi Arjuno-Welirang pada peta Geologi yang dibuat oleh P3G yang berskala 1:100.000 terletak di lembar Malang. Lembar ini terletak pada lajur Solo-Gunungapi Kuartar yang diapit oleh lajur Kendeng di bagian utara dan lajur pegunungan Selatan, di bagian selatan, di luar lembar (Nahrowi dkk, 1978).

Lajur Solo-Gunungapi Kuartar ini terdiri dari pegunungan dan kerucut gunungapi antara lain G.Kawi, G.Anjasmoro, G.Arjuno-Welirang, G.Penanggunan dan Pegunungan Tengger-Semeru. Lajur pegunungan selatan terdiri dari deretan pegunungan, pebukitan dan dataran yang membentang dari barat ke timur dan ditempati sebagian besar oleh batuan sediment, karbonat dan terobosan.

Morfologi daerah lembar Malang dapat dibedakan menjadi 6 satuan, yaitu : kerucut gunungapi, pegunungan, perbukitan, dataran tinggi, dataran rendah dan dataran pasir.

Kerucut gunungapi menempati bagian tenggara dan barat lembar, dicirikan oleh bentuk strato dan kerucut gunungapi, berketinggian antara 2000m dan 3350m di atas muka laut. Puncaknya antara lain : G. Arjuno (+3339m). G.Welirang (+3156m), G.Bromo (+2392m), G.Ider-ider (+2617m), G.Argawulan (+2752m), G.Ringgi (+2477m), dan G.Tutup (+1850m). Pola aliran sungai memancar dengan lembah sempit berbentuk V, pada bagian hulu terdapat air terjun atau jeram. Sungainya bersifat berkala, sementara dan tetap. Pada beberapa kerucut gunungapi, terdapat beberapa kawah atau kaldera, salah satu diantaranya masih giat, yaitu G.Bromo. kemiringan lereng sangat terjal sampai agak landai. Daerah ini masih

ditutupi hutan tropika yang lebat dan ditempati batuan piroklastika berbutir kasar atau halus., dan lava andesit atau basal dan batuan porfiri.

Pegunungan menempati bagian timur, tenggara dan barat laut lembar, dicirikan oleh bentuk strato dan beberapa barangko (*branco*), berketinggian antara 600m dan 2000m di atas muka laut. Puncaknya antara lain G.Kukusan (+1639m), G.Papak (+1459m), G.Butak (+1207m), G.Penanggunan (+1653m), G.Kutungan (+1694m), G.Wedon (+662m), G.Tunggangan (+1208m), G.Pusungsoruk (+1564m), dan G.Pulosari (+145m). Pola aliran sungai meranting (*dendrite*), memancar, sejajar, dan bersifat sementara atau tetap. Sungainya bertebing terjal, berlembah agak lebar hingga sempit, di bagian hulu terdapat beberapa jeram atau air terjun. Pegunungan ini sebagian besar masih tertutup oleh hutan tropika, dan berkemiringan lereng antara 30° dan 60°, serta ditempati oleh batuan piroklastika dan epiklastika. Sungai utamanya antara lain S.Kromong, S.Brantas, S.Biru, S.Banyugede dan S.Pikatan.

Pebukitan, sebagian menggelombang, dan merupakan daerah bukit, punggung atau pematang, berketinggian antara 25m dan 600m di atas muka laut dan menempati bagian utara lembar. Puncaknya yang menonjol antara lain : G.Baung (+501m), G.Tinggi (+223m), G.Pule (+148m) dan G.Gajahmungkur (+588m). Sungainya berpola aliran sejajar, meranting dan bergaris lurus (*rectiliner*), bersifat tetap, sementara dan berkala, berlembah cukup lebar, dengan tebing agak curam hingga landai. Sungai utamanya antara lain S.Gembolo, S.Graya, S.Rabano, S.Welagh, S.Asamjajar dan S.Jalatunda. Daerah ini sebagian merupakan lahan pertanian, perkebunan dan sebagian kecil masih hutan dan ditempati oleh batuan klastika, epiklastika dan piroklastika.

Dataran tinggi terkenal sebagai “Dataran Malang” menempati daerah sekitar kota Malang, dan meluas ke arah selatan pada lembar Turen, dicirikan oleh dataran hampir rata dengan tonjolan atau bukit rendah dan diapit oleh deretan pegunungan, yaitu pegunungan Arjuno-Kutungan di sebelah barat dan pegunungan Tengger-Semeru di sebelah timur. Ketinggiannya terletak antara 4m dan 600m di atas muka laut. Tonjolan atau bukitnya diantaranya, G.Bret(+601m), G.Betung(+585m) dan G.Macan. sungainya berpola aliran memancar, sejajar dan meranting, bersifat sementara dan berkala. Sungai utamanya S.Brantas, S.Yilu, S.Bango dan S.Pakel. Dataran

ini ditempati oleh batuan epiklastika, terutama tuf, dan merupakan daerah lahan pertanian, perkebunan dan pemukiman.

Dataran pasir, menempati dasar Kawah Tengger yang berbentuk seperti tapal kuda dan mengelilingi kelompok G.Bromo, berketinggian antara 2000m dan 2100m di atas muka laut. Kawah Tengger berukuran 9x7km. Sungainya berpola aliran memancar atau sejajar, anomalous dan masuk dalam tanah (*swallow hole*). Dataran pasir ini ditempati oleh abu sampai bom gunungapi, sebagian ditumbuhi rerumputan atau perduan, dan terkenal dengan nama “lautan pasir” atau “segara Wedhi”. Bunga Edelweiss dan Anggrek banyak dijumpai di pegunungan Tengger-Semeru, G.Bromo dan Dataran Pasir.

Dataran rendah menempati daerah bagian utara lembar dan di sekitar pantai utara. Dataran ini berketinggian antara 0m dan 25m di atas muka laut, dan ditempati oleh endapan alluvium yang luas. Sungainya berpola aliran semi sejajar, teranyam (*braided*), berkelok putus (anastomotic) dan cakar ayam, dan bersifat tetap, sementara dan berkala. Sungai utamanya, antara lain S.Porong, S.Dalang, S.Rabano, S.Rejasa. Dataran ini sebagian besar telah merupakan lahan pertanian, perkebunan dan pertambangan (Santosa dan Suwarti,1992).

2.3. Tinjauan Geologi

Di lembar Malang (Santosa dan Suwarti,1992) tersingkap batuan klastika, epiklastika, piroklastika dan aluvium, yang berumur dari Plistosen awal hingga Resen. Pada lajur Kendeng tersingkap formasi Kabuh (Qpk), formasi Jombang (Qpj), dan Aluvium (Qa).

Formasi Kabuh (Qpk), diperkirakan berumur Plistosen Awal-Plistosen Tengah, merupakan sedimen epiklastika bersisipan konglomerat dan berfosil foram. Formasi ini terendapkan dalam lingkungan laut hingga darat.

Formasi Jombang (Qpj) diperkirakan berumur Plistosen Tengah, juga merupakan sedimen epiklastika dengan sisipan batugamping. Formasi ini terendapkan pada lingkungan darat hingga litoral dan menindih tak selaras formasi Kabuh.

Pada Lajur Solo-Gunungapi Kuartar tersingkap batuan epiklastika dan piroklastika yang terbagi atas Batuan Gunungapi Anjasmara Tua, Batuan Gunungapi Kuartar Bawah, Batuan Gunungapi Kuartar Tengah, Formasi Welang, Tuf Malang. Batuan

Gunungapi Arjuno-Welirang dan Batuan Gunungapi Tengger. Batuan Gunungapi Kuarter Atas, Tuf Rabano, Batuan Gunungapi Bromo, Pasir Gunung api Tengger dan endapan rombakan Cemaratiga, serta endapan Teras.

Batuan Gunungapi Anjasmara Tua (Qpat), merupakan endapan piroklastika yang tertua di lembar Malang, diperkirakan berumur Plistosen Awal hingga Tengah, umumnya sudah pejal dan termampatkan, bersusunan andesit hingga basal, dan sebagian berubah. Satuan ini tersingkap sempit di bagian barat Lembar.

Batuan Gunungapi Kuarter Bawah terdiri dari Batuan Gunungapi Gendis (Qpg). Batuan Gunungapi Jembangan (Qpvj) dan Batuan Gunungapi Anjasmara Muda (Qpva); merupakan endapan piroklastika bersusunan andesit piroksen dan basalt olivine, umumnya agak padu dan mampat, yang diperkirakan berumur Plistosen Tengah.

Batuan Gunungapi Kuarter Tengah terdiri dari Batuan Gunungapi Kawi-Butak (Qpvkb), Batuan Gunungapi Ringgit (Qpvr), Batuan Gunungapi Tengger Tua (Qpvt) dan Batuan Gunungapi Buring (Qpvb), merupakan endapan piroklastika bersifat menengah hingga agak basa.; bersusunan andesit, basalt dan batuan porfiri, sebagian telah berubah dan mengalami pemampatan yang cukup kuat, dan umurnya diperkirakan berumur Plistosen Tengah sampai Plistosen Akhir bagian awal.

Formasi Welang (Qpw) diduga berumur Plistosen Akhir tersusun dari bahan-bahan Batuan Gunungapi Kuarter Bawah yang diendapkan pada lingkungan darat dan tersebar berpencar-pencar.

Tuf Malang (Qvtm) merupakan endapan epiklastika yang bahannya berasal dari Batuan Gunungapi Kuarter Bawah di sekitarnya, dan merupakan runtunan dari berbagai tuf, umumnya diperkirakan Plistosen Holosen.

Batuan Gunungapi Arjuno-Welirang (Qvaw) dan Batuan Gunungapi Tengger (Qvt) diduga berumur Plistosen Akhir dan tersusun dari breksi, tuf, lava, aglomerat dan lahar.

Khusus untuk Batuan Gunungapi Arjuno Welirang (Qvaw) tersusun atas breksi gunungapi, lava, breksi tufan dan tuf. Breksi gunungapi, coklat-kuning keruh: bersifat menengah-basa, berbutir pasir kasar-bom, menyudut-membundar tanggung, berkomponen sebagian besar andesit, basalt, batuapung, obsidian, mineral terang atau mafik dan kaca gunungapi dengan massa dasar tuf pasirank

sedikit mampat, kurang padu, kemas terbuka, terpilah buruk, tebalnya puluhan meter.

Lava, kelabu, hitam, coklat kemerahan dan kehijauan; bersusunan andesit-basalt; umumnya berkomposisi feldspar, piroksen, mineral terang, sedikit mineral mafik atau bijih, dan hornblende; setempat porfiri, bervesikuler pada permukaannya membentuk corak seperti kerak roti; terkekar, berstruktur aliran atau seperti sisipan melidah dalam breksik tebalnya puluhan meter.

Breksi tufan, kuning keruh, coklat, kelabu dan kemerahan; bersifat menengah, kurang mampat, mudah terlepas, sedikit repih; berbutir pasir kasar-bom, menyudut tanggung, komponen yang berukuran bom tersebar tak meratak berkomponen andesit, basalt, obsidian, batuapung, porfiri, kaca gunungapi dan mineral hitam, bermassa dasar tuf pasiran; berstruktur perlapisan bersusun, aliran dan setempat silang siur, tebal lapisan antara puluhan sentimeter dan puluhan meter.

Tuf, putih keruh-coklat-kelabu mudak berbutir pasir kasar hingga halus, sedikit mampat, setempat terdapat pecahan batuan berukuran lapili yang tersebar tak merata berkomponen banyak mineral terang, sedikit batu apung, dan kaca atau abu gunungapi; tebal lapisan puluhan sentimeter.

Tuf Rabano (Qvtr) sebagai endapan epiklastika yang bahannya berasal dari Gunungapi Kuarter di sekitarnya, merupakan runtunan tuf aneka ragam, dan berumur Plistosen Holosen.

Batuan Gunungapi Kuarter Atas terdiri dari Batuan Gunungapi Penanggungan (Qvn) dan Batuan Gunungapi Panderman (Qvp). Merupakan endapan piroklastikaparasit pada lereng G.Welirang dan G.Kawi, umumnya bersusunan andesit, dan umurnya diperkirakan Plistosen Holosen.

Batuan Gunungapi Bromo (Qvb), merupakan hasil endapan gunungapi yang masih giat, bersusunan andesit dan sebagian abu atau kaca gunungapi, dan umurnya diperkirakan Holosen.

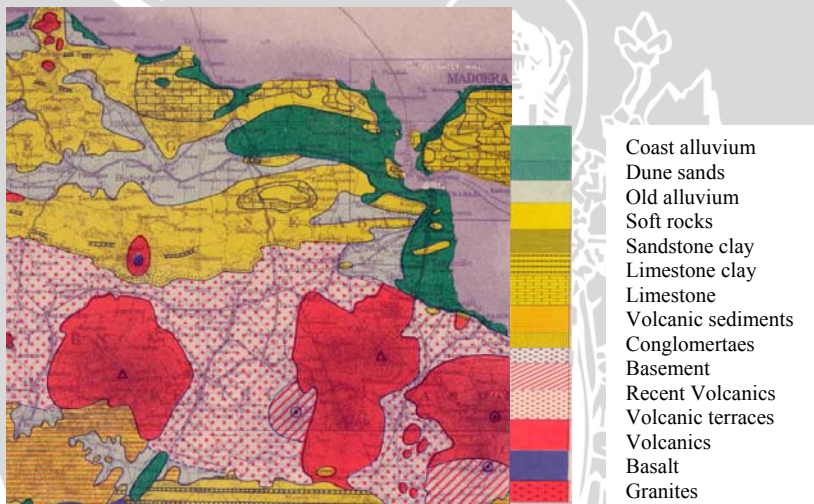
Endapan rombakan Cemaratiga (Qtt), merupakan endapan hasil rombakan atau longsoran batuan gunungapi pada lereng G.Tengger sebelah timur, terutama terdiri dari runtunan batuan gunungapi dan lahar, umurnya diperkirakan Holosen dan diduga masih berlangsung hingga sekarang.

Pasir Gunungapi Tengger (Qvs) merupakan hasil; endapan piroklastika dalam kawah Tengger yang berumur Holosen.

Sebenarnya terdapat di sekitar kelompok G.Bromo dan berbentuk seperti tapal kuda.

Pembagian dan penarikan batas antar setiap batuan gunungapi yang tersingkap pada daerah lembar Malang, sebagian besar dihasilkan dari interpretasi indera jauh : Landsat, SLAR dan potret udara.

Endapan Teras (Qt), merupakan endapan klastika yang bahannya bersal dari batuan gunungapi yang lebih tua. Terutama terendapkan pada lembah sungai; umurnya diperkirakan Holosen hingga Resen, dan tersebar tidak luas. Aluvium (Qa), merupakan endapan sungai dan endapan pantai. Tersebar cukup luas di sepanjang daerah aliran sungai dan dataran pantai, umurnya Resen.



Gambar 2.1. Peta Geologi daerah penelitian (dari eusols.jrc.it)

2.4. Landasan Teori

Bumi merupakan benda magnet raksasa, letak kutub utara dan selatan magnet bumi tidak berhimpit dengan kutub geografis. Pengaruh kutub utara dan selatan magnet bumi dipisahkan oleh katulistiwa. Intensitas magnet akan maksimum di kutub dan minimum di katulistiwa.

2.4.1. Teori Dasar Magnetik

Menurut ilmu fisika, gaya magnet (tolak-menolak dan tarik-menarik) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\overline{F} = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2 \cdot \mu} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : $\overline{F}$ = Gaya yang bekerja diantara dua magnet dengan kuat medan magnet m_1 dan m_2 .

μ = Permeabilitas medium yang melingkup kedua magnet.

r = Jarak kedua magnet.

Tidak seperti kasus pada kasus gravitasi, meski persamaanya mirip, gaya antara kedua kutub magnet ini bisa bernilai positif (+) yang berarti tolak-menolak dan negatif (-) yang berarti tarik-menarik (Blakely, 1995).

2.4.2. Medan Magnet Dipol Dan Monopol

Apabila suatu benda termagnetisasi secara uniform karena induksi medan magnet bumi, maka arah medan magnet tersebut kurang lebih sama dengan arah medan magnet bumi.

Benda magnet akan selalu terdiri dari dua kutub. Kutub-kutub tersebut mempunyai sifat selalu berpasangan, yaitu selalu dalam wujud dwi kutub atau dipole. Intensitas medannya sebanding dengan kerapatan fluks garis.

Pada kutub-kutub magnet mempunyai intensitas yang lebih besar yang dibandingkan dengan bagian tengah. Dalam medan magnet utama bumi pada daerah equator intensitas medannya sekitar 30.000 gamma dan 60.000 gamma pada daerah kutubnya. Arah medan magnet pada tepi dipole adalah sejajar dengan arah medan pada pusatnya, tetapi berlawanan arah (Breiner, 1973).

2.4.3. Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet total dapat ditentukan dari besar intensitas medan magnet total yang terukur di permukaan bumi

dikurangi dengan pengaruh medan luar bumi (*diurnal*) dan besar intensitas medan magnet utama bumi (IGRF).

$$H = H_0 - H_{Diurnal} - H_{IGRF} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : H = Anomali medan magnet total
 H_0 = Anomali hasil pengukuran
 $H_{Diurnal}$ = Pengaruh medan luar bumi (*diurnal*)
 H_{IGRF} = Intensitas medan magnet utama bumi

Hasil anomali medan magnet total ini masih dipengaruhi oleh topografi lingkungan dan anomali regional. Untuk itu perlu dilakukan koreksi terhadap pengaruh tersebut. Setelah dikoreksi akan mendapatkan anomali sisa hasil pengukuran. Anomali sisa adalah anomali akhir hasil perhitungan yang didapatkan dengan cara hasil kontinuitas ke atas yang tidak terlalu besar dikurangi dengan pengaruh regional (hasil kontinuitas yang sangat besar).

$$H_{Sisa} = H_K - H_R$$

Dimana : H_{Sisa} = Anomali sisa
 H_K = Anomali hasil kontinuitas tidak terlalu besar
 H_R = Anomali hasil kontinuitas yang sangat besar

2.4.4. Medan Magnet Utama Bumi

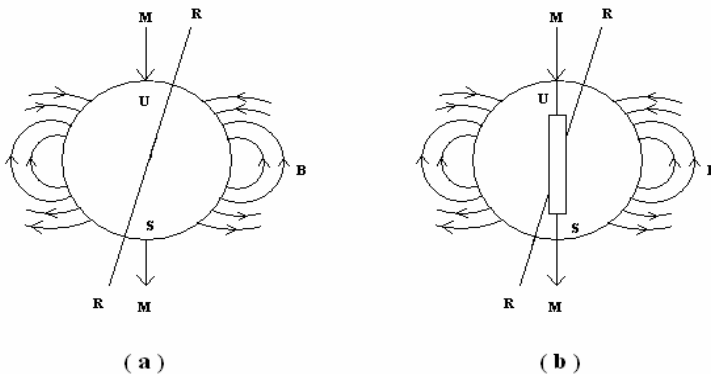
Penelitian mengenai sumber medan magnet utama bumi yaitu sumber dari luar dan dari dalam bumi dilakukan oleh Gauss pada tahun 1838 yang menyimpulkan bahwa medan magnet utama bumi yang terukur dipermukaan bumi hampir seluruhnya disebabkan oleh sumber dari dalam bumi. Sedangkan sumber dari luar bumi pengaruhnya sangat kecil (Blakely, 1995).

Beberapa teori klasik menyatakan bahwa medan magnet bumi timbul sebagai akibat adanya aliran listrik pada kerak bumi. Dalam perputaran bumi secara keseluruhan dapat dimisalkan sebagai

layaknya sebuah dinamo raksasa. Suatu medan magnet timbul sebagai hasil kombinasi gerak dan aliran listrik.

Didalam inti bumi ada suatu aksi dinamo oleh dirinya sendiri yang lebih dikenal dengan *self-exciting dynamo actions* yang mana teori ini dikemukakan oleh Elsasser, 1950 (Clark, 1971).

Medan magnet bumi dapat dimisalkan sebagai medan magnet batang yang besar dengan pusat medannya berada jauh dibawah permukaan bumi. Seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



MM = Sumbu Magnet Bumi
RR = Sumbu Rotasi Bumi

Gambar 2.2. Medan magnet bumi

2.4.5. Variasi Medan Magnet

Variasi Medan Magnet Besar magnet ini berubah-ubah menurut waktu yang beragam ordernya dari milidetik sampai ratusan tahun. Menurut Srijatno (1980) variasi medan magnet bumi terhadap waktu ini dikelompokkan menjadi variasi sekuler dan variasi harian (*diurnal variation*).

Variasi sekuler merupakan variasi yang ditimbulkan adanya perubahan internal bumi, dimana perubahannya sangat lambat (orde puluhan sampai ratusan tahun) untuk bisa mempengaruhi harga medan magnet.

Variasi diurnal merupakan variasi yang secara dominan ditimbulkan oleh gangguan matahari. Radiasi ultraviolet matahari

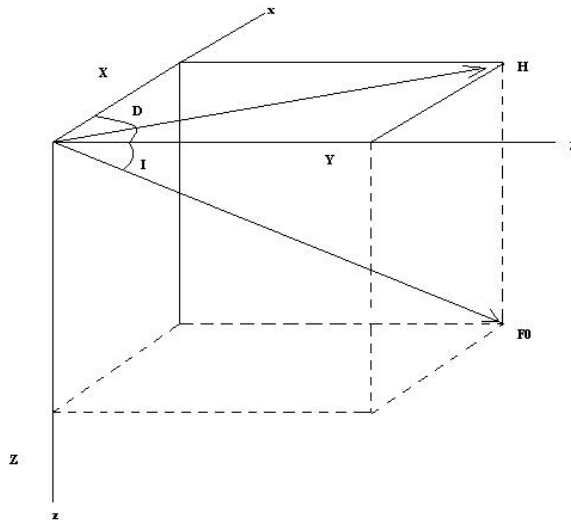
menimbulkan ionisasi lapisan ionosfer. Adanya ionisasi ini dan juga adanya elektron-elektron yang terlempar dari matahari juga akan menimbulkan fluktuasi arus sebagai sumber medan magnet. Sifat perubahan harian ini acak tetapi periodik dengan periode rata-rata sekitar panjang hari matahari (24 jam). Periode perubahan berkisar

$$10g - 30g \quad (1g(\gamma) = 1 \text{ nanoTesla} = 10^{-5} \text{ gauss})$$

Variasi yang lain adalah badai magnetik yang diakibatkan oleh aktivitas matahari, bersifat acak, berharga besar sehingga dapat mengacaukan data pengamatan (Srijatno, 1980).

2.4.6. Elemen Medan Magnet Bumi

Medan magnet bumi merupakan suatu besaran vektor, maka besaran ini dapat diuraikan menjadi komponen-komponennya. Gambar elemen medan magnet bumi ini dapat dilihat pada gambar 2.3. Setiap titik dipermukaan bumi memiliki elemen yang berbeda-beda tergantung pada letak titik tersebut.



Gambar 2.3. Elemen medan magnet bumi. $\vec{F}_0$ = Vektor medan magnet bumi, $\vec{H}$ = Vektor komponen horizontal medan magnet bumi, $\vec{X}$ = Vektor komponen ke arah utara geografis, $\vec{Y}$ = Vektor komponen ke arah timur geografis, $\vec{Z}$ = Vektor komponen vertikal medan magnet bumi (arah positif ke bawah), I = Sudut inklinasi, D = Sudut deklinasi.

Dari gambar terlihat hubungan sebagai berikut :

$$F_0^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

$$H = F_0 \cos I$$

$$Z = F_0 \sin I$$

$$X = H \cos D$$

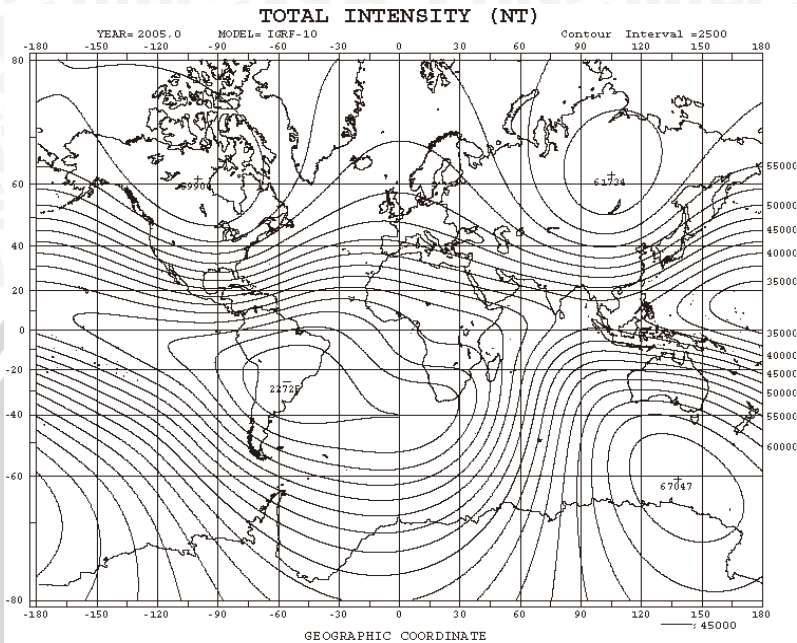
$$\tan I = \frac{Z}{H}$$

$$Y = H \sin D$$

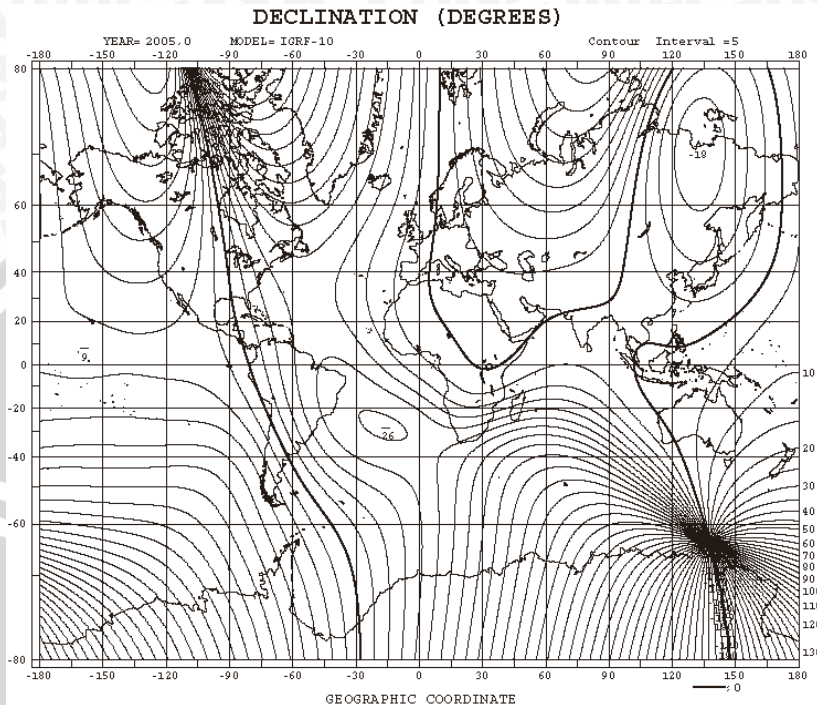
$$\tan D = \frac{Y}{X}$$

Magneto F_0 , sudut inklinasi yaitu penyimpangan terhadap bidang horizontal, sudut deklinasi yaitu penyimpangan dari kutub geografis, secara lengkap mendefinisikan medan magnet utama bumi (Dobrin, 1981).

Peta kontur yang menggambarkan variasi elemen-elemen medan geomagnetik tersebut dinamakan peta isomagnetik. Peta isodinamik menggambarkan kontur intensitas medan yang sama, misal intensitas total, intensitas vertikal, atau intensitas horizontal. Peta isogonik menunjukan kontur deklinasi. Contoh peta isodinamik dan isogonik dapat dilihat pada gambar 2.4 dan 2.5.



Gambar 2.4. Peta Isodinamik. Kontur intensitas total dengan interval 2500nT (dari swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp).



Gambar 2.5. Peta Isogonik. Kontur deklinasi dengan interval 5^0 (dari swdcd.b.kugi.kyoto-u.ac.jp).

2.4.7. Medan Magnet Luar

Medan ini merupakan sebagian kecil dari medan utama, yaitu hanya 1% dari medan magnet bumi dan berasal dari luar bumi. Medan ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir pada lapisan terionisasi yang terletak diatas atmosfer. Perbedaan waktu untuk medan ini lebih cepat daripada medan utama, beberapa efeknya adalah sebagai berikut:

- Perputarannya berdurasi 11 tahun dan berkorelasi dengan aktivitas matahari.
- Variasi diurnal matahari mempunyai periode 24 jam dan mempunyai range 30 nT dan berubah menurut garis lintang dan musim yang kemungkinan dipengaruhi oleh aksi matahari pada lapisan ionosfer.

- c. Mempunyai periode 25 jam (variasi diurnal bulan) dengan range kira-kira 2 nT, yang diasosiasikan dengan interaksi bulan-ionosfer.
- d. Acak yaitu adanya badai magnetik yang merupakan gangguan transient dengan amplitudo sebesar 1000 nT pada semua garis lintang. Pada puncak badai magnetik, praktis eksplorasi dengan metode magnetik tidak berguna (Telford, 1982).

2.4.8. Suseptibilitas Batuan dan Mineral

Jika suatu benda berada dalam medan magnet, maka akan timbul medan magnet baru dalam benda (induksi) yang menghasilkan anomali medan magnet. Sehingga dengan adanya batuan yang didalamnya mengandung mineral magnetik, medan magnet normal bumi akan mengalami gangguan yang disebabkan oleh anomali medan magnet sebagai hasil magnetisasi batuan (Telford, 1976).

Cara magnet dalam eksplorasi adalah mengukur secara teliti perubahan besar medan magnet yang dihasilkan oleh variasi intensitas kemagnetan formasi batuan. Kemagnetan dalam batuan sebagian disebabkan imbasan dari suatu gaya magnet yang berasosiasi dengan medan magnet bumi dan sebagian dari kemagnetan sisa. Derajat polarisasi atau kemampuan benda untuk termagnetisasi ditentukan oleh kerentanan (suseptibilitas) magnetnya. Respon magnetik dari batuan pokok, secara umum adalah sebagai berikut:

- a. Batuan Sedimen. Karena sebagian besar batuan sedimen adalah magnetik yang lemah, maka anomali magnetik yang diperoleh dari survei magnet sebagian besar disebabkan oleh lapisan batuan beku (*igneous*) basement. Besarnya ketebalan dari batuan sedimen pada daerah luas yang disurvei dapat terlihat jelas pada kontur magnetik. Biasanya mempunyai jangkauan suseptibilitas $(0 - 4000) \times 10^{-6}$ emu dengan rata-rata $(10 - 75) \times 10^{-6}$ emu, contoh : *dolomite*, *limestones*, *sandstones*, dan *shales*.
- b. Batuan Beku. Batuan beku mempunyai sifat magnetik yang bervariasi. Biasanya jenis *acidic* (asam) cenderung

bermagnetik lebih lemah dan pada jenis batuan yang lebih bisa cenderung lebih kuat magnetiknya, karena kandungan mineral magnetik yang lebih tinggi. Biasanya mempunyai jangkauan suseptibilitas $(0 - 9710) \times 10^{-6}$ emu dengan rata-rata $(200 - 1350) \times 10^{-6}$ emu, contoh : *granite*, *rhyolite*, *basalt*, dan *andesit*.

- c. Batuan Metamorf. Batuan metamorf merupakan ubahan dari batuan sedimen atau batuan beku akibat perubahan suhu dan atau tekanan yang cukup besar, sehingga batuan metamorf selalu mempunyai sifat magnet yang bervariasi (Robinson, 1988).

Sifat-sifat magnetik mineral pembentuk batuan dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu:

- a. Diamagnetisme, yaitu semua material yang mempunyai harga suseptibilitas (k) negatif dan kecil. Contoh : grafit, gypsum, marmer, kwarsa, garam, bismuth, dan lain-lain.
- b. Paramagnetisme, yaitu sama material yang mempunyai harga suseptibilitas (k) positif dan kecil. Contoh : Olivine, garnet, biotit, amfibolite, dan lain-lain.
- c. Ferromagnetisme, yaitu material-material yang harga suseptibilitasnya (k) besar sekali sampai 10^6 kali lebih besar daripada material paramagnetisme. Contoh : Jenis-jenis besi, kobalt, nikel, dan lain-lain (Anonymous, 1992).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

3.1.1. Waktu

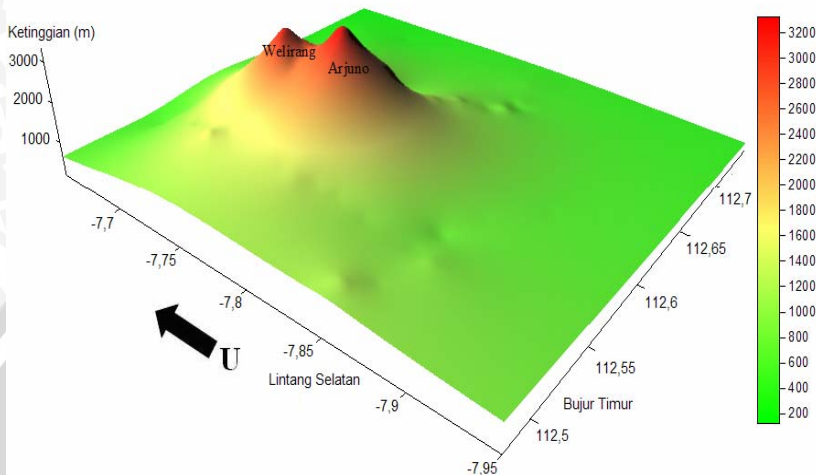
Pengambilan data berlangsung pada waktu 11 hari, yaitu mulai tanggal 1 September 2004 sampai dengan 11 September 2004. Pengukuran dilakukan dengan dua tahap, pertama dilakukan dengan menggunakan kendaraan dan yang kedua dengan pendakian ke puncak G. Arjuno dan G. Welirang. Tahap pertama memakan waktu selama empat hari, yaitu tanggal 1-4 September 2004, sedangkan tahap kedua memakan waktu selama lima hari, yaitu G. Arjuno dua hari, tanggal 6-7 September 2004, G. Welirang selama tiga hari yaitu tanggal 9-11 September 2004.

3.1.2. Tempat

Tempat yang akan dijadikan obyek penelitian adalah Kompleks gunungapi Arjuno-Welirang. Pada lokasi yang terletak antara koordinat geografi $112,47816^{\circ}\text{BT}$ hingga $112,74265^{\circ}\text{BT}$ dan $7,65^{\circ}\text{LS}$ hingga $7,90949^{\circ}\text{LS}$ atau meliputi luasan $29,721\text{km} \times 29,1573\text{km} = 866,584\text{km}^2$, dimana kompleks Arjuno-Welirang terletak ditengah luasan tersebut. Sedangkan untuk pekerjaan pengolahan data dan interpretasi dikerjakan di rumah.



Gambar 3.1. Peta permukaan Pulau Jawa



Gambar 3.2. Kontur ketinggian daerah penelitian secara tiga dimensi

3.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk akuisisi data dan pengolahan data adalah sebagai berikut:

- Proton Precision Magnetometer (PPM) (*ketelitian 0,01nT*).
- GPS untuk pengukuran posisi lintang, bujur, dan ketinggian (posisi 3D).
- Pengukur waktu (jam).
- Peta-peta jalur transportasi, rute pendakian, geologi, dan administrasi.
- Beberapa Perangkat lunak pendukung yaitu *Surver version 8.0*, *Mag2dc version 1.59*, *Fortran Watfor-77 version 3.0*.

3.3. Akuisisi Data

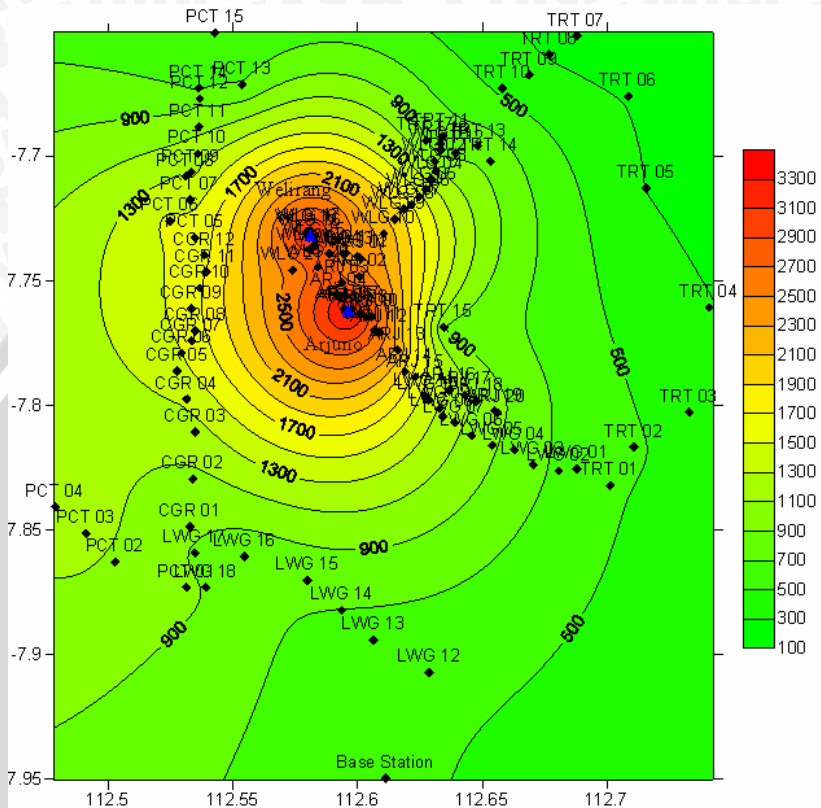
Akuisisi data merupakan tahap yang sangat penting. Kesalahan pada tahap ini, akan mengakibatkan seluruh pekerjaan selanjutnya menjadi tidak berguna. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

- a. Magnetometer sangat sensitif terhadap sumber medan listrik maupun medan magnet, maka titik ukur harus menghindari sumber-sumber medan tersebut.
- b. Untuk mendapatkan hasil interpretasi yang representatif, diusahakan agar titik-titik ukur tersebut terdistribusi secara merata pada kawasan yang akan diteliti.
- c. Jarak titik pengukuran disesuaikan dengan tujuan yang hendak dicapai.

Pengukuran dilakukan dalam *loop* tertutup, dengan artian bahwa satu siklus pengukuran dimulai dan diakhiri pada tempat yang sama. Ini dimaksudkan agar koreksi *diurnal* dapat dilakukan terhadap data hasil pengukuran.

Titik-titik pengukuran diatur kira-kira berjarak 1-2 kilometer antar titik. Lokasi yang dipilih merunut jalur-jalur yang memungkinkan untuk dapat dilewati dengan kendaraan roda 4 dan berjalan kaki. Pada tahap awal pengukuran dilakukan menggunakan kendaraan roda 4 dengan rute jalur jalan yang mengelilingi kompleks gunung Arjuno-Welirang. Area ini meliputi Tretes, Purwosari, Lawang, Singosari, Karangploso, Batu, Cangar, Pacet, dan sekitarnya. Sedangkan pada tahap berikutnya pengukuran dilakukan pada jalur pendakian, yaitu Tretes-Puncak Welirang-Cangar dan Tretes-Puncak Arjuno-Kebun Teh Lawang. Untuk tahap ini pengukuran dilakukan di sepanjang jalur pendakian. Selengkapannya tentang titik dari pengambilan data dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini:



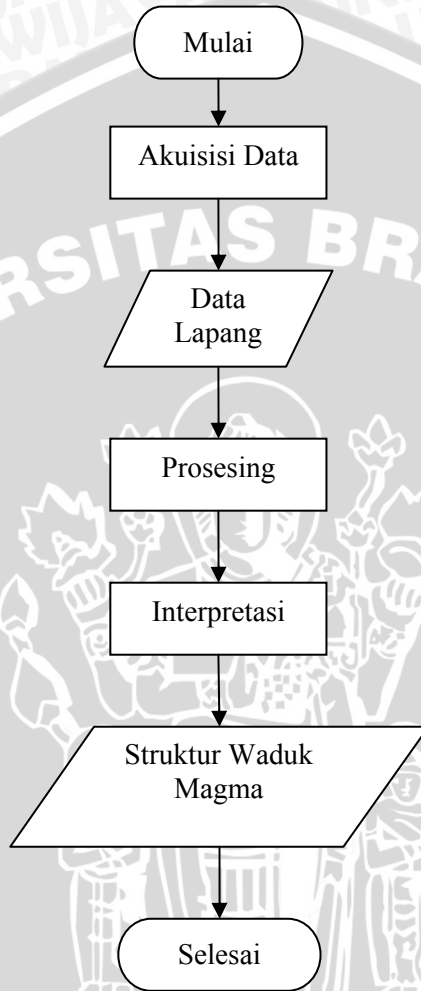


Gambar 3.3. Distribusi pos pengambilan data.
Termasuk lokasi *Base Station*-nya

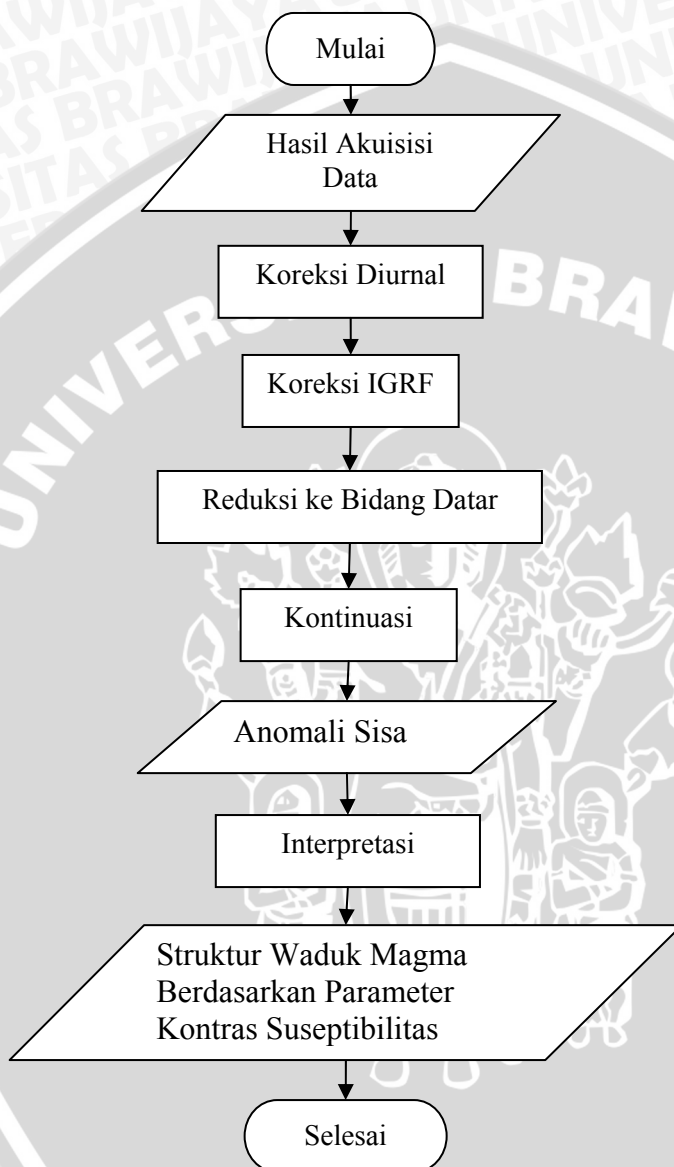
Pada gambar tersebut terdapat kode-kode dari masing-masing titik pengambilan data. Kode TRT untuk pengambilan data di daerah Tretes, kode LWG untuk pengambilan data di daerah Lawang, kode CGR untuk pengukuran di daerah Cangar, kode PCT untuk daerah pengukuran Pacet. Kemudian ARJ dan WLJ masing-masing untuk pengukuran di G. Arjuno dan G. Welirang.

3.4. Pengolahan Data dan Interpretasi

Penelitian dilakukan dengan pengambilan data nilai medan magnetik, waktu, dan posisi tiga dimensi di sekitar kompleks Arjuno-Welirang. Langkah-langkah yang diambil oleh peneliti adalah:



Gambar 3.4. Diagram alir penelitian.



Gambar 3.5 Diagram alir *prosesing* dan interpretasi data

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengolahan Data Magnetik Total

Dari tiga kali pengukuran di tiap titik, diambil rata-rata dari data yang juga dilihat perbedaan data-data tersebut (jika ada satu nilai yang beda jauh tidak diambil datanya). Setelah menghitung rata-rata maka data yang didapatkan adalah data intensitas medan magnet total di titik tersebut. Langkah berikutnya adalah menghitung koreksi diurnal, koreksi IGRF, reduksi bidang datar, dan kontinuasi ke atas. Dari hasil tersebut didapatkan anomali sisa yang akan diinterpretasikan dengan memanfaatkan perangkat lunak MAG2DC untuk mendapatkan poligon benda bentuk sembarang (Shuey dan Pasquale, 1973; Cady, 1980).

4.1.1. Koreksi Diurnal

Koreksi *diurnal* (harian) adalah merupakan penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dan efek sinar matahari dalam satu hari. Koreksi diurnal dapat diperoleh dengan menghitung variasi intensitas medan magnet total pada base station dikurangi dengan harga pengukuran awal (interpolasi linier terhadap waktu), dengan rumusan sebagai berikut :

$$H_D = \left(\frac{t_n - t_{aw}}{t_{ak} - t_{aw}} \right) (H_{ak} - H_{aw}) \dots\dots\dots (4.1)$$

dimana H menyatakan intensitas medan magnet total, t menyatakan waktu, indeks n menyatakan nomor data, indeks aw menyatakan data awal (data pertama di base station), dan indeks ak menyatakan data akhir (data akhir di base station).

4.1.2. Koreksi IGRF

Pengukuran medan magnet total pada dasarnya merupakan sumbangan dari tiga komponen dasar medan magnet, yaitu medan

utama (*main-field*), medan luar (*external-field*) dan medan anomali (*anomaly-field*). Medan utama merupakan harga rata-rata intensitas medan magnet untuk daerah pengukuran (menggunakan harga IGRF: *International Geomagnetic Reference Field*).

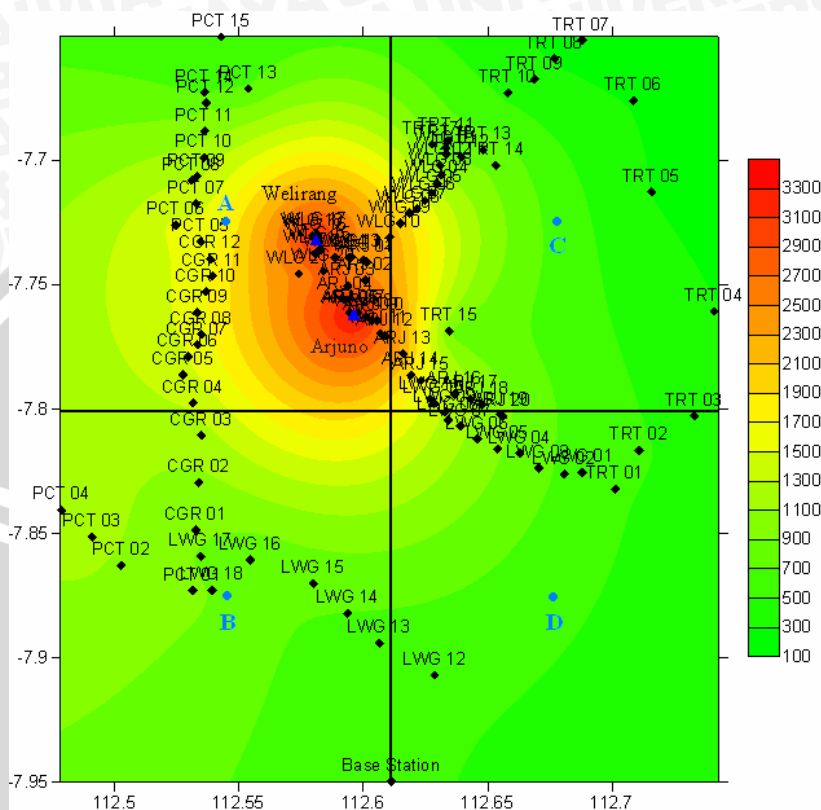
Dari ketiga komponen dasar harga intensitas medan magnet tersebut diatas dapat diperoleh hubungan sebagai berikut:

$$\Delta H = H - H_D - H_O \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana :

- ΔH : Anomali intensitas medan magnet
- H : Intensitas medan magnet terukur
- H_D : Intensitas medan magnet pengaruh luar (*diurnal*)
- H_O : Intensitas medan magnet utama bumi (IGRF).

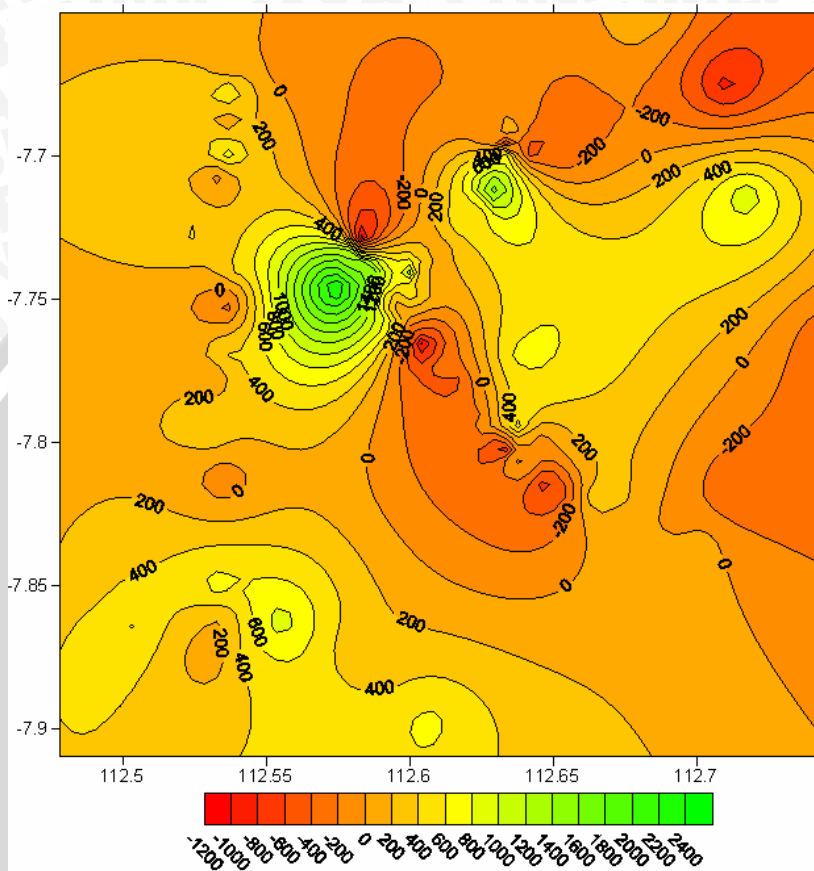
Harga matematis IGRF adalah suatu ketetapan yang dilakukan perubahan setiap lima tahun sekali. Untuk mendapatkan nilai IGRF, mula-mula daerah pengukuran dipetakan menggunakan software surver 8.0, kemudian dibagi menjadi 4 daerah (4 kwadran). Masing-masing kwadran diwakili oleh satu harga IGRF, yang letak titiknya adalah tepat ditengah-tengah masing-masing kwadran, untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.1. Kemudian langkah koreksi dilakukan sesuai dengan nilai IGRF yang ada untuk masing-masing kwadran. Sehingga dengan koreksi ini didapatkan ΔH (anomali intensitas medan magnet) yang terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1. Penentuan titik A,B,C, dan D untuk masing-masing kwadran.

Tabel 4.1. Koordinat titik acuan di masing-masing kwadran beserta intensitas totalnya.

Titik	Bujur Timur	Lintang Selatan	Ketinggian (mdpl)	Intensitas Total (nT)
A	112,544283	7,725703	2025,04	45101
B	112,544283	7,876968	771,5	45199
C	112,676528	7,725703	659,27	45116
D	112,676528	7,876968	556,67	45196

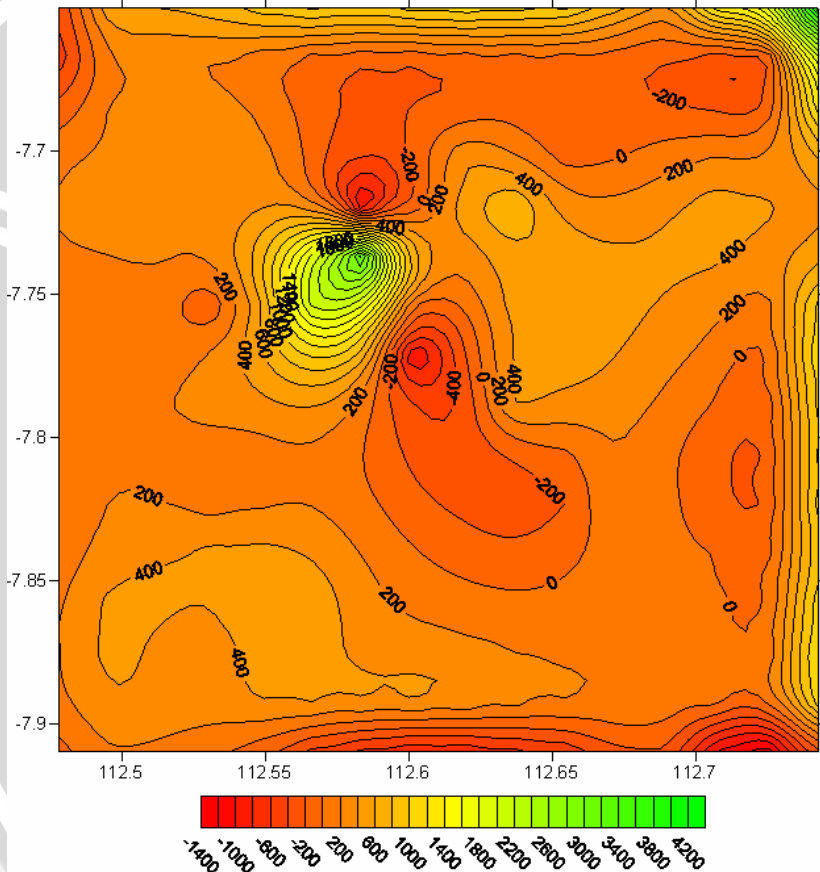


Gambar 4.2. Peta kontur anomali medan magnet total dengan interval kontur 200nT.

4.1.3. Reduksi ke Bidang Datar

Intensitas medan magnet dapat dipengaruhi oleh medan magnet yang ditimbulkan oleh pengaruh permukaan yang termagnetisasi terhadap harga medan hasil pengamatan. Untuk memperkecil pengaruh topografi ini dilakukan suatu koreksi dengan cara melakukan kotinuuasi ke atas. Untuk itu, data terlebih dahulu dibawa ke bidang datar, tepatnya ditengah-tengah topografi (untuk mempercepat proses konvergensi). Syarat ini diajukan oleh Abdelrahman et.al.(1985), dimana mereka telah membuktikan secara

empiris tentang kekonvergenan data ketika diproyeksikan ke bidang datar dengan metode ini. Dalam hal ini penulis memilih proyeksi ke ketinggian 1470 mdpl yang merupakan ketinggian rata-rata dari seluruh titik observasi. Setelah di implementasikan dalam perangkat lunak yang berbasis Fortran, maka diperoleh transformasi data magnetik terpapar pada topografi ke data magnetik di bidang datar yang terletak ditengah-tengah topografi (Z_0) seperti yang terlihat pada gambar 4.3.



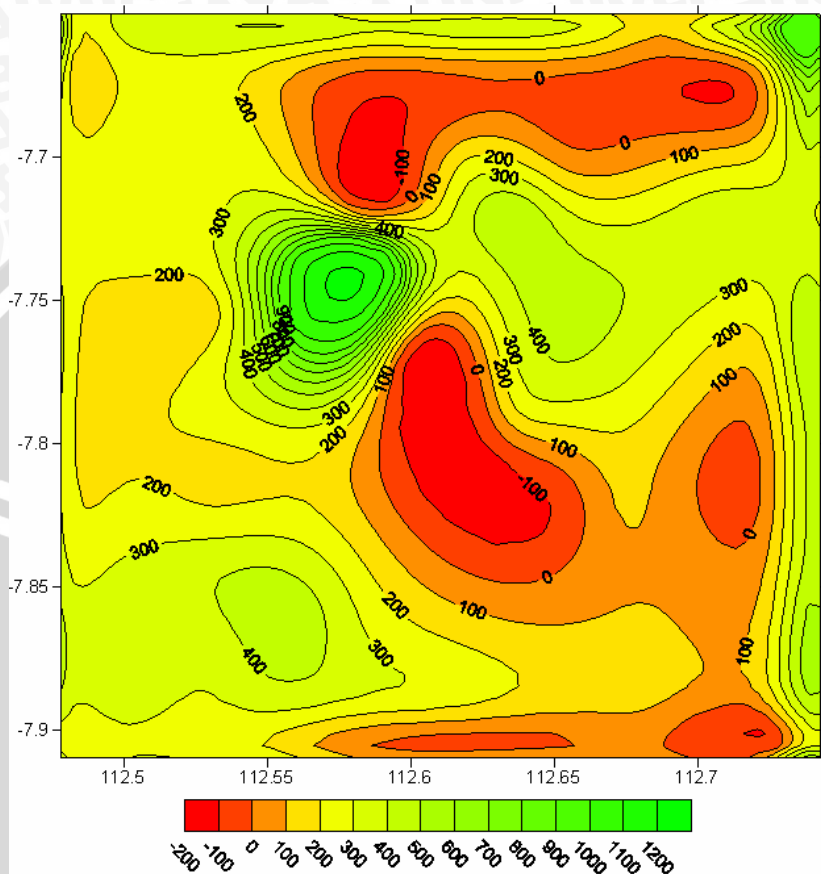
Gambar 4.3. Peta kontur anomali medan magnet total di bidang datar pada ketinggian 1470mdpl (Z_0). Interval kontur 200nT.

4.1.4. Kontinuasi ke Atas

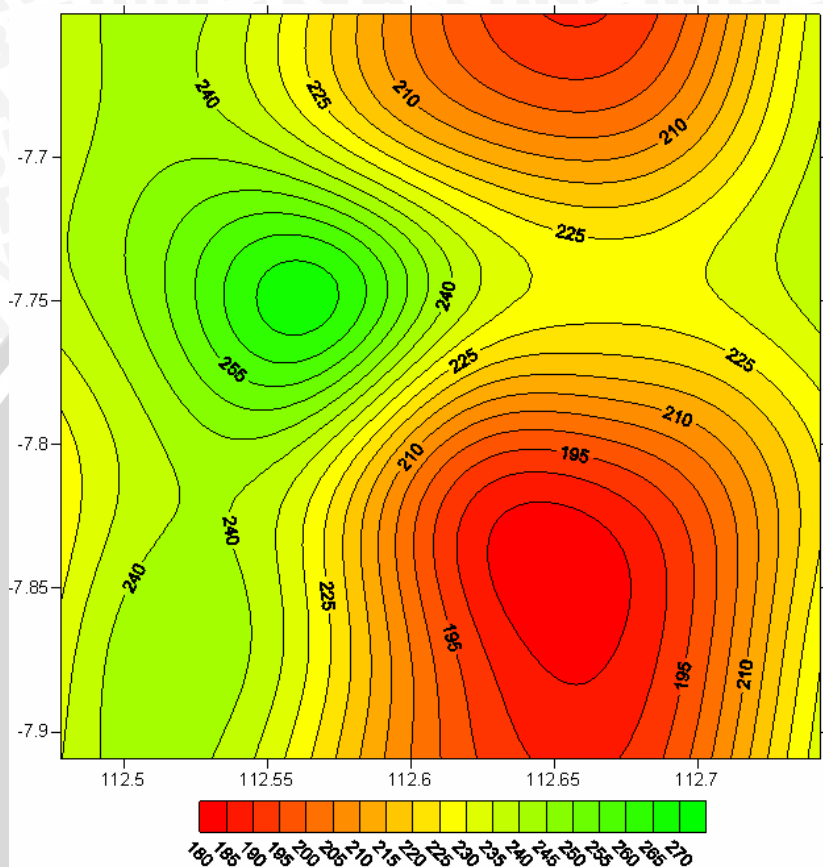
Anomali yang didapat setelah diproyeksikan ke bidang datar tersebut masih merupakan gabungan antara anomali lokal dan anomali regional. Interpretasi semestinya hanya dilakukan terhadap anomali lokal saja. Karenanya anomali lokal harus dipisahkan dari anomali regional.

Dengan melakukan kontinuasi ke atas maka akan dapat diperoleh dua hasil sekaligus, yaitu mereduksi pengaruh topografi untuk kontinuasi yang tidak terlalu besar (1471 mdpl) seperti yang terlihat pada gambar 4.4, dan menampilkan efek regional dari daerah pengukuran untuk kontinuasi yang besar (15000 mdpl) seperti yang dapat kita lihat pada gambar 4.5.

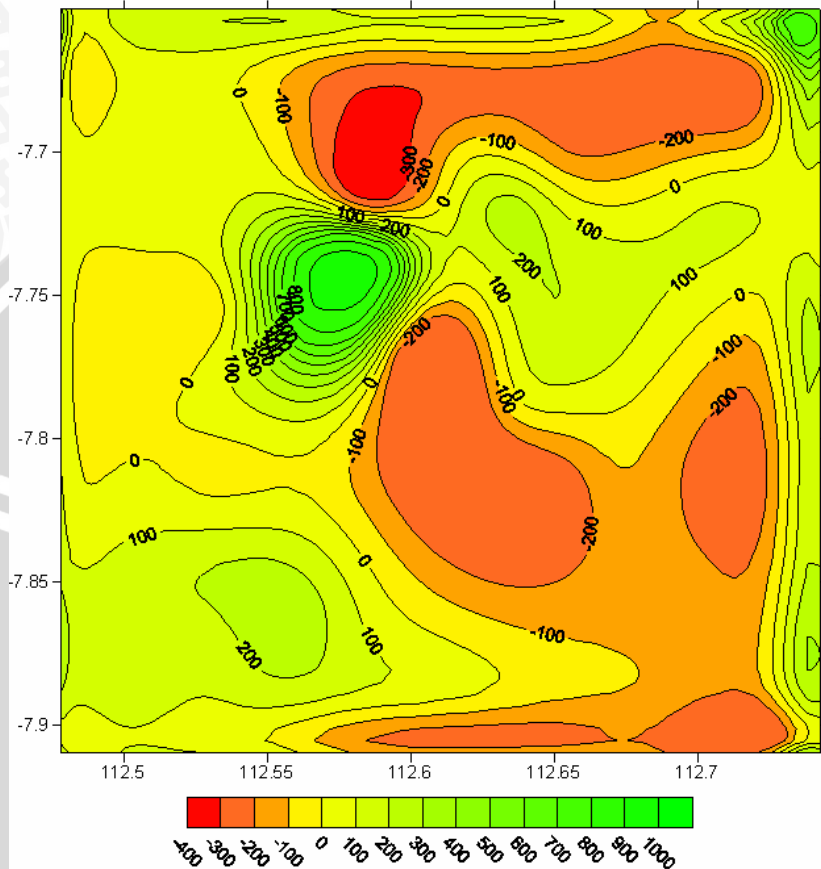
Sampai dengan langkah ini telah diperoleh data medan magnet total yang sudah terbebas dari pengaruh Diurnal, IGRF, topografi, dan medan regional, sehingga hasil yang tersisa hanya akibat benda penyebab anomali saja. Medan magnet sisa ini dapat diperoleh dari pengurangan anomali hasil kontinuasi ke atas 15000 mdpl yang terdapat pada gambar 4.5 dengan anomali hasil kontinuasi 1471 mdpl yang terdapat pada gambar 4.4. Akhirnya didapatkan hasil akhir kontur medan magnet total akibat pengaruh benda anomali saja atau anomali sisa seperti yang terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.4. Kontur anomali medan magnet total setelah kontinuasi pada ketinggian 1471m terhadap ketinggian reduksi bidang datar. Interval 100nT



Gambar 4.5. Kontur anomali medan magnet total regional setempat hasil kontinuasi pada ketinggian 15000m. Interval kontur 5nT.



Gambar 4.6. Kontur anomali sisa medan magnet total Arjuno-Welirang. Interval kontur 100nT.

4.2. Interpretasi

Interpretasi secara kuantitatif data anomali sisa medan magnet total dilakukan dengan menggunakan Manik Talwani $2\frac{1}{2}$ D Metode poligon bentuk sembarang dengan menggunakan perangkat lunak MAG2DC.

Berdasarkan kontur letak anomali yang diduga adalah berada sekitar gunungapi Welirang dan cenderung ke arah utara, hal ini ditandai dengan adanya nilai negatif. Secara geologi lokasi kantong Magma merupakan nilai anomali terbesar yang terdekat pada kawah

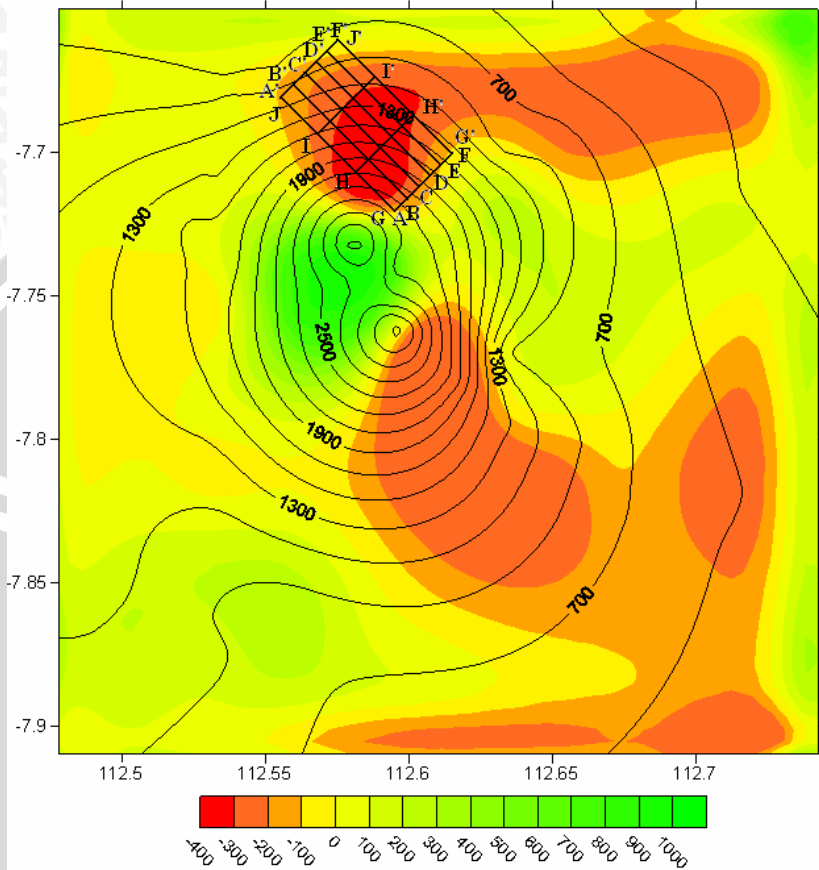
gunungapi. Oleh karena itu diambil garis-garis penampang di sekitar gunungapi Welirang tersebut.

Selanjutnya interpretasi dilakukan dengan asumsi bahwa benda yang menyebabkan anomali terletak di bawah permukaan bumi yang mempunyai *suseptibilitas*(k) berbeda dari batuan sekitarnya.

Parameter utama dalam interpretasi dibedakan menjadi dua yaitu parameter tetap dan parameter berubah. Parameter tetap yaitu deklinasi, inklinasi, dan intensitas (IGRF) dari daerah gunungapi Arjuno-Welirang. Karena posisi anomali terletak pada kwadran I maka penentuan nilai IGRF tersebut diambil pada titik A (yang ada pada gambar 4.1). Nilai inklinasi $-33,468^{\circ}$, deklinasi $1,424^{\circ}$, dan intensitas total adalah 45101nT.

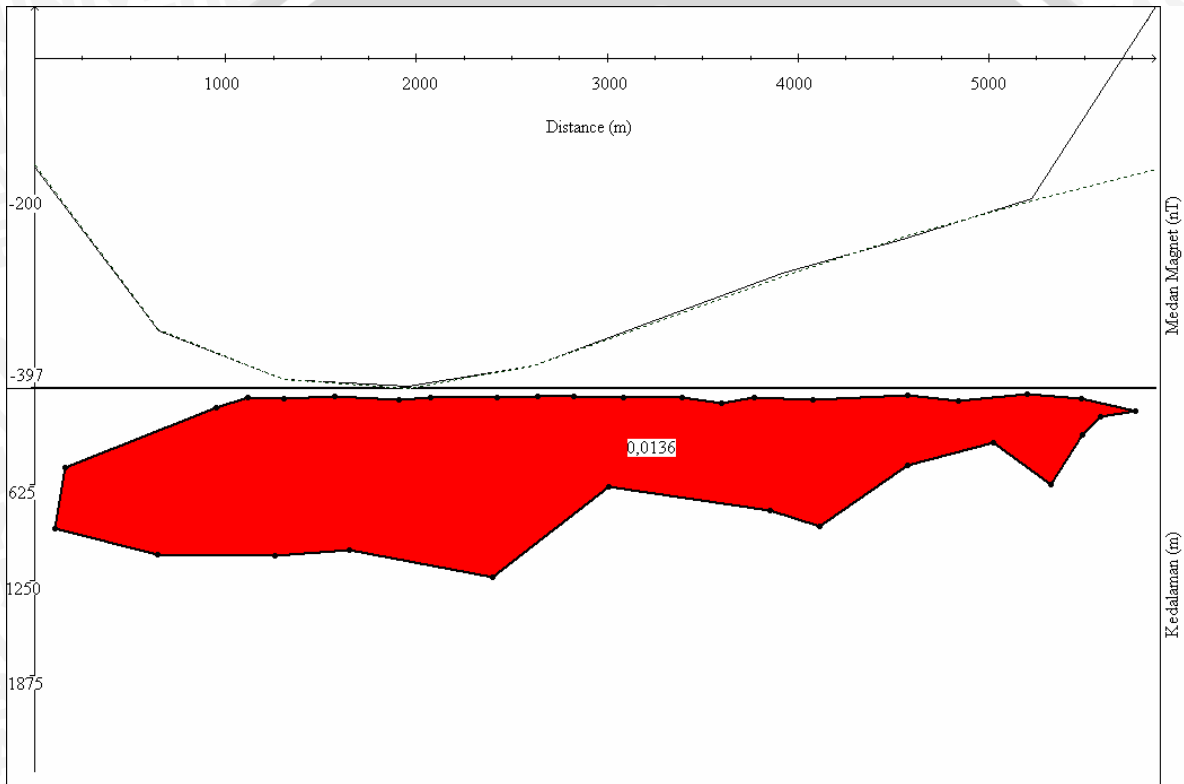
Parameter bentuk geometri dari posisi titik-titik poligon merupakan parameter yang berubah sehingga diperoleh kurva penampang anomali model yang sesuai dengan penampang anomali observasi dari garis penampang dengan ralat yang paling kecil.

Model dibuat berdasarkan kontur anomali lokal dengan mengambil dua arah lintasan utama yaitu tenggara ke barat laut dan barat daya ke timur laut. Kedua *cross section* tersebut melintasi kontur tertutup anomali negatif (sampai -390 nT) yang terletak di utara puncak Gunungapi Welirang. Lintasan tenggara ke barat laut diwakili oleh garis AA',BB',CC',DD',EE', dan FF', sedangkan lintasan barat daya ke timur laut diwakili oleh garis GG',HH',II' dan JJ', seperti dapat dilihat pada gambar 4.7.

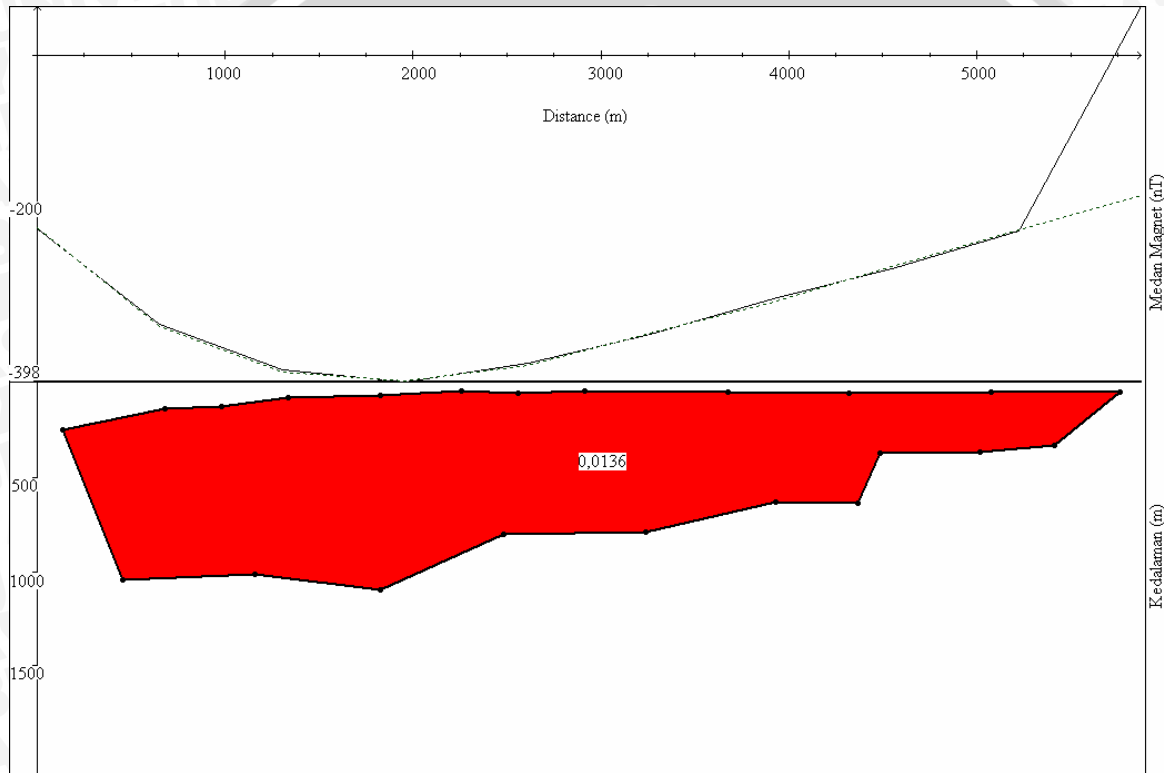


Gambar 4.7. Kontur anomali sisa Arjuno-Welirang dan ketinggian serta pengambilan garis-garis penampang untuk interpretasi.

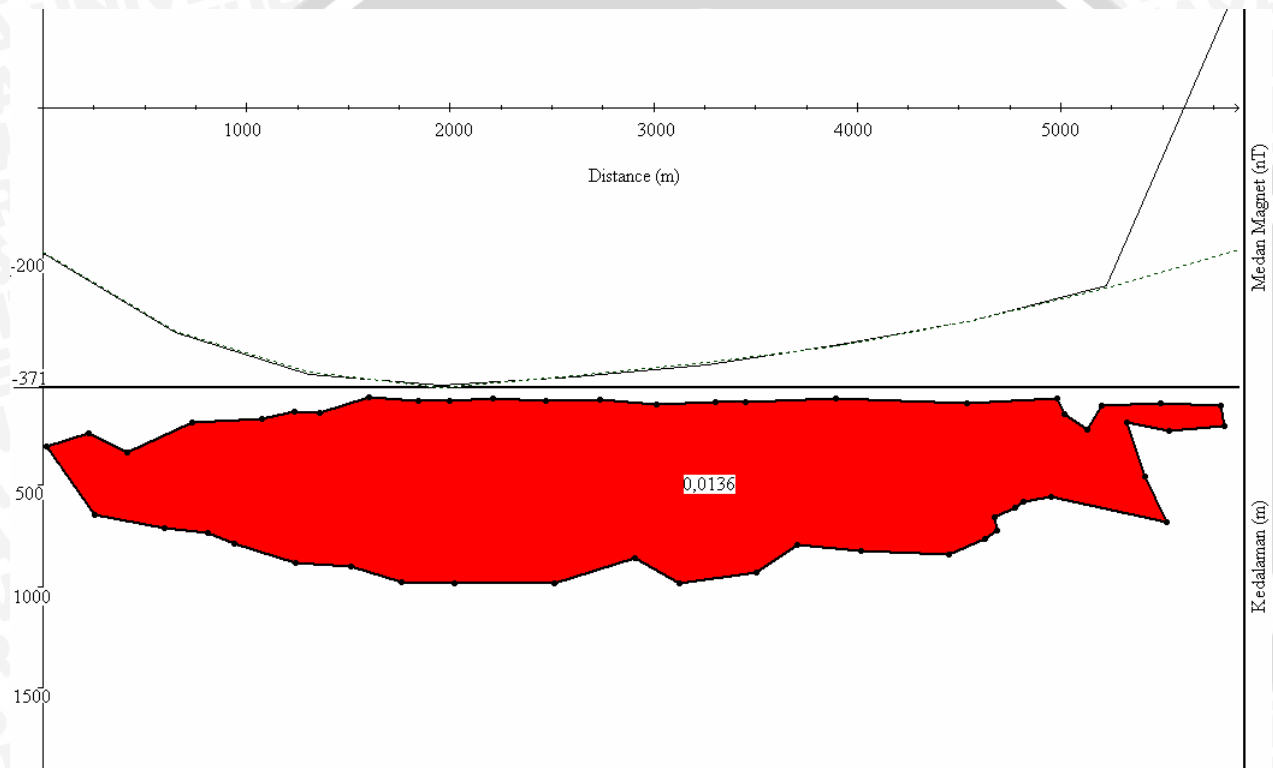
Kemudian hasil *line cross section* tersebut diolah dengan menggunakan perangkat lunak MAD2DC dan menghasilkan penampang struktur magma untuk masing-masing garis (*line*) seperti terlihat pada gambar 4.8.



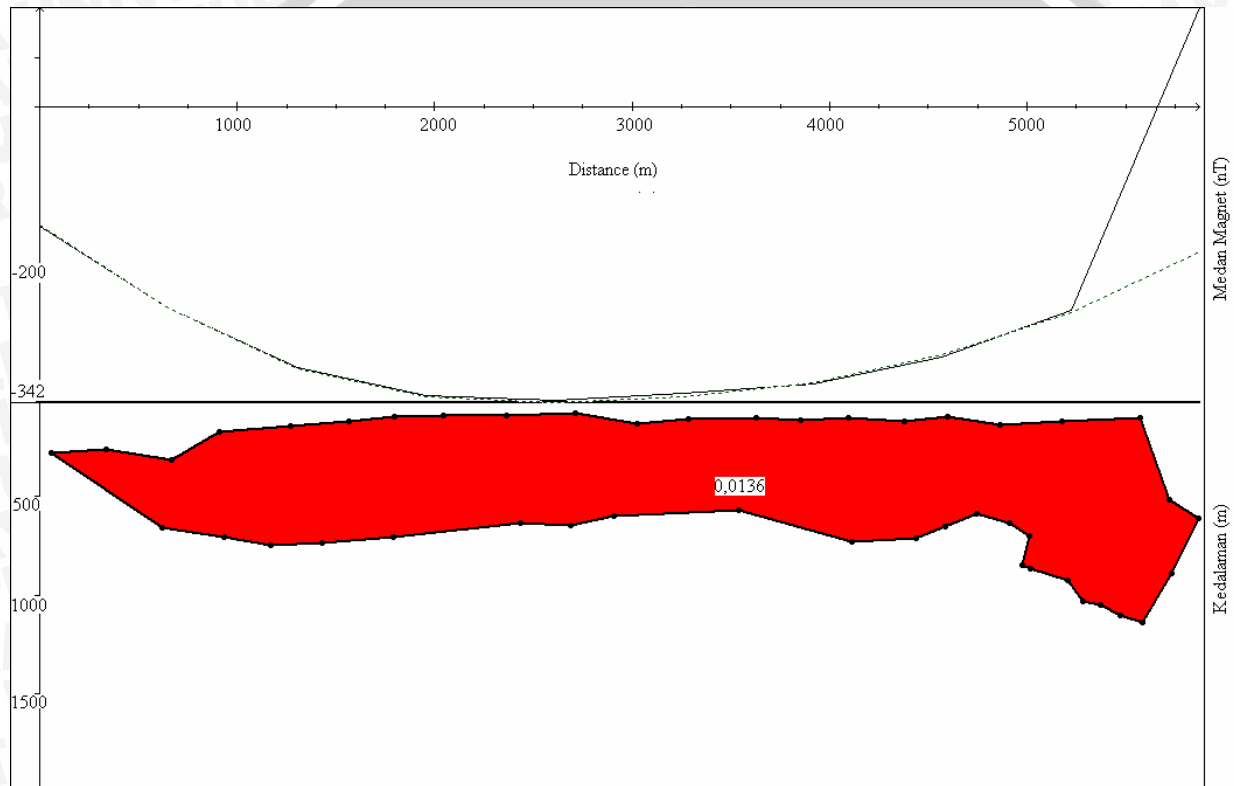
4.8.a. Penampang Melintang dan profil anomali magnet AA'



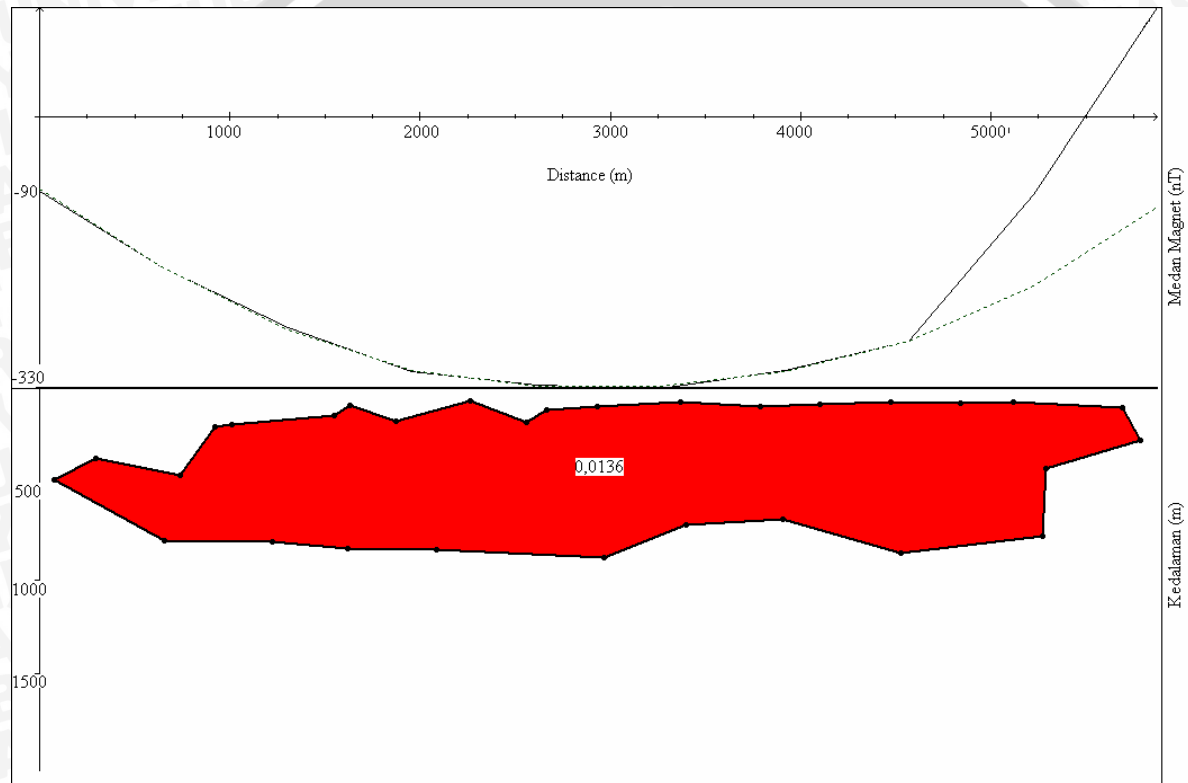
4.8.b. Penampang Melintang dan profil anomali magnet BB'



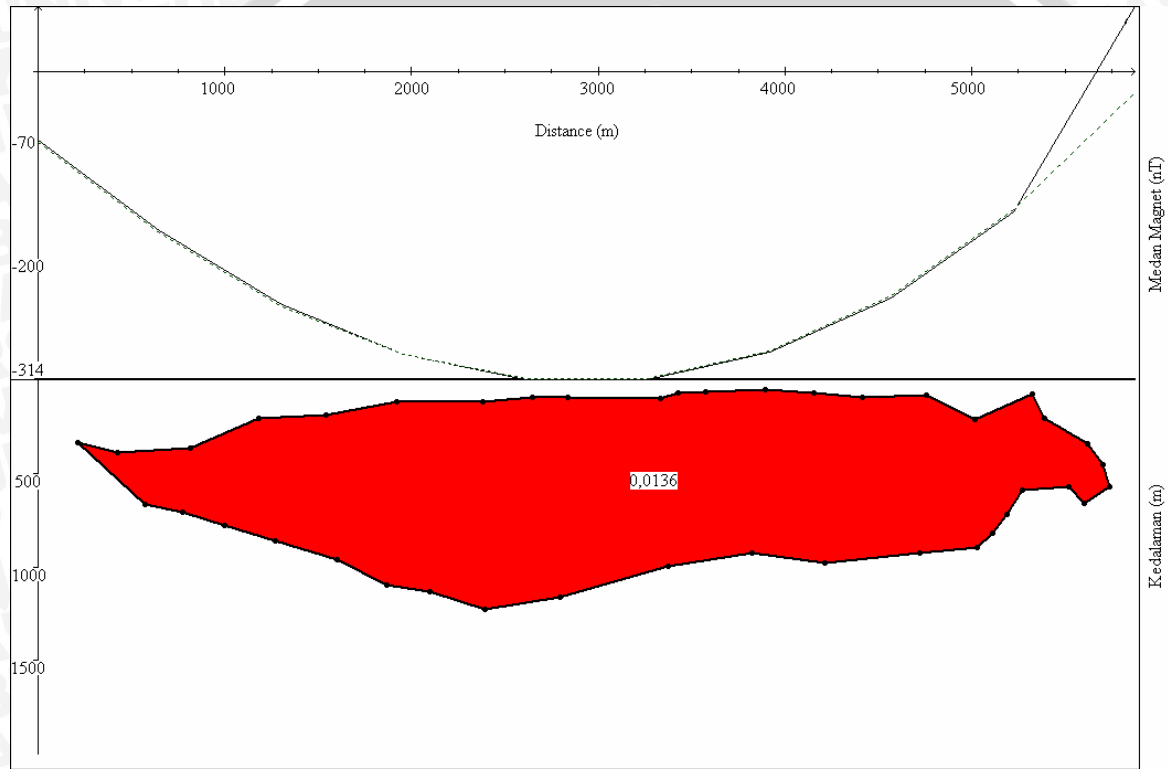
4.8.c. Penampang Melintang dan profil anomali magnet CC'



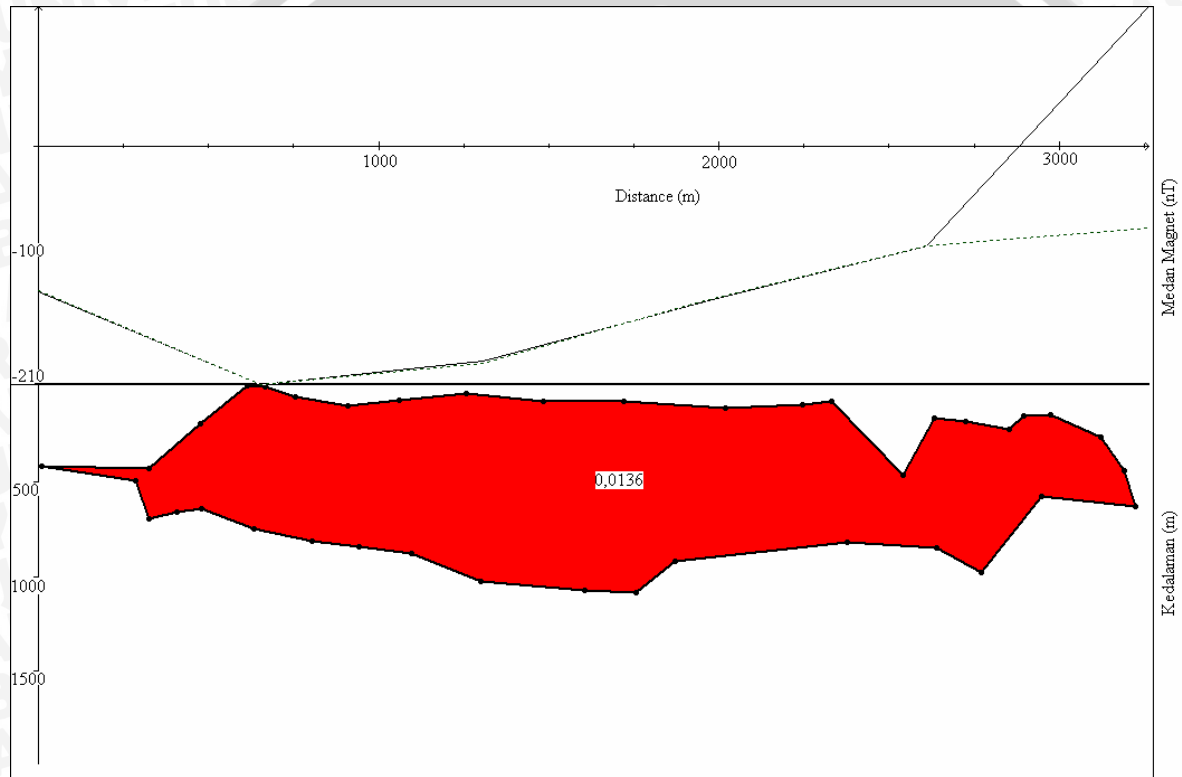
4.8.d. Penampang Melintang dan profil anomali magnet DD'



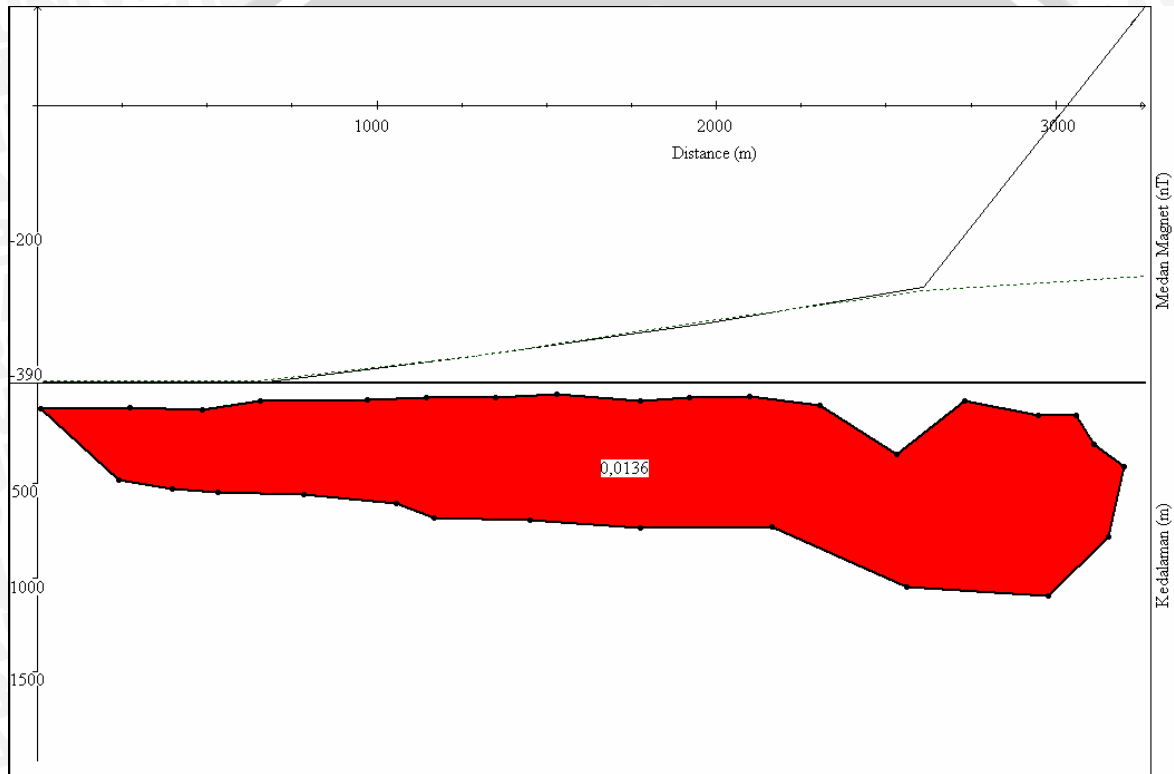
4.8.e. Penampang Melintang dan profil anomali magnet EE'



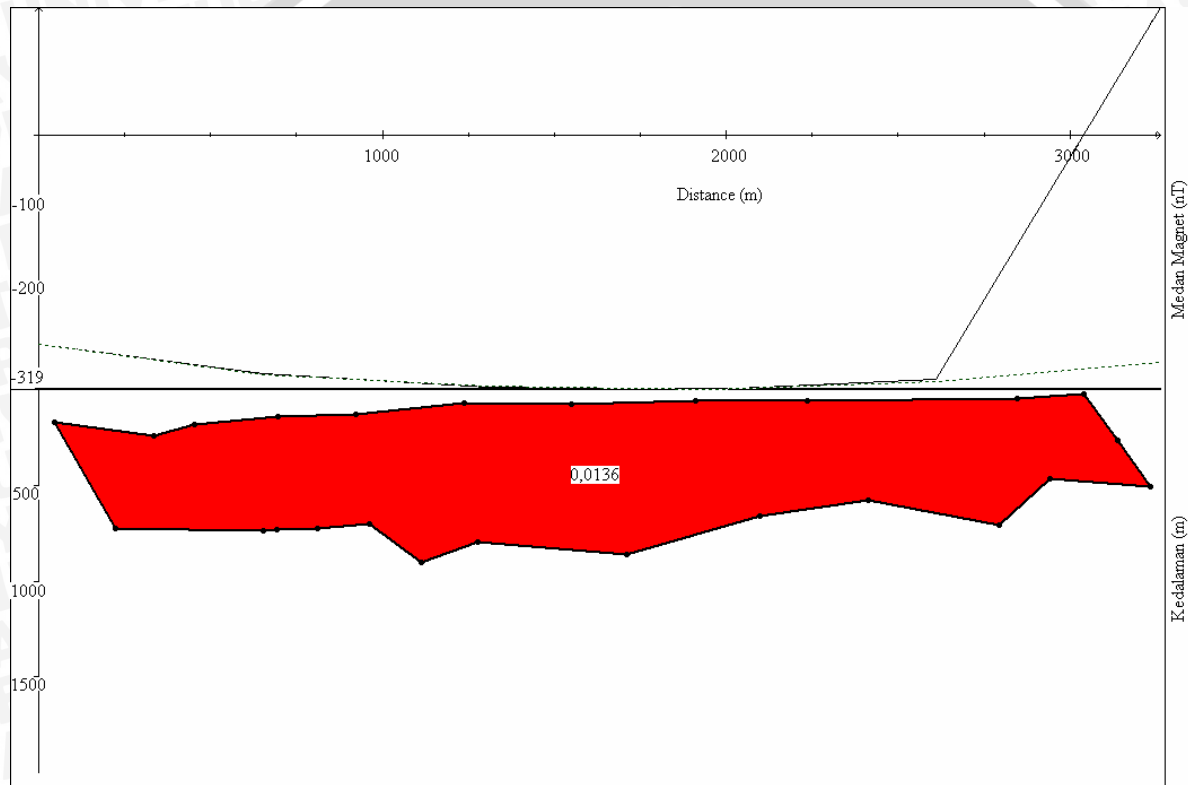
4.8.f. Penampang Melintang dan profil anomali magnet FF'



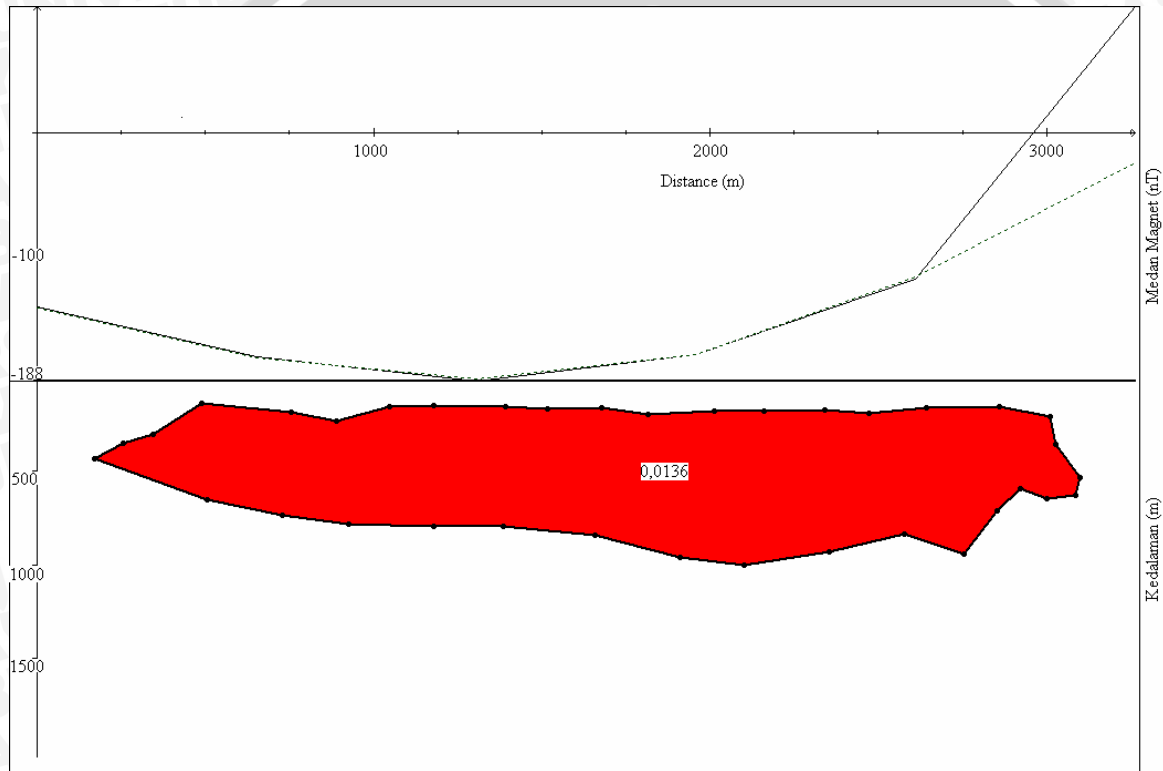
4.8.g. Penampang Melintang dan profil anomali magnet GG'



4.8.h. Penampang Melintang dan profil anomali magnet HH'



4.8.i. Penampang Melintang dan profil anomali magnet II'



4.8.j. Penampang Melintang dan profil anomali magnet JJ'

Dengan memodelkan anomali magnetik yang terukur, dapat diperkirakan bentuk dan volume waduk magma di kompleks tersebut. Berdasarkan bentuk pemodelan yang terdapat pada gambar, dapat ditentukan kedalaman waduk sekitar 1071 meter, sedangkan lebar maksimal adalah 3192 meter, sedangkan panjang pemodelan waduk adalah sekitar 5786 meter. Sehingga dapat diperkirakan volume maksimal waduk adalah sekitar $\pm 19780204752 \text{ m}^3$ atau $\pm 19,78 \text{ km}^3$. Dengan kesalahan rata-rata pemodelan terhadap observasi sebesar 5,32%.

Pada penelitian di tempat yang sama dengan menggunakan metode gravitasi diperoleh kedalaman waduk berkisar dari 207 m sampai 1567 m, dengan ketebalan rata-rata 890 m. Sedangkan bentangan model waduk rata-rata 6017 m. Lintasan-lintasan tersebut melingkupi area selebar 4546 m. Sehingga diperkirakan waduk magma yang ada di kompleks Arjuno-Welirang memiliki volume $24,35 \times 10^9 \text{ m}^3$, setara $24,35 \text{ km}^3$ (Hakim, 2007).

Bentuk kantung magma dalam bumi dipengaruhi oleh tekanan dari atas dan dari bawah kantung tersebut. Tekanan ini tidak sama di setiap titik di permukaan bumi, hal ini yang menyebabkan bentuk struktur waduk magma dalam penampang berbeda-beda walaupun dengan jarak yang relatif dekat.

Adanya anomali bawah permukaan kompleks Arjuno-Welirang ini ditafsirkan sebagai kantung magma, diperkuat dengan penggolongan kedua gunung tersebut sebagai gunungapi tipe B. Tipe gunungapi seperti ini sudah dianggap tidak aktif tetapi menyimpan potensi vulkanik dan potensi energi panas bumi. Terbukti dengan adanya sumber air panas di Cangar dan Trawas yang terletak di lereng kompleks Arjuno-Welirang, serta sumber belerang panas yang masih terus dihasilkan di puncak Welirang dan menjadi sumber mata pencaharian segelintir penduduk Tretes (Santosa dan Suwarti, 1992).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan interpretasi diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan kontur letak anomali yang diduga adalah berada sekitar gunungapi Welirang dan cenderung ke arah utara dengan posisi $112,558^{\circ}\text{BT}$ hingga $112,617^{\circ}\text{BT}$ dan $7,72^{\circ}\text{LS}$ hingga $7,662^{\circ}\text{LS}$.
2. Struktur waduk didapatkan inklinasi $-33,468^{\circ}$, deklinasi $1,424^{\circ}$, dan intensitas total adalah 45101nT , kedalaman waduk sekitar 1071 m , sedangkan lebar maksimal adalah 3191 m , panjang waduk adalah sekitar 5786 m , volume maksimal waduk adalah $\pm 19774007946\text{ m}^3$ atau $\pm 19,774\text{ km}^3$. Kesalahan rata-rata sebesar $5,32\%$.

5.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil interpretasi yang representatif, diperlukan penambahan titik ukur sebisa mungkin agar titik-titik ukur tersebut terdistribusi secara merata pada kawasan yang akan diteliti.
2. Untuk pengambilan data perlu diperhatikan lokasi sekitar titik pengambilan datanya, untuk mengantisipasi adanya benda-benda yang dapat berpengaruh terhadap nilai intensitas medan magnet.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, E.M., S.Riad, Y.Amin, E.Rifai. 1985. On The Least Square Residual Anomaly Determination. *Geophysics* V.50. 3:473-480.
- Anonymous., 1992, Diktat *Praktikum Semester Break 1992*, Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Blakely, R.J. Sit. Untung. M, 1995, *Dasar-dasar magnetic dan Gaya Berat Untuk Beberapa Penerapan Secara Geofisika*, HAGI.
- Breiner, S., 1973, *Applications Manual for Portable Magnetometers*, GeoMetrics 395 Java Drive Sunnyvale, California USA.
- Cady, J.W., 1980, *Calculation of Gravity and Magnetic Anomalies of Finite-Length right Polygonal Prisms*, *Geophysics*, vol 45, No. 10, 1507-1512.
- Clark, S.P., Jr., 1971, *Structure of The Earth*, Prentice-Hill, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Dobrin, M.B., 1981, *Introduction to Geophysical 3rd edition*, McGraw-Hill International Book Company, Tokyo.
- Hakim, Helmy, 2007, Pendugaan Struktur Tiga Dimensi Waduk Magma Kompleks Arjuno-Welirang Berdasarkan Anomali Gravitasi, Skripsi, Brawijaya, Malang.
- Nahrowi, T., Y.Suratman, S. Namida dan S.Hidayat. 1978. Geologi Pegunungan Selatan, Jawa Timur. *Prosiding PIT IX Ikatan Ahli Geologi Indonesia*.
- Robinson E.S., Cahit Coruh, 1988, *Basic Exploration Geophysics*, Jhon Wiley & Sons, New York Chichester Bristane Toronto Singapore.
- Santosa, S. dan T.Suwarti. 1992. Geologi Lembar Malang, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Indonesia.
- Shuey, R.T., Pasquale, A.S., 1973 *End Corrections in Magnetic Profile Interpretation*, *Geophysics*, vol.38, No.3, 507-512.
- Srijatno, 1980, *Diklat Kuliah Geofisika Terapan*, Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sunaryo, 2001, Pendugaan Struktur Kantong Magma Gunungapi Kelud Berdasarkan Survey Magnetik, Tesis S-2, UGM, Yogyakarta.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1976, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, New York.

Telford, W.M. Geldart.L.P, Sheriff, R.E, Key, D.A,1982, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge London, Sydney.

http://eusoils.jrc.it/esdb_archive/EuDASM/asia/maps/ID2009_ISO.htm., tanggal akses : 29 November 2006.

<http://swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/index.html>., tanggal akses : 20 Februari 2007.



LAMPIRAN

Lampiran 1

Reduksi ke bidang Datar (Pendekatan Deret Taylor)

Kontinuasi medan potensial $U(x,y,z_0)$ terukur pada *level surface* ($z_0 =$ konstan) ke permukaan titik tidak rata (*uneven surface*), yaitu $z(x,y)$ memberikan harga medan potensial titik (x,y,z) permukaan baru :

$$\begin{aligned} U(x,y,z) &= U(x,y,z_0) + (z-z_0) \frac{\partial}{\partial z} U(x,y,z) + \frac{(z-z_0)^2}{2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} U(x,y,z) + \dots \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z-z_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} U(x,y,z_0) \dots\dots\dots 1 \end{aligned}$$

Secara empiris, konvergensi persamaan 1 paling cepat jika z_0 ditempatkan pada pertengahan $z(x,y)$. Solusi persamaan tersebut membutuhkan turunan tegak medan terukur, dan hal ini dapat diperoleh dengan menggunakan kawasan Fourier. Transformasi Fourier turunan tegak ke n medan potensial diberikan oleh :

$$F \left[\frac{\partial^n}{\partial z^n} U \right] = |k|^n F[U] \dots\dots\dots 2$$

Dengan menggunakan persamaan 2, variasi turunan tegak dari medan hasil observasi dapat ditemukan, dan dapat digunakan dalam persamaan 1 untuk memperoleh medan pada permukaan $z(x,y)$. Tiga suku pertama dari persamaan 1 secara umum telah mencapai hasil yang memuaskan.

Untuk kasus kontinuasi dari permukaan tidak rata (*uneven surface*) ke permukaan rata (*level surface*) dapat diperoleh dengan pengaturan kembali persamaan 1 menjadi :

$$U(x,y,z_0) = U(x,y,z) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z-z_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} U(x,y,z_0) \dots\dots\dots 3$$

Kuantitas yang dikehendaki $U(x,y,z_0)$ dapat diestimasi dengan aproksimasi berturut-turut ; yaitu, $U(x,y,z_0)$ yang ditetapkan pada iterasi ke i dapat digunakan untuk mendapatkan $U(x,y,z_0)$ pada iterasi ke $(i + 1)$,

$$U(x,y,z_0)^{(i+1)} = U(x,y,z) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z-z_0)^2}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} U(x,y,z_0)^{(i)}$$

Tebakan awal pada $U(x,y,z_0)$ dapat diperoleh dengan asumsi bahwa $U(x,y,z)$ terukur secara aktual pada permukaan horisontal dan mengkontinuasikannya ke *uneven surface* $z(x,y)$ dengan menggunakan persamaan 1. Turunan tegak dalam persamaan 3 dapat diestimasi dengan persamaan 2 sebagai pendekatan (Blakely, R.J.. 1995).



Lampiran 2

List Reduksi Anomali ke Bidang Datar

Pengangkatan kontur anomali lengkap ke suatu bidang datar dapat dilakukan dengan mudah menggunakan program fortran berikut. Listing ini memerlukan file masukan (.txt) anoa1, anoa2, anoa3, dan anoa4 berupa grid anomali, serta tgg1 berupa grid ketinggian masing-masing titik pengukuran. Penulis memilih penggunaan grid 64x64, sehingga seluruh data masukan tadi masing-masing terdiri atas 4096 data. Ketinggian yang penulis pilih adalah 1470 mdpl yang merupakan nilai rata-rata dari ketinggian titik-titik pengukuran. Berikut adalah listing programnya :

```
c
c Program Fortran
c Proyeksi ke Bidang Datar 1470 meter
```

```
c -----
      subroutine kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky,kx,ky)
```

```
c -----
      real kx,ky
      nyqx=nx/2+1
      nyqy=ny/2+1
      if(j.le.nyqx)then
        kx=(j-1)*dkx
      else
        kx=(j-nx-1)*dkx
      end if
      if(i.le.nyqy)then
        ky=(i-1)*dky
      else
        ky=(i-ny-1)*dky
      end if
      return
      end
```

```
c
c -----
      subroutine fourn(data,nn,ndim,isign)
```

```
c -----
      real*8 wr,wi,wpr,wpi,wtemp,theta
```



```

dimension nn(ndim),data(*)
ntot=1
do 11 iidim=1,ndim
  ntot=ntot*nn(iidim)
11 continue
nprev=1
do 18 iidim=1,ndim
  n=nn(iidim)
  nrem=ntot/(n*nprev)
  ip1=2*nprev
  ip2=ip1*n
  ip3=ip2*nrem
  i2rev=1
  do 14 i2=1,ip2,ip1
    if(i2.lt.i2rev)then
      do 13 i1=i2,i2+ip1-2,2
        do 12 i3=i1,ip3,ip2
          i3rev=i2rev+i3-i2
          tempr=data(i3)
          tempi=data(i3+1)
          data(i3)=data(i3rev)
          data(i3+1)=data(i3rev+1)
          data(i3rev)=tempr
          data(i3rev+1)=tempi
12        continue
13      continue
    endif
    ibit=ip2/2
1    if ((ibit.ge.ip1).and.(i2rev.gt.ibit)) then
      i2rev=i2rev-ibit
      ibit=ibit/2
      go to 1
    endif
    i2rev=i2rev+ibit
14  continue
  ifp1=ip1
2  if(ifp1.lt.ip2)then
    ifp2=2*ifp1
    theta=sign*6.28318530717959d0/(ifp2/ip1)

```

```

wpr=-2.d0*dsin(0.5d0*theta)**2
wpi=dsin(theta)
wr=1.d0
wi=0.d0
do 17 i3=1,ifp1,ip1
  do 16 i1=i3,i3+ip1-2,2
    do 15 i2=i1,ip3,ifp2
      k1=i2
      k2=k1+ifp1
      tempr=sngl(wr)*data(k2)-sngl(wi)*data(k2+1)
      tempi=sngl(wr)*data(k2+1)+sngl(wi)*data(k2)
      data(k2)=data(k1)-tempr
      data(k2+1)=data(k1+1)-tempi
      data(k1)=data(k1)+tempr
      data(k1+1)=data(k1+1)+tempi
15    continue
16  continue
      wtemp=wr
      wr=wr*wpr-wi*wpi+wr
      wi=wi*wpr+wtemp*wpi+wi
17  continue
      ifp1=ifp2
      go to 2
    endif
    nprev=n*nprev
18 continue
  return
end

c
c -----
  subroutine verder(grid,nx,ny,dx,dy,norder,store)
c -----
  dimension grid(nx*ny),store(2*nx*ny),nn(2)
  complex cgrid,cmplx
  real kx,ky,k
  data pi/3.14159265/
  index(i,j,ncol)=(j-1)*ncol+i
  nn(1)=ny
  nn(2)=nx

```

```

ndim=2
dkx=2.*pi/(nx*dx)
dky=2.*pi/(ny*dy)
do 10 j=1,nx
  do 10 i=1,ny
    ij=index(i,j,ny)
    store(2*ij-1)=grid(ij)
10  store(2*ij)=0
    call fourn(store,nn,ndim,-1)
    do 20 j=1,nx
      do 20 i=1,ny
        ij=index(i,j,ny)
        call kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky,kx,ky)
        k=sqrt(kx**2+ky**2)
        cgrid=cmplx(store(2*ij-1),store(2*ij))
        cgrid=cgrid*k**norder
        store(2*ij-1)=real(cgrid)
20  store(2*ij)=aimag(cgrid)
    call fourn(store,nn,ndim,+1)
    do 30 j=1,nx
      do 30 i=1,ny
        ij=index(i,j,ny)
30  grid(ij)=store(2*ij-1)/(nx*ny)
    return
  end

```

c

c -----

c Program Utama

c keterangan

c n=4096 adalah jumlah data

c anoa1-anoa4 .txt adalah masukan data anomali magnetik

c tgg1.txt adalah masukan data ketinggian

c 1470.txt adalah file keluaran/output

c -----

dimension grid(4096),data(4096),dati(4096),datu(4096)

dimension store(2*4096),A(4096),B(4096),C(4096),D(4096)

dimension tgg(4096)

real grid,store,tgg,A,B,C,D,data,dati,datu

open(1,file='anoa1.txt')

```

open(3,file='anoa2.txt')
open(5,file='anoa3.txt')
open(7,file='anoa4.txt')
open(9,file='tgg1.txt')
open(11,file='1470.txt')
n=4096
do 100 i=1,n
    read(1,*)grid(i)
100 continue
do 140 i=1,n
    read(3,*)data(i)
140 continue
do 141 i=1,n
    read(5,*)dati(i)
141 continue
do 142 i=1,n
    read(7,*)datu(i)
142 continue
do 150 i=1,n
    read(9,*)tgg(i)
150 continue
c -----
c
    call verder(grid,64,64,949.0830,979.871,1,store)
do 200 i=1,n
    A(i)=((1470.00-tgg(i))*grid(i))
200 continue
c -----
c
    call verder(data,64,64,949.0830,979.871,2,store)
do 210 i=1,n
    B(i)=(((1470.00-tgg(i))**2/2)*data(i))
210 continue
c -----
c
    call verder(dati,64,64,949.0830,979.871,3,store)
do 220 i=1,n
    C(i)=(((1470.00-tgg(i))**3/6)*dati(i))
220 continue

```

```

c
c
do 250 i=1,n
  D(i)=datu(i)-(A(i)+B(i)+C(i))
250 continue
do 300 i=1,n
  write(11,400)D(i)
300 continue
400 format(1x,f20.3)
end

```



Lampiran 3

Kontinuasi (Integral Kontinuasi)

Kontinuasi paling sederhana adalah untuk medan potensial yang terukur pada *level surface*. Dalam sistem kartesian dengan arah z ke bawah, kita mengasumsikan bahwa medan potensial terukur pada *level surface* $z = z_0$ dan bahwa medan dikehendaki pada titik tunggal $P(x, y, z_0 - \Delta z)$ di atas *level surface*, dimana $\Delta z > 0$. Permukaan S tersusun baik oleh *level surface* maupun *hemisphere* yang mempunyai radius α . Semua sumber terletak pada $z > z_0$. Untuk $\alpha \rightarrow \infty$ maka :

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

dimana $r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z_0 - \Delta z - z')^2}$ dan dimana $\Delta z > 0$. (Blakely, R.J., 1995)

Persamaan 4 membutuhkan gradien vertikal U , maka diperlukan identitas kedua Green untuk mengeliminasi bagian turunan dalam tersebut. Jika V adalah fungsi harmonik sepanjang R , maka identitas kedua Green menghasilkan :

$$\frac{1}{4\pi} \int_S \left(V \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial V}{\partial n} \right) dS \quad 2$$

dan dengan menambahkan hasil ini ke identitas ketiga Green menghasilkan :

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\left(V + \frac{1}{r} \right) \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left(V + \frac{1}{r} \right) \right] dS \quad 3$$

Untuk mengeliminasi bagian pertama, V harmonik diperlukan sehingga $V + \frac{1}{r}$ akan menghilang pada hemisphere pada saat α menjadi besar, dan V selalu harmonik karena ρ tak pernah hilang. Oleh karena itu persamaan 5 menjadi :

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right) \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right) \right] dS \dots\dots\dots 4$$

Jika hemisphere menjadi besar, maka bagian pertama akan menghilang pada setiap titik S , dan bagian kedua menghilang kecuali pada permukaan horisontal.

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = -\frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial U(x', y', z_0)}{\partial z'} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right] dx' dy' \dots\dots\dots 5$$

Dengan membawa turunan dan mengeluarkan z' ke permukaan horisontal diperoleh persamaan integral kontinuitas ke atas :

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial U(x', y', z_0)}{[(x - x')^2 + (y - y')^2 + \Delta z^2]^{3/2}} dx' dy' .$$

$\Delta z > 0 \dots\dots\dots 6$

Lampiran 4

List Kontinuasi 1471

Kontinuasi kontur anomali dengan “mengangkat” kontur tersebut ke suatu bidang datar pada ketinggian tertentu akan menunjukkan kontur anomali regional daerah penelitian. Ini adalah residual yang harus direduksikan dari anomali lokal.

Program berikut melakukan perhitungan kontinuasi tersebut dengan masukan berupa file grid anomali hasil proyeksi di bidang datar (Lampiran 2). Berikut adalah listing programnya :

```
c
c program Fortran
c Kontinuasi ke 1471 meter
c input/masukan adalah file 1470.txt
c output/keluaran adalah file 1471.txt
c -----
      subroutine kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky,kx,ky)
c -----
      real kx,ky
      nyqx=nx/2+1
      nyqy=ny/2+1
      if(j.le.nyqx)then
        kx=(j-1)*dkx
      else
        kx=(j-nx-1)*dkx
      end if
      if(i.le.nyqy)then
        ky=(i-1)*dky
      else
        ky=(i-ny-1)*dky
      end if
      return
      end
c
c -----
      subroutine foun(data,nn,ndim,isign)
c -----
      real*8 wr,wi,wpr,wpi,wtemp,theta
```

```

dimension nn(ndim),data(*)
ntot=1
do 11 iidim=1,ndim
  ntot=ntot*nn(iidim)
11  continue
nprev=1
do 18 iidim=1,ndim
  n=nn(iidim)
  nrem=ntot/(n*nprev)
  ip1=2*nprev
  ip2=ip1*n
  ip3=ip2*nrem
  i2rev=1
  do 14 i2=1,ip2,ip1
    if(i2.lt.i2rev)then
      do 13 i1=i2,i2+ip1-2,2
        do 12 i3=i1,ip3,ip2
          i3rev=i2rev+i3-i2
          tempr=data(i3)
          tempi=data(i3+1)
          data(i3)=data(i3rev)
          data(i3+1)=data(i3rev+1)
          data(i3rev)=tempr
          data(i3rev+1)=tempi
12          continue
13          continue
        endif
      ibit=ip2/2
1      if ((ibit.ge.ip1).and.(i2rev.gt.ibit)) then
        i2rev=i2rev-ibit
        ibit=ibit/2
        go to 1
      endif
      i2rev=i2rev+ibit
14    continue
  ifp1=ip1
2  if(ifp1.lt.ip2)then
    ifp2=2*ifp1
    theta=sign*6.28318530717959d0/(ifp2/ip1)

```

```

wpr=-2.d0*dsin(0.5d0*theta)**2
wpi=dsin(theta)
wr=1.d0
wi=0.d0
do 17 i3=1,ifp1,ip1
  do 16 i1=i3,i3+ip1-2,2
    do 15 i2=i1,ip3,ifp2
      k1=i2
      k2=k1+ifp1
      tempr=sngl(wr)*data(k2)-sngl(wi)*data(k2+1)
      tempi=sngl(wr)*data(k2+1)+sngl(wi)*data(k2)
      data(k2)=data(k1)-tempr
      data(k2+1)=data(k1+1)-tempi
      data(k1)=data(k1)+tempr
      data(k1+1)=data(k1+1)+tempi
15    continue
16  continue
    wtemp=wr
    wr=wr*wpr-wi*wpi+wr
    wi=wi*wpr+wtemp*wpi+wi
17  continue
    ifp1=ifp2
  go to 2
endif
  nprev=n*nprev
18 continue
return
end

```

```

subroutine contin(grid,nx,ny,dx,dy,dz,store)
dimension grid(nx*ny),store(2*nx*ny),nn(2)
complex cgrid,cmplx
real kx,ky,k
data pi/3.14159265/
index(i,j,ncol)=(j-1)*ncol+i
nn(1)=ny
nn(2)=nx
ndim=2
dkx=2.*pi/(nx*dx)

```

```

dky=2.*pi/(ny*dy)
do 10 j=1,nx
  do 10 i=1,ny
    ij=index(i,j,ny)
    store(2*ij-1)=grid(ij)
10    store(2*ij)=0.
  call fourn(store,nn,ndim,-1)
  do 20 j=1,nx
    do 20 i=1,ny
      ij=index(i,j,ny)
      call kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky,kx,ky)
      k=sqrt(kx**2+ky**2)
      cont=exp(-k*dz)
      cgrid=cmplx(store(2*ij-1),store(2*ij))*cont
      store(2*ij-1)=real(cgrid)
20    store(2*ij)=aimag(cgrid)
  call fourn(store,nn,ndim,+1)
  do 30 j=1,nx
    do 30 i=1,ny
      ij=index(i,j,ny)
30    grid(ij)=store(2*ij-1)/(nx*ny)
  return
end
cmainmain
  dimension grid(4096),store(2*4096)
  open(45,file='1470.txt')
  open(65,file='1471.txt')
  n=4096
  do 100 i=1,n
    read(45,*)grid(i)
c    write(*,*)grid(i)
100  continue
  call contin(grid,64,64,949.083,979.871,1471.0,store)
  do 200 i=1,n
    write(65,300)grid(i)
200  continue
300  format(1x,f9.5)
  end

```

Lampiran 5

Kontinuasi 15000

Setelah data tersebut dikontinuasikan ke atas dengan ketinggian 1471mdpl maka dilakukan kontinuasi lagi dengan ketinggian jauh lebih tinggi untuk menghilangkan efek regional. Berikut adalah listing programnya :

```
c
c program Fortran
c Kontinuasi ke 15000 meter
c masukan berupa file 1471.txt
c keluaran adalah file 15000.txt
```

```
c -----
      subroutine kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky,kx,ky)
```

```
c -----
      real kx,ky
      nyqx=nx/2+1
      nyqy=ny/2+1
      if(j.le.nyqx)then
        kx=(j-1)*dkx
      else
        kx=(j-nx-1)*dkx
      end if
      if(i.le.nyqy)then
        ky=(i-1)*dky
      else
        ky=(i-ny-1)*dky
      end if
      return
      end
```

```
c
c -----
      subroutine fourn(data,nn,ndim,isign)
```

```
c -----
      real*8 wr,wi,wpr,wpi,wtemp,theta
      dimension nn(ndim),data(*)
      ntot=1
      do 11 iidim=1,ndim
```



```

ntot=ntot*nn(iidim)
11  continue
    nprev=1
    do 18 iidim=1,ndim
        n=nn(iidim)
        nrem=ntot/(n*nprev)
        ip1=2*nprev
        ip2=ip1*n
        ip3=ip2*nrem
        i2rev=1
        do 14 i2=1,ip2,ip1
            if(i2.lt.i2rev)then
                do 13 i1=i2,i2+ip1-2,2
                    do 12 i3=i1,ip3,ip2
                        i3rev=i2rev+i3-i2
                        tempr=data(i3)
                        tempi=data(i3+1)
                        data(i3)=data(i3rev)
                        data(i3+1)=data(i3rev+1)
                        data(i3rev)=tempr
                        data(i3rev+1)=tempi
12                 continue
13             continue
                    endif
                ibit=ip2/2
1  if ((ibit.ge.ip1).and.(i2rev.gt.ibit)) then
                    i2rev=i2rev-ibit
                    ibit=ibit/2
                    go to 1
                endif
                i2rev=i2rev+ibit
14         continue
        ifp1=ip1
        2  if(ifp1.lt.ip2)then
            ifp2=2*ifp1
            theta=isign*6.28318530717959d0/(ifp2/ip1)
            wpr=-2.d0*dsin(0.5d0*theta)**2
            wpi=dsin(theta)
            wr=1.d0

```

```

wi=0.d0
do 17 i3=1,ifp1,ip1
  do 16 i1=i3,i3+ip1-2,2
    do 15 i2=i1,ip3,ifp2
      k1=i2
      k2=k1+ifp1
      tempr=sngl(wr)*data(k2)-sngl(wi)*data(k2+1)
      tempi=sngl(wr)*data(k2+1)+sngl(wi)*data(k2)
      data(k2)=data(k1)-tempr
      data(k2+1)=data(k1+1)-tempi
      data(k1)=data(k1)+tempr
      data(k1+1)=data(k1+1)+tempi
15    continue
16  continue
    wtemp=wr
    wr=wr*wpr-wi*wpi+wr
    wi=wi*wpr+wtemp*wpi+wi
17  continue
    ifp1=ifp2
    go to 2
  endif
  nprev=n*nprev
18  continue
return
end

```

```

subroutine contin(grid,nx,ny,dx,dy,dz,store)
dimension grid(nx*ny),store(2*nx*ny),nn(2)
complex cgrid,cmplx
real kx,ky,k
data pi/3.14159265/
index(i,j,ncol)=(j-1)*ncol+i
nn(1)=ny
nn(2)=nx
ndim=2
dkx=2.*pi/(nx*dx)
dky=2.*pi/(ny*dy)
do 10 j=1,nx
  do 10 i=1,ny

```

```

        ij=index(i,j,ny)
        store(2*ij-1)=grid(ij)
10      store(2*ij)=0.
        call fourn(store,nn,ndim,-1)
        do 20 j=1,nx
            do 20 i=1,ny
                ij=index(i,j,ny)
                call kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky,kx,ky)
                k=sqrt(kx**2+ky**2)
                cont=exp(-k*dz)
                cgrid=cmplx(store(2*ij-1),store(2*ij))*cont
                store(2*ij-1)=real(cgrid)
20          store(2*ij)=aimag(cgrid)
        call fourn(store,nn,ndim,+1)
        do 30 j=1,nx
            do 30 i=1,ny
                ij=index(i,j,ny)
30          grid(ij)=store(2*ij-1)/(nx*ny)
        return
    end
cmainmain
    dimension grid(4096),store(2*4096)
    open(45,file='1471.txt')
    open(65,file='15000.txt')
    n=4096
    do 100 i=1,n
        read(45,*)grid(i)
c      write(*,*)grid(i)
100    continue
        call contin(grid,64,64,949.083,979.871,15000.0,store)
        do 200 i=1,n
            write(65,300)grid(i)
200    continue
300    format(1x,f9.5)
    end

```

Lampiran 6

Foto-foto Penelitian



Pengambilan data di belakang RF



Pos pendakian gunung Arjuno-Welirang



Istirahat sejenak di pondok belerang.



Daerah sekitar kawah dan tambang belerang di G. Welirang