

**INTERPRETASI BAWAH PERMUKAAN PRA DAN PASCA ERUPSI
GUNUNG MERAPI TAHUN 2020 MENGGUNAKAN METODE
MAGNETIK**

SKRIPSI

Oleh:
LULUK YULIANTI
NIM. 18640001



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**INTERPRETASI BAWAH PERMUKAAN PRA DAN PASCA ERUPSI
GUNUNG MERAPI TAHUN 2020 MENGGUNAKAN METODE
MAGNETIK**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
LULUK YULIANTI
NIM. 18640001**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

INTERPRETASI BAWAH PERMUKAAN PRA DAN PASCA ERUPSI
GUNUNG MERAPI TAHUN 2020 MENGGUNAKAN METODE
MAGNETIK

SKRIPSI

Oleh:

Luluk Yulianti
NIM. 18640001

Telah Diperiksa dan Disetujui
Pada Tanggal 23 Juni 2023

Pembimbing I



Irjan, M.Si
NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II



Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si
NIDT. 19691231 200604 1 003

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Dr. Irwan Tazi, M.Si
NIP. 19730730 200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

INTERPRETASI BAWAH PERMUKAAN PRA DAN PASCA ERUPSI GUNUNG MERAPI TAHUN 2020 MENGGUNAKAN METODE MAGNETIK

SKRIPSI

Oleh:

Luluk Yulianti
NIM. 18640001

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada tanggal: 23 Juni 2023

Ketua Penguji :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji :	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Dosen Pembimbing I :	<u>Irian, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Dosen Pembimbing II :	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIDT. 19870215 20180201 2 233	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Luluk Yulianti

NIM : 18640001

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil-alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil contekan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 19 Juni 2023

Yang membuat pernyataan



Luluk Yulianti
NIM. 18640001

MOTTO

Selesaikan apa yang telah kamu mulai.

Selalu ada jalan bagi mereka yang mau berusaha.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembakan untuk :

- ❖ Ayah dan Ibu (Bapak Suryani dan Ibu Mukini) yang telah senantiasa mendoakan dan memberi support untuk pendidikan saya dan tak lupa juga untuk seluruh keluarga besar saya.
- ❖ Seluruh Dosen Fisika UIN Malang, terkhusus kepada Bapak Irjan, M.Si selaku dosen pembimbing utama saya, Bu Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si selaku dosen pembimbing integrasi, Bapak Drs. Abdul Basid, M.Si dan Bapak Imam Tazi, M.Si selaku dosen penguji skripsi saya. Terima kasih atas ilmu dan saran-saran yang telah Anda berikan selama ini.
- ❖ Teman-Teman Fisika Angkatan 2018 (Great Of Physics)
Terima kasih atas kebersamaannya selama ini. Semoga teman-teman selalu diberikan kesuksesan dan kebahagiaan dimanapun kalian berada.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan atas junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi hingga skripsi ini terselesaikan. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan, M.Si selaku Dosen Pembimbing.
5. Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si selaku Dosen Pembimbing Integrasi.
6. Segenap Dosen dan Staf Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Kedua orangtua dan seluruh keluarga besar yang telah mendoakan, memberi semangat dan dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Teman-teman geofisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
9. Seluruh teman-teman jurusan fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang angkatan 2018.

10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Penulis mohon kritik dan sarannya, dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Aamiin.

Malang, 19 Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
ملخص البحث	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Dalam Bumi	7
2.2 Gunungapi	9
2.2.1 Terbentuknya Gunungapi	9
2.2.2 Aktivitas Gunungapi	11
2.3 Gunung Merapi	12
2.3.1 Kondisi Geografis	12
2.3.2 Geologi Gunung Merapi	13
2.3.3 Sejarah Letusan	15
2.4 Metode Magnetik	18
2.4.1 Gaya Magnetik	19
2.4.2 Kuat Medan Magnet	20
2.4.3 Momen Magnetik	20
2.4.4 Intensitas	21
2.4.5 Suseptibilitas	21

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian	24
3.2 Instrumentasi Penelitian	24
3.3 Data	25
3.4 Pengolahan Data Magnetik	25
3.4.1 Koreksi IGRF	25

3.4.2 Reduksi Bidang Datar	26
3.4.3 Kontinuasi ke Atas	26
3.4.4 Reduksi ke Kutub	27
3.4.5 Interpretasi Data	27
3.5 Diagram Alir	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Akuisisi Data	30
4.2 Pengolahan Data	30
4.2.1 Koreksi IGRF	34
4.3 Interpretasi Kualitatif	36
4.3.1 Reduksi Bidang Datar	36
4.3.2 Kontinuasi ke Atas	38
4.3.3 Reduksi ke Kutub	41
4.4 Interpretasi Kuantitatif	43
4.4.1 Penampang Melintang A-B	45
4.4.2 Penampang Melintang C-D	49
4.5 Integrasi dan Hikmah Penelitian	52

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56

DAFTAR PUSTAKA	57
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	61
-----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Dalam Bumi	8
Gambar 2.2 Geologi Daerah Penelitian	15
Gambar 2.8 Letusan Gunung Merapi	18
Gambar 3.1 Area dan Titik-titik Penelitian	24
Gambar 4.1 Topografi Pra Erupsi	31
Gambar 4.2 Topografi Pasca Erupsi	32
Gambar 4.3 Intensitas Medan Magnetik Total Pra Erupsi	33
Gambar 4.4 Intensitas Medan Magnetik Total Pasca Erupsi	33
Gambar 4.5 Kontur Anomali Medan Magnet Total Pra Erupsi	35
Gambar 4.6 Kontur Anomali Medan Magnet Total Pasca Erupsi	35
Gambar 4.7 Kontur Reduksi Bidang Datar Pra Erupsi	37
Gambar 4.8 Kontur Reduksi Bidang Datar Pasca Erupsi	38
Gambar 4.9 Kontur Anomali Regional Pra Erupsi	39
Gambar 4.10 Kontur Anomali Lokal Pra Erupsi	40
Gambar 4.11 Kontur Anomali Regional Pasca Erupsi	40
Gambar 4.12 Kontur Anomali Lokal Pasca	41
Gambar 4.13 Reduksi ke Kutub Pra Erupsi	42
Gambar 4.14 Reduksi ke Kutub Pasca	43
Gambar 4.15 Irisan Kontur Anomali Lokal Pra Erupsi Lintasan A-B,C-D	44
Gambar 4.16 Irisan Kontur Anomali Lokal Pasca Erupsi Lintasan A-B,C-D	45
Gambar 4.17 Model Penampang Anomali Lokal Pra Erupsi Lintasan A-B	45
Gambar 4.18 Model Penampang Anomali Lokal Pasca Erupsi Lintasan A-B	48
Gambar 4.19 Model Penampang Anomali Lokal Pra Erupsi Lintasan C-D	49
Gambar 4.20 Model Penampang Anomali Lokal Pra Erupsi Lintasan C-D	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Batuan dan Mineral	22
---	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penelitian	61
Lampiran 2 Data Penelitian	68

ABSTRAK

Yulianti, Luluk. 2023. **Interpretasi Bawah Permukaan Pra dan Pasca Erupsi Gunung Berapi Tahun 2020 Menggunakan Metode Magnetik (Studi Kasus Gunung Merapi)**. Skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang, Pembimbing (I) Irjan, M.Si (II) Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si.

Kata Kunci: Metode Magnetik, Gunung Merapi, Struktur Bawah Permukaan

Gunung Merapi merupakan gunungapi tipe strato yang terletak di antara Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta(DIY). Penelitian ini menggunakan data magnetik pra erupsi pada tanggal 19 Juni 2020 dan pasca erupsi pada tanggal 10 Juli 2020 yang diperoleh melalui *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Data yang diperoleh sebanyak 324 titik dengan luasan area 10 kilometer $\times$ 10 kilometer dan spasi antar titik 600 meter. Hasil interpretasi kualitatif diperoleh anomali lokal pra erupsi berkisar antara -120 nT hingga 130 nT sedangkan pasca erupsi berkisar antara -80 nT sampai 130 nT. Hasil interpretasi kuantitatif menunjukkan lima jenis lapisan batuan di bawah permukaan Gunung Merapi yaitu lapisan pertama berupa batuan tuff bercampur abu vulkanik, lapisan kedua berupa batuan breksi vulkanik, lapisan ketiga batuan andesit, lapisan keempat batuan gamping, dan lapisan kelima berupa batuan basal.

ABSTRACT

Yulianti, Luluk. 2023. **Subsurface Interpretation of Pre and Post Volcanic Eruption in 2020 Using the Magnetic Method (Case Study of Mount Merapi)**. Thesis Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang, Supervisor (I) Irjan, M.Si (II) Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si

Keywords: Magnetic Method, Mount Merapi, Subsurface Structure

Mount Merapi is a strato-type volcano located between Central Java Province and the Special Region of Yogyakarta (DIY). This study uses pre-eruption magnetic data on June 19 2020 and post-eruption on July 10 2020 obtained through the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The data obtained were 324 points with an area of 10 kilometers $\times$ 10 kilometers and a space between points of 600 meters. The results of qualitative interpretation obtained pre-eruption local anomalies ranging from -120 nT to 130 nT while post-eruption ranged from -80 nT to 130 nT. The results of the quantitative interpretation show five types of rock layers below the surface of Mount Merapi, namely the first layer is tuff rock mixed with volcanic ash, the second layer is volcanic breccia, the third layer is andesite rock, the fourth layer is limestone, and the fifth layer is basalt rock.

ملخص البحث

لولوك، يوليانتى. ٢٠٢٣. التفسير الهياكل الجوفية لما قبل و بعده الانفجار لجبل ميرابي في عام ٢٠٢٠ باستخدام الطريقة المغناطيسية. أطروحة قسم الفيزياء، كلية العلوم الإسلامية الجامعة، التكنولوجيا مولانا مالك إبراهيم، عرجان مشرف، مالانج ايرجان ماجستير (١)، ويويس ساسميتانغ هدية ماجستير (٢)

الكلمات الرئيسية: طريقة مغناطيسية جبل ميرابي هيكل تحت السطح

الكلمات وتشكيل القديمة الخلايا تفكيك يتم حيث ، الحياة طوال وزاري لتعديل يخضع ديناميكي نسيج العظام المفتاحية: الطريقة جبل، المغناطيسية الهيكل، ميرابي السطح تحت بركان هو ميرابي جبل من نوع يقعاتوستر بين مقاطعة جاوا الوسط بالمنطقة و الخاصة في يوجيا كارتا. تستخدم هذه الدراسة البيانات السابقة المغناطيس للثوران في ١٩ يونيو ٢٠٢٠ وما الثور ان بعد في ١ يوليو ٢٠٢٠ و التي عليها الحصول لثم من الإدارة خلال الوطنية للمحيطات الجوى الغلافو عليها الحصول لثم البيانات كانت نقطة بمساحة كيلومترات ١.٠ × ١.٠ نتائج التفسير ١٦ نانو تيسلا الى ١٣ نانو تيسلا بينما تراوحت فترة ما الثور ان بعد من ٨ نانو تيسلا الى ١٣ نانو تيسلا. نتائج تظهر الكميا لتفسير خمسة أنواع من الطبقات الصخرية تحت سطح جبل، ميرابي و هي الطبقة عبارة الأولى عن طوفصخور ممزوجة، البركاتي بالرماد الثانية والثيقة الثالثة و الطبقة، بركاني بيريشيا الرابعة و الطبقة، أنديسايتصخور الخامسة و الطبقة، الجير يالحج من البازل تصخور

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Lebih dari 30% gunungapi aktif dunia berada di Indonesia. Wilayah Indonesia masuk ke dalam kawasan Cincin Api Pasifik atau yang dikenal sebagai *Ring Of Fire*, dimana ada banyak aktivitas seismik terjadi. Menurut BPBD Kota Tanjungbalai, gunung meletus dapat terjadi ketika endapan magma di dalam perut bumi terdorong keluar oleh gas yang bertekanan tinggi. Magma sendiri merupakan cairan pijar yang berada di dalam lapisan bumi dengan suhu yang sangat tinggi, yakni diperkirakan melebihi 1000°C.

Secara sains meletusnya gunungapi bukanlah peristiwa terjadi secara tiba-tiba dengan begitu saja, akan tetapi melalui proses dan tahapan yang cukup lama. Magma yang mengandung gas memiliki massa yang ringan dan mudah mengapung, sehingga secara bertahap naik ke permukaan. Magma tersebut terakumulasi pada kantong magma dan lama-kelamaan menutupi lubang kantong magma. Sementara itu dari bagian bawah magma, gas dan batuan terus memberikan tekanan yang tinggi. Jika tekanan di bawah magma lebih besar dibandingkan tekanan dari atas magma maka akan terjadi perbedaan tekanan, akibatnya magma akan terdorong keluar sehingga menimbulkan getaran dan gelombang bunyi berupa letusan yang keluar dari celah utama dan selanjutnya magma keluar dalam bentuk gas, debu dan cairan berupa lava (Yuneldi dan Lilik, 2017).

Telah dijelaskan dalam Al-Qur'an ayat yang menerangkan peristiwa-peristiwa alam, salah satunya adalah bencana gunungapi.

يَوْمَ تَرْجُفُ الْأَرْضُ وَالْجِبَالُ وَكَانَتِ الْجِبَالُ كَثِيرًا مَّهِيلًا

Artinya: “Pada hari bumi dan gunung-gunung bergoncangan dan menjadilah gunung-gunung itu tumpukan pasir yang beterbangan.”

Nama-nama ilmiah yang berhubungan dengan gunung memang tidak dijelaskan secara rinci di dalam Al Qur'an. Kata gunung dalam Dalam Surat Al Muzammil [73]:14 Allah SWT berfirman: Al Qur'an biasanya disebut dengan kata *jabal*(جَبَل). Menurut kamus kosa kata Al Qur'an, *jabal* adalah bagian dari permukaan bumi yang besar, panjang, dan menjulang tinggi(Anshory, 2020). Mengenai ayat ini Ibnu Katsir (2015) menjelaskan dalam kitabnya bahwa pada hari itu bumi dan gunung-gunung mengalami guncangan (gempa) yang sangat dahsyat sehingga jadilah gunung-gunung itu seperti tumpukan pasir (مُهَيْلًا), yang sebelumnya berupa batu-batu besar. Setelah itu gunung-gunung akan diledakkan dengan ledakan sedahsyat-dahsyatnya tanpa ada yang tersisa. Inilah yang dimaksud oleh kata كَثِيرًا (beterbangan), dimana setelah gunung itu hancur ia akan berhembus seperti kapas yang beterbangan. Lalu bumi menjadi benar-benar datar tidak ada sedikitpun padanya tempat yang tinggi dan tidak pula tempat yang rendah, semuanya rata.

Gunung Merapi terletak di perbatasan empat kabupaten sekaligus, yaitu Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Kabupaten Magelang, Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Klaten di Provinsi Jawa Tengah. Letak geografinya berada pada 7°32'29,64" LS dan 110°26'44,61" BT. Berdasarkan tatanan tektoniknya, gunung ini terletak di zona subduksi, dimana Lempeng Indo-Australia menunjam di bawah Lempeng Eurasia yang mengontrol vulkanisme di Sumatera, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara. Gunung Merapi

berbentuk sebuah kerucut gunungapi dengan komposisi magma basaltik andesit dengan kandungan silika (SiO_2) berkisar antara 52-56%.

Penelitian sebelumnya mengenai struktur bawah permukaan Gunung Merapi dilakukan oleh Permadi dkk., (2016) dengan menggunakan metode gaya berat dengan jumlah titik sebanyak 164 titik. Hasil penelitian berupa anomali Bouger dengan nilai antara -8.79 mGal hingga 305.46 mGal. Pemodelan 2D menghasilkan model bawah permukaan Gunung Merapi dimana kantong magma terletak pada kedalaman 3300 meter dari puncak atau sekitar 700 meter dari permukaan laut. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Chasanah dkk., (2021) tentang Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Gunung Merapi Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Gravitasi Citra Satelit didapatkan hasil variasi kerapatan batuan berkisar antara $2.256 - 3.298 \text{ g.cm}^{-3}$ dimana litologi penyusun batuan dibawah permukaan Gunung Merapi terdiri atas batuan sedimen, batuan andesit, batuan basal dan batuan gabbro. Penelitian yang sama terkait struktur bawah permukaan Gunung Merapi juga dilakukan oleh Nuerdin dkk., (2020) dengan menggunakan metode magnetotellurik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resistivitas bawah permukaan Merapi terdiri dari 2 (dua) karakteristik yaitu zona resistivitas tinggi dan zona resistivitas rendah. Zona resistivitas tinggi dapat diinterpretasikan sebagai zona produk erupsi sebelumnya yaitu aliran lava dan material piroklastik lainnya. Sedangkan untuk zona dengan resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai kantong magma terbagi menjadi dua bagian, bagian atas berada pada kedalaman 0 sampai 2.000 meter yang mengindikasikan sebuah kantong magma dangkal, sedangkan bagian bawah terlihat menerus dari

kedalaman 3.000 sampai 11.000 meter sebagai kenampakan dapur magma yang cukup besar yang diindikasikan sebagai kantong magma dalam.

Metode magnetik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang biasa digunakan untuk meneliti struktur bawah permukaan. Metode magnetik didasarkan pada variasi intensitas medan magnet yang terukur pada permukaan. Intensitas medan magnet yang bervariasi disebabkan karena setiap batuan memiliki nilai suseptibilitas yang berbeda-beda. Nilai suseptibilitas ini adalah nilai yang menyatakan seberapa besar kemampuan batuan atau benda untuk termagnetisasi. Jenis dan lapisan batuan di bawah permukaan kemudian dapat diketahui melalui nilai suseptibilitas yang dimiliki oleh masing-masing batuan tersebut.

Sejauh ini belum banyak yang meneliti mengenai struktur bawah permukaan Gunung Merapi dengan metode magnetik. Suatu kajian geofisika perlu dilakukan guna mengetahui struktur bawah permukaan Gunung Merapi. Berdasarkan hal-hal tersebut, maka penulis bermaksud untuk melakukan penelitian dengan judul “Interpretasi Bawah Permukaan Pra Erupsi Gunung Merapi Tahun 2020 Menggunakan Metode Magnetik”. Dengan harapan dari penulis yaitu, dapat memberikan informasi terkait anomali medan magnet lokal dan struktur bawah permukaan Gunung Merapi untuk dimanfaatkan nantinya bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pola anomali medan magnet lokal Gunung Merapi pra dan pasca erupsi tahun 2020?

2. Bagaimana struktur bawah permukaan Gunung Merapi pra dan pasca erupsi tahun 2020?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pola anomali medan magnet lokal Gunung Merapi pra dan pasca erupsi tahun 2020
2. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan Gunung Merapi pra dan pasca erupsi tahun 2020

1.4 Batasan Masalah

1. Data yang digunakan adalah data magnetik pra erupsi pada tanggal 19 Juni 2020 dan pasca erupsi pada tanggal 10 Juli 2020 yang diperoleh melalui *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*
2. Area penelitian berada pada koordinat $7^{\circ}29'34,93''$ - $7^{\circ}34'58,77''$ LS dan $110^{\circ}28'53,75''$ - $110^{\circ}23'26,37''$ BT dengan luasan 10×10 km dan spasi 600 meter

1.5 Manfaat

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini bisa dimanfaatkan bagi kalangan akademis untuk mengetahui anomali medan magnet lokal dan struktur bawah permukaan pra dan pasca erupsi Gunung Merapi tahun 2020 serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

2. Manfaat untuk masyarakat

Penelitian ini diharapkan memberikan informasi dan menambah basis data mengenai struktur bawah permukaan Gunung Merapi pra dan pasca erupsi 2020 kepada pihak terkait (pengelola atau pemerintah).

BAB II

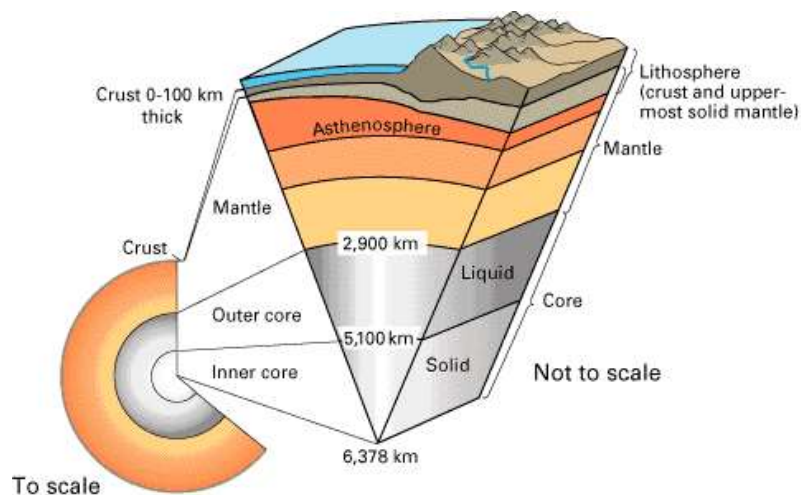
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Dalam Bumi

Setiap lapisan penyusun bumi memiliki sifat yang berbeda-beda, yaitu sifat dan komposisi kimia, serta sifat dan komposisi fisik seperti berat jenis, daya hantar listrik, kemagnetan, elektromagnetik, kepadatan dan sifat yang lainnya. Struktur bumi tersusun atas inti bumi yang bersifat padat dan paling tebal, selubung bumi (astenosfer) yang bersifat cair dan kerak bumi yang bersifat kaku, tipis, dan mudah patah. Semakin dalam lapisan bumi, suhu akan semakin meningkat, yang disebut sebagai gradien geotermal. Inti bumi tersusun atas inti dalam yang bersifat padat dan inti luar yang bersifat plastis, keduanya tersusun dari logam Fe dan Ni. Inti luar merupakan fluida padatan yang terdiri atas massa dengan densitas yang meningkat secara gradual menuju inti dalam. Secara fisik inti luar diketahui sebagai massa plastis, yang semakin ke dalam semakin padat. Selubung bumi (mantel) tersusun atas mantel bawah dan mantel atas, mantel bawah memiliki sifat cair dan tersusun atas magma yang mengandung (oksida Fe, Mg dan Si) dan mantel atas yang bersifat plastis tersusun atas batuan ultra basa (Mulyaningsih, 2015).

Mantel bumi tersusun dari berbagai material yang bersifat padat, cair, dan juga gas dengan temperatur yang relatif tinggi. Lapisan ini memiliki ketebalan hingga 2900 km. Mantel bumi terbagi menjadi dua bagian, yaitu mantel atas dan mantel bawah. Mantel atas bersifat plastis hingga semiplastis dengan kedalaman mencapai 400 km, sedangkan mantel bawah memiliki sifat padat dengan kedalaman hingga 2900 km. Pada lapisan mantel juga berlangsung arus konveksi

yang menjadi penyebab bergeraknya lapisan litosfer. Arus konveksi ini disebabkan oleh panas yang diciptakan dari peluruhan radioaktif pada lapisan inti bumi serta panas yang tersisa dari proses pembentukan bumi. Pergerakan lapisan litosfer akibat arus konveksi ini dapat menimbulkan berbagai peristiwa alam seperti gempa bumi, dan juga berpengaruh pada aktivitas vulkanisme pada gunung berapi. Lapisan paling atas adalah lapisan kerak bumi. Lapisan kerak bumi ini memiliki ketebalan sekitar 30-70 km dengan lapisan batuan yang terdiri dari asam dan basa, dan memiliki berat lebih ringan dari mantel (Syukri, 2020).



Gambar 2.1 Struktur Dalam Bumi

Batas antara inti bumi dan mantel bumi disebut sebagai batas Gutenberg. Pada kedalaman antara 100-200 km dari permukaan bumi, diketahui suhu batuan mendekati titik leleh. Batuan yang meleleh kemudian terakumulasi dalam suatu wadah (reservoir) yang sangat banyak di bidang batas Gutenberg. Celah-celah reservoir magma secara tektonika terbentuk oleh proses peregangan lempeng. Reservoir magma tersebut juga disebut dapur magma primer, yaitu tempat pembentukan magma (tempat melelehnya batuan). Dapur magma primer yang

terletak di dalam bidang batas Gutenberg terbentuk dari proses pelelehan batuan yang terjadi akibat perubahan suhu dan tekanan (gradien geotermal) bumi. Batuan akan meleleh ketika melampaui titik lelehnya pada zona tersebut. Magma primer yang dihasilkan dari proses pelelehan tersebut selanjutnya mengalami pergerakan ke permukaan bumi, melalui rekahan-rekahan tektonik yang ada di atasnya (Mulyaningsih, 2015).

2.2 Gunungapi

Gunungapi merupakan lubang kepundan atau rekahan di dalam kerak bumi sebagai tempat keluarnya cairan magma, gas, atau cairan lainnya ke permukaan bumi. Bentuk lahan gunungapi memiliki kontur yang menjulang hingga ribuan kilometer. Gunungapi terbentuk pada empat busur, yaitu busur tengah benua, busur tepi benua, busur tengah samudera, dan busur dasar samudera.

2.2.1 Terbentuknya Gunungapi

Gunungapi merupakan bentuk timbunan dipermukaan bumi yang terbentuk dari timbunan material hasil erupsi dan juga merupakan tempat dimana keluarnya magma dan gas ke permukaan bumi. Gunungapi memiliki sejarah yang panjang di bumi. Gunungapi adalah gunung yang terbentuk jika magma telah mencapai permukaan bumi. Mayoritas gunungapi yang ada di dunia ini terbentuk di sepanjang batas lempeng tektonik.

Ketika dua batas lempeng tektonik saling bertabrakan, lempeng yang memiliki densitas atau massa jenis lebih berat akan menunjam ke bawah permukaan bumi. Lempeng yang masuk ke bawah permukaan bumi akan meleleh akibat temperatur di dalam bumi yang tinggi dan berubah menjadi magma.

Magma yang memiliki massa jenis lebih ringan dari batuan disekitarnya akan terdesak dan mencari jalan keluar untuk sampai ke permukaan bumi. Magma yang sampai ke permukaan bumi disebut lava. Lava yang telah membeku dan tertumpuk di atas permukaan bumi kemudian membentuk tubuh gunungapi. Proses ini merupakan salah satu dari beberapa proses pembentukan gunungapi. Tidak semua gunungapi terbentuk akibat proses subduksi. Gunungapi ada yang terbentuk dari pemekaran kerak benua, dimana ketika lempeng bergerak saling menjauh maka magma memiliki peluang untuk naik ke permukaan dan membentuk busur gunungapi tengah samudera atau juga dengan penipisan kerak samudera akibat pergerakan lempeng yang membuat magma berkesempatan menerobos ke dasar samudera dan membentuk deretan gunungapi perisai.

Penciptaan gunung juga telah disebutkan dalam Al-Qur'an Surat Fathir ayat 27 yang berbunyi:

الَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيَضٌ وَحُمْرٌ
مُّخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ

Artinya : “Tidakkah engkau melihat bahwa Allah menurunkan dari langit air lalu Kami mengeluarkan dengannya buah-buahan yang beraneka macam warnanya. Dan di antara gunung-gunung ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang pekat hitam”.

Setiap gunung memiliki karakteristiknya masing-masing, hal ini salah satunya disebabkan oleh karakteristik batuan yang ada di bawahnya. Imam Nawawi ketika menafsirkan ayat ini mengatakan bahwa macam-macam warna merupakan sifat garis-garis yang terdapat pada gunung. Kata جُدَدٌ بَيَضٌ وَحُمْرٌ benar-benar memberi gambaran bahwa setiap gunung memiliki warna tersendiri tergantung pada materi yang terkandung. Jika materinya besi, maka warna

dominannya adalah merah, jika materinya batubara, maka warna dominannya hitam, dan seterusnya. Pada ayat di atas kita dapat mengambil pembelajaran bahwa Allah menciptakan gunung dengan warna yang beragam, dari mulai yang berwarna cerah hingga gelap. Warna ini dipengaruhi oleh jenis tanah dan batuan yang menyusunnya, sehingga warna yang tampak merupakan representasi dari jenis tanah atau batuan tersebut (Anshory, 2020).

2.2.2 Aktivitas Gunungapi

Gunungapi terbentuk di ujung bukaan atau pipa tengah yang naik dari astenosfer ke mantel atas lalu naik ke kerak bumi. Proses vulkanisme terjadi ketika magma berhasil keluar menuju permukaan. Aktivitas gunungapi tentu juga dipengaruhi oleh dapur magma yang ada di bawahnya. Intensitas dan kekuatan juga dipengaruhi oleh material vulkanik yang dikeluarkan dari dapur magma (Widodo dan Hesti, 2019). Secara umum, gunungapi yang masih aktif akan menunjukkan aktivitas vulkanisnya dengan adanya erupsi atau letusan. Erupsi dapat terjadi jika magma yang berada pada kantong magma berhasil menemukan jalan untuk sampai ke permukaan melalui celah-celah yang terbuka. Aktivitas magma pada gunungapi, entah pada akhirnya menghasilkan erupsi atau tidak akan tetap menghasilkan deformasi. Deformasi merupakan perubahan yang terjadi pada tubuh gunungapi berupa kenaikan (inflasi) ataupun penurunan (deflasi) permukaan tanah. Perubahan ini terjadi karena adanya tekanan pada bawah tubuh gunungapi akibat desakan magma.

Aktivitas gunungapi adakala ditandai dengan munculnya gas atau awan panas, dan juga seringnya terdengar suara gemuruh. Gas-gas yang berasal dari magma mengandung senyawa H_2O , SO_2 , CO_2 , H_2S , HCl , CO , dan Nitrogen. Gas

vulkanik dari gunungapi yang aktif perlu untuk diwaspadai. Pasalnya semua gunungapi mengeluarkan gas yang beracun, hanya saja dengan tingkatan yang berbeda-beda. Ada yang dapat membuat penghirupnya merasa lemas, ada juga yang langsung meninggal.

Terjadinya aktivitas gunungapi terlihat dari adanya gerakan magma yang mencapai permukaan bumi. Magma memiliki sifat selalu bergerak mencari zona lemah. Zona lemah yang terbentuk oleh tektonika berawal dari dapur magma dan berakhir hingga permukaan bumi, akan dilalui magma secara berulang-ulang atau terus-menerus hingga akhir dari zona lemah tersebut. Akumulasi magma di permukaan bumi yang membeku selanjutnya membentuk batuan ekstrusi dan menutup pipa kepundan (rekahan penghubung dapur magma dan permukaan bumi), hingga menimbulkan tekanan yang berlebih. Aliran magma secara terus menerus menyebabkan tekanan pada penyumbat kepundan menjadi lemah, akibatnya dapat menimbulkan ledakan. Ledakan itulah yang dikenal sebagai letusan gunungapi. Tubuh gunungapi tidak dapat dibangun jika gerakan magma tidak mampu menjangkau hingga bagian luar kerak bumi (permukaan). Magma tersebut jika mendingin dan membeku membentuk tubuh batuan beku intrusi dalam (Mulyaningsih, 2015).

2.3 Gunung Merapi

2.3.1 Kondisi Geografis

Gunung Merapi di Indonesia merupakan salah satu dari gunungapi paling berbahaya di dunia. Gunungapi ini gagah menjulang di daerah pedesaan padat penduduk dan terletak sekitar 30 km dari kota Yogyakarta (Erdmann, 2016). Lebih tepatnya Gunung Merapi terletak di perbatasan empat kabupaten yaitu

Kabupaten Sleman di Provinsi DIY dan Kabupaten Magelang, Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Klaten di Provinsi Jawa Tengah. Posisi geografisnya terletak pada $7^{\circ}32'30''$ LS dan $110^{\circ}26'30''$ BT. Gunung Merapi memiliki ketinggian 2986 m di atas permukaan laut. Berdasarkan susunan tektoniknya, gunung ini terletak pada zona subduksi, dimana lempeng Indo-Australia menunjam di bawah lempeng Eurasia yang mengontrol vulkanisme di Sumatra, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara. Gunung Merapi berada di bagian Selatan dari deretan gunungapi di Jawa Tengah mulai dari utara ke selatan yaitu Ungaran-Telomoyo- Merbabu-Merapi (Kiswiranti, 2013).

2.3.2 Geologi Gunung Merapi

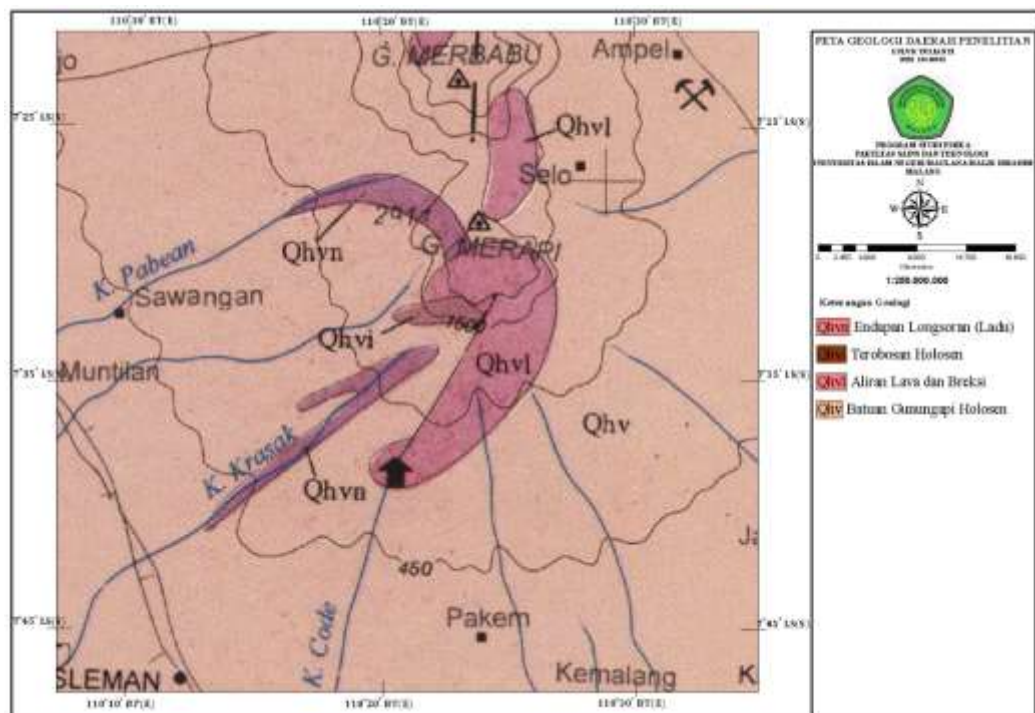
Gunung Merapi adalah salah satu gunungapi andesit yang merupakan bagian dari busur Sunda, memanjang 3000 km dari Sumatera Utara hingga Kepulauan Sunda Indonesia Timur. Busur subduksi ini dihasilkan dari konvergensi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Busur Sunda terletak pada area dimana subduksi terjadi sejak Upper Paleozoic. Gunung Merapi berjarak 300 km dari palung dan kedalaman *Benioff zone* sekitar 170 km. Terdapat tiga divisi yang terlihat pada Gunung Merapi, *Ancient Merapi* merupakan basement dengan penyusun utama merupakan breksi andesit. *Midle Aged Merapi* melibatkan aliran lava andesit dan batuan breksi. *Recent Merapi* yang terbentuk oleh tiga susunan utama berupa aliran andesit besar, batuan *nuee ardente*, dan batuan yang berasal dari phreato-sub-plinian dan erupsi sub-plinian (Permadi, dkk., 2016).

Secara geologi, Gunung Merapi terbagi dalam empat periode yaitu Pra Merapi, Merapi Tua, Merapi Muda dan Merapi Baru. Periode pertama adalah Pra

Merapi telah dimulai sejak sekitar 700.000 tahun lalu yang menyisakan Gunung Bibi (2025 m dpl) di lereng timur laut Gunung Merapi. Gunung Bibi memiliki lava yang bersifat basaltik andesit. Periode Merapi Tua menyisakan Bukit Turgu dan Plawangan yang telah berumur sekitar 60.000 sampai 8.000 tahun. Kedua bukit tersebut mendominasi morfologi lereng selatan Gunung Merapi. Pada periode ketiga yaitu periode Merapi Muda terjadi beberapa lelehan lava andesitik yang menyusun bukit Batulawang dan Gajahmungkur yang sekarang tampak di lereng utara Gunung Merapi serta menyisakan kawah Pasar Bubar. Periode Merapi Muda beraktivitas antara 8.000 sampai 2.000 tahun yang lalu. Periode keempat yaitu aktivitas Merapi yang sekarang ini disebut Merapi Baru, dimulai sekitar 2000 tahun yang lalu . Pada periode ini terbentuk kerucut puncak Merapi yang sekarang ini disebut sebagai Gunung Anyar di bekas kawah Pasar Bubar (Kiswiranti, 2013).

Gunung Merapi adalah gunungapi tipe strato(komposit). Secara geomorfologi, tubuh Gunung Merapi berbentuk kerucut sempurna, yang dibangun oleh hasil aktivitasnya sendiri, sehingga pertumbuhannya dikategorikan sebagai fasa konstruktif(pembangunan). Pada beberapa periode aktivitasnya, erupsi Gunung Merapi lebih didominasi oleh pembentukan kubah lava dan erupsi efusif, yang selanjutnya material erupsi tersebut gugur dan terendapkan pada lereng-lerengnya. Namun dalam beberapa periode tertentu yaitu sekali dalam 50-150 tahun, erupsinya bersifat eksplosif, disertai dengan penghancuran kubah lava yang kemudian membentuk kaldera baru, dan materialnya bersifat fragmental yang diendapkan pada lereng hingga kaki gunungapi. Pembentukan kaldera baru tersebut menyebabkan perubahan geomorfologi puncaknya dan berdampak pada

perubahan arah erupsinya. Aktivitas eksplosif Gunung Merapi tersebut membentuk rekahan baru, yang selanjutnya dilalui oleh magma ke permukaan, membentuk beberapa puncak gunungapi, yaitu puncak Gunung Bibi, Batulawang, Patuk Alap-Alap, Pusunglondon dan Gunung Anyar (Mulyaningsih, 2012).



Gambar 2.2 Geologi Daerah Penelitian

2.3.3 Sejarah Letusan

Gunung Merapi merupakan salah satu gunungapi yang memiliki aktivitas vulkanik tinggi di Indonesia. Gunung Merapi memiliki potensi untuk menimbulkan bencana alam dengan intensitas dan kekuatan yang berbeda setiap kali erupsinya. Gunung Merapi terbentuk akibat adanya aktivitas dari dua lempeng benua yakni Lempeng Indoaustralia dengan Lempeng Eurasia. Pada sejarah erupsinya, Gunung Merapi memiliki sejarah erupsi yang dahsyat dalam 100 tahun terakhir dengan intensitas erupsi yang terjadi dalam rentang 3-5 tahun sekali (Permadi, 2016).

Aktivitas Gunung Merapi telah dimulai sejak ± 42.000 tahun yang lalu. Berdasarkan catatan sejarah, 11 letusan besar telah terjadi sejak 3000 tahun yang lalu di Gunung Merapi. Letusan Gunung Merapi berupa aliran awan panas, lontaran batu pijar dan hujan abu (Widodo dan Hastuti, 2019). Sungai-sungai di lereng Gunung Merapi hampir setiap tahun mengalami banjir bandang. Endapan hasil erupsi Merapi dapat bertahan dalam bentuk jatuhan abu, aliran lahar, dan pembentukan kubah piroklastik di skitar puncak (Rahardjo, 2023). Erupsi eksplosif Gunung Merapi yang paling tua tercatat sekitar tahun 9630 SM. Letusan besar yang terjadi pada masa lalu terjadi pada tahun 1587, 1672, 1768, 1822, 1849, dan 1879. Pada erupsi Gunung Merapi tahun 1822, jatuhan piroklastika mengenai wilayah timur laut dan barat daya, sedangkan awan panas mengisi lembah-lembah Sungai Apu, Sungai Lamat, Sungai Blongkeng, Sungai Batang, Sungai Gendol, dan Sungai Woro (Murwanto, dkk., 2013). Berdasarkan data yang tercatat di Badan Geologi, sejak tahun 1600-an Gunung Merapi meletus lebih dari 800 kali atau rata-rata sekali meletus dalam 4 tahun. Sejak tahun 1900, Gunung Merapi meletus dengan indeks letusan berkisar antara 1-3. Indeks maksimum 3 terjadi pada tahun 1930 dan 1961, yang menghasilkan awan panas dengan jarak hingga 12 km ke arah barat daya. Pada tahun 1994 awan panas telah menewaskan 66 orang di lereng sebelah barat daya (Chasanah, dkk., 2021).

Erupsi yang bersifat eksplosif seringkali terjadi sebelum abad ke-20. Saat ini erupsi Gunung Merapi pada umumnya diawali dengan pembentukan kubah lava, kemudian kubah lava mengalami guguran yang diikuti oleh aliran piroklastik (Murwanto, 2013). Dalam beberapa tahun terakhir, Gunung Merapi telah mengalami beberapa kali letusan. Letusan Gunung Merapi tanggal 8 Juni 2008

dengan semburan awan panas telah membuat panik ribuan warga di wilayah lereng Gunung Merapi dan warga berusaha melarikan diri ke tempat yang aman. Semburan awan panas sejauh 5 km mengarah ke hulu Kali Gendol (lereng selatan) dan menghanguskan sebagian kawasan hutan di utara Kaliadem di wilayah Kabupaten Sleman. Erupsi pada tahun 2010 menyemburkan material vulkanik setinggi kurang lebih 1,5 km dan disertai keluarnya awan panas yang menerjang Kaliadem, Desa Kepuharjo, Kecamatan Cangkringan, Sleman (Soewandita dan Nana, 2014). Pada tanggal 11 Mei 2018 aktivitas vulkanik Gunung Merapi mulai meningkat. Letusan tipe freatik memunculkan asap yang membumbung tinggi hingga ketinggian 5.500 meter. Kemudian pada tanggal 24 Mei 2018, erupsi Gunung Merapi kembali terjadi ditandai dengan keluarnya asap setinggi 6.000 meter. Hujan abu menimpa wilayah Kabupaten Magelang sampai Kabupaten Kebumen. Erupsi Gunung Merapi kembali terjadi pada tanggal 1 Juni 2018, dengan kolom letusan sekitar 6.000 meter dari puncak. Pada tahun 2019, aktivitas Gunung Merapi terpantau normal. Kemudian di tahun 2020 Gunung Merapi mulai meningkatkan kembali aktivitas vulkanisnya dengan karakter letusan mulai bercampur dengan letusan eksplosif (disertai ledakan dan lontaran material besar).

Gunung Merapi memiliki riwayat letusan dengan periode waktu pengulangan yang berbeda, intensitas berbeda, dan jumlah korban yang berbeda pula. Interval terjadinya erupsi Gunung Merapi yang paling cepat yaitu satu tahun, dan yang paling lama sampai sekitar 70 tahun (Widodo dan Hesti, 2019). Lamanya waktu istirahat antar erupsi juga berpengaruh pada tingkat energi saat terjadi letusan. Jika interval antar erupsi pendek, maka tingkat energi saat letusan juga tidak terlalu besar, begitu sebaliknya.



Gambar 2.8 Letusan Gunung Merapi (Lulie, 2012)

2.4 Metode Magnetik

Geofisika memiliki peran besar dalam banyak disiplin ilmu. Geofisika merupakan suatu teknik yang telah digunakan oleh beberapa disiplin ilmu untuk mengetahui informasi tentang bawah permukaan tanah tanpa harus melakukan penggalian di suatu daerah (Ojo, 2014). Metode magnetik merupakan salah satu dari metode geofisika yang mengukur variasi medan magnet untuk menentukan letak objek bawah permukaan. Batuan yang memiliki kandungan mineral dapat memiliki magnetisasi yang kuat. Variasi medan magnet dapat diinterpretasikan untuk menentukan kedalaman dan suseptibilitas magnetik suatu anomali (Joshua, 2017). Medan magnet bumi sangat berperan penting dalam metode magnetik ini. Secara umum diketahui bahwa medan magnet bumi terutama dihasilkan dari inti luar oleh aliran konvektif yang terkait dengan pelepasan panas karena pembekuan lambat inti dalam bumi (Lesur, 2015). Medan magnet telah menjadi topik penelitian yang menarik pada beberapa aspek sains. Lebih dari 1000 tahun lalu keberadaan medan magnet bumi telah dikenal di negara China. Kajian pertama mengenai hal ini dilakukan oleh Gilbert pada tahun 1600 yang menyatakan bahwa medan magnet bumi merupakan dipol dimana sumbunya berdampingan dengan

sumbu rotasi bumi (Navabi, 2015). Metode magnetik merupakan metode geofisika yang memanfaatkan sifat magnetik bumi. Metode ini didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnet. Kemampuan batuan ataupun material untuk termagnetisasi tergantung pada suseptibilitas masing-masing objek penelitian (Maubana, 2021). Nilai suseptibilitas sendiri merupakan ukuran kemampuan batuan untuk termagnetisasi. Berdasarkan nilai suseptibilitas inilah dapat dibedakan jenis batuan apa yang ada di bawah permukaan bumi.

Dilihat dari nilai suseptibilitasnya, maka batuan dapat dipisahkan antara yang memiliki kandungan sifat magnetik dan yang tidak. Perbedaan sifat kemagnetan meningkatkan keberadaan medan magnet bumi yang tidak homogen atau yang kita sebut sebagai anomali magnetik (Duhri, dkk., 2019). Metode magnetik digunakan untuk menjelaskan lapisan batuan dan juga untuk menentukan kedalaman serta struktur bawah permukaan sehingga diperoleh anomali lokal dan regional yang lebih jelas (Sutasoma, dkk., 2021).

2.4.1 Gaya Magnetik

Gaya magnetik diakibatkan oleh adanya dua buah kutub yang terpisah dengan jarak r dimana dua kutub tersebut masing-masing memiliki muatan P_1 dan P_2 . Jika kedua kutub memiliki tanda yang berbeda maka akan saling tarik menarik, sedangkan jika memiliki tanda yang sama akan tolak menolak, sesuai dengan persamaan berikut (Telford, et al., 1990):

$$\vec{F} = \frac{1}{\mu_0} \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (2.1)$$

dimana:

$$\vec{F} \quad = \text{Gaya Coulomb (N)}$$

$m_1 m_2$ = kutub magnetik yang memiliki muatan (C)

μ_0 = konstanta permeabilitas magnetik (dalam ruang hampa = 1)

r = jarak antara dua kutub (m)

$\hat{r}$ = vektor satuan

2.4.2 Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnet merupakan ukuran intensitas medan magnet di area tertentu dari medan tersebut. Kuat medan magnet ($\vec{H}$) didefinisikan dengan persamaan:

$$\vec{H} = \frac{m}{\mu r^2} \hat{r} \quad (2.2)$$

dimana:

$\vec{H}$ = kuat medan magnet (A/m)

m = kuat kutub magnet (emu)

r = jarak (m)

$\hat{r}$ = vektor satuan

2.4.3 Momen Magnetik

Kutub-kutub magnet selalu muncul berpasangan, yaitu kutub positif dengan kutub negatif. Ketika dua kutub yang berbeda muatan ini dipisahkan oleh jarak l , maka momen magnetik ($\vec{M}$) didefinisikan sebagai berikut:

$$\vec{M} = m l \hat{r} \quad (2.3)$$

dimana:

$\vec{M}$: momen magnetik (mC)

m = kuat kutub magnet (emu)

$\hat{r}$: arah dari unit vektor kutub negatif ke kutub positif

l : jarak antara dua kutub (m)

2.4.4 Intensitas Magnetik

Intensitas magnetik merupakan besaran yang menyatakan seberapa besar keserasian arah momen magnetik pada suatu material akibat pengaruh dari medan magnet luar yang ada di sekelilingnya. Intensitas magnetik dirumuskan sebagai berikut :

$$\vec{I} = \frac{\vec{M}}{V} = \frac{ml\hat{r}}{V} \quad (2.4)$$

2.4.5 Suseptibilitas

Mempelajari struktur bumi merupakan salah satu tujuan terpenting dalam penerapan geofisika atau geologis. Suseptibilitas magnetik yang didefinisikan sebagai derajat magnetisasi material selalu digunakan sebagai alat praktis untuk memecahkan masalah geologi, geofisika, dan mineral (Boroomand, et al., 2015). Kemudahan suatu benda magnetik untuk dimagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas kemagnetan k yang dirumuskan dengan persamaan (Telford, et al., 1990):

$$I = k H \quad (2.5)$$

Besaran yang tidak berdimensi ini merupakan parameter dasar yang digunakan pada metode magnetik. Nilai suseptibilitas magnetik dalam ruang hampa sama dengan nol karena hanya benda berwujud yang dapat termagnetisasi. Suseptibilitas magnetik dapat diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu benda. Nilai k pada batuan semakin besar apabila semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik dalam batuan. Berdasarkan nilai suseptibilitas k , benda-benda magnetik dapat dikategorikan sebagai diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik. Diamagnetik adalah benda yang memiliki nilai k kecil dan

negatif. Paramagnetik adalah benda magnetik yang memiliki nilai k kecil dan positif. Sedangkan Ferromagnetik adalah benda magnetik yang memiliki nilai k positif dan besar.

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Batuan dan Mineral (Telford, 1990)

Type	Susceptibility (SI $\times 10^{-3}$)	
	Range	Average
Sedimentary		
Dolomite	0-0.9	0.1
Limestone	0-3	0.3
Sandstone	0-20	0.4
Shales	0.01-0.5	0.6
Av. 48 sedimentary	0-18	0.9
Methamorphic		
Amphibolite		0.7
Schist	0.3-3	1.4
Pheylite		1.5
Gneiss	0.1-25	
Quartzite		4
Serpentine	3-17	
Slate	0-35	6
Av. 61 methamofphic	0-70	4.2
Igneous		
Granite	0-50	25
Rhyolite	0.2-35	
Dolorite	1-35	17
Augte-syenite	30-40	
Olivine-diabase		25
Diabase	1-160	55
Phorphyry	0.3-200	60

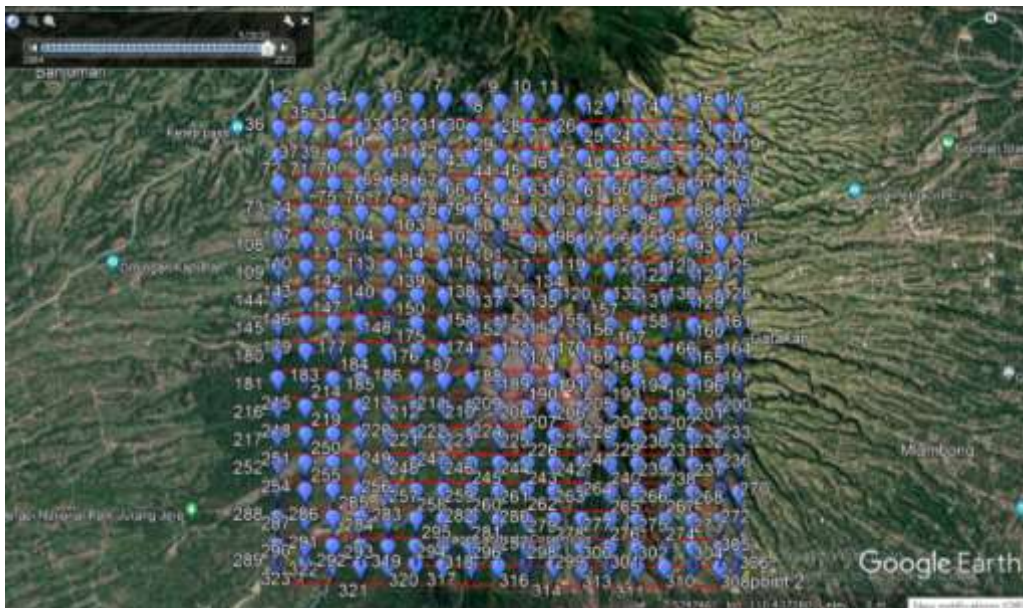
Gabbro	1-90	70
Basalts	0.2-175	70
Diorite	0.6-120	85
Pyroxinite		125
Peridotite	90-200	150
Andesite		160
Av. Acidic agneous	0-80	8
Av. Basic agneous	0.5-97	25
Mineral		
Graphite		0.1
Quartz		-0.01
Rock salt		-0.01
Anhydrite, gypsum		-0.01
Calcite	-0.001-(-0.01)	
Coal		0.02
Clays		0.2
Chalcophyrite		0.4
Sphalerite		0.7
Cassiterite		0.9
Sliderite	1-4	
Pyrite	0.05-5	1.5
Limonite		2.5
Arsenophyrite		3
Hematite	0.5-35	6.5
Chromite	3-110	7
Franklinite		430
Phyrrhotite	1-6000	1500
Limelite	300-3500	1800

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Gunung Merapi terletak pada koordinat $7^{\circ}32'29,64''\text{LS}$ dan $110^{\circ}26'44,61''\text{BT}$. Gunung Merapi memiliki ketinggian sekitar 2968 m dpl dengan luas mencapai 300-400 km². Gunung Merapi berada pada wilayah perbatasan antara Provinsi DI Yogyakarta dengan Provinsi Jawa Tengah yang mencakup empat kabupaten sekaligus, yaitu Kabupaten Sleman, Kabupaten Boyolali, Kabupaten Klaten, dan Kabupaten Magelang.



Gambar 3.1 Area dan Titik-titik Penelitian

3.2 Instrumentasi Penelitian

Pada penelitian ini, data diperoleh melalui pengukuran sekunder menggunakan citra satelit. Adapun pada proses pengolahan data, software yang digunakan yaitu:

1. Ms. Excel

2. Notepad
3. Google Earth Pro
4. Surfer 13
5. Matlab 2008
6. MagPick
7. Oasis Montaj
8. Topex

3.3 Data

Data geomagnetik meliputi:

1. Ketinggian titik ukur (elevasi)
2. Intensitas medan magnetik total
3. Medan magnetik utama bumi (IGRF)

3.4 Pengolahan Data Magnetik

Agar dapat memperoleh nilai anomali medan magnetik yang diinginkan, maka perlu dilakukan koreksi terhadap data magnetik total hasil pengukuran, koreksi yang dilakukan antara lain:

3.4.1 Koreksi IGRF

Anomali medan magnet merupakan hasil pengukuran dari intensitas medan magnet total setelah dilakukan koreksi, yaitu koreksi IGRF. Koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) berfungsi untuk menghilangkan nilai medan magnet bumi di daerah penelitian (Widyawati, 2022). Nilai medan magnetik utama tidak lain adalah nilai IGRF. Koreksi IGRF dapat dilakukan

dengan cara mengurangi nilai IGRF terhadap nilai medan magnetik total pada setiap titik pengukuran dengan posisi geografis yang sesuai (Santosa dkk., 2012):

$$\Delta H = H \pm H_o \quad (2.6)$$

dimana :

ΔH : anomali medan magnetik total

H : intensitas medan magnet

H_o : koreksi IGRF

3.4.2 Reduksi Bidang Datar

Anomali medan magnetik hasil koreksi IGRF masih tersebar pada ketinggian yang berbeda-beda. Maka dari itu data anomali medan magnetik total harus direduksi atau dibawa ke bidang datar terlebih dulu untuk mempermudah proses pengolahan dan interpretasi data magnetik,. Suatu metode yang dapat digunakan untuk reduksi bidang datar ini adalah melalui pendekatan Taylor (*Taylor series approximation*).

3.4.3 Kontinuasi ke Atas

Proses kontinuasi atau pengangkatan ke atas merupakan proses transformasi data medan potensial dari suatu bidang datar ke bidang datar lainnya yang lebih tinggi. Pada proses kontinuasi ke atas ini, pengangkatan tidak boleh terlalu tinggi, karena dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang menjadi target survei magnetik (Santosa, dkk., 2012). Anomali magnetik regional berpengaruh pada data anomali magnetik yang tersebar di bidang horizontal. Oleh karena target dari penelitian ini adalah struktur bawah tanah, maka perlu dilakukan reduksi data anomali regional. Nantinya, data anomali lokal yang diperoleh merupakan data anomali magnetik

yang menggambarkan kondisi bawah permukaan tanah (Ramdani, dkk., 2023). Pada intinya, kontinuitas ke atas ini diharapkan dapat membantu memisahkan anomali lokal dengan regional sehingga efek dari benda-benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi yang tidak menjadi target survei dapat dihilangkan.

3.4.4 Reduksi ke Kutub

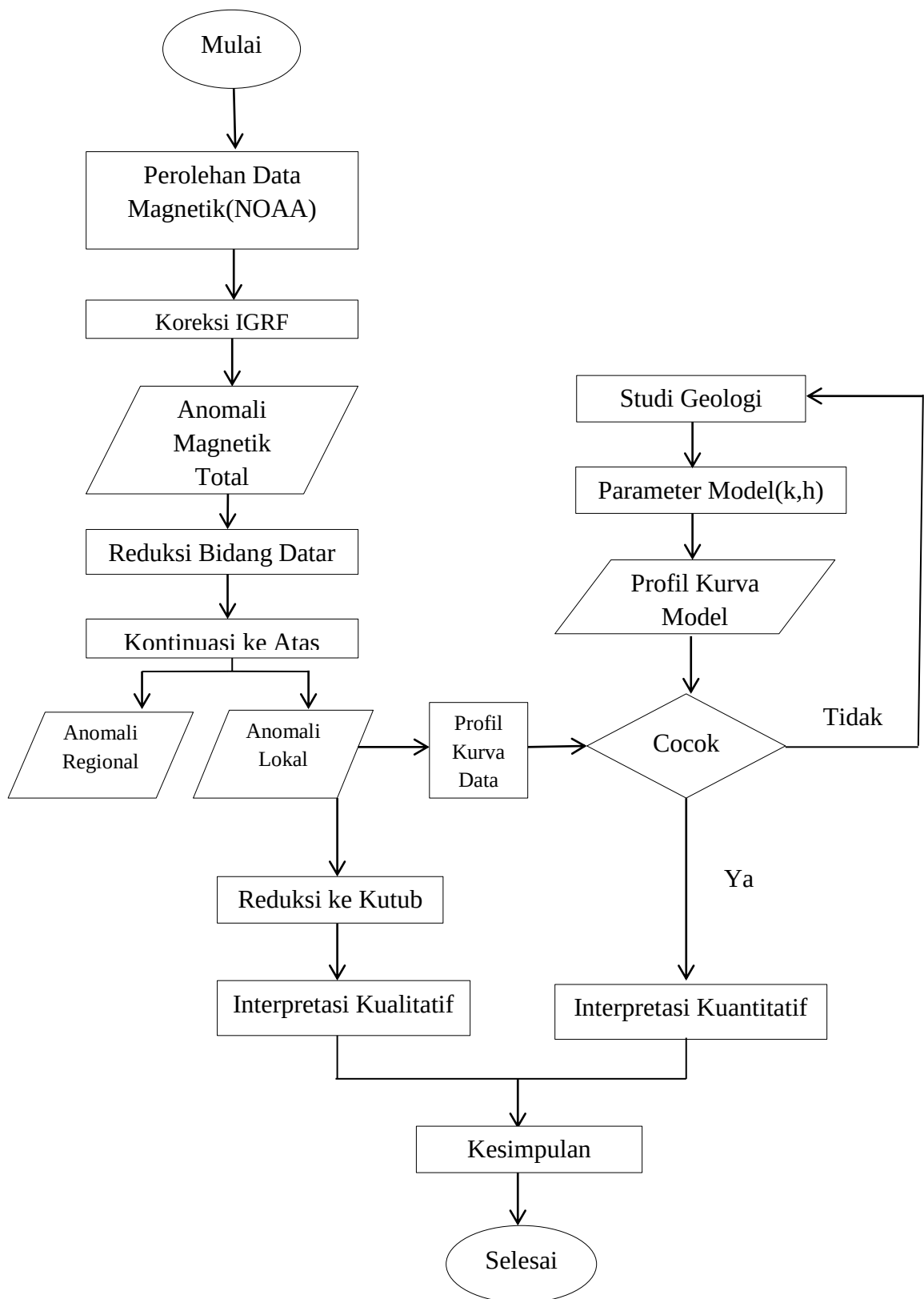
Reduksi ke kutub adalah salah satu filter pengolahan data magnetik untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnet. Reduksi ke kutub ini diperlukan karena sifat dipole magnetik yang membuat sulit interpretasi data lapangan yang umumnya masih berpola asimetrik (Yudianto dan Agus, 2014). Dipol magnetik adalah anomali yang berasal dari satu objek yang terbentuk karena pengaruh sudut deklinasi dan inklinasi yang mengubah arah magnetisasi batuan. Oleh karena itu, untuk meniadakan pengaruh dipole magnetik, dilakukanlah proses reduksi ke kutub ini (Maulidan, dkk., 2022).

3.4.5 Interpretasi Data

Secara umum interpretasi data geomagnetik terbagi menjadi dua, yaitu interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada pola kontur anomali medan magnetik yang berasal dari distribusi benda-benda yang termagnetisasi atau struktur geologi bawah permukaan. Selanjutnya pola anomali medan magnetik yang didapat ditafsirkan berdasarkan informasi geologi daerah penelitian dalam bentuk distribusi benda magnetik atau struktur geologi, yang dijadikan dasar pendugaan terhadap keadaan geologi yang sebenarnya. Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui pemodelan yang bersifat

matematis. Untuk melakukan interpretasi kuantitatif, ada beberapa cara dimana antara satu dengan lainnya mungkin berbeda, tergantung dari bentuk anomali yang diperoleh, target yang dituju dan ketelitian hasil pengukuran (Santosa dkk., 2012).

3.5 Diagram Pengolahan Data



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode magnetik dimana metode ini merupakan salah satu dari metode yang biasa digunakan pada eksplorasi geofisika. Metode ini didasarkan pada variasi intensitas medan magnetik yang terukur di permukaan bumi. Nilai yang didapatkan berupa nilai anomali magnetik yang menggambarkan distribusi suseptibilitas batuan di bawah permukaan. Pada penelitian ini dilakukan dua bentuk interpretasi, yaitu interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif.

4.1 Akuisisi Data

Dalam penelitian ini, data yang diperoleh berupa intensitas medan magnetik total, elevasi, dan juga medan magnetik utama bumi (IGRF). Data intensitas medan magnetik total dan nilai IGRF diambil melalui *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) sedangkan elevasi atau ketinggian titik penelitian diperoleh dari *Google Earth Pro*. Data penelitian sebanyak 324 titik dengan jarak atau spasi antar titik sejauh 600 meter pada luasan area penelitian 10.000 meter $\times$ 10.000 meter.

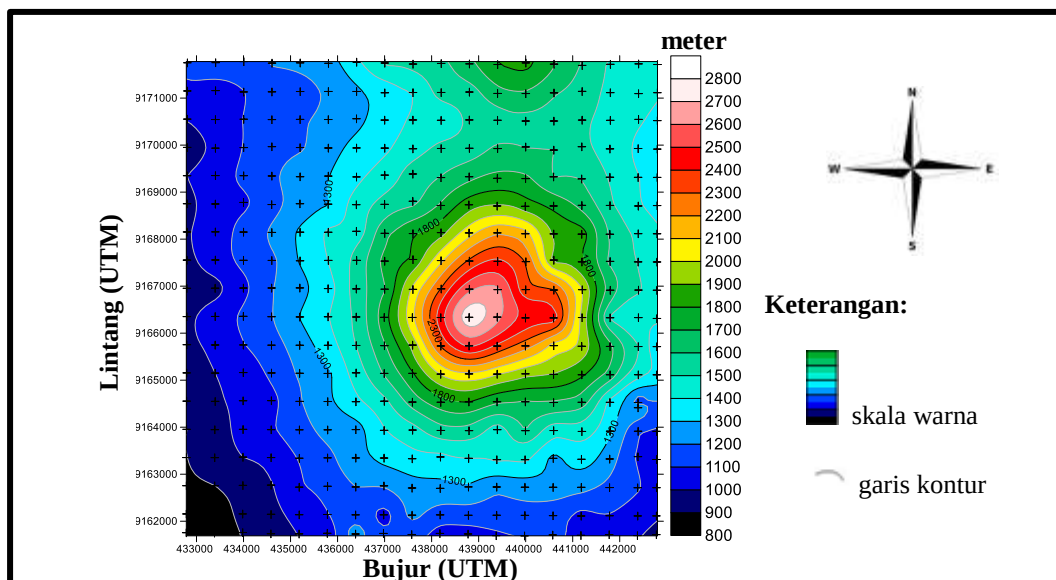
4.2 Pengolahan Data

Data hasil pengukuran yang didapatkan selanjutnya akan dilakukan pengolahan untuk memperoleh anomali medan magnetik lokal. Data awal yang diambil melalui NOAA merupakan data intensitas medan magnet total dimana data ini merupakan gabungan dari medan magnet utama bumi, dan medan anomali yang menjadi target penelitian itu sendiri. Oleh karena itu, data anomali magnetik

total perlu dilakukan koreksi untuk menghilangkan pengaruh dari medan magnet utama.

Kontribusi medan magnet utama dapat dihilangkan melalui koreksi IGRF. Hasil dari koreksi IGRF yaitu berupa data anomali medan magnetik total. Kemudian juga dilakukan reduksi bidang datar, kontinuasi ke atas, dan juga reduksi ke kutub. Proses pengolahan data dimulai dengan mengonversi koordinat-koordinat yang masih dalam bentuk *decimal degrees* menjadi bentuk UTM (*Universal Transfer Mercator*) untuk mempermudah pembacaan pada *Surfer 13*.

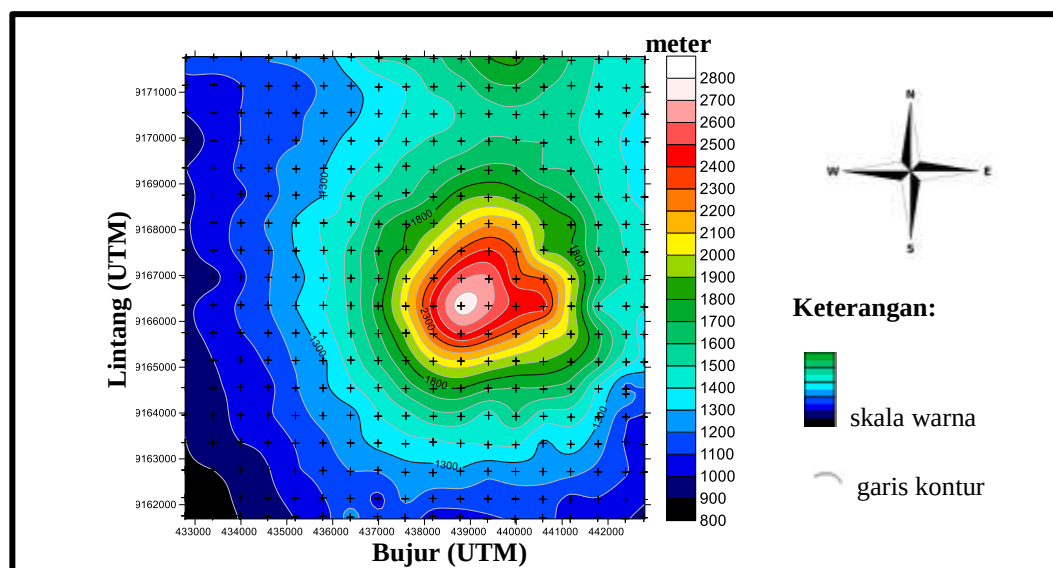
Data yang sudah dilakukan koreksi selanjutnya adalah membuat peta kontur yang terdiri dari peta kontur topografi, peta kontur intensitas medan magnetik total, peta kontur anomali magnet total, peta kontur anomali magnet total hasil reduksi bidang datar, peta kontur anomali magnetik regional, peta kontur anomali magnetik lokal, dan juga peta kontur anomali magnetik lokal yang telah dilakukan reduksi ke kutub.



Gambar 4.1 Topografi Pra Erupsi

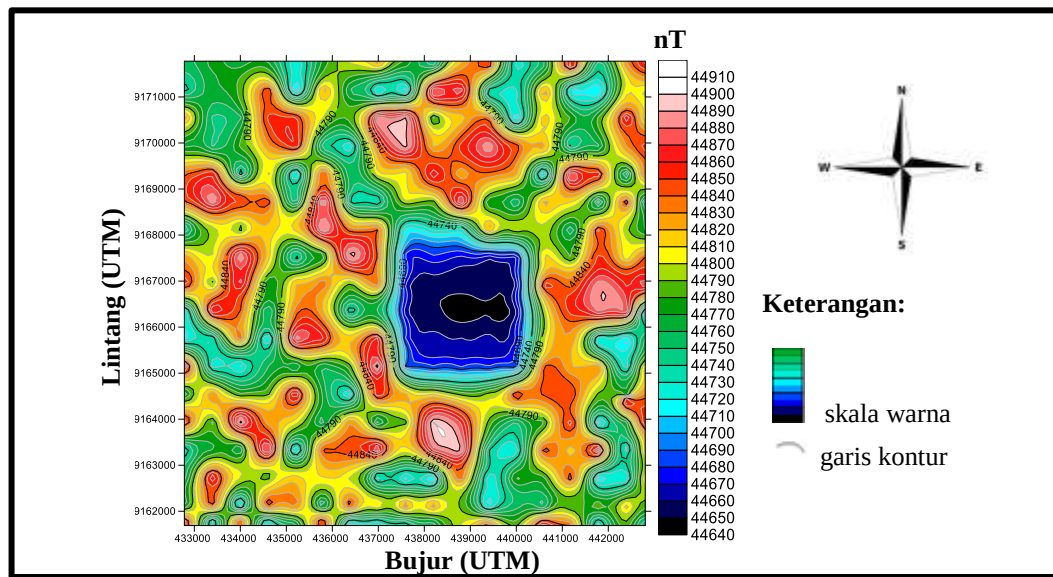
Gambar 4.1 merupakan kontur topografi daerah penelitian yaitu Gunung Merapi yang berkisar antara 800 m dpl sampai 2900m dpl. Pembuatan peta kontur dilakukan menggunakan *software* surfer 13. Untuk peta kontur topografi, data yang dimasukkan berupa koordinat latitude (x), koordinat longitude (y), dan elevasi (z). Kontur tersebut menunjukkan tinggi rendahnya daerah penelitian. Terlihat bahwa ketinggian semakin bertambah pada area tubuh Gunung Merapi. Topografi tinggi ditunjukkan oleh warna merah sampai dengan warna putih dengan ketinggian antara 2300m dpl - 2900m dpl, topografi sedang ditunjukkan oleh warna hijau sampai warna oranye dengan ketinggian sekitar 1500m dpl - 2200m dpl, dan daerah dataran rendah ditunjukkan oleh warna biru tua sampai dengan warna biru muda dengan ketinggian sekitar 800m dpl - 1400m dpl.

Data yang didapat dari hasil pengukuran lapangan merupakan data gabungan dari medan utama bumi dan anomali medan magnet lokal yang menjadi target penelitian. Intensitas medan magnet total yang terukur menggunakan satuan SI nano tesla (nT).

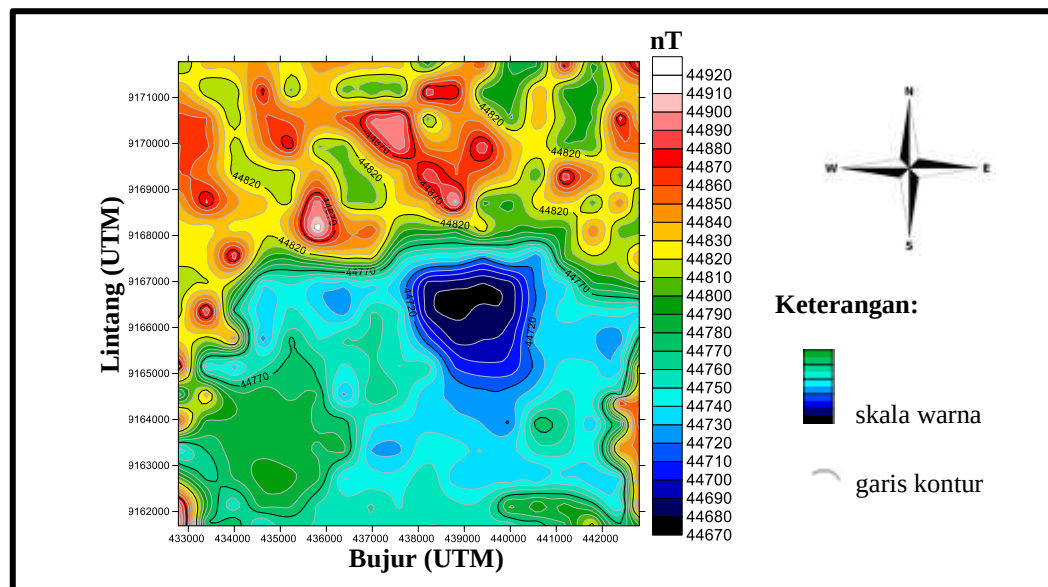


Gambar 4.2 Topografi Pasca Erupsi

Pada topografi pasca erupsi, rentang ketinggian memiliki nilai yang sama, yaitu antara 800 m dpl - 2900 m dpl. Namun, jika dilihat dengan seksama ada sedikit perbedaan pada kontur topografi setelah terjadinya letusan. Hal ini terjadi karena gunungapi mengalami deformasi akibat aktivitas magma yang ada di bawah permukaan.



Gambar 4.3 Intensitas Medan Magnetik Total Pra Erupsi

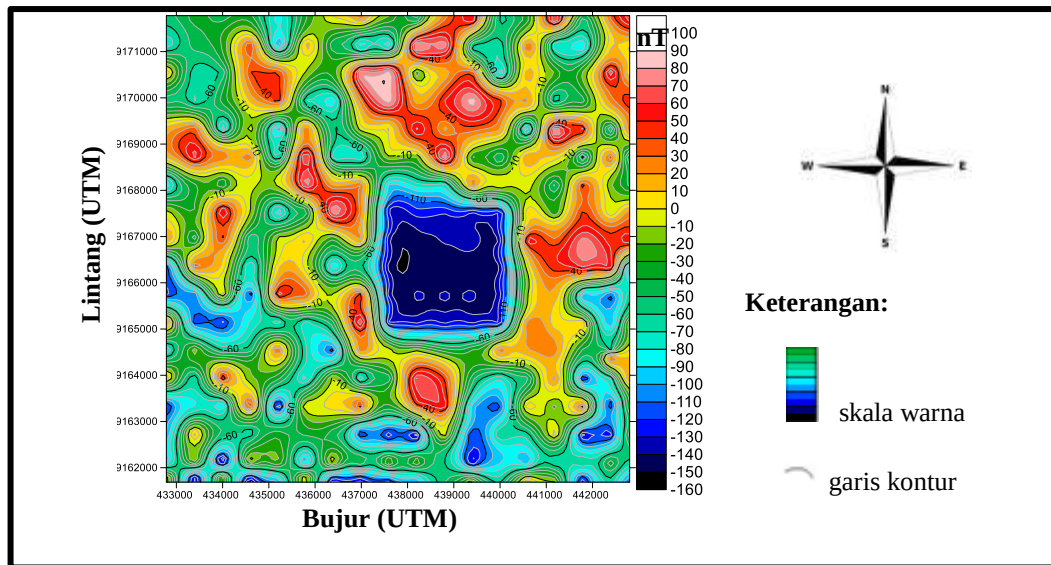


Gambar 4.4 Intensitas Medan Magnetik Total Pasca Erupsi

Gambar 4.3 menunjukkan kontur intensitas medan magnet pra erupsi yang terukur pada daerah penelitian. Secara umum daerah penelitian ini memiliki nilai intensitas medan magnet terendah 44640 nT dan tertinggi 44920 nT. Sedangkan Gambar 4.4 merupakan kontur intensitas medan magnetik pasca erupsi yang terukur di lapangan. Nilai intensitas magnetik ini bisa diperoleh melalui NOAA dengan memasukkan posisi *latitude* dan *longitude* titik penelitian. Nilai intensitas terendah sebesar 44670 nT dan tertinggi mencapai 44930 nT. Jika dibandingkan dengan nilai intensitas pada pra erupsi, nilai intensitas pasca erupsi memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena pengaruh suhu, dimana semakin tinggi suhu batuan maka nilai magnetiknya semakin menurun.

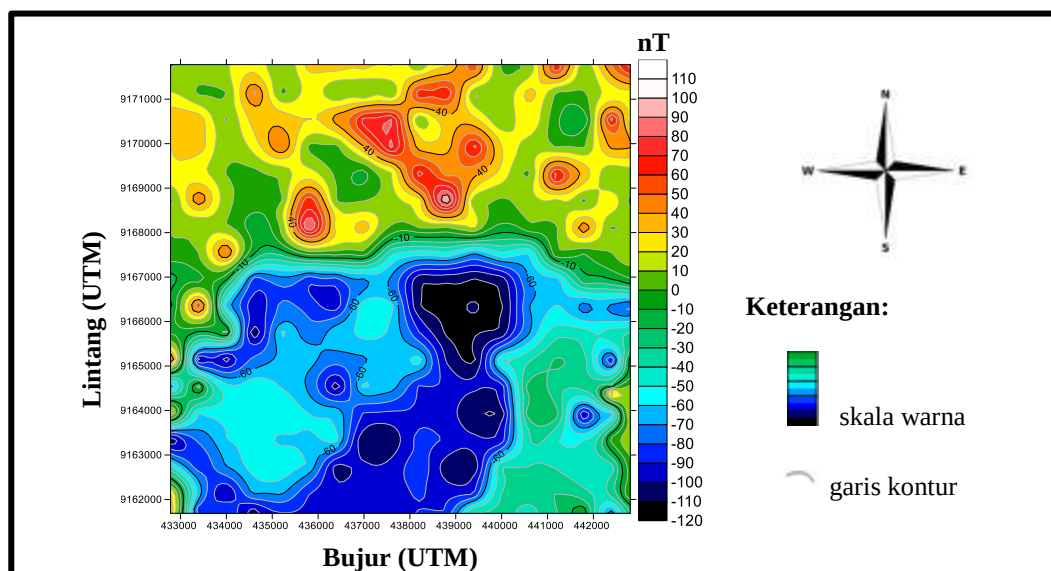
4.2.1 Koreksi IGRF

Pengolahan data selanjutnya adalah koreksi IGRF. Data yang didapat dari lapangan adalah data yang masih terpengaruh oleh medan magnet utama bumi. Oleh karena itu, koreksi IGRF perlu dilakukan untuk mendapat nilai anomali medan magnet total. Anomali medan magnet inilah yang merupakan nilai medan magnet dari batuan yang menjadi target pengukuran. Kontur anomali medan magnet merupakan gambaran dari keadaan geologi bawah permukaan secara umum yang disebabkan oleh anomali medan dalam dan dangkal (Sutasoma, 2017). Pada penelitian ini, nilai IGRF diambil per titik lokasi penelitian agar hasil yang di dapat lebih teliti. Nilai IGRF ini diambil melalui website NOAA dengan memasukkan nilai latitude, longitude, elevasi, serta waktu yang diinginkan untuk diambil nilai IGRF-nya.



Gambar 4.5 Kontur Anomali Medan Magnet Total Pra Erupsi

Gambar 4.5 merupakan kontur anomali medan magnet total pra erupsi dimana data intensitas magnet total yang telah dikoreksi IGRF. Tujuan dari koreksi ini adalah untuk menghilangkan pengaruh medan magnet utama bumi. Berdasarkan gambar tersebut nilai anomali medan magnet total pra erupsi berada pada kisaran -160 nT sampai 110 nT.



Gambar 4.6 Kontur Anomali Medan Magnet Total Pasca Erupsi

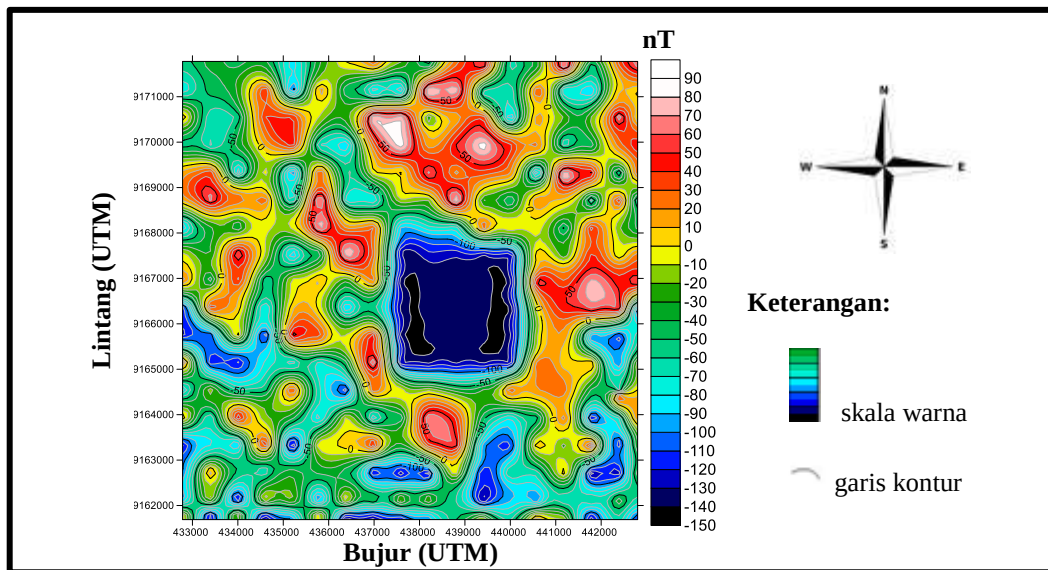
Gambar 4.6 merupakan kontur anomali medan magnet pasca erupsi. Pada pasca erupsi, nilai anomali medan magnet berkisar antara -120 nT sampai 120 nT. Nilai anomali medan magnet yang bernilai negatif diidentifikasi sebagai batuan non-magnetik. Dari kontur anomali medan magnet di atas dapat dilihat bahwasanya kemungkinan besar arah erupsi Gunung Merapi mengarah ke arah barat daya dan barat lereng yang ditunjukkan oleh skala warna hitam sampai biru muda dengan nilai anomali sebesar -120 nT hingga -50 nT.

4.3 Interpretasi Kualitatif

Pada metode geomagnetik terdapat dua jenis interpretasi, yaitu interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada pola-pola kontur yang bersumber dari benda bawah permukaan yang termagnetisasi. Interpretasi ini dilakukan pada kontur anomali medan magnet total yang telah dilakukan reduksi bidang datar, pengangkatan ke atas, dan reduksi ke kutub.

4.3.1 Reduksi Bidang Datar

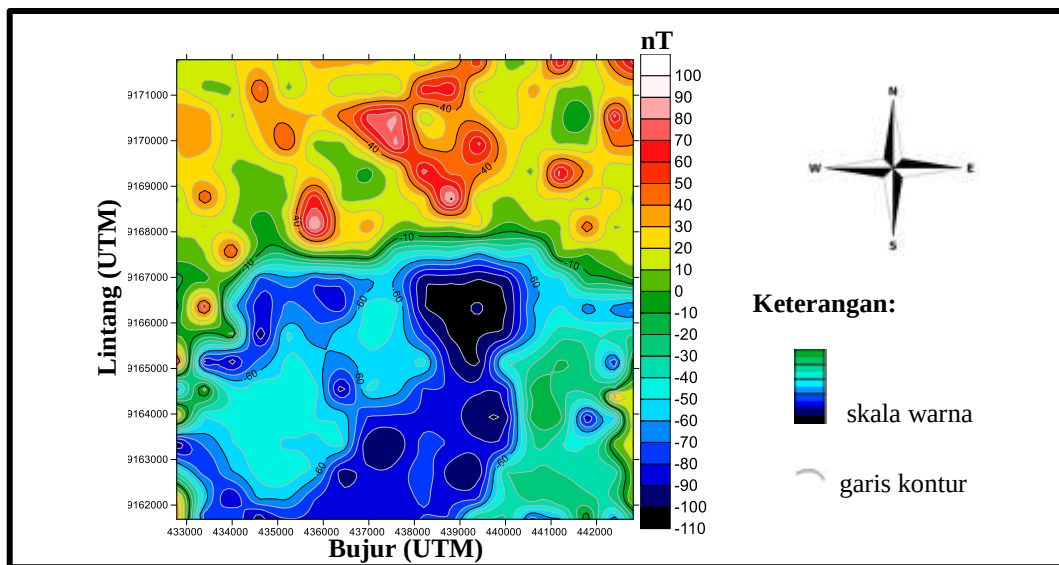
Setelah dilakukan koreksi IGRF, tahap selanjutnya adalah memproyeksikan anomali medan magnet ke dalam bidang datar. Reduksi bidang datar ini perlu dilakukan mengingat nilai medan magnet yang masih berada pada topografi yang tidak rata yang berpotensi menimbulkan kesalahan pada interpretasi. Proses reduksi bidang datar dilakukan dengan menggunakan pendekatan deret Taylor (*Taylor series approximation*) dengan bantuan *software* Matlab 2008. Data inputan berupa nilai UTM *latitude*, UTM *longitude*, elevasi, dan nilai anomali, serta memasukkan ketinggian rata-rata dari penelitian ini yaitu 1411m dpl dan juga jumlah titik grid pada penelitian. Hasil dari reduksi bidang datar yang didapat lalu dapat di plot di *software* Surfer 13.



Gambar 4.7 Kontur Reduksi Bidang Datar Pra Erupsi

Gambar 4.7 merupakan kontur hasil dari reduksi bidang datar pada ketinggian rata-rata 1411 m dpl. Hasil di atas menunjukkan nilai anomali yang lebih rendah dan juga kontur yang mirip dengan anomali medan magnet sebelum direduksi. Setelah dilakukan reduksi bidang datar, secara umum nilai anomali pra erupsi terendah sebesar -150 nT dan nilai terbesar 100 nT.

Gambar 4.8 merupakan kontur hasil reduksi bidang datar pasca erupsi dengan ketinggian rata-rata yang digunakan 1409 meter. Nilai anomali sekitar -110 nT sampai 110 nT. Nilai ini lebih kecil dari nilai anomali sebelum dilakukan reduksi bidang datar. Dari hasil reduksi bidang datar ini, telah didapatkan sebaran nilai suseptibilitas batuan akan tetapi masih berupa gabungan dari anomali lokal dan regional. Oleh karena itu, pada tahap selanjutnya akan dilakukan tahap pemisahan anomali lokal dan regional melalui proses kontinuasi ke atas (*upward continuation*).

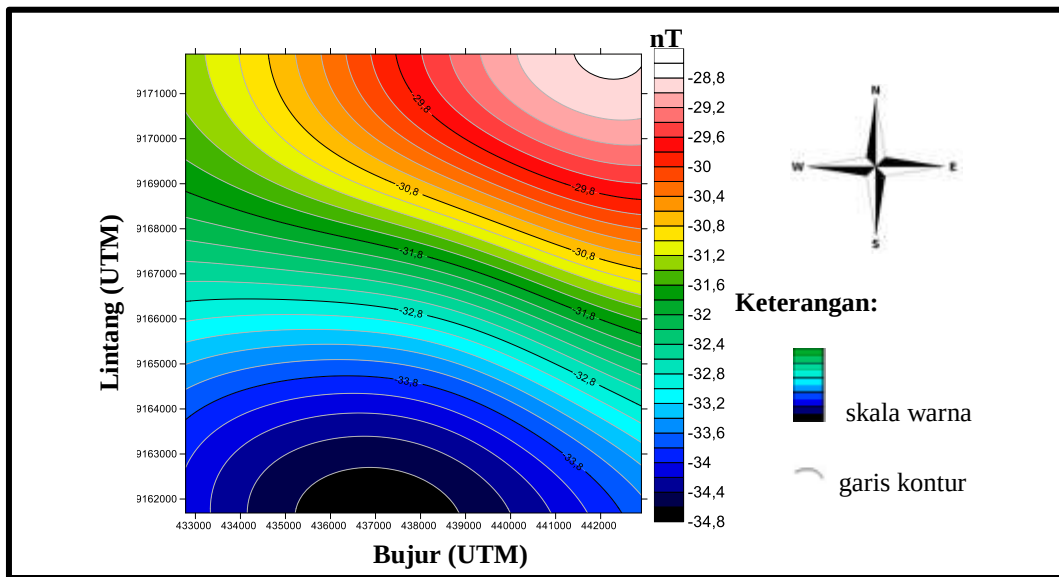


Gambar 4. 8 Kontur Reduksi Bidang Datar Pasca Erupsi

4.3.2 Kontinuasi Ke Atas

Anomali medan magnet hasil reduksi bidang datar selanjutnya akan dilakukan kontinuasi atau pengangkatan ke atas. Kontinuasi ini bertujuan untuk menghilangkan *noise* dari benda-benda magnetik di sekitar daerah penelitian dan juga untuk memisahkan anomali lokal dan regional sehingga anomali dari target penelitian dapat terlihat lebih jelas. Proses ini dilakukan dengan bantuan *software MagPick*. Adapun data yang diinputkan berupa data hasil reduksi bidang datar dan ketinggian pengangkatan yang ingin dicoba.

Pengangkatan ke atas dilakukan dengan seolah-olah kita menghitung data dari ketinggian tersebut. Oleh karena itu, pengangkatan yang dilakukan tidak boleh terlalu tinggi karena dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang menjadi target survei penelitian.

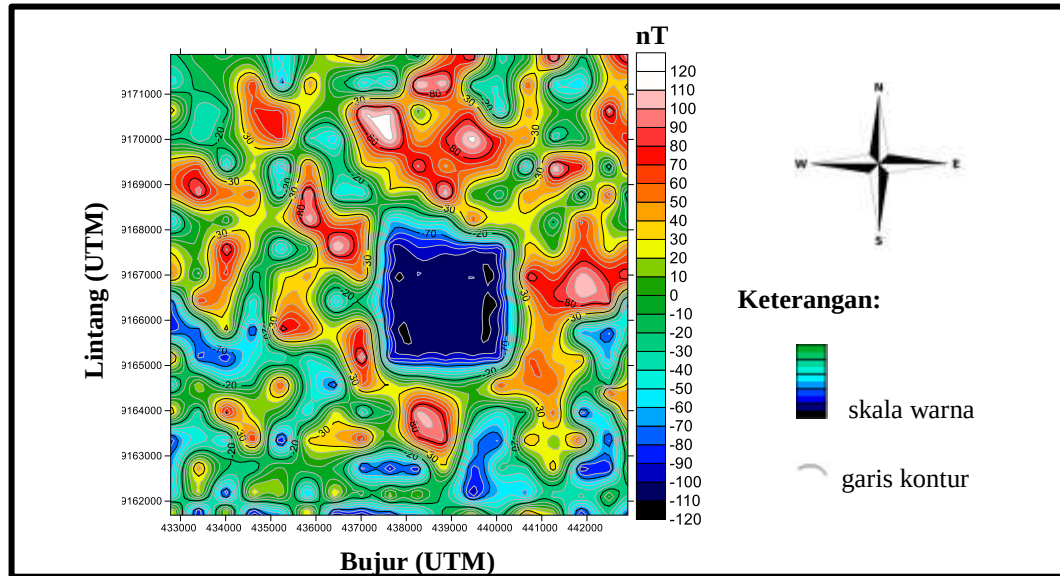


Gambar 4. 9 Kontur Anomali Regional Pra Erupsi

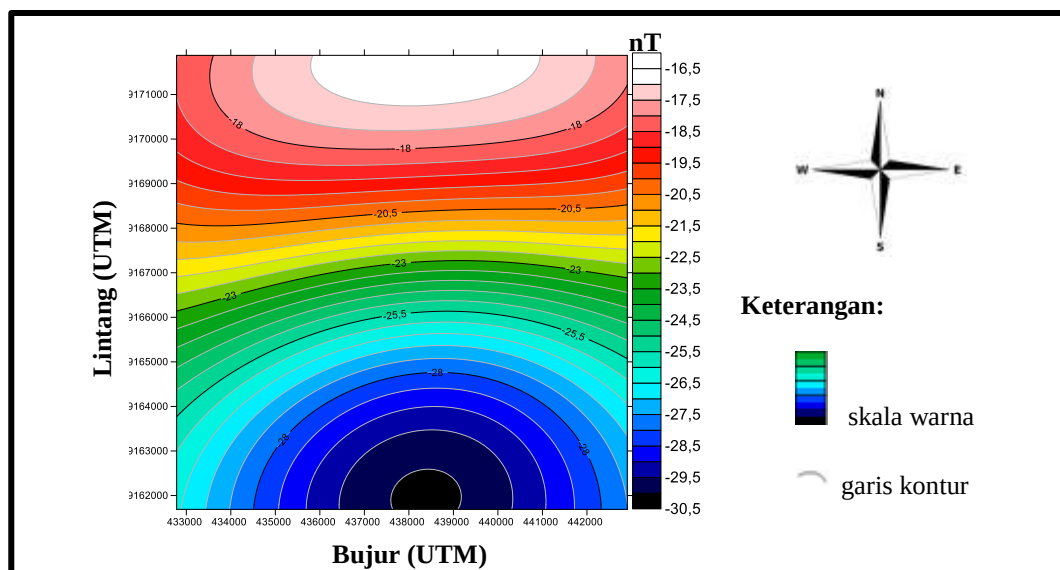
Gambar 4.9 merupakan anomali regional hasil kontinuasi ke atas pada pra erupsi. Nilai anomali berkisar antara -37,5 nT sampai -25,5 nT dengan selisih nilai anomali 0,2 nT. Pengangkatan ini dilakukan dengan metode coba-coba (*trial and error*) pada ketinggian 500 sampai 10000 meter. Hasil kontinuasi ke atas pra erupsi ini menggunakan ketinggian 7000 meter karena pada ketinggian tersebut pola klosur anomali regional telah memperlihatkan nilai dan skala interval yang cukup stabil(tetap) yang menandakan sudah tidak adanya pengaruh dari anomali medan magnet lokal.

Batuan di bawah permukaan bumi sangatlah beragam, oleh karena itu nilai anomali magnetik lokal pada daerah penelitian juga bervariasi. Akibat dari ketidak-seragaman itulah nilai anomali ada yang bernilai positif dan ada juga yang negatif. Adapun nilai kontur anomali lokal pra erupsi (gambar 4.10) sebesar -120 nT sampai 130 nT. Dapat dikatakan bahwa kontur anomali lokal hasil

pengangkatan ke atas ini merupakan gambaran dari kondisi bawah permukaan tanah yang sebenarnya.



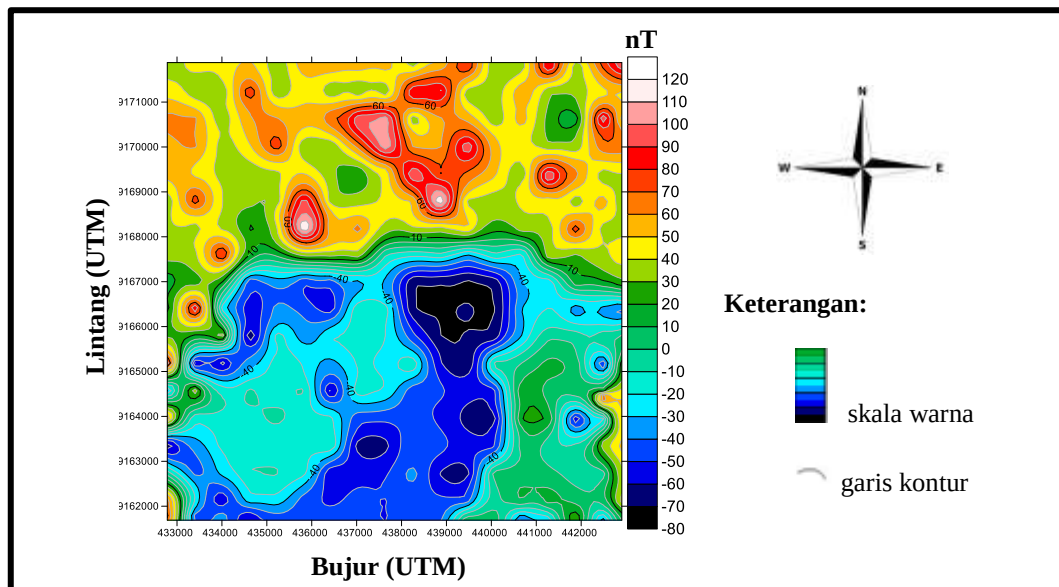
Gambar 4.10 Kontur Anomali Lokal Pra Erupsi



Gambar 4.11 Kontur Anomali Regional Pasca Erupsi

Proses kontinuasi ke atas dilakukan pada ketinggian tertentu. Hasil dari kontinuasi ini terdiri dari anomali lokal dan regional. Gambar 4.11 merupakan kontur anomali regional pasca erupsi dengan pengangkatan setinggi 6000 meter

dengan percobaan pengangkatan dari 500 sampai 9000 meter. Pada pasca erupsi, ketika dilakukan pengangkatan 6000 meter kontur anomali regional sudah stabil. Nilai anomali berkisar antara -30,5 nT sampai -16 nT.



Gambar 4.12 Kontur Anomali Lokal Pasca Erupsi

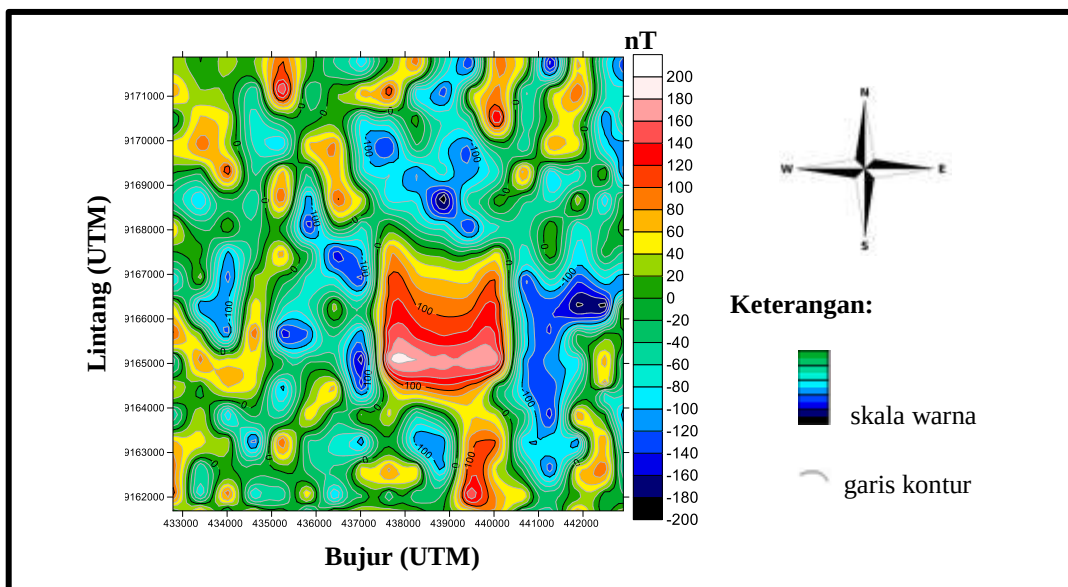
Gambar 4.12 merupakan kontur anomali lokal pasca erupsi. Data yang diperoleh merupakan data medan magnet total yang telah terbebas dari pengaruh medan magnetik utama serta medan regional sehingga hanya tersisa benda yang menjadi target penelitian saja. Nilai anomali lokal hasil kontinuasi ini berkisar antara -80 nT sampai 130 nT.

4.3.3 Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub merupakan salah satu filter dalam pengolahan data magnetik untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik. Pada dasarnya, reduksi ke kutub mencoba untuk mentransformasikan medan magnet di daerah penelitian menjadi medan magnet di kutub utara magnetik. Reduksi ke kutub dilakukan dengan bantuan *software MagPick*. Plot kontur anomali lokal

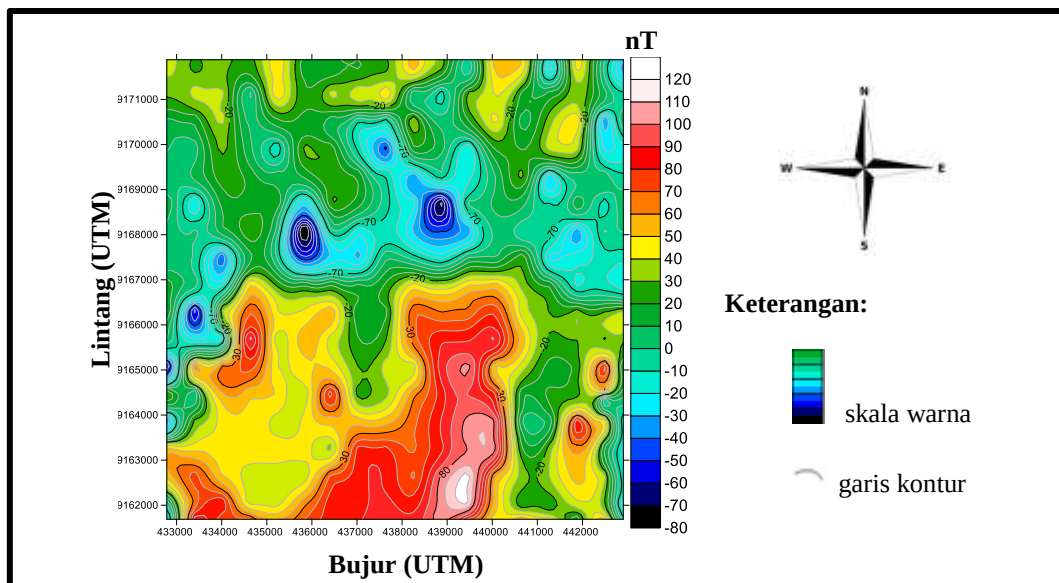
yang telah didapat dimasukkan sebagai data inputan, lalu sudut inklinasi benda diubah menjadi 90° dan deklinasinya 0° serta memasukkan sudut inklinasi dan deklinasi lokasi penelitian. *Output file* yang didapat kemudian dapat dilihat (diplot) pada *software Surfer 13*.

Pada pengolahan reduksi ke kutub ini, diharapkan data anomali lokal yang bersifat dipol dapat bersifat monopol dan anomali medan magnet maksimum bisa terletak tepat di atas tubuh benda penyebab anomali sehingga mempermudah dalam interpretasi data.



Gambar 4.13 Reduksi ke Kutub Pra Erupsi

Gambar 4.13 merupakan kontur anomali magnet pra erupsi setelah direduksi ke kutub. Dari plot di atas dapat dilihat bahwa besarnya nilai kemagnetan menjadi lebih tinggi. Hal ini dikarenakan ketika dilakukan reduksi ke kutub, anomali medan magnet yang awalnya dipole menjadi monopole (terpengaruh negatif positif) menjadi positif saja ataupun sebaliknya. Hasil dari reduksi ini menunjukkan nilai anomali terendah sebesar -200 nT dan anomali tertinggi sebesar 220 nT.



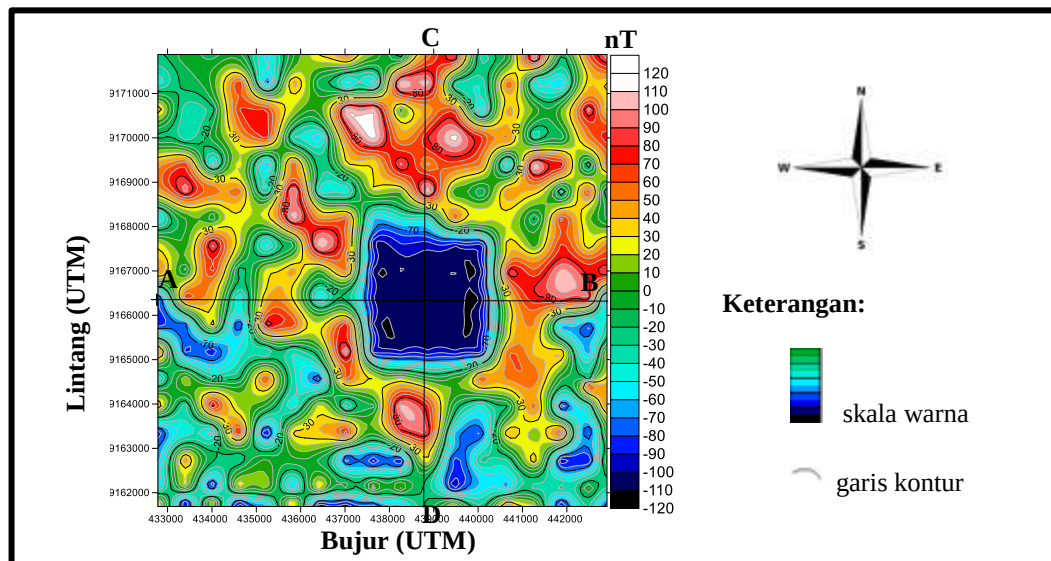
Gambar 4.14 Reduksi ke Kutub Pasca Erupsi

Gambar 4.14 merupakan kontur anomali magnet pasca erupsi setelah direduksi ke kutub. Proses reduksi ini dilakukan dengan bantuan *software* Magpick dan hasilnya dapat diplot melalui *software* Surfer 13. Dapat dilihat bahwa nilai anomali sebelum dan sesudah dilakukan reduksi kutub berbeda. Anomali magnet setelah di reduksi kutub menunjukkan nilai kemagnetan yang lebih tinggi. Dari skala anomali di atas, dapat diketahui bahwa secara umum nilai anomali magnetnya berkisar antara -80 nT sampai yang tertinggi sebesar 130 nT. negatif secara berdampingan. Penentuan sayatan ini berdasarkan atas hasil dari interpretasi kualitatif yang telah diperoleh sebelumnya.

4.4 Interpretasi kuantitatif

Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan gambaran dari struktur geologi daerah penelitian melalui pemodelan matematis. Interpretasi ini dilakukan dengan melakukan sayatan di medan anomali pada klosur positif dan klosur

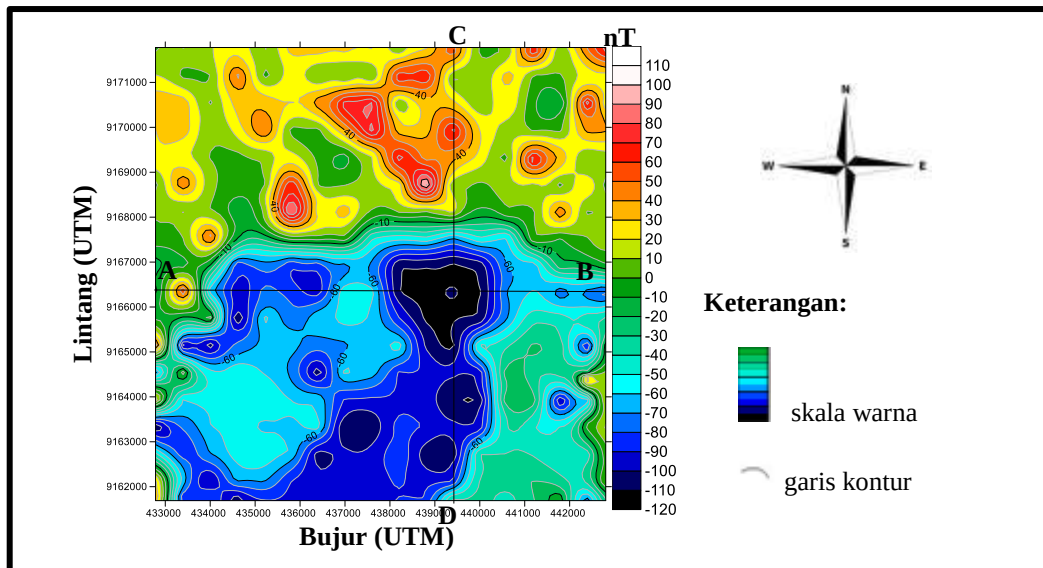
negatif secara berdampingan. Penentuan sayatan ini berdasarkan atas hasil dari interpretasi kualitatif yang telah diperoleh sebelumnya.



Gambar 4.15 Irisan Kontur Anomali Lokal Pra Erupsi Lintasan A-B, C-D

Gambar 4.15 merupakan kontur anomali lokal yang diiris pada lintasan A-B, dan lintasan C-D. Sudut deklinasi kontur anomali lokal di atas sebesar $0,8097^\circ$ dengan sudut inklinasi $-31,5618^\circ$ dan nilai IGRF sebesar 44809,8 nT. Sedangkan gambar 4.15 merupakan kontur anomali lokal pasca erupsi dengan sudut deklinasi $0,8071^\circ$, inklinasi $-31,5564^\circ$ dan nilai IGRF sebesar 44803,2 nT. Kontur anomali lokal di atas diiris pada lintasan A-B dan C-D.

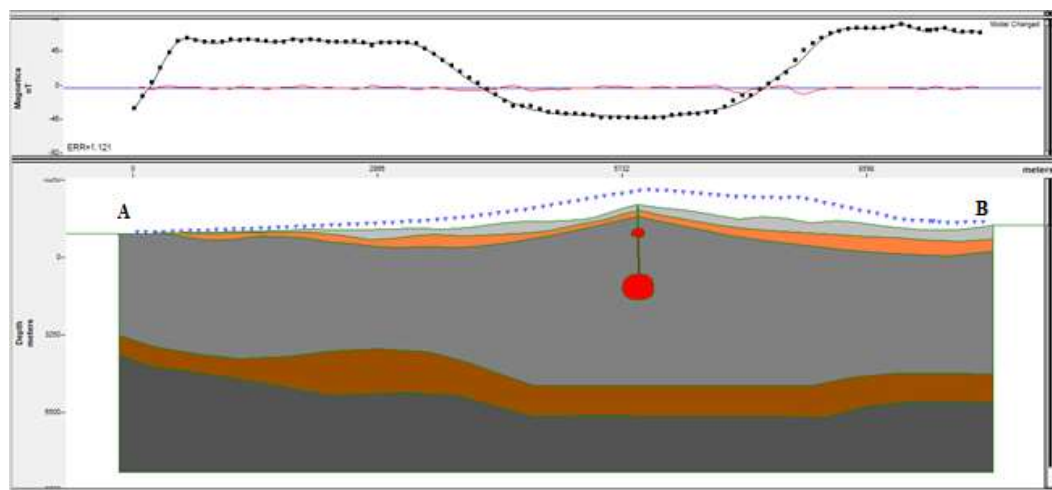
Gambar 4.16 merupakan kontur anomali lokal pasca erupsi dengan sudut deklinasi $0,8071^\circ$, inklinasi $-31,5564^\circ$ dan nilai IGRF sebesar 44803,2 nT. Kontur anomali lokal di atas diiris pada lintasan A-B dan C-D.



Gambar 4.16 Irisan Kontur Anomali Lokal Pasca Erupsi Lintasan A-B dan C-D

Gambar 4.16 merupakan kontur anomali lokal pasca erupsi dengan sudut deklinasi $0,8071^\circ$, inklinasi $-31,5564^\circ$ dan nilai IGRF sebesar 44803,2 nT. Kontur anomali lokal di atas diiris pada lintasan A-B dan C-D.

4.4.1 Penampang Melintang A-B



Gambar 4.17 Model Penampang Anomali Lokal Pra Erupsi Lintasan A-B

Keterangan:

Lapisan 1 : batuan tuff + abu vulkanik (22 (satuan SI))

Lapisan 2 : batuan breksi vulkanik (40 (satuan SI))

Lapisan 3  : batuan andesit(160 (satuan SI))

Lapisan 4  : batuan gamping (2,8 (satuan SI))

Lapisan 5  : batuan basal (170 (satuan SI))

 : kantong magma

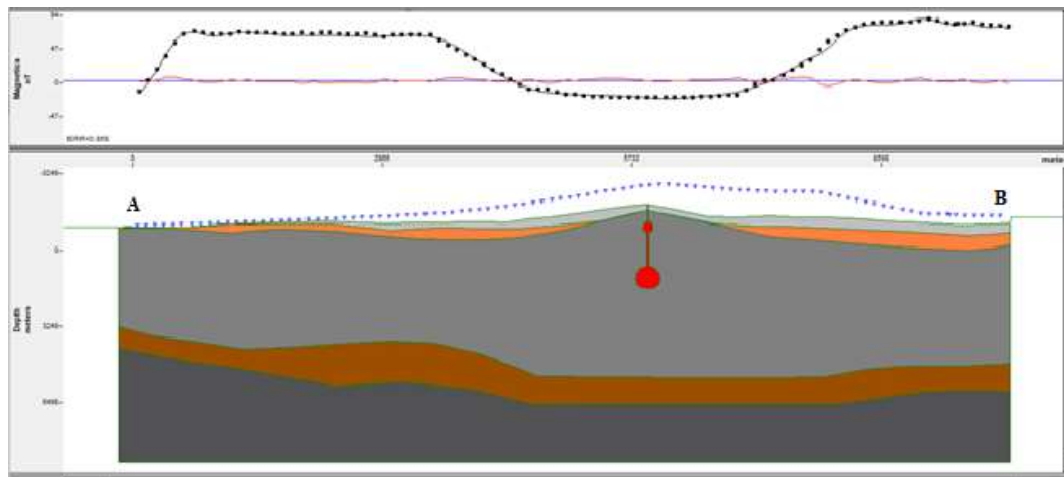
Gambar 4.17 merupakan penampang bawah permukaan 2D dari anomali lokal pra erupsi untuk lintasan A-B dengan sumbu Y negatif, sumbu Y positif, dan sumbu X dengan nilai error sebesar 1,121%. Sumbu Y positif merupakan nilai anomali magnet dari hasil penelitian dengan satuan nano tesla(nT). Sumbu Y negatif merupakan kedalaman dari lapisan yang diamati, dimana kedalaman pemodelan dari titik pengukuran adalah 9000 meter. Sedangkan sumbu X merupakan panjang lintasan dari A-B yaitu kurang lebih 10000 meter. Garis putus-putus pada kurva merupakan nilai anomali batuan sedangkan garis kontinu adalah respon dari pemodelan lapisan.

Berdasarkan lembar geologi Gunung Merapi (gambar 2.2), dapat dilihat bahwa ada empat jenis susunan batuan pada Gunung Merapi, yaitu batuan gunungapi holosen yang terdiri atas beberapa macam batuan hasil erupsi gunungapi strato, berupa breksi gunungapi, aglomerat, lahar, lava, tuf, lapilli, dan bom. Umumnya batuan gunungapi holosen ini bersusun andesit sampai basal. Kemudian yang kedua ada aliran lava dan breksi dimana aliran ini juga bersusun atas andesit dan basal. Susunan yang ketiga berupa endapan longsor dari awan panas Gunung Merapi dan yang keempat adalah terobosan holosen yang tersusun dari andesit horeblenda hipersten-augit yang vitrofir.

Hasil pencocokan lembar geologi dengan pemodelan 2D melalui Oasis Montaj menunjukkan keselarasan. Pada pemodelan 2D terlihat ada lima jenis

lapisan batuan di bawah permukaan Gunung Merapi. Lapisan pertama dengan warna abu-abu terang ditafsirkan sebagai batuan tuff yang bercampur dengan abu vulkanik memiliki nilai suseptibilitas sebesar 22 (satuan SI). Lapisan kedua dengan nilai suseptibilitas 40 (satuan SI) diduga sebagai batuan breksi vulkanik. Menurut Mulyaningsih (2012) melalui hasil analisis magmatologi Gunung Merapi dikatakan bahwa magma Merapi telah berulang-ulang mengalami perubahan dari basal hingga andesit. Menurut Nurdien (2020) juga disebutkan bahwa lava penyusun Gunung Merapi dari mulai fase Merapi tua sampai pada Merapi baru mengalami perubahan dari lava yang mengandung basal menjadi andesit.

Lapisan ketiga dengan warna abu-abu gelap memiliki suseptibilitas sebesar 160 (satuan SI). Diduga bahwa batuan pada lapisan ini merupakan batu andesit. Batuan andesit memiliki tekstur halus dan warna dominan abu-abu. Untuk lapisan keempat, lapisan ini terbentuk karena adanya perselingan yang diakibatkan oleh peralihan pondasi yang menyusun area kantong magma dari batuan basal menjadi andesit. Lapisan keempat dengan warna coklat kehijau-hijauan dan nilai suseptibilitas sebesar 2,8 (satuan SI) ini diduga sebagai batuan sedimen berupa batuan gamping. Lapisan terakhir yaitu lapisan kelima dengan warna abu kehitaman dan nilai suseptibilitas sebesar 170 (satuan SI) diduga sebagai batuan basal. Batuan ini memiliki sifat keras dan padat(masif).



Gambar 4.18 Model Penampang Anomali Lokal Pasca Erupsi Lintasan A-B

Keterangan:

Lapisan 1 : batuan tuff + abu vulkanik (22 (satuan SI))

Lapisan 2 : batuan breksi vulkanik (40 (satuan SI))

Lapisan 3 : batuan andesit(160 (satuan SI))

Lapisan 4 : batuan gamping (2,8 (satuan SI))

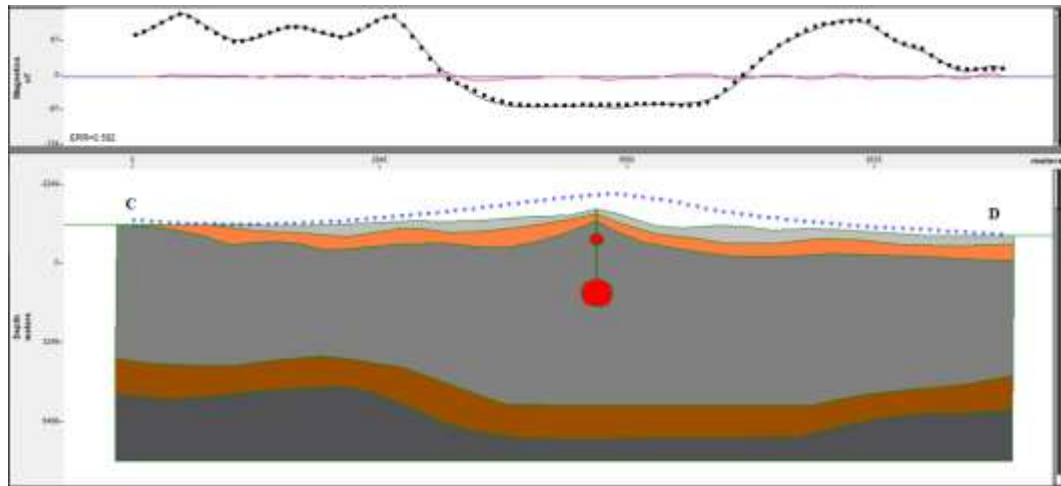
Lapisan 5 : batuan basal (170 (satuan SI))

: kantong magma

Gambar 4.17 dan gambar 4.18 memperlihatkan perbedaan yang cukup signifikan. pemodelan penampang dari anomali lokal pasca erupsi pada lintasan A-B memiliki error sebesar 0,858%. Lapisan pertama mengalami penipisan pasca erupsi. Pada lapisan kedua dan ketiga, perubahan yang terjadi antara sebelum dan sesudah letusan terlihat cukup jelas. Lapisan kedua yang ada di atas kantong magma bahkan ada yang hilang karena masa batuan terlontar keluar saat terjadinya letusan. Perubahan tersebut terjadi pada rentang lintasan 4869 meter sampai 7179 meter. Lapisan ketiga mengalami sedikit perubahan, sedangkan

untuk lapisan keempat dan kelima tidak mengalami perubahan sama sekali karena energi letusan tidak dapat menjangkau sampai ke lapisan ini.

4.4.2 Penampang Melintang C-D



Gambar 4.19 Model Penampang Anomali Lokal Pra Erupsi Lintasan C-D

Keterangan:

Lapisan 1  : batuan tuff + abu vulkanik (22 (satuan SI))

Lapisan 2  : batuan breksi vulkanik (40 (satuan SI))

Lapisan 3  : batuan andesit(160 (satuan SI))

Lapisan 4  : batuan gamping (2,8 (satuan SI))

Lapisan 5  : batuan basal (170 (satuan SI))

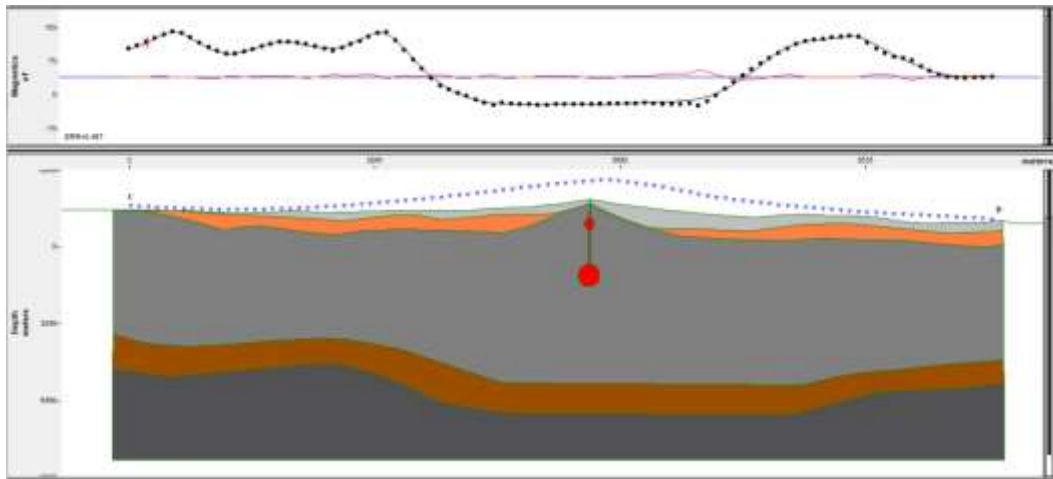
 : kantong magma

Lintasan C-D menyayat klosur positif dan negatif. Panjang total lintasan pada penampang C-D ini adalah 10000 meter dengan kedalaman mencapai 9000 meter. Gambar 4.19 merupakan penampang bawah permukaan 2D dari anomali lokal pra erupsi untuk lintasan C-D dengan nilai error sebesar 0,592%.

Magma yang memiliki suhu sangat tinggi dan mudah bergerak selalu mencari celah untuk naik ke permukaan. Dalam proses menuju ke permukaan,

magma memasuki zona akumulasi magma atau yang biasa disebut dengan kantong magma. Sebelum terjadinya erupsi, kantong magma mengalami proses peningkatan tekanan. Tekanan yang melebihi batas ambang tertentu akan menyebabkan magma keluar baik berupa erupsi eksplosif ataupun efusif. Inilah yang menyebabkan berubahnya ukuran kantong magma sebelum dan sesudah letusan. Akibat erupsi, sebagian magma yang telah terakumulasi pada kantong magma berhasil untuk keluar sehingga volume kantong magma mengalami penyusutan.

Merujuk pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh Suyanto (2012) dimana menurut hasil penelitian dikatakan bahwa selain terdapat lima lapisan batuan pada Gunung Merapi, terdapat juga dua buah kantong magma, yaitu kantong magma dalam dan dangkal. Seperti yang dapat dilihat pada keempat gambar pemodelan di atas, kantong magma pertama (kantong magma dangkal) terletak pada rentang kedalaman 1211 m sampai 711 m di atas permukaan air laut. Kemudian untuk kantong magma kedua (kantong magma dalam), merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Athiyah (2018) dimana melalui model Mogi dari data Stasiun KLAT diketahui bahwa sumber tekanan magma berada di kedalaman 1229 meter di bawah permukaan air laut dengan jari-jari pusat tekanan selebar 550 meter. Oleh karena itu, kantong magma kedua diduga berada di rentang kedalaman 679 meter sampai 1779 meter di bawah permukaan air laut. Pipa penghubung yang menghubungkan kantong magma pertama dan kedua memiliki panjang sekitar 1390 meter.



Gambar 4.20 Model Penampang Anomali Lokal Pasca Erupsi Lintasan C-D

Keterangan:

Lapisan 1 : batuan tuff + abu vulkanik (22 (satuan SI))

Lapisan 2 : batuan breksi vulkanik (40 (satuan SI))

Lapisan 3 : batuan andesit(160 (satuan SI))

Lapisan 4 : batuan gamping (2,8 (satuan SI))

Lapisan 5 : batuan basal (170 (satuan SI))

: kantong magma

Gambar 4.19 dan gambar 4.20 memperlihatkan perbedaan yang menonjol. Pemodelan penampang dari anomali lokal pasca erupsi pada lintasan C-D memiliki error sebesar 0,457%. Lapisan pertama mengalami penipisan setelah terjadinya erupsi. Pada lapisan kedua dan ketiga, perubahan yang terjadi antara sebelum dan sesudah letusan terlihat jelas. Lapisan kedua yang ada di atas kantong magma bahkan ada yang hilang karena masa batuan terlontar keluar saat terjadinya letusan. Perubahan tersebut terjadi pada rentang lintasan 4579 meter sampai 7210 meter. Lapisan ketiga juga mengalami sedikit perubahan, sedangkan

untuk lapisan keempat dan kelima tidak mengalami perubahan sama sekali karena energi letusan tidak dapat menjangkau sampai ke lapisan ini.

Ukuran kantong magma sebelum dan sesudah erupsi memiliki diameter yang berbeda karena sebagian magma yang telah keluar melalui proses erupsi. Pada pasca erupsi, kantong magma pertama terletak pada rentang lintasan 5858 meter sampai 5975 meter penyusutan sebesar 45 meter dari sebelum dan sesudah letusan terjadi. Kemudian pada penelitian Athiyah (2018) melalui pemodelan Mogi juga didapatkan estimasi suplai volume magma, dan didapatkan bahwa suplai volume magma sebelum erupsi sebesar 15 juta m^3 dan untuk periode setelah erupsi sebesar 11,3 juta m^3 . Dari volume ini, dapat diketahui estimasi penyusutan kantong magma. Kantong magma yang kedua mengalami penyusutan jari-jari sebesar 190 meter setelah letusan terjadi.

Berdasarkan informasi yang telah dikeluarkan oleh Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG), letusan Gunung Merapi pada tanggal 19 Juni 2020 mengarah ke arah barat daya (Kecamatan Srumbung) dan barat (Kecamatan Dukun). Sehingga daerah-daerah yang berada di wilayah barat daya dan barat lereng Merapi terdampak hujan abu paling tebal diantara wilayah yang lain. Hal ini sesuai dengan hasil pemodelan pasca erupsi pada lintasan A-B dan C-D dimana terlihat bahwa arah barat daya dan barat lereng memiliki nilai anomali rendah.

4.5 Integrasi dan Hikmah Penelitian

Bencana alam seringkali melanda Indonesia. Letak Indonesia yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik menimbulkan potensi terjadinya bencana alam, salah satunya yaitu letusan gunung berapi. Bencana alam merupakan suatu

hal yang tidak dapat dihindari dan diramalkan secara pasti kapan terjadi. Hal ini telah difirmankan oleh Allah SWT dalam surat Al-Hadid ayat 22 yang berbunyi :

مَا أَصَابَ مِنْ مُصِيبَةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي أَنْفُسِكُمْ إِلَّا فِي كِتَابٍ مِنْ قَبْلِ أَنْ نَبْرَأَهَا ۚ إِنَّ ذَلِكَ عَلَى اللَّهِ يَسِيرٌ

Artinya : “Tiada suatu bencana pun yang menimpa di bumi dan (tidak pula) pada dirimu sendiri melainkan telah tertulis dalam kitab (Lauhul Mahfuzh) sebelum Kami menciptakannya. Sesungguhnya yang demikian itu adalah mudah bagi Allah (QS 57:22).

Kata مُصِيبَةٍ sebenarnya mencakup semua hal yang terjadi, baik maupun buruk, berupa musibah ataupun anugerah. Ayat yang bersangkutan dapat dimaknai dalam pengetahuan umum sebab Allah Maha Tau akan segala sesuatu. Pada ayat tentang tidak ada satupun bencana di muka bumi ini melainkan telah tertulis dalam kitab Lauhul Mahfuzh mengandung makna bahwa musibah yang terjadi selaras dengan qada dan qadar, sebagaimana musibah di dunia seperti kelaparan, kekeringan, munculnya wabah penyakit, kemiskinan, gagal panen, semuanya sudah di tulis di Lauhul Mahfuzh jauh sebelum makhluk hidup diciptakan oleh Allah (Alfiyani, 2022). Adapun musibah kaitannya dengan penelitian ini yaitu ketika keluarnya sebagian material letusan ke permukaan bumi. Keluarnya sebagian material ini menyebabkan berubahnya struktur gunung yang ada di bawah permukaan. Selain itu, material yang dikeluarkan gunungapi juga menjadi musibah bagi masyarakat sekitar seperti terjadinya hujan abu, keluarnya lahar panas, ataupun reruntuhan material padat hasil erupsi.

Segala sesuatu yang telah ditakdirkan maupun diciptakan oleh Allah di alam semesta ini tidak ada yang sia-sia. Allah SWT telah menjadikan bumi dan seisinya sebagai hamparan agar manusia dapat hidup dan menikmati fasilitas

yang ada. Bumi ini diciptakan sedemikian rupa, diatur, dan dijaga keseimbangannya untuk memberikan kenyamanan.

Dalam surat An-Naba' ayat 6-7 Allah SWT berfirman:

﴿يَمْحُكُ الْأَرْضَ مِثْدَا﴾ و﴿الْجِبَالَ أَوْتَادًا﴾

Artinya : “Bukankah Kami telah menjadikan bumi sebagai hamparan, dan gunung-gunung sebagai pasak”.

Sebagaimana Allah telah menjelaskan tentang hikmah penciptaan bumi pada ayat ke 6, lalu pada ayat 7 Allah menyebutkan penciptaan gunung-gunung sebagai pasak (أَوْتَادًا). Dalam hadist riwayat Imam At Tirmizi Rasulullah juga bersabda ketika Allah menciptakan bumi, maka bumi bergoncang-goncang, kemudian Allah menciptakan gunung-gunung lalu meletakkannya di atas bumi tersebut sehingga bumi menjadi tenang. Merujuk pada (Rahmawati, 2022) kerak bumi memiliki potensi besar untuk bergerak sehingga dapat menyebabkan getaran atau guncangan. Penampakan gunung di permukaan tanah yang dilihat oleh manusia hanya sebagian kecil dari keseluruhan gunung. Bagian gunung yang lain yaitu akarnya tertanam di dalam bumi. Gunung layaknya pasak yang ditancapkan ke dalam bumi sebagaimana pasak yang digunakan untuk menancapkan tenda ke tanah, maka pasak ini menancapkan lempengan-lempengan bumi. Ini menandakan keselarasan atau tanda-tanda kebesaran Allah dalam penciptaan bumi sehingga dapat menjadi tempat tinggal bagi makhluk hidup.

Pada hakikatnya dari kedua surat di atas dapat kita tarik hubungan dengan penelitian ini bahwa penelitian ini bisa menjadi langkah awal untuk peneliti selanjutnya dalam rangka mitigasi erupsi gunungapi agar dampak yang terjadi

tidak terlalu parah (meminimalisir musibah yang terjadi). Selain itu, melalui hasil penelitian ini juga dapat dilihat struktur bawah permukaan gunung Merapi dimana sebuah gunung tidak hanya menjulang tinggi di atas permukaan saja seperti yang kita lihat tetapi jauh ke dalam bawah permukaan ia seperti pasak yang menancap ke bumi, hal ini juga disebutkan pada surat An Naba ayat 6-7 di atas. Oleh karena itu, kita dapat menarik kesimpulan bahwa Allah menciptakan semua keseimbangan ini agar manusia dapat bersyukur. Tujuan penciptaan bumi, gunungapi, atau bahkan terjadinya musibah seperti erupsi gunungapi-pun pasti terdapat hikmah dibalikinya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pra erupsi pada tanggal 19 Juni 2020 memperoleh hasil nilai anomali lokal sebesar -120 nT sampai 130 nT. Nilai anomali dibagi menjadi tiga bagian, anomali rendah berkisar antara -120 nT hingga -40 nT, kemudian anomali sedang berkisar -30 nT hingga 50 nT, dan anomali tinggi berkisar 60 nT hingga 130 nT. Sedangkan nilai anomali medan magnet lokal pada pasca erupsi yaitu tanggal 10 Juli 2020 berada pada kisaran -80 nT sampai 130 nT. Nilai anomali dibagi menjadi tiga bagian, anomali rendah berkisar antara -80 nT hingga -20 nT, kemudian anomali sedang berkisar -10 nT hingga 50 nT, dan anomali tinggi berkisar 60 nT sampai 130 nT.
2. Struktur bawah permukaan Gunung Merapi memiliki lima lapisan batuan, yaitu batuan tuff bercampur abu vulkanik, breksi vulkanik, andesit, gamping, dan basal. Gunung Merapi juga memiliki dua buah kantong magma(dangkal dan dalam) dimana kantong magma mengalami penyusutan setelah terjadinya erupsi.

5.2 Saran

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan secara sekunder melalui *website NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)*. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat melakukan pengambilan data secara primer agar hasil yang didapat lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiyani, A. N. (2022). *Memaknai Musibah Pandemi Covid-19 Kajian (QS. Al-Hadid [57]: 22-23) Dengan Pendekatan Tafsir Maqashidi* (Doctoral dissertation, IAIN Kudus).
- Anshariyah, A.A. (2018). *Monitoring aktivitas deformasi gunung merapi berdasarkan analisis data GPS (Global Positioning System) pra dan pasca erupsi 2010 menggunakan pemodelan mogi dan yokoyama* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Anshory, S. A. (2020). *Gunung Dalam Perspektif Al-Qur'an (Studi Tafsir Al-Qur'an Tematik Departemen Agama RI)* (Doctoral dissertation, IAIN SURAKARTA).
- Boroomand, M., Safari, A., & Bahroudi, A. (2015). Magnetic susceptibility as a tool for mineral exploration (Case study: Southern of Zagros Mountains). *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, 49(1), 57-66.
- Chasanah, U., Febriani, S. D. A., & Minarto, E. (2021). Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Gunung Merapi Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Gravitasi Citra Satelit. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 18(1), 25-34.
- Erdmann, S., Martel, C., Pichavant, M., Bourdier, J. L., Champallier, R., Komorowski, J. C., & Cholik, N. (2016). Constraints from phase equilibrium experiments on pre-eruptive storage conditions in mixed magma systems: a case study on crystal-rich basaltic andesites from Mount Merapi, Indonesia. *Journal of Petrology*, 57(3), 535-560.
- Duhri, N. I., Tiwow, V. A., & Ihsan, N. (2019). Identifikasi Material Bawah Permukaan Kecamatan Bontocani Kabupaten Bone Menggunakan Metode Geomagnet. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 15(2), 319128.
- Joshua, Eo. (2017). Eksplorasi Mineral Magnetik Menggunakan Data Survei Magnetik Tanah Area Tajimi, Lokoja. *Global Journal Of Pure And Applied Science*, Vol. 23.
- Kiswiranti, D., & Kirbani, H. (2013). Analisis statistik temporal erupsi Gunung Merapi. *Jurnal Fisika*, 3(1).
- Lesur, V., Whaler, K., & Wardinski, I. (2015). Are geomagnetic data consistent with stably stratified flow at the core–mantle boundary?. *Geophysical Journal International*, 201(2), 929-946.

- Lulie, Y. (2012). Sifat-sifat Fisik Abu Terbang Merapi. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2).
- Maubana, W. M. (2021). Application of Magnetic Methods for Estimating Subsurface Rocks. *Science Education and Application Journal*, 3(1), 36-44.
- Maulidan, I. F., Marzuki, M., & Putra, A. (2022). Identification of Fault Structure in the Vicinity of Bukik Gadang Hot Spring Mount Talang Subdistrict Using Geomagnetic Method. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(4), 1856-1862.
- Mulyaningsih, S. (2015). *Vulkanologi*. Ombak.
- Mulyaningsih, S., & Sanyoto, S. (2012, November). Geologi Gunung Api Merapi; Sebagai Acuan Dalam Interpretasi Gunung Api Komposit Tersier Di Daerah Gunung Gede-Imogiri Daerah Istimewa Yogyakarta. In *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III* (No. 10, pp. B-242). Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.
- Murwanto, H., Siregar, D. A., & Purwoarminta, A. (2013). Jejak erupsi Gunung Merapi di Kabupaten Magelang Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 4(2), 135-147.
- Nasiri, N., & Navabi, M. (2015). Earth's Magnetic Field for Spacecraft Attitude Control Applications. *International Journal of Engineering*, 28(5), 648-653.
- Nurdien, I., Sulistyani, S., Handaru, A., Sayudi, D. S., & Santoso, A. B. (2020). Interpretasi Bawah Permukaan Gunung Merapi dengan Metode Magnetotellurik. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 11(3), 143-150.
- Ojo, A. O., Omotoso, T. O., & Adekanle, O. J. (2014). Determination of location and depth of mineral rocks at Olode village in Ibadan, Oyo State, Nigeria, using geophysical methods. *International Journal of Geophysics*, 2014.
- Permadi, W. A., Setyawan, A., & Nurdien, I. (2016). Interpretasi Bawah Permukaan Gunung Merapi dengan Analisa Gradient dan Pemodelan 2d Data Gayaberat. *Youngster Physics Journal*, 5(4), 433-440.
- Rahardjo, A. P., Jayadi, R., & Legono, D. (2023). Flash Flood Study On Mt. Merapi Slope For Improvement Of The Monitoring Method. *GEOMATE Journal*, 25(107), 42-49.
- Rahmawati, R. (2022). Hadis Tentang Pengaruh Penciptaan Gunung Terhadap Keseimbangan Bumi Perspektif Sains (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau).

- Ramdani, R., Refrizon, R., Yuliza, E., Fadli, D. I., & Hasan, M. (2023). 2D Surface Structure Modeling in Bengkulu City using Geomagnet Method. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(2), 803-809.
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.
- Santosa, B. J., Mashuri, M., Sutrisno, W. T., Wafi, A., Salim, R., & Armi, R. (2012). Interpretasi Metode Magnetik untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan di Sekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 2(1), 7-14.
- Soewandita, H., & Sudiana, N. (2014). Analisis Penggunaan Dan Kesesuaian Lahan Berdasarkan potensi Bahaya Letusan Gunung Merapi Land Use And Land Suatibility Analisis Based On Eruption Hazard Potential Of Mount Merapi.
- Sutasoma, M., Susilo, A., Sunaryo, S., Suryo, E. A., & Cahyo, R. H. D. (2021, September). Identification of subsurface soil layers in Sutami Dam area and its surroundings using magnetic methods. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2017, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- Suyanto, I. (2012). Pemodelan Bawah Permukaan Gunung Merapi Dari Analisis Data Magnetik dengan Menggunakan Software Geosoft. *Yogyakarta: Laporan Penelitian Universitas Gajah Mada*.
- Syakir, A. (2014). Tafsir Ibnu Katsir. *Jakarta: Pustaka Imam Syafi'i*.
- Syukri, M. (2020). *Pengantar Geofisika*. Syiah Kuala University Press.
- Telford, W. M., Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. Cambridge university press.
- Widodo, E., & Hastuti, H. (2019). Riwayat Aktivitas Gunung Merapi: Potensi dan Ancamannya Bagi Sektor Pariwisata. *Geo Media: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 17(1).
- Widyawati, T., Susilo, A., & Wardoyo, A. B. P. (2022). The use of magnetic data from swarm satellite as an efforts to estimate the potential of iron sand in the south Bawean Island area. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2165, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.
- Yudianto, H., & Setyawan, A. (2014). Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panasbumi Gedong Songo Gunung Ungaran Menggunakan Metode Magnetik. *Youngster Physics Journal*, 3(1), 39-48.
- Yuneldi, A., & Hendrajaya, L. (2017). Fisika Gunung Api: Meletusnya Gunung

Talang Berdasarkan Perspektif Al Quran dan Sains-fisika. *Simposiu Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains (SNIPS)*, 148-153.

Lampiran 1 Data Penelitian
Pra Erupsi (19 Juni 2020)

Titik	Latitude	Longitude	Elevasi	Intensitas Medan Magnet	IGRF	Anomali Medan Total
1	-7,492577	110,3910	1125	44756,5	44809,8	-53,3
2	-7,492558	110,3964	1153	44775,2	44808,7	-33,5
3	-7,492360	110,4019	1139	44761,9	44808,6	-46,7
4	-7,492656	110,4073	1210	44770,7	44806,6	-35,9
5	-7,492622	110,4127	1221	44720,3	44805,9	-85,6
6	-7,492715	110,4182	1255	44774,3	44804,8	-30,5
7	-7,492488	110,4236	1382	44803,1	44801,3	1,8
8	-7,492671	110,4290	1515	44829,1	44797,8	31,3
9	-7,492878	110,4345	1526	44775,8	44797,3	-21,5
10	-7,492770	110,4399	1573	44737,5	44795,7	-58,2
11	-7,492855	110,4454	1676	44820,3	44792,9	27,4
12	-7,492990	110,4508	1798	44855,3	44789,7	65,6
13	-7,492687	110,4562	1833	44721,4	44788,3	-66,9
14	-7,492924	110,4617	1707	44753,7	44791	-37,3
15	-7,493182	110,4671	1591	44873,1	44793,4	79,7
16	-7,492980	110,4725	1485	44738,8	44795,4	-56,6
17	-7,492897	110,4780	1430	44830,5	44796,2	34,3
18	-7,493028	110,4816	1415	44863,3	44796,3	67
19	-7,498448	110,4816	1410	44795,3	44799,1	-3,8
20	-7,498619	110,4779	1443	44809,4	44798,7	10,7
21	-7,498426	110,4725	1474	44706,7	44798,3	-91,6
22	-7,498178	110,4671	1556	44710,4	44796,7	-86,3
23	-7,498460	110,4616	1610	44831,7	44795,9	35,8
24	-7,498581	110,4562	1688	44726,1	44794,6	-68,5
25	-7,498558	110,4508	1666	44726,8	44795,5	-68,7
26	-7,498277	110,4453	1550	44877,5	44798,5	79
27	-7,498357	110,4399	1540	44889,2	44799,2	90
28	-7,498356	110,4345	1402	44711,5	44802,8	-91,3
29	-7,498397	110,429	1333	44714,2	44804,9	-90,7
30	-7,498144	110,4236	1281	44755,9	44806,4	-50,5
31	-7,498136	110,4182	1212	44827,7	44808,4	19,3
32	-7,498136	110,4127	1171	44701,3	44809,8	-108,5
33	-7,498192	110,4073	1135	44854,3	44811,1	43,2
34	-7,498202	110,4018	1098	44784,1	44812,3	-28,2
35	-7,497937	110,3964	1065	44768,1	44813,4	-45,3
36	-7,498000	110,3910	1085	44733,8	44813,4	-79,6
37	-7,503416	110,3910	1004	44828,5	44817,9	10,6
38	-7,503504	110,3964	1062	44747,3	44816,2	-68,9

39	-7,503448	110,4018	1102	44757,3	44814,8	-57,5
40	-7,503528	110,4073	1156	44853,4	44813,2	40,2
41	-7,503501	110,4127	1192	44853,7	44811,9	41,8
42	-7,503530	110,4181	1223	44800,1	44810,8	-10,7
43	-7,503385	110,4236	1274	44784,8	44809,1	-24,3
44	-7,503652	110,4290	1356	44892,5	44806,9	85,6
45	-7,503639	110,4344	1416	44895,3	44805,1	90,2
46	-7,503705	110,4399	1432	44773,3	44804,3	-31
47	-7,503645	110,4453	1515	44812,4	44801,9	10,5
48	-7,503713	110,4508	1552	44842,7	44800,7	42
49	-7,503868	110,4562	1573	44706,4	44799,8	-93,4
50	-7,503872	110,4616	1553	44817,7	44799,9	17,8
51	-7,503698	110,4671	1515	44780,1	44800,3	-20,2
52	-7,503753	110,4725	1472	44784,8	44800,9	-16,1
53	-7,503581	110,4779	1417	44870,5	44801,7	68,8
54	-7,503822	110,4816	1369	44801,3	44802,7	-1,4
55	-7,509302	110,4815	1314	44855,3	44806,6	48,7
56	-7,509182	110,4779	1380	44830,3	44805,3	25
57	-7,509246	110,4724	1460	44757,4	44803,9	-46,5
58	-7,508822	110,4670	1519	44731,7	44802,7	-71
59	-7,509457	110,4616	1603	44826,4	44801,4	25
60	-7,508854	110,4562	1597	44844,7	44801,7	43
61	-7,509159	110,4508	1617	44890,1	44801,8	88,3
62	-7,509098	110,4453	1545	44854,5	44803,9	50,6
63	-7,509129	110,4399	1528	44818,2	44804,7	13,5
64	-7,509177	110,4344	1458	44893,9	44806,8	87,1
65	-7,509042	110,4290	1380	44838,7	44808,9	29,8
66	-7,509007	110,4236	1334	44719,3	44810,4	-91,1
67	-7,509008	110,4181	1263	44740,3	44812,5	-72,2
68	-7,508913	110,4127	1186	44862,1	44814,7	47,4
69	-7,508735	110,4073	1156	44830,1	44815,7	14,4
70	-7,508907	110,4018	1104	44782,8	44817,4	-34,6
71	-7,509009	110,3964	1020	44748,5	44819,8	-71,3
72	-7,50886	110,3909	947	44764,3	44821,9	-57,6
73	-7,514303	110,3909	1001	44837,3	44823,3	14
74	-7,514286	110,3964	1060	44857,4	44821,5	35,9
75	-7,514314	110,4018	1121	44728,7	44819,6	-90,9
76	-7,514378	110,4072	1183	44813,1	44817,8	-4,7
77	-7,514526	110,4127	1264	44711,8	44815,6	-103,8
78	-7,514409	110,4181	1297	44846,5	44814,3	32,2
79	-7,514580	110,4236	1376	44750,3	44812,1	-61,8
80	-7,514241	110,4290	1445	44813,3	44809,9	3,4
81	-7,514031	110,4344	1550	44806,4	44807	-0,6
82	-7,514727	110,4398	1605	44868,7	44805,6	63,1
83	-7,514574	110,4453	1673	44818,5	44803,5	15

84	-7,514882	110,4507	1733	44834,2	44801,9	32,3
85	-7,514947	110,4561	1722	44822,9	44801,7	21,2
86	-7,514609	110,4615	1596	44708,7	44804,1	-95,4
87	-7,515011	110,4670	1599	44891,3	44803,8	87,5
88	-7,514701	110,4724	1491	44858,3	44805,8	52,5
89	-7,514730	110,4778	1406	44744,1	44807,4	-63,3
90	-7,514747	110,4815	1340	44839,1	44808,6	30,5
91	-7,520165	110,4815	1364	44746,8	44810,7	-63,9
92	-7,520241	110,4779	1412	44851,5	44809,9	41,6
93	-7,520131	110,4724	1517	44741,3	44807,8	-66,5
94	-7,520106	110,4670	1671	44810,3	44804,6	5,7
95	-7,520220	110,4615	1773	44826,4	44802,7	23,7
96	-7,520274	110,4561	1849	44748,7	44801,4	-52,7
97	-7,520208	110,4507	1908	44768,1	44800,4	-32,3
98	-7,519968	110,4452	1856	44885,8	44801,9	83,9
99	-7,520096	110,4398	1713	44784,5	44805,7	-21,2
100	-7,519276	110,4344	1567	44809,3	44809,1	0,2
101	-7,519867	110,4290	1537	44729,3	44810,5	-81,2
102	-7,519922	110,4235	1451	44731,4	44813	-81,6
103	-7,519815	110,4181	1297	44893,7	44816,9	76,8
104	-7,519723	110,4126	1236	44737,4	44818,7	-81,3
105	-7,519873	110,4072	1163	44848,7	44820,9	27,8
106	-7,519462	110,4018	1078	44852,1	44823,1	29
107	-7,519752	110,3963	1068	44890,8	44823,9	66,9
108	-7,519695	110,3909	964	44843,5	44826,8	16,7
109	-7,525129	110,3909	992	44736,3	44828,7	-92,4
110	-7,525117	110,3963	1050	44796,7	44827	-30,3
111	-7,525158	110,4018	1132	44781,3	44824,6	-43,3
112	-7,525238	110,4072	1217	44818,3	44822,3	-4
113	-7,525195	110,4127	1317	44815,1	44819,5	-4,4
114	-7,525218	110,4181	1417	44897,1	44816,8	80,3
115	-7,525045	110,4235	1427	44825,8	44816	9,8
116	-7,525441	110,4290	1678	44840,5	44809,9	30,6
117	-7,525494	110,4344	1794	44714,3	44806,8	-92,5
118	-7,525319	110,4398	1862	44734,3	44804,8	-70,5
119	-7,525384	110,4452	2060	44724,4	44799,7	-75,3
120	-7,525384	110,4507	2188	44828,7	44796,3	32,4
121	-7,525559	110,4561	2140	44799,1	44797,1	2
122	-7,525592	110,4616	1886	44797,8	44802,7	-4,9
123	-7,525641	110,4670	1852	44749,5	44803,1	-53,6
124	-7,525668	110,4724	1587	44854,3	44808,9	45,4
125	-7,525566	110,4778	1482	44792,3	44810,9	-18,6
126	-7,525592	110,4815	1420	44769,4	44812	-42,6
127	-7,531019	110,4815	1422	44841,7	44814,6	27,1

128	-7,530998	110,4778	1496	44801,5	44813,2	-11,7
129	-7,530893	110,4724	1576	44854,2	44811,7	42,5
130	-7,530980	110,4670	1818	44776,9	44806,5	-29,6
131	-7,530625	110,4616	1867	44813,7	44805,6	8,1
132	-7,530920	110,4562	2296	44665,3	44796,1	-130,8
133	-7,530867	110,4507	2421	44662,3	44793,6	-131,3
134	-7,530790	110,4453	2317	44668,1	44796,4	-128,3
135	-7,530694	110,4398	2077	44680,1	44802,3	-122,2
136	-7,530479	110,4344	1810	44673,8	44808,9	-135,1
137	-7,530785	110,4290	1734	44836,5	44811,2	25,3
138	-7,530634	110,4236	1537	44899,3	44816,2	83,1
139	-7,530634	110,4181	1402	44770,3	44819,7	-49,4
140	-7,530702	110,4127	1309	44730,4	44822,4	-92
141	-7,530625	110,4072	1176	44816,7	44825,9	-9,2
142	-7,530594	110,4018	1131	44892,1	44827,3	64,8
143	-7,530524	110,3963	1056	44798,8	44829,4	-30,6
144	-7,530536	110,3909	980	44825,5	44831,7	-6,2
145	-7,535963	110,3908	966	44861,3	44834,6	26,7
146	-7,535950	110,3963	964	44785,3	44834,2	-48,9
147	-7,535931	110,4017	1073	44874,4	44831,3	43,1
148	-7,535929	110,4072	1194	44767,7	44828	-60,3
149	-7,535920	110,4126	1269	44820,4	44825,8	-5,4
150	-7,536055	110,4181	1354	44838,7	44823,5	15,2
151	-7,536126	110,4235	1547	44786,1	44818,6	-32,5
152	-7,536189	110,4290	1689	44839,8	44814,9	24,9
153	-7,536226	110,4344	2027	44665,5	44806,6	-141,1
154	-7,536136	110,4399	2305	44658,3	44799,7	-141,4
155	-7,536196	110,4453	2578	44654,7	44792,9	-138,2
156	-7,536300	110,4507	2621	44661,3	44791,5	-130,2
157	-7,536303	110,4561	2321	44660,3	44798,1	-137,8
158	-7,536386	110,4616	2310	44857,1	44798	59,1
159	-7,536330	110,4670	2007	44834,1	44804,6	29,5
160	-7,536439	110,4724	1657	44888,8	44812,5	76,3
161	-7,536419	110,4779	1515	44857,5	44815,4	42,1
162	-7,536451	110,4814	1431	44878,3	44817,1	61,2
163	-7,541886	110,4814	1421	44710,3	44819,9	-109,6
164	-7,541714	110,4779	1394	44882,4	44820,8	61,6
165	-7,541735	110,4724	1480	44880,7	44819,2	61,5
166	-7,541690	110,4670	1963	44854,1	44808,3	45,8
167	-7,541759	110,4615	2455	44793,8	44797,2	-3,4
168	-7,541746	110,4561	2465	44655,5	44797,4	-141,9
169	-7,541584	110,4507	2625	44650,3	44794	-143,7
170	-7,541611	110,4452	2784	44644,8	44790,7	-145,9
171	-7,541651	110,4398	2458	44653,4	44798,8	-145,4
172	-7,541633	110,4343	2077	44663,7	44808,1	-144,4

173	-7,541605	110,4289	1760	44758,5	44815,9	-57,4
174	-7,541527	110,4235	1524	44727,2	44821,8	-94,6
175	-7,541478	110,4180	1396	44819,9	44825,2	-5,3
176	-7,541507	110,4126	1304	44835,7	44827,7	8
177	-7,541452	110,4071	1195	44747,3	44830,7	-83,4
178	-7,541372	110,4017	1122	44841,3	44832,8	8,5
179	-7,541390	110,3963	1046	44873,1	44835	38,1
180	-7,541410	110,3908	986	44719,1	44836,8	-117,7
181	-7,546816	110,3908	981	44715,8	44839,5	-123,7
182	-7,546879	110,3963	1020	44728,5	44838,2	-109,7
183	-7,546876	110,4017	1096	44841,3	44836,1	5,2
184	-7,546928	110,4071	1155	44713,3	44834,3	-121
185	-7,546948	110,4126	1250	44888,4	44831,7	56,7
186	-7,546968	110,4180	1355	44864,7	44828,8	35,9
187	-7,547010	110,4235	1502	44816,1	44825	-8,9
188	-7,547053	110,4289	1687	44868,8	44820,2	48,6
189	-7,546950	110,4343	1927	44678,2	44814,2	-136
190	-7,547128	110,4398	2309	44668,3	44804,9	-136,6
191	-7,547118	110,4452	2519	44661,3	44799,6	-138,3
192	-7,547152	110,4506	2377	44666,4	44802,5	-136,1
193	-7,547135	110,4561	2241	44669,6	44805,3	-135,7
194	-7,547091	110,4615	2054	44800,4	44809,2	-8,8
195	-7,547216	110,4669	1971	44828,7	44810,8	17,9
196	-7,547257	110,4724	1728	44712,1	44816,1	-104
197	-7,547283	110,4778	1506	44704,8	44820,9	-116,1
198	-7,547302	110,4814	1327	44762,5	44824,8	-62,3
199	-7,552727	110,4814	1380	44815,3	44826,2	-10,9
200	-7,552709	110,4778	1432	44723,7	44825,2	-101,5
201	-7,552703	110,4724	1664	44834,3	44820,2	14,1
202	-7,552698	110,4669	1816	44819,3	44817,1	2,2
203	-7,552622	110,4615	1896	44844,1	44815,6	28,5
204	-7,552512	110,4561	1928	44684,1	44815,2	-131,1
205	-7,552551	110,4506	2003	44681,9	44813,9	-132
206	-7,552510	110,4452	2078	44679,8	44812,5	-132,7
207	-7,552536	110,4397	2007	44682,3	44814,6	-132,3
208	-7,552386	110,4343	1789	44688,3	44820	-131,7
209	-7,552389	110,4289	1610	44896,4	44824,6	71,8
210	-7,552277	110,4234	1447	44786,7	44828,8	-42,1
211	-7,552386	110,4180	1278	44758,1	44833,2	-75,1
212	-7,552341	110,4125	1215	44756,8	44835,1	-78,3
213	-7,552275	110,4071	1120	44759,5	44837,7	-78,2
214	-7,552193	110,4017	1044	44717,3	44839,9	-122,6
215	-7,552285	110,3963	1000	44724,3	44841,3	-117
216	-7,552242	110,3908	955	44873,4	44842,8	30,6

217	-7,557672	110,3907	926	44760,7	44846,1	-85,4
218	-7,557727	110,3963	988	44830,5	44844,3	-13,8
219	-7,557611	110,4016	1021	44778,2	44843	-64,8
220	-7,557602	110,4071	1068	44783,9	44841,5	-57,6
221	-7,557753	110,4125	1192	44874,7	44838,3	36,4
222	-7,557784	110,4180	1283	44768,3	44835,7	-67,4
223	-7,557825	110,4234	1379	44716,3	44833,1	-116,8
224	-7,557736	110,4289	1476	44862,1	44830,4	31,7
225	-7,557910	110,4343	1643	44823,1	44826,1	-3
226	-7,557952	110,4397	1756	44813,8	44823,1	-9,3
227	-7,557875	110,4452	1803	44787,5	44821,6	-34,1
228	-7,557874	110,4506	1715	44795,3	44823,2	-27,9
229	-7,557882	110,4561	1692	44855,3	44823,3	32
230	-7,558031	110,4615	1688	44841,4	44823,1	18,3
231	-7,557996	110,4669	1652	44849,7	44823,5	26,2
232	-7,558011	110,4724	1365	44786,1	44829,8	-43,7
233	-7,558052	110,4778	1127	44772,8	44835	-62,2
234	-7,558159	110,4814	1301	44876,5	44830,7	45,8
235	-7,563601	110,4813	1087	44857,3	44838,3	19
236	-7,563577	110,4778	1106	44764,3	44838,1	-73,8
237	-7,563555	110,4724	1326	44708,4	44833,4	-125
238	-7,563607	110,4669	1451	44856,7	44830,9	25,8
239	-7,563424	110,4615	1432	44775,4	44831,7	-56,3
240	-7,563438	110,4561	1606	44746,7	44828	-81,3
241	-7,563241	110,4506	1446	44787,1	44832,1	-45
242	-7,563420	110,4452	1564	44869,8	44829,8	40
243	-7,563383	110,4397	1565	44900,5	44830,2	70,3
244	-7,563297	110,4343	1460	44785,3	44833	-47,7
245	-7,563345	110,4288	1394	44754,7	44835	-80,3
246	-7,563195	110,4234	1255	44831,3	44838,6	-7,3
247	-7,563233	110,4179	1235	44752,3	44839,5	-87,2
248	-7,563221	110,4125	1159	44807,1	44841,7	-34,6
249	-7,563182	110,4071	1091	44824,1	44843,7	-19,6
250	-7,563118	110,4016	1027	44898,8	44845,6	53,2
251	-7,563166	110,3962	962	44777,5	44847,5	-70
252	-7,563097	110,3907	899	44862,3	44849,4	12,9
253	-7,568530	110,3907	898	44729,3	44852,1	-122,8
254	-7,568551	110,3962	960	44767,4	44850,2	-82,8
255	-7,568457	110,4016	1001	44754,7	44848,8	-94,1
256	-7,568553	110,4070	1025	44895,1	44847,9	47,2
257	-7,568685	110,4125	1106	44709,8	44845,6	-135,8
258	-7,568622	110,4179	1174	44844,5	44843,6	0,9
259	-7,568648	110,4234	1273	44847,3	44840,9	6,4
260	-7,568670	110,4288	1328	44887,3	44839,2	48,1
261	-7,568810	110,4342	1368	44805,4	44837,9	-32,5

262	-7,568476	110,4397	1376	44880,7	44837,1	43,6
263	-7,568750	110,4451	1399	44895,5	44836,3	59,2
264	-7,569008	110,4505	1412	44740,2	44835,7	-95,5
265	-7,569018	110,4560	1416	44719,9	44835,2	-115,3
266	-7,568770	110,4614	1272	44847,7	44838	9,7
267	-7,568959	110,4668	1350	44811,3	44835,9	-24,6
268	-7,568907	110,4723	1242	44881,3	44838	43,3
269	-7,568465	110,4777	1085	44720,1	44841	-120,9
270	-7,569020	110,4813	1050	44810,1	44841,8	-31,7
271	-7,574441	110,4813	1057	44808,8	44844,3	-35,5
272	-7,574444	110,4777	1110	44716,5	44843,4	-126,9
273	-7,574407	110,4723	1172	44707,3	44842,3	-135
274	-7,574352	110,4668	1231	44848,3	44841,3	7
275	-7,574338	110,4614	1277	44774,4	44840,6	-66,2
276	-7,574319	110,4559	1252	44784,7	44841,6	-56,9
277	-7,574272	110,4505	1218	44723,1	44842,8	-119,7
278	-7,574246	110,4451	1292	44841,8	44841,5	0,3
279	-7,574518	110,4396	1265	44702,5	44842,7	-140,2
280	-7,574443	110,4342	1262	44716,3	44843,1	-126,8
281	-7,574027	110,4288	1206	44720,3	44844,6	-124,3
282	-7,574227	110,4233	1200	44797,4	44845,3	-47,9
283	-7,574090	110,4179	1130	44810,7	44847,3	-36,6
284	-7,574249	110,4124	1091	44817,4	44848,7	-31,3
285	-7,57385	110,407	993	44781,7	44851,2	-69,5
286	-7,573897	110,4016	927	44803,1	44853,2	-50,1
287	-7,573955	110,3961	899	44872,8	44854,3	18,5
288	-7,573944	110,3907	881	44753,5	44855,1	-101,6
289	-7,579377	110,3907	820	44760,3	44859,2	-98,9
290	-7,579398	110,3961	870	44850,7	44857,6	-6,9
291	-7,579388	110,4015	917	44707,3	44856,1	-148,8
292	-7,579467	110,4070	972	44853,3	44854,4	-1,1
293	-7,579554	110,4124	1027	44838,1	44852,8	-14,7
294	-7,579516	110,4179	1095	44744,1	44850,7	-106,6
295	-7,579597	110,4233	1163	44851,8	44848,8	3
296	-7,579601	110,4287	1056	44813,5	44850,9	-37,4
297	-7,579666	110,4342	1230	44834,3	44846,4	-12,1
298	-7,579623	110,4396	1151	44831,3	44847,8	-16,5
299	-7,579705	110,4450	1155	44788,4	44847,4	-59
300	-7,579705	110,4505	1145	44711,7	44847,2	-135,5
301	-7,579737	110,4559	1158	44754,1	44846,5	-92,4
302	-7,579794	110,4614	1123	44744,8	44846,9	-102,1
303	-7,579872	110,4668	1068	44779,5	44847,8	-68,3
304	-7,579827	110,4723	1096	44789,3	44846,7	-57,4
305	-7,579874	110,4777	1048	44816,3	44847,5	-31,2

306	-7,579869	110,4813	1008	44784,4	44848,1	-63,7
307	-7,583473	110,4813	980	44737,7	44850,5	-112,8
308	-7,583651	110,4776	1006	44789,5	44850,3	-60,8
309	-7,583448	110,4722	1057	44718,2	44849,4	-131,2
310	-7,583588	110,4667	1084	44839,9	44849,3	-9,4
311	-7,583517	110,4613	1127	44870,7	44848,6	22,1
312	-7,583674	110,4559	1106	44785,3	44849,6	-64,3
313	-7,583630	110,4504	1087	44849,3	44850,4	-1,1
314	-7,583302	110,4450	1059	44799,1	44851,4	-52,3
315	-7,583188	110,4395	1061	44753,1	44851,7	-98,6
316	-7,583386	110,4341	1136	44729,8	44850,4	-120,6
317	-7,583178	110,4287	1114	44721,5	44851,3	-129,8
318	-7,583281	110,4233	1258	44711,3	44848,3	-137
319	-7,583135	110,4178	1034	44864,3	44853,9	10,4
320	-7,583243	110,4124	1003	44754,4	44855,1	-100,7
321	-7,583202	110,4070	960	44709,7	44856,5	-146,8
322	-7,582964	110,4015	904	44854,1	44858,1	-4
323	-7,583036	110,3961	865	44714,8	44859,5	-144,7
324	-7,582985	110,3907	815	44865,5	44861,1	4,4

Lampiran 2 Data Penelitian

Pasca Erupsi (10 Juli 2020)

Titik	Latitude	Longitude	Elevasi	Medan Magnetik	IGRF	Anomali Medan Total
1	-7,492577	110,391	1125	44806,9	44808,1	-1,2
2	-7,492558	110,396	1153	44837,7	44807,1	30,6
3	-7,492360	110,402	1139	44835,9	44806,9	29,0
4	-7,492656	110,407	1211	44842,5	44805	37,5
5	-7,492622	110,413	1221	44820,6	44804,3	16,3
6	-7,492715	110,418	1255	44847,6	44803,1	44,5
7	-7,492488	110,424	1381	44845,7	44799,6	46,1
8	-7,492671	110,429	1513	44839,6	44796,2	43,4
9	-7,492878	110,434	1528	44836,4	44795,6	40,8
10	-7,492770	110,440	1573	44790,7	44794,1	-3,4
11	-7,492855	110,445	1679	44830,6	44791,3	39,3
12	-7,492990	110,451	1795	44860,8	44788,1	72,7
13	-7,492687	110,456	1832	44783,5	44786,7	-3,2
14	-7,492924	110,462	1705	44787,4	44789,4	-2,0
15	-7,493182	110,467	1587	44878,4	44791,8	86,6
16	-7,492980	110,473	1487	44793,0	44793,7	-0,7

17	-7,492897	110,478	1431	44854,9	44794,6	60,3
18	-7,493028	110,482	1417	44886,3	44794,7	91,6
19	-7,498448	110,482	1410	44826,6	44797,5	29,1
20	-7,498619	110,478	1446	44829,9	44797,1	32,8
21	-7,498426	110,473	1473	44793,2	44796,6	-3,4
22	-7,498178	110,467	1556	44792,8	44795	-2,2
23	-7,498460	110,462	1613	44842,8	44794,3	48,5
24	-7,498581	110,456	1686	44791,2	44793	-1,8
25	-7,498558	110,451	1665	44792,3	44793,9	-1,6
26	-7,498277	110,445	1551	44881,7	44796,9	84,8
27	-7,498357	110,440	1540	44890,9	44797,5	93,4
28	-7,498356	110,434	1398	44798,7	44801,2	-2,5
29	-7,498397	110,429	1330	44799,4	44803,2	-3,8
30	-7,498144	110,424	1278	44802,5	44804,7	-2,2
31	-7,498136	110,418	1208	44841,0	44806,7	34,3
32	-7,498136	110,413	1173	44804,6	44808,1	-3,5
33	-7,498192	110,407	1130	44876,6	44809,4	67,2
34	-7,498202	110,402	1099	44809,5	44810,7	-1,2
35	-7,497937	110,396	1065	44809,0	44811,7	-2,7
36	-7,498000	110,391	1080	44842,0	44811,7	30,3
37	-7,503416	110,391	999	44864,3	44816,2	48,1
38	-7,503504	110,396	1066	44861,0	44814,5	46,5
39	-7,503448	110,402	1099	44809,7	44813,1	-3,4
40	-7,503528	110,407	1158	44859,0	44811,5	47,5
41	-7,503501	110,413	1191	44856,6	44810,2	46,4
42	-7,503530	110,418	1218	44849,5	44809,1	40,4
43	-7,503385	110,424	1271	44864,7	44807,4	57,3
44	-7,503652	110,429	1352	44894,2	44805,2	89,0
45	-7,503639	110,434	1421	44901,8	44803,4	98,4
46	-7,503705	110,440	1436	44800,2	44802,7	-2,5
47	-7,503645	110,445	1512	44845,5	44800,3	45,2
48	-7,503713	110,451	1547	44845,8	44799	46,8
49	-7,503868	110,456	1567	44796,9	44798,2	-1,3
50	-7,503872	110,462	1551	44839,2	44798,3	40,9
51	-7,503698	110,467	1514	44810,5	44798,7	11,8
52	-7,503753	110,472	1474	44799,5	44799,3	0,2
53	-7,503581	110,478	1421	44885,3	44800,1	85,2
54	-7,503822	110,482	1366	44831,9	44801	30,9
55	-7,509302	110,482	1309	44856,2	44805	51,2
56	-7,509182	110,478	1374	44858,1	44803,7	54,4

57	-7,509246	110,472	1457	44800,5	44802,2	-1,7
58	-7,508822	110,467	1522	44797,5	44801,1	-3,6
59	-7,509457	110,462	1608	44825,2	44799,8	25,4
60	-7,508854	110,456	1596	44839,3	44800,1	39,2
61	-7,509159	110,451	1613	44890,5	44800,2	90,3
62	-7,509098	110,445	1538	44846,6	44802,2	44,4
63	-7,509129	110,440	1523	44847,7	44803	44,7
64	-7,509177	110,434	1460	44898,6	44805,1	93,5
65	-7,509042	110,429	1376	44857,4	44807,3	50,1
66	-7,509007	110,424	1326	44805,8	44808,8	-3,0
67	-7,509008	110,418	1256	44807,1	44810,8	-3,7
68	-7,508913	110,413	1178	44879,7	44813	66,7
69	-7,508735	110,407	1149	44848,9	44814	34,9
70	-7,508907	110,402	1107	44813,6	44815,7	-2,1
71	-7,509009	110,396	1027	44864,3	44818,2	46,1
72	-7,508860	110,391	953	44859,2	44820,2	39,0
73	-7,514303	110,391	999	44860,2	44821,6	38,6
74	-7,514286	110,396	1065	44850,8	44819,8	31,0
75	-7,514314	110,402	1120	44814,0	44818	-4,0
76	-7,514378	110,407	1181	44812,8	44816,1	-3,3
77	-7,514526	110,413	1268	44810,4	44813,9	-3,5
78	-7,514409	110,418	1292	44847,1	44812,7	34,4
79	-7,514580	110,424	1380	44808,1	44810,5	-2,4
80	-7,514241	110,429	1438	44816,7	44808,3	8,4
81	-7,514031	110,434	1539	44835,4	44805,3	30,1
82	-7,514727	110,440	1606	44890,0	44804	86,0
83	-7,514574	110,445	1680	44859,4	44801,9	57,5
84	-7,514882	110,451	1738	44851,8	44800,2	51,6
85	-7,514947	110,456	1716	44836,2	44800,1	36,1
86	-7,514609	110,462	1598	44798,6	44802,5	-3,9
87	-7,515011	110,467	1603	44892,2	44802,2	90,0
88	-7,514701	110,472	1486	44851,8	44804,2	47,6
89	-7,514730	110,478	1409	44802,8	44805,7	-2,9
90	-7,514747	110,482	1346	44830,9	44807	23,9
91	-7,520165	110,482	1368	44806,7	44809,1	-2,4
92	-7,520241	110,478	1412	44850,3	44808,3	42,0
93	-7,520131	110,472	1513	44802,3	44806,2	-3,9
94	-7,520106	110,467	1666	44830,0	44803	27,0
95	-7,520220	110,462	1773	44827,1	44801,1	26,0
96	-7,520274	110,456	1852	44795,4	44799,7	-4,3
97	-7,520208	110,451	1902	44795,1	44798,7	-3,6

98	-7,519968	110,445	1852	44909,5	44800,2	109,3
99	-7,520096	110,440	1715	44837,4	44804,1	33,3
100	-7,519276	110,434	1567	44834,0	44807,5	26,5
101	-7,519867	110,429	1530	44805,7	44808,9	-3,2
102	-7,519922	110,424	1441	44808,8	44811,3	-2,5
103	-7,519815	110,418	1289	44897,2	44815,3	81,9
104	-7,519723	110,413	1227	44813,5	44817,1	-3,6
105	-7,519873	110,407	1169	44836,4	44819,3	17,1
106	-7,519462	110,402	1073	44845,1	44821,5	23,6
107	-7,519752	110,396	1069	44884,6	44822,3	62,3
108	-7,519695	110,391	955	44839,5	44825,1	14,4
109	-7,525129	110,391	984	44823,1	44827,1	-4,0
110	-7,525117	110,396	1045	44821,6	44825,3	-3,7
111	-7,525158	110,402	1136	44822,7	44823	-0,3
112	-7,525238	110,407	1214	44821,7	44820,6	1,1
113	-7,525195	110,413	1319	44839,5	44817,8	21,7
114	-7,525218	110,418	1415	44920,9	44815,1	105,8
115	-7,525045	110,424	1421	44849,1	44814,4	34,7
116	-7,525441	110,429	1670	44859,4	44808,3	51,1
117	-7,525494	110,434	1787	44803,2	44805,2	-2,0
118	-7,525319	110,440	1870	44801,8	44803,1	-1,3
119	-7,525384	110,445	2065	44793,7	44798,1	-4,4
120	-7,525384	110,451	2182	44829,3	44794,7	34,6
121	-7,525559	110,456	2132	44801,7	44795,5	6,2
122	-7,525592	110,462	1876	44798,2	44801	-2,8
123	-7,525641	110,467	1844	44796,2	44801,4	-5,2
124	-7,525668	110,472	1585	44850,9	44807,2	43,7
125	-7,525566	110,478	1488	44803,9	44809,2	-5,3
126	-7,525592	110,481	1425	44805,9	44810,4	-4,5
127	-7,531019	110,481	1429	44840,9	44813	27,9
128	-7,530998	110,478	1494	44809,7	44811,5	-1,8
129	-7,530893	110,472	1571	44819,1	44810	9,1
130	-7,530980	110,467	1812	44803,1	44804,8	-1,7
131	-7,530625	110,462	1860	44721,5	44803,9	-82,4
132	-7,530920	110,456	2292	44743,2	44794,4	-51,2
133	-7,530867	110,451	2413	44720,8	44791,9	-71,1
134	-7,530790	110,445	2309	44743,6	44794,7	-51,1
135	-7,530694	110,440	2073	44746,0	44800,7	-54,7
136	-7,530479	110,434	1804	44760,3	44807,2	-46,9
137	-7,530785	110,429	1736	44826,5	44809,6	16,9

138	-7,530634	110,424	1530	44828,4	44814,5	13,9
139	-7,530634	110,418	1398	44814,9	44818,1	-3,2
140	-7,530702	110,413	1303	44795,2	44820,7	-25,5
141	-7,530625	110,407	1171	44806,2	44824,2	-18,0
142	-7,530594	110,402	1124	44891,6	44825,6	66,0
143	-7,530524	110,396	1058	44827,7	44827,8	-0,1
144	-7,530536	110,391	986	44828,0	44830	-2,0
145	-7,535963	110,391	970	44807,8	44832,9	-25,1
146	-7,535950	110,396	960	44817,6	44832,6	-15,0
147	-7,535931	110,402	1062	44813,0	44829,6	-16,6
148	-7,535929	110,407	1185	44741,2	44826,3	-85,1
149	-7,535920	110,413	1261	44751,7	44824,2	-72,5
150	-7,536055	110,418	1343	44733,6	44821,8	-88,2
151	-7,536126	110,423	1538	44731,7	44816,9	-85,2
152	-7,536189	110,429	1678	44737,8	44813,2	-75,4
153	-7,536226	110,434	2020	44728,9	44805	-76,1
154	-7,536136	110,440	2294	44685,2	44798	-112,8
155	-7,536196	110,445	2566	44683,3	44791,2	-107,9
156	-7,536300	110,451	2610	44677,5	44789,9	-112,4
157	-7,536303	110,456	2314	44684,7	44796,5	-111,8
158	-7,536386	110,462	2302	44726,4	44796,4	-70,0
159	-7,536330	110,467	1997	44736,8	44803	-66,2
160	-7,536439	110,472	1648	44787,4	44810,8	-23,4
161	-7,536419	110,478	1510	44792,2	44813,7	-21,5
162	-7,536451	110,481	1433	44803,4	44815,4	-12,0
163	-7,541886	110,481	1412	44733,6	44818,3	-84,7
164	-7,541714	110,478	1391	44746,1	44819,1	-73,0
165	-7,541735	110,472	1474	44740,9	44817,5	-76,6
166	-7,541690	110,467	1958	44747,8	44806,6	-58,8
167	-7,541759	110,462	2451	44726,5	44795,6	-69,1
168	-7,541746	110,456	2454	44683,9	44795,8	-111,9
169	-7,541584	110,451	2611	44685,2	44792,4	-107,2
170	-7,541611	110,445	2764	44678,3	44789,1	-110,8
171	-7,541651	110,440	2442	44684,7	44797,1	-112,4
172	-7,541633	110,434	2065	44751,0	44806,4	-55,4
173	-7,541605	110,429	1751	44762,1	44814,2	-52,1
174	-7,541527	110,423	1517	44724,4	44820,1	-95,7
175	-7,541478	110,418	1391	44739,8	44823,5	-83,7
176	-7,541507	110,413	1300	44754,4	44826,1	-71,7
177	-7,541452	110,407	1189	44732,3	44829	-96,7
178	-7,541372	110,402	1117	44765,6	44831,1	-65,5

179	-7,541390	110,396	1037	44895,7	44833,3	62,4
180	-7,541410	110,391	979	44812,4	44835,1	-22,7
181	-7,546816	110,391	970	44825,0	44837,9	-12,9
182	-7,546879	110,396	1015	44813,1	44836,6	-23,5
183	-7,546876	110,402	1090	44850,6	44834,4	16,2
184	-7,546928	110,407	1150	44722,2	44832,6	-110,4
185	-7,546948	110,413	1246	44773,5	44830	-56,5
186	-7,546968	110,418	1348	44749,5	44827,1	-77,6
187	-7,547010	110,423	1498	44761,9	44823,3	-61,4
188	-7,547053	110,429	1685	44761,7	44818,6	-56,9
189	-7,546950	110,434	1922	44750,2	44812,5	-62,3
190	-7,547128	110,440	2300	44714,7	44803,3	-88,6
191	-7,547118	110,445	2507	44686,2	44797,9	-111,7
192	-7,547152	110,451	2366	44690,4	44800,9	-110,5
193	-7,547135	110,456	2232	44695,2	44803,6	-108,4
194	-7,547091	110,462	2047	44736,5	44807,5	-71,0
195	-7,547216	110,467	1963	44730,0	44809,1	-79,1
196	-7,547257	110,472	1722	44731,3	44814,4	-83,1
197	-7,547283	110,478	1499	44723,0	44819,2	-96,2
198	-7,547302	110,481	1321	44776,8	44823,1	-46,3
199	-7,552727	110,481	1373	44829,9	44824,5	5,4
200	-7,552709	110,478	1426	44734,1	44823,6	-89,5
201	-7,552703	110,472	1656	44745,0	44818,6	-73,6
202	-7,552698	110,467	1810	44746,0	44815,4	-69,4
203	-7,552622	110,461	1891	44722,9	44813,9	-91,0
204	-7,552512	110,456	1917	44703,1	44813,5	-110,4
205	-7,552551	110,451	1996	44703,4	44812,2	-108,8
206	-7,552510	110,445	2070	44709,3	44810,9	-101,6
207	-7,552536	110,440	2000	44758,9	44812,9	-54,0
208	-7,552386	110,434	1784	44749,7	44818,4	-68,7
209	-7,552389	110,429	1604	44761,1	44823	-61,9
210	-7,552277	110,423	1443	44747,6	44823,3	-75,7
211	-7,552386	110,418	1271	44767,9	44831,6	-63,7
212	-7,552341	110,413	1209	44775,7	44833,4	-57,7
213	-7,552275	110,407	1115	44758,1	44836	-77,9
214	-7,552193	110,402	1038	44732,4	44838,2	-105,8
215	-7,552285	110,396	992	44738,1	44839,7	-101,6
216	-7,552242	110,391	948	44887,4	44841,1	46,3
217	-7,557672	110,391	928	44770,2	44844,4	-74,2
218	-7,557727	110,396	982	44837,4	44842,6	-5,2

219	-7,557611	110,402	1016	44784,1	44841,3	-57,2
220	-7,557602	110,407	1061	44788,9	44839,8	-50,9
221	-7,557753	110,413	1184	44775,9	44836,6	-60,7
222	-7,557784	110,418	1277	44782,2	44834,1	-51,9
223	-7,557825	110,423	1376	44724,4	44831,4	-107,0
224	-7,557736	110,429	1469	44771,6	44828,7	-57,1
225	-7,557910	110,434	1639	44759,6	44824,5	-64,9
226	-7,557952	110,440	1751	44729,7	44821,4	-91,7
227	-7,557875	110,445	1802	44728,9	44819,9	-91,0
228	-7,557874	110,451	1717	44724,2	44821,5	-97,3
229	-7,557882	110,456	1694	44725,7	44821,7	-96,0
230	-7,558031	110,461	1691	44737,0	44821,4	-84,4
231	-7,557996	110,467	1646	44753,2	44821,8	-68,6
232	-7,558011	110,472	1361	44746,1	44828,1	-82,0
233	-7,558052	110,478	1121	44760,8	44833,3	-72,5
234	-7,558159	110,481	1303	44885,2	44829	56,2
235	-7,563601	110,481	1081	44864,1	44836,7	27,4
236	-7,563577	110,478	1102	44770,2	44836,5	-66,3
237	-7,563555	110,472	1320	44729,7	44831,7	-102,0
238	-7,563607	110,467	1448	44765,0	44829,3	-64,3
239	-7,563424	110,461	1428	44777,7	44830	-52,3
240	-7,563438	110,456	1598	44718,2	44826,4	-108,2
241	-7,563241	110,451	1439	44729,4	44830,4	-101,0
242	-7,563420	110,445	1566	44731,7	44828,1	-96,4
243	-7,563383	110,440	1571	44737,1	44828,5	-91,4
244	-7,563297	110,434	1468	44739,3	44831,4	-92,1
245	-7,563345	110,429	1385	44742,4	44833,4	-91,0
246	-7,563195	110,423	1251	44774,8	44836,9	-62,1
247	-7,563233	110,418	1230	44777,9	44837,8	-59,9
248	-7,563221	110,412	1153	44788,7	44840	-51,3
249	-7,563182	110,407	1094	44785,9	44842	-56,1
250	-7,563118	110,402	1034	44788,4	44843,9	-55,5
251	-7,563166	110,396	961	44785,9	44845,8	-59,9
252	-7,563097	110,391	895	44868,3	44847,7	20,6
253	-7,568530	110,391	892	44739,4	44850,4	-111,0
254	-7,568551	110,396	954	44771,1	44848,5	-77,4
255	-7,568457	110,402	1003	44787,1	44847,1	-60,0
256	-7,568553	110,407	1020	44787,2	44846,2	-59,0
257	-7,568685	110,412	1102	44781,6	44843,9	-62,3
258	-7,568622	110,418	1168	44778,3	44841,9	-63,6
259	-7,568648	110,423	1265	44784,5	44839,2	-54,7

260	-7,568670	110,429	1325	44728,0	44837,5	-109,5
261	-7,568810	110,434	1366	44727,8	44836,2	-108,4
262	-7,568476	110,440	1375	44748,4	44835,4	-87,0
263	-7,568750	110,445	1395	44744,5	44834,6	-90,1
264	-7,569008	110,451	1414	44740,9	44834	-93,1
265	-7,569018	110,456	1415	44737,3	44833,5	-96,2
266	-7,568770	110,461	1269	44756,1	44836,4	-80,3
267	-7,568959	110,467	1344	44754,6	44834,2	-79,6
268	-7,568907	110,472	1238	44746,8	44836,3	-89,5
269	-7,568465	110,478	1088	44852,8	44839,4	13,4
270	-7,569020	110,481	1052	44850,8	44840,2	10,6
271	-7,574441	110,481	1053	44856,7	44842,7	14,0
272	-7,574444	110,478	1105	44733,8	44841,7	-107,9
273	-7,574407	110,472	1171	44731,8	44840,6	-108,8
274	-7,574352	110,467	1233	44739,0	44839,6	-100,6
275	-7,574338	110,461	1282	44729,0	44839	-110,0
276	-7,574319	110,456	1251	44730,3	44840	-109,7
277	-7,574272	110,451	1210	44731,2	44841,1	-109,9
278	-7,574246	110,445	1286	44734,1	44839,8	-105,7
279	-7,574518	110,440	1262	44759,3	44841	-81,7
280	-7,574443	110,434	1264	44744,7	44841,4	-96,7
281	-7,574027	110,429	1198	44745,0	44842,9	-97,9
282	-7,574227	110,423	1196	44737,8	44843,6	-105,8
283	-7,574090	110,418	1125	44785,0	44845,6	-60,6
284	-7,574249	110,412	1087	44793,3	44847	-53,7
285	-7,573850	110,407	997	44795,3	44849,5	-54,2
286	-7,573897	110,402	932	44782,3	44851,5	-69,2
287	-7,573955	110,396	898	44765,4	44852,6	-87,2
288	-7,573944	110,391	880	44802,5	44853,4	-50,9
289	-7,579377	110,391	818	44899,8	44857,5	42,3
290	-7,579398	110,396	867	44794,0	44855,9	-61,9
291	-7,579388	110,402	918	44751,4	44854,4	-103,0
292	-7,579467	110,407	970	44785,6	44852,7	-67,1
293	-7,579554	110,412	1023	44783,2	44851,1	-67,9
294	-7,579516	110,418	1094	44759,3	44849	-89,7
295	-7,579597	110,423	1159	44754,1	44847,1	-93,0
296	-7,579601	110,429	1053	44761,9	44849,2	-87,3
297	-7,579666	110,434	1229	44748,7	44844,7	-96,0
298	-7,579623	110,440	1153	44757,7	44846,1	-88,4
299	-7,579705	110,445	1150	44753,1	44845,7	-92,6

300	-7,579705	110,450	1141	44753,5	44845,5	-92,0
301	-7,579737	110,456	1160	44795,3	44844,8	-49,5
302	-7,579794	110,461	1122	44801,4	44845,2	-43,8
303	-7,579872	110,467	1068	44796,5	44846,1	-49,6
304	-7,579827	110,472	1095	44778,8	44845,1	-66,3
305	-7,579874	110,478	1046	44737,8	44845,8	-108,0
306	-7,579869	110,481	1007	44859,1	44846,4	12,7
307	-7,583473	110,481	977	44796,6	44848,9	-52,3
308	-7,583651	110,478	1008	44770,4	44848,6	-78,2
309	-7,583448	110,472	1055	44826,7	44847,7	-21,0
310	-7,583588	110,467	1083	44776,2	44847,6	-71,4
311	-7,583517	110,461	1127	44760,6	44847	-86,4
312	-7,583674	110,456	1103	44751,8	44847,9	-96,1
313	-7,583630	110,450	1084	44752,8	44848,8	-96,0
314	-7,583302	110,445	1057	44759,6	44849,7	-90,1
315	-7,583188	110,440	1060	44760,1	44850	-89,9
316	-7,583386	110,434	1135	44752,4	44848,7	-96,3
317	-7,583178	110,429	1116	44758,5	44849,6	-91,1
318	-7,583281	110,423	1258	44756,1	44846,6	-90,5
319	-7,583135	110,418	1035	44759,3	44852,2	-92,9
320	-7,583243	110,412	1003	44764,0	44853,4	-89,4
321	-7,583202	110,407	960	44748,8	44854,8	-106,0
322	-7,582964	110,402	904	44779,0	44856,4	-77,4
323	-7,583036	110,396	865	44768,8	44857,8	-89,0
324	-7,582985	110,391	815	44910,3	44859,3	51,0