

**IDENTIFIKASI SEBARAN MINERAL ZEOLIT MENGGUNAKAN
METODE GEOMAGNET
(Studi Kasus: Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing Wetan
Kabupaten Malang)**

SKRIPSI

Oleh:

KIKI ARISTA
NIM. 14640019



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

**IDENTIFIKASI SEBARAN MINERAL ZEOLIT MENGGUNAKAN
METODE GEOMAGNET
(Studi Kasus : Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing Wetan
Kabupaten Malang)**

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:
KIKI ARISTA
NIM. 14640019**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

IDENTIFIKASI SEBARAN MINERAL ZEOLIT MENGGUNAKAN
METODE GEOMAGNET
(Studi Kasus: Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing Wetan
Kabupaten Malang)

SKRIPSI

Oleh:
Kiki Arista
NIM. 14640019

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal 11 Desember 2019

Pembimbing I,

Irian, M.Si

NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II,

Ahmad Abtokhi, M.Pd

NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003

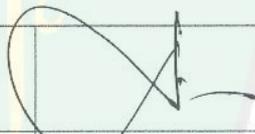
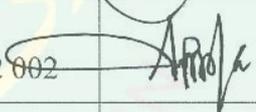
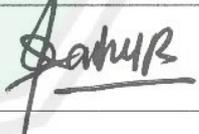
HALAMAN PENGESAHAN

IDENTIFIKASI SEBARAN MINERAL ZEOLIT MENGGUNAKAN
METODE GEOMAGNET
(Studi Kasus: Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing Wetan
Kabupaten Malang)

SKRIPSI

Oleh:
Kiki Arista
NIM. 14640019

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada tanggal 20 Desember 2019

Penguji Utama	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kiki Arista
NIM : 14640019
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Identifikasi Sebaran Mineral Zeolit Menggunakan Metode Geomagnet (Studi Kasus: Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing wetan Kabupaten Malang)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur jiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 25 November 2019
Yang Membuat Pernyataan,



Kiki Arista
NIM. 14640019

MOTTO

Jika kau ingin hidup bahagia, terikatlah pada tujuan bukan pada benda atau orang

- Albert Einstein -

Bekerja keras dan bersikap baiklah. Hal luar biasa akan terjadi

-Conan O' Brien -



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan rasa syukur, penulis akan mempersembahkan karya tulis ini kepada:

- Keempat orang tuaku Bapak Pujianto-Ibu Rasiah dan bapak Buyadi-Ibu Komsiatun yang selama ini telah memberi doa, kasih sayang dan dukungan yang tiada henti-hentinya.
- Adikku Chintya Aulia Ramadhani, semoga ini dapat memotivasi kedepannya agar lebih baik dan lebih sukses dari kakaknya ini.
- Huuda Satrio Utomo yang selalu memberi doa, semangat, dukungan dan motivasi selama ini.
- Anakku Arrofi Syafiul Huda yang selalu membuat semangat ibu supaya cepat menyelesaikan tulisan ini.
- Keluarga besar yang selalu mendoakan dan banyak memberi nasehat untuk lebih baik.
- Teman-teman yang selalu memberi doa dan semangat serta bantuan untuk menyelesaikan tulisan ini.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayahnya sehingga penulis dapat menyumbangkan hasil karya ilmiah dan pemikiran melalui sebuah tulisan kecil yang diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dengan judul **Identifikasi Sebaran Mineral Zeolit Menggunakan Metode Geomagnet (Studi Kasus: Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang)**.

Tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi dan inspirasi hingga skripsi ini dapat diselesaikan, semoga Allah SWT membalas dengan segala kebaikan yang telah membantu dengan tulus dan ikhlas kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini., M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang .
3. Drs. Abdul Basid., M.Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah memberi petunjuk, mengarahkan dengan sabar dan teliti serta waktu yang diluangkan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Ummayatus Syarifah, M.Si dan Ahmad Abtokhi, M.Pd, selaku dosen pembimbing Integrasi Sains dan Islam yang telah membantu dan memberi masukan terhadap permasalahan integrasi dalam skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Fisika, Dosen Agama, Ustadz-ustadzah PKPBA dan Ma'had Sunan Ampel al-Aly yang telah mengamalkan ilmunya selama menimba ilmu di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Teman-teman Fisika angkatan 14 dan Geofisika angkatan 13, 14 dan 15 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas dukungan dan semangatnya karena tanpa dorongan kalian penulis tidak akan semangat mengerjakan skripsi ini.

8. Teman-teman tim pengambilan data (Mas Rijal, Mas Asyari, Mas Huuda, Himma, Lala, Dihar, Ida, Andin, Biha, Kharisma, Balqis, Rohmat, Aqil, Anwar, Mbak Fatin, Karimah, dan yang lainnya) terimakasih atas keikhlasan dan kerja kerasnya selama proses pengambilan data.
9. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas dukungan, bantuan dan motivasinya kepada penulis.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan semua amal ibadah atas bantuan dan bimbingan semua pihak selama penulisan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan khususnya bagi penulis sendiri.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini banyak sekali kekurangan dan jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu penulis masih membutuhkan kritik dan saran sebagai pengembangan ilmu pengetahuan agar bermanfaat bagi semua.

Malang, 18 November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Mineral Zeolit	7
2.1.1 Sifat Fisika dan Kimia Mineral Zeolit	9
2.1.2 Komposisi Kimia dan Klasifikasi	10
2.1.3 Kegunaan Mineral Zeolit	12
2.2 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian	13
2.3 Teori Dasar Magnetik	15
2.3.1 Gaya Magnet	16
2.3.2 Kuat Medan Magnet	16
2.3.3 Momen Magnetik	17
2.3.4 Intensitas magnetik	18
2.3.5 Induksi Magnetik	19
2.4 Suseptibilitas Batuan	19
2.5 Medan Magnet Bumi	24
2.5.1 Medan Utama (<i>Main Field</i>)	26
2.5.2 Medan Magnet Luar (<i>External Field</i>)	27
2.5.3 Anomali Medan Magnetik	27
2.6 Koreksi Data Magnetik	29
2.7 Transformasi Medan Magnetik	30
2.7.1 Reduksi ke Bidang Datar	30
2.7.2 Kontinuasi ke Atas	30
2.7.3 Reduksi ke Kutub	32
2.8 Magnetometer (<i>Proton Precision Magnetometer</i>)	33
2.9 Mineral dalam Prespektif Al-Qur'an	34

BAB III METODE PENELITIAN	38
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	38
3.2 Instrumentasi Penelitian	39
3.3 Data Penelitian	39
3.4 Prinsip Kerja Alat	39
3.5 Pelaksanaan Penelitian	40
3.5.1 Tahap Pengambilan Data (Akuisisi Data)	40
3.5.2 Tahap Pengolahan Data	40
3.5.3 Tahap Interpretasi Data	42
3.6 Diagram Alir	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Pengambilan Data (Akuisisi Data)	44
4.2 Pengolahan Data	44
4.2.1 Intensitas Medan Magnet Total	45
4.2.2 Elevasi	46
4.2.3 Koreksi Harian dan Koreksi IGRF	48
4.2.4 Reduksi ke Bidang Datar	50
4.2.5 Kontinuasi ke Atas (<i>Upward Continuation</i>)	52
4.2.6 Reduksi Ke Kutub (<i>Reduction to The Pole</i>)	56
4.3 Interpretasi Kualitatif	57
4.4 Interpretasi Kuantitatif	57
4.4.1 Lintasan A-B	59
4.4.2 Lintasan A-C	60
4.4.3 Lintasan D-C	62
4.5 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan dalam Pandangan Al-Qur'an	65
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Mineral Zeolit	11
Gambar 2.2	Peta Geologi Lembar Turen	14
Gambar 2.3	Ilustrasi Diagram Momen Magnetik dalam Menentukan Gaya Batang Magnet Sebuah Medan Magnet	18
Gambar 2.4	Medan Magnet Bumi	25
Gambar 2.5	Unsur-Unsur Medan Magnet Bumi	25
Gambar 2.6	Kontinuasi ke Atas dari Permukaan Horizontal.....	31
Gambar 2.7	Impuls Anomali Sebelum dan Sesudah di Reduksi ke Kutub .	33
Gambar 2.8	Gaya Presisi Sebuah Proton	34
Gambar 3.1	Area Penelitian	37
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 4.1	Intensitas Medan Magnet Total	46
Gambar 4.2	Peta Kontur Nilai Ketinggian atau Elevasi	47
Gambar 4.3	Nilai IGRF	48
Gambar 4.4	Anomali Medan Magnet Total	50
Gambar 4.5	Anomali Medan Magnet Setelah di Reduksi ke Bidang Datar	51
Gambar 4.6	Anomali Medan Magnet Regional dengan Ketinggian 500 Meter	53
Gambar 4.7	Anomali Lokal	55
Gambar 4.8	Anomali Medan Magnet Setelah Proses Reduksi ke Kutub ...	56
Gambar 4.9	Hasil <i>Slice</i> Pada Kontur Anomali Lokal	58
Gambar 4.10	Lintasan A-B	60
Gambar 4.11	Lintasan A-C	61
Gambar 4.12	Lintasan C-D	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Mineral Zeolit	11
Tabel 2.2	Daftar Suseptibilitas Magnetik Beberapa Batuan	22
Tabel 2.3	Daftar Suseptibilitas Beberapa Mineral	23
Tabel 4.1	Batuan yang Tersebar di Lintasan A-B dan Nilai Suseptibilitasnya	60
Tabel 4.2	Batuan yang Tersebar di Lintasan A-C dan Nilai Suseptibilitasnya	61
Tabel 4.3	Batuan yang Tersebar di Lintasan C-D dan Nilai Suseptibilitasnya	62



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Penelitian Di Lapangan
- Lampiran 2 Proses Pengolahan Data
- Lampiran 3 Proses Pengambilan Data
- Lampiran 4 Lembar Geologi Turen
- Lampiran 5 Hasil Uji Laboratorium
- Lampiran 6 Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Arista, Kiki. 2019. **Identifikasi Sebaran Mineral Zeolit Menggunakan Metode Geomagnet (Studi Kasus: Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang)**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing (I) Irjan, M.Si. (II) Akhmad Abtokhi, M.Pd.

Kata Kunci: Mineral Zeolit, Metode Geomagnet, Suseptibilitas

Metode geomagnet adalah salah satu metode geofisika yang memanfaatkan sifat magnetik dari suatu batuan. Metode geomagnet tepat digunakan untuk mendeteksi mineral dan struktur bawah permukaan. Alat yang digunakan dalam metode ini adalah *Proton Processing Magnetometer* (PPM). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran anomali dan litologi mineral di daerah penelitian. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali dalam satu titik dan diambil data yang sering muncul (*modus*). Data yang didapat saat pengambilan data dengan luas 800 x 1000 meter adalah 80 titik dengan model *grid*. Jarak titik satu dengan yang lainnya sebesar 100 meter. Interpretasi dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif, interpretasi secara kualitatif dilakukan untuk menganalisis daerah yang memiliki anomali dengan menggunakan *software Oasis Monjaj*, sedangkan interpretasi secara kuantitatif dilakukan untuk mengetahui struktur di bawah permukaan melalui bentuk, model dan kedalaman benda anomali melalui *software GM-SYS*. Hasil penelitian diperoleh suseptibilitas anomali lokal positif berkisar 0.1 nT sampai 400 nT yang ditafsirkan sebagai batuan lava andesit dan basal dan anomali negatif sekitar -5 nT sampai -500 nT ditafsirkan sebagai batuan sedimen. Di daerah penelitian juga terdapat batuan pasir, apung, dan breksi vulkanik. Mineral zeolit yang berasal dari abu vulkanik yang mengalami proses pengendapan selama bertahun-tahun akan berasosiasi dengan batuan lainnya. Pada daerah penelitian mineral zeolit banyak ditemukan di batuan tuff dimana sebarannya tidak merata.

ABSTRACT

Arista, Kiki. 2019. **Identification of Zeolite Minerals Distribution Using Geomagnetic Method (Case Study: Sumberagung Village Sumbermanjing Wetan District Malang Regency)**. Essay. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisor, (I) Irjan, M.Si. (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

Keywords: Zeolite Minerals, Geomagnetic Method, Susceptibility

The geomagnetic method is a geophysical method that utilizes the magnetic properties of a rock. The geomagnetic method is suitable for detecting minerals and subsurface structures. The tool used in this method is the Proton Processing Magnetometer (PPM). This study aims to determine the distribution of mineral anomalies and lithology in the study area. The process of data retrieval is carried out 5 times in a single point and data is retrieved frequently (mode). The data obtained when taking data with an area of 800 x 1000 meters is 80 points with a grid model. Distance from one point to another is 100 meters. Interpretation is done qualitatively and quantitatively, qualitative interpretation is carried out to analyze areas that have anomalies using Oasis Monjaj software, while quantitative interpretations are carried out to determine subsurface structures through shapes, models and depths of anomalous objects through GM-SYS software. The results obtained positive susceptibility of local anomalies ranging from 0.1 nT to 400 nT which were interpreted as andesite and basal lava rocks and negative anomalies around -5 nT to -500 nT were interpreted as sedimentary rocks. In the study area there are also sandstone, buoyancy, and volcanic breccia. The zeolite mineral derived from volcanic ash which has been deposited for years will be associated with other rocks. In the research area zeolite minerals are found in tuff rocks where the distribution is uneven.

ملخص البحث

أريستا ، كيكي. 2019. تحديد توزيع المعادن زيوليت باستخدام أسلوب المغنطيسية الأرضية (دراسة حالة: قرية سوميرأكونج سوميرمانجنيج وبتان مالانج. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الحكومية الإسلامية مالانج. المشرف: (الأول) عرجان، الماجستير (II) أحمد أبطخي ، الماجستير

الكلمات الرئيسية: المعادن زيوليت، أسلوب المغنطيسية الأرضية ، الحساسية

أسلوب المغنطيسية الأرضية هو أسلوب من أساليب الفزيائيات الجغرافيات التي تستخدم الخواص المغنطيسية من الصخر. أسلوب المغنطيسية الأرضية مناسبة جدا للكشف عن المعادن والهياكل تحت السطحية. الأداة في هذا الأسلوب هي مقياس المغنطيسية لمعالجة البروتون *Proton Processing Magnetometer (PPM)* يهدف هذا البحث لان يحدد توزيع الحالات الشاذة و الخصائص الصخرية (الليتوجي) المعدنية في منطقة الدراسة. اخذت عملية البيانات 5 مرات في نقطة واحدة و أخذت البيانات متكررة (الوضع). البيانات عند أخذ البيانات بمساحة 1000×800 متر هي 80 نقطة مع نموذج الشبكة. المسافة من نقطة إلى نقاط أخرى هي 100 متر. قام التفسير نوعيا وكميا ، وقام التفسير نوعيا لتحليل المناطق التي بها حالات شاذة باستخدام برنامج أواسيس مونجج (Oasis Monjaj)، تنفيذ التفسيرات بالكمية هو لتحديد الهياكل تحت السطحية من خلال الأشكال والنماذج وعمق الأشياء الشاذة من خلال برنامج GM-SYS حصلت النتائج التعرض الشذوذ المحلي الإيجابي التي تتراوح من 0.1 إلى 400 ن-ت (nT) التي تفسر على أنها صخور الحمم البركانية الأندستية والقذرية و الشذوذ السلبية حول -5 ن-ت إلى -500 ن-ت تفسرها على أنها صخور رسوبية. في منطقة الدراسة، هناك أيضا الحجر الرملي، الطفو ، الصخور البركانية. سوف يرتبط معادن زيوليت من الرماد البركاني الذي يعان عملية الترسب في السنوات على الصخور الأخرى. في مجال البحث ، توجد معادن الزيوليت في صخور التوف الذي يكون التوزيع غير متساوٍ.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Zeolit adalah salah satu mineral non-logam atau mineral hasil industri yang multifungsi. Mineral ini banyak ditemukan di alam sebagai batuan sedimen vulkano. Zeolit didefinisikan sebagai senyawa *aluminosilikat* yang menggabungkan unsur alumina dengan unsur silikat. Secara fisik zeolit dapat diketahui dari warnanya yaitu putih kehijau-hijauan dan kandungan senyawa kimia di dalamnya bisa mempengaruhi warna dari zeolit tersebut. Mineral zeolit memiliki sifat mendidih dan mengembang bila dipanaskan, dimana air yang berada di rongga-rongga zeolit akan mendidih jika terkena panas. Selain itu, zeolit juga sebagai penukar ion, penyerap, penyaring molekul, dan katalisator.

Proses pembentukan mineral zeolit dibagi menjadi dua yaitu secara alami dan sintetik. Secara alami mineral zeolit ditemukan di daerah endapan (batuan sedimen) di daerah gunungapi atau di daerah air panas (*hot spring*). Komposisi mineral zeolit alami sangat bergantung ada lingkungan lokal misalnya suhu dan tekanan, meskipun tekstur dan warnanya sama tetapi kandungan kimia di setiap batumannya berbeda. Zeolit silikat adalah rekayasa yang dibuat sedemikian rupa sehingga menyerupai zeolit alami yang membedakan adalah jumlah unsur Al (Aluminium) dan jumlah Si (Silikat) pada batuan tersebut.

Mineral zeolit biasanya terdapat pada celah-celah batuan. Sifat mineral zeolit yang lunak bisa menerobos celah atau rongga-rongga batuan. Batuan tersebut bisa batuan basal atau batuan tufa. Mineral zeolit juga bisa berasosiasi

dengan batuan yang mengandung mineral misalnya batuan yang mengandung mineral besi atau mineral lainnya.

Untuk mengetahui kandungan mineral zeolit bisa dilakukan dengan beberapa uji fisika, diantaranya menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), XRF (*X-Ray Fluorescence*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), FTIR dan lain-lain. XRF adalah sebuah alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan memanfaatkan spektrometri. XRF biasanya digunakan untuk menganalisis mineral dan batuan (Winarni, 2015). Hasil pengujian mineral zeolit pada lokasi penelitian menggunakan uji XRF didapatkan konsentrasi Aluminium sebesar 4,7% dan nilai Si sebesar 20%. Zeolit yang memiliki kandungan silikon tinggi dengan aluminium rendah maka mineral tersebut memiliki sifat keasaman yang tinggi dan bersifat kering (Hidrofobik). Berdasarkan hasil analisa kandungan unsur zeolit dinyatakan sebagai oksida SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , dan Fe_2O_3 .

Endapan zeolit telah tersebar di daerah-daerah di Indonesia misalnya di Jawa Barat, Jawa Timur, dan Lampung. Berdasarkan catatan ESDM (2012) telah ditemukan jutaan ton endapan zeolit di Jawa Timur khususnya di Desa Sumberagung Kabupaten Malang telah ditemukan mineral zeolit sebesar 1,7 juta ton dengan luas wilayah mencapai 33 Ha. Pola morfologi pegunungan selatan Jawa Timur banyak dikontrol oleh litologi dan struktur geologi sehingga menimbulkan tiga kenampakan morfologi yaitu: dataran aluvial, perbukitan dengan relief landai dan pegunungan dengan relief landai. Susunan stratigrafi regional pegunungan selatan jawa dari tua ke muda disusun oleh Formasi

Mandalika, Formasi Wuni, Formasi Nampol, Formasi Wonosari, dan endapan kuarter (Yuwanto, 2017).

Kekayaan alam yang berasal dari Allah SWT juga dijelaskan dalam al-Qur'an Surat Thaha (20) ayat 5-6:

الرَّحْمَنُ عَلَى الْعَرْشِ اسْتَوَى ﴿٥﴾ لَهُ مَا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ وَمَا بَيْنَهُمَا
وَمَا تَحْتَ الثَّرَى ﴿٦﴾

“(Yaitu) Tuhan Yang Maha Pemurah. Yang bersemayam di atas ‘Arsy. Kepunyaan-Nya-lah semua yang ada dilangit, semua yang ada dibumi, semua yang diantara keduanya dan semua yang di bawah tanah”(QS. Thaha ayat 5-6).

Di dalam surah Thaha terdapat lafadz *وما في الأرض* yang artinya semua yang ada dibumi dan lafadz *وما تحت الثرى* yang artinya semua yang ada di bawah tanah. Lafadz tersebut menjelaskan apa yang tersimpan di bawah batu dan tidak ada yang mengetahui kecuali Allah SWT. Lafadz *Ats-Tsaraa* adalah tanah yang basah, maksudnya sesuatu yang berada di bawah bumi yang ketujuh. Seperti kata Muhammad bin Ka’b yang mengatakan “yakni bumi ketujuh”. Kedua lafadz dalam ayat tersebut menjelaskan bahwa kekayaan alam yang berada di bumi tidak ada yang mengetahui dan kekayaan tersebut bisa tersimpan di dalam tanah. Salah satu kekayaan alam yang berada di dalam tanah adalah mineral zeolit. Mineral zeolit adalah salah satu mineral yang terbentuk karena proses sedimentasi dari abu vulkanik gunung aktif yang terbawa angin dan terendapkan di suatu tempat dan lama kelamaan terendapkan di bawah tanah dan berasosiasi dengan zat-zat yang terkandung dalam air tanah. Mineral zeolit memiliki sifat absorber sehingga mineral ini bisa menyerap air dan bersifat basah (Al-Qurthubi, 2007).

Penelitian terdahulu mengenai penggunaan metode geomagnet telah dilakukan oleh Hiskiawan (2014) melalui pemetaan mineral konduktif di daerah karst dan diperoleh nilai kemagnetan yang tinggi dimana menunjukkan mineral konduktif MnO_3 (bersifat magnetik) yang berasosiasi dengan batuan dasar serta diperoleh nilai kemagnetan sedang yang menunjukkan mineral kalsit yang berasosiasi dengan batuan dasar membentuk batuan dolomit. Penelitian sebelumnya oleh Winarni (2015) tentang Identifikasi Batuan yang Mengandung Zeolit sebagai Absorben Logam Berat Berdasarkan Sifat Fisika Batuan di Desa Kedung Banteng Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang diperoleh nilai suseptibilitas batuan mengandung zeolit adalah $1,55 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ sampai $6,66 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Morfologi batuan yang diidentifikasi mengandung mineral zeolit memiliki kandungan Si dan Al lebih besar, dengan kadar Si sebesar 31,50%.

Penelitian ini dapat memberi manfaat bagi masyarakat terutama sekitar daerah penelitian untuk mengetahui titik-titik penyebaran mineral zeolit sehingga masyarakat dapat memanfaatkan mineral tersebut untuk berbagai bidang, misalnya bidang pertanian. Dalam bidang pertanian mineral zeolit bisa meningkatkan kesuburan tanah dan meningkatkan keanekaragaman mikroflora dan faunah di lahan masyarakat.

Dari hasil penelitian-penelitian sebelumnya penggunaan metode geomagnet untuk eksplorasi batuan mengandung mineral non-logam bisa dilakukan, mengingat batuan memiliki nilai kemagnetan yang berbeda-beda sehingga keberadaan mineral zeolit dalam batuan dasar dapat terdeteksi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pola sebaran mineral zeolit di lokasi penelitian?.
2. Bagaimana litologi batuan di bawah permukaan di lokasi penelitian?.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pola sebaran mineral zeolit di lokasi penelitian.
2. Mengetahui keberadaan mineral zeolit dalam litologi batuan di bawah permukaan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Area cakupan penelitian berada di Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Malang, yang terletak pada koordinat $08^{\circ}21'05,54''$ LS - $08^{\circ}21'39,50''$ LS dan $112^{\circ}40'29,06''$ BT sampai $112^{\circ}40'55,07''$ BT. Luas area penelitian yaitu $800 \times 1000 \text{ m}^2$.
2. Metode yang digunakan adalah metode geomagnet, dengan menggunakan instrumentasi akuisisi data berupa *Proton Precession Magnetometer (PPM)*.
3. Pengolahan data menggunakan beberapa *software* diantaranya *Ms. Excel*, *Surfer12*, *Oasis Montaj 6.4*, *Magpick*, *MatlabR2008b*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi adanya potensi zeolit di daerah penelitian.
2. Sebagai referensi bagi pemangku kepentingan (*stakeholder*) tentang potensi zeolit di daerah penelitian.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mineral Zeolit

Mineral adalah benda padat yang terbentuk secara alami tidak berasal dari tumbuhan dan hewan atau mineral bersifat anorganik. Hampir semua mineral memiliki bentuk kristal dengan komposisi kimia tertentu. Secara fisik mineral dapat diketahui dari warnanya yang berkilau, ketahanan, kekerasan dan lain-lain (Simons, 2010). Secara kimiawi mineral pembentuk batuan dikelompokkan menjadi 4 yaitu silikat, oksida, sulfida, karbonat dan sulfat. Mineral silikat hampir 90% membentuk batuan baik batuan beku, sedimen, maupun metamorf. Mineral oksida terbentuk karena persenyawaan langsung antara oksigen dengan unsur tertentu dan sedikit lebih keras dari pada mineral lainnya. Mineral sulfida terjadi karena persenyawaan langsung antara unsur tertentu dengan sulfur. Mineral karbonat dan sulfat adalah persenyawaan langsung dengan unsur karbonat (Noor, 2014).

Pembentukan mineral zeolit berdasarkan ganesanya terbagi menjadi 4 bagian diantaranya sebagai berikut (Huertas, 2018):

- a. Endapan zeolit yang berasal dari sedimen debu vulkanik

Endapan ini dicirikan oleh zona mineralogi secara lateral akibat perubahan komposisi air danau, yaitu mulai dari indikasi debu vulkanik yang tidak teralterasi dan tersingkap pada batas cekungan danau, diikuti oleh zona zeolit non-analsimik, dan akhirnya terbentuk zona natrium feldspar ditengah cekungan. Daerah penyebarannya cukup luas dan punya konsentrasi tinggi

untuk jenis mineral zeolit tertentu. Misalnya mineral klinoptilotit, eriorit, khabazit, dan filipsit.

b. Endapan zeolit yang berasal dari alterasi air tanah

Endapan ini dicirikan oleh lapisan tufa zeolitik yang tebal. Zona zeolitik yang terbentuk lebih bersifat vertikal disebabkan oleh perubahan komposisi kimia sebagai akibat dari reaksi air tanah, ketebalan endapan ini mencapai ratusan meter. Mineral zeolit yang ditemukan pada endapan ini adalah klinoptilotit dan modernit.

c. Endapan zeolit jenis diagenetik

Endapan ini dicirikan oleh pelapisan sampai ratusan meter dan pola sebaran yang sangat luas, namun kandungan mineral zeolit ini mengandung mineral zeolit yang rendah. Endapan ini mengandung mineral heulandit dan laumonit.

d. Endapan zeolit jenis hidrotermal

Endapan zeolit jenis ini dicirikan oleh zona mineralisasi klinoptilotit dan modernit pada daerah intrusi yang terdangkal dan terdingin. Endapan ini memiliki kadar yang tinggi tetapi jumlahnya sangat terbatas.

Proses pengendapan mineral zeolit di daerah Malang berasal dari sedimentasi abu vulkanik dimana abu yang berasal dari letusan gunungapi terbawa oleh angin atau air dan mengendap di suatu tempat. Saat mengendap abu tersebut mendapat pengaruh suhu atau tekanan (alterasi) dan pengaruh zat-zat kimia dari tanah di daerah pengendapan sehingga menghasilkan mineral zeolit.

Kristal zeolit banyak ditemukan dalam rongga (*vesicle*) maupun *vugs* pada batuan basal atau pada batuan tufa. Zeolit merupakan mineral aluminosilikat

terhidrasi dimana menggabungkan antara unsur alumino dan silikat yang mengandung alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam dapat digantikan dengan kation lain tanpa merusak struktur zeolit. Zeolit adalah kristal alumino silikat dari grup IA dan grup IIA seperti Natrium, Kalium, magnesium, dan Kalsium (Aisyah, 2013).

2.1.1 Sifat Fisika dan Kimia Mineral Zeolit

Setiap mineral yang terkandung dalam batuan memiliki sifat fisika maupun kimia yang berbeda-beda. Adapun sifat fisika secara umum dari mineral zeolit adalah sebagai berikut (Hoang, 2015).

- a. Mendidih atau mengembang bila dipanaskan pada suhu 100°C.
- b. Menghantarkan listrik.
- c. Mempunyai nilai suseptibilitas berkisar $1,3 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg} - 6,66 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$.
- d. Mempunyai nilai densitas 1,1 gr/cc.
- e. Nilai porositas 0,31.
- f. Volume berpori 0,28-3 gr/cc.
- g. *Surface area* 1-20 m²/gr.
- h. Jari-jari makropori 30-100 nm.
- i. Jari-jari mikropori 0,5 nm.

Selain sifat fisika di atas mineral zeolit juga memiliki sifat-sifat kimia. Berikut ini beberapa sifat kimia secara umum dari mineral zeolit sebagai berikut (Hoang, 2015).

a. Sifat Dehidrasi (melepas H₂O)

Proses pemanasan mineral zeolit pada suhu 300-400 °C dapat menghilangkan kandungan air dan hidrat. Pada proses ini kerangka zeolit akan kosong dan menyusut tetapi tidak mengalami perubahan yang nyata.

b. Mengadsorpsi uap dan gas

Mekanisme adsorpsi yang mungkin terjadi pada fisika (melibatkan gaya *Van der Walls*) dan pada kimia (melibatkan gaya elektrostatik). Molekul atau zat yang terjerap akan menempati posisi pori, penyerapan ini bergantung pada jumlah pori dan luas permukaan.

c. Penukar ion

Mekanisme pertukaran ion tergantung pada ukuran, muatan dan jenis zeolitnya. Larutan atau air yang mengandung ion-ion Ca²⁺ dilewati dalam zeolit-Na teraktivasi. Ion Ca²⁺ dalam larutan atau air akan mengganti ion-ion Na⁺ yang ada dalam pori zeolit-Na sehingga larutan Ca²⁺ pada air akan berkurang.

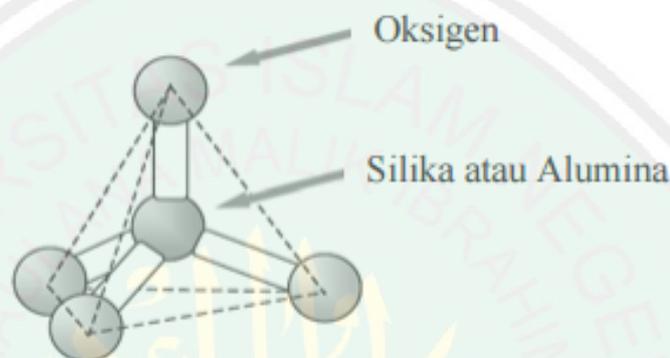
2.1.2 Komposisi Kimia dan Klasifikasi

Zeolit memiliki unsur utama yaitu silikon, aluminium, oksigen dan mengikat air di dalam porinya. Unsur pengikat lain pada zeolit adalah alkali tanah dan logam alkali. Secara umum rumus kimia zeolit adalah sebagai berikut (Oxtoby, 2003).



dengan n adalah valensi kation, x, y adalah jumlah tetrahedron per unit sel, m adalah jumlah molekul air per unit sel, M adalah kation alkali atau alkali

tanah, H_2O adalah molekul air yang terhidrat dalam kerangka zeolit dan $[(AlO_2)_x(SiO_2)_y]$ adalah kerangka zeolit yang bermuatan negatif. Keberadaan atom aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif ini menyebabkan zeolit dapat mengikat kation pada air tanah seperti besi (Fe) atau magnesium (Mg) (Oxtoby, 2003).



Gambar 2.1 Struktur Mineral Zeolit (Heraldy, 2003)

Mineral zeolit yang terbentuk secara alami memiliki beberapa klasifikasi. Beberapa mineral berikut banyak tersebar di Indonesia khususnya di Pulau Jawa. Zeolit alam ditemukan dengan bentuk komposisi mineral yang berbeda dengan perbandingan Si/Al yang berbeda pula seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Mineral Zeolit (Zamroni, 2002):

Nama Mineral	Rumus Kimia Unit Sel
Analsim	$Na_{16}(Al_{16}Si_{32}O_{96}) \cdot 16H_2O$
Kabasit	$(Na_2, Ca)_6 (Al_{12}Si_{24}O_{72}) \cdot 40H_2O$
Klipnoptilolit	$(Na_4K_4)(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$
Erionit	$(Na, Ca_5, K)(Al_9Si_{27}O_{72}) \cdot 27H_2O$
Ferriorit	$(Na_2Mg_2)(Al_6Si_{30}O_{72}) \cdot 18H_2O$
Heulandit	$Ca_4(Al_8Si_{28}O_{72}) \cdot 24H_2O$
Laumonit	$Ca(Al_8Si_{16}O_{48}) \cdot 16H_2O$
Mordenit	$Na_8(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$
Filipsit	$(Na, K)_{10}(Al_{10}Si_{22}O_{64}) \cdot 20H_2O$

Natrolit	$Na_4(Al_4Si_6O_{20}) \cdot 4H_2O$
Wairakit	$Ca(Al_2Si_4O_{12}) \cdot 12H_2O$

2.1.3 Kegunaan Mineral Zeolit

Mineral zeolit sejauh ini telah digunakan dalam beberapa bidang misalnya bidang industri, bidang pertanian (pengolahan tanah), dan bidang peternakan. Berikut ini beberapa penerapan mineral zeolit diantaranya:

a. Bidang Industri

Dalam bidang industri mineral zeolit digunakan untuk pemfilter air tanah dengan menggunakan membran keramik dari bahan zeolit 70%, lempung 10% dan karbon aktif 20%. Dari hasil pencampuran tersebut kandungan Fe dan Mn dalam air tanah berkurang (Budi, 2012). Zeolit juga digunakan dalam pengolahan limbah industri yaitu pada proses pengolahan limbah industri cair, proses immobilisasi limbah dan sebagai bahan pengisi pada sistem penyimpanan limbah. Misalnya zeolit digunakan sebagai *builder* pada produk deterjen. Di Jepang mineral zeolit digunakan sebagai *filler* kertas, karet, dan polimer (Zamroni, 2002).

b. Bidang Pertanian

Pemanfaatan mineral zeolit dalam bidang pertanian telah digunakan sebagai pembenah untuk meningkatkan efisiensi pemupukan pada lahan sawah dengan menggunakan campuran dolomit. Penggunaan zeolit dan dolomit dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, meningkatkan keanekaragaman mikroflora dan fauna tanah yang berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem tanah, dan meningkatkan kandungan hara (Juarsah, 2016).

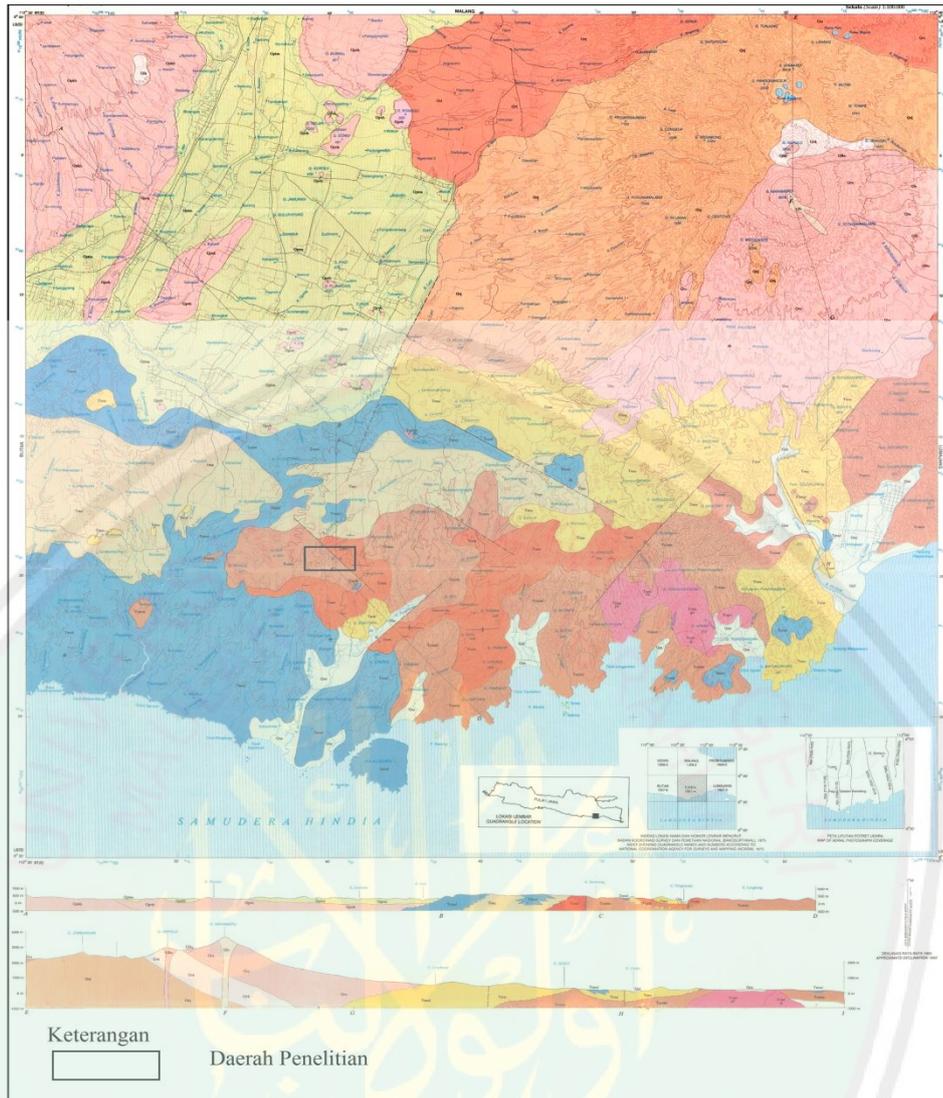
c. Bidang Peternakan

Pada bidang peternakan mineral zeolit bisa meningkatkan nilai efisiensi pemanfaatan protein pakan hewan ternak, menurunkan kandungan lemak dalam penggemukan hewan ternak, dan mereduksi penyakit pada hewan ruminansia yang disebabkan oleh bahan-bahan beracun (Pollung, 2005).

2.2 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

Pada daerah penelitian yaitu di Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing Wetan berdasarkan peta geologi diketahui di daerah tersebut terdapat Formasi Mandalika (tomn) dan Anggota Tuf Formasi Mandalika (tomt) (Sujanto, 1992).

- a. Formasi Mandalika terdapat lava andesit, basal, trakit, dasit, dan breksi andesit. Lava basal umumnya terdiri dari basal piroksen berwarna hitam kehijauan, berstruktur *amigdaloid* yang rongga-rongganya diisi oleh mineral-mineral sekunder kalsit dan zeolit. Penyebarannya terdapat di S. Sumbermanggis, dan Sumberejo. Basal yang berstruktur bantal terdapat di pantai selatan di sekitar G. Lempung dan G. Pandali.
- b. Anggota Tuf Formasi Mandalika terdapat tuf andesit, tuf liparit (riolit), tuf dasit, dan breksi tuf yang batupung batuannya berwarna aneka ragam dari abu-abu tua hingga putih kehijau-hijauan, tergantung tingkat ubahan hidrotermalnya. Lapuk dan batuan yang kurang terubah berwarna coklat kemerahan dan terubah kuat berwarna abu-abu muda.



Gambar 2.2 Peta Geologi Lembar Turen (Sujanto, 1992)

Fisiografi regional daerah Malang Selatan masuk ke dalam zona pegunungan selatan. Zona pegunungan selatan terletak pada bagian selatan dan relatif sejajar dengan pantai selatan Pulau Jawa. Zona pegunungan selatan ini memanjang barat – timur mirip plateau karena kedudukan batuan penyusunnya dengan kemiringan yang relatif kecil. Pola morfologi pegunungan selatan Jawa Timur banyak dikontrol oleh litologi dan struktur geologi, sehingga menimbulkan tiga kenampakan morfologi yaitu: Dataran Aluvial, Perbukitan dengan relief landai dan Pegunungan dengan relief tinggi. Dataran Aluvial pada umumnya

menempati daerah – daerah depresi yang terjadi oleh adanya graben pada daerah tersebut. Daerah perbukitan dengan relief landai ditempati oleh batu pasir dan batu gamping. Daerah pegunungan dengan relief tinggi dibentuk oleh batuan tufa, breksi, lava dan batuan intrusi (Yuwanto, 2017).

Zona pegunungan selatan merupakan lajur gunungapi tersier telah mengalami dua fase tektogenesis yaitu fase tektogenesis eosen akhir – miosen awal dan fase tektogenesis setelah miosen akhir – pliosen. Pola struktur sesar di Pegunungan Selatan Jawa Timur membentuk pola seperti huruf “V”, yang membatasi dari daerah tinggi dan daerah rendah, daerah tinggi didominasi oleh andesit tua sedangkan daerah rendah adalah daerah yang relatif turun dan disusun oleh endapan yang diendapkan di atas Formasi Andesit Tua. Pada oligosen akhir hingga miosen awal terjadi kegiatan magmatisme yang menghasilkan terobosan andesit, dasit, diorite dan basal, batuan terobosan tersebut keluar ke permukaan melalui rekahan pada tubuh batuan disekitarnya (Yuwanto, 2017).

2.3 Teori Dasar Magnetik

Metode geomagnetik adalah metode yang memanfaatkan sifat kemagnetan (kerentanan magnet) batuan dimana kandungan magnetiknya bergantung pada kontras magnetik di bawah permukaan. Batuan memiliki sifat kemagnetan yang berbeda-beda, batuan beku sifat kemagnetannya terekam pada saat proses pendinginan magma melewati titik beku dan mineral-mineral magnet terinduksi oleh medan magnet bumi. Batuan sedimen arah kemagnetannya terjadi karena mineral bersifat magnet mengalami penjajaran saat diendapkan (Yang, 2014).

Perubahan pada kuat medan magnet bumi sangat kecil dan memerlukan waktu yang sangat lama. Dalam penyelidikan magnet, kuat medan magnet tersebut dianggap konstan. Dengan menganggap kuat medan magnet bumi (H) adalah konstan, maka besarnya intensitas magnet bumi (I) semata-mata tergantung pada variasi kerentanan magnet bukan batuan yang merefleksikan harga pengukuran magnet. Prinsip inilah yang digunakan sebagai dasar dalam penyelidikan magnet (Telford, 1990).

2.3.1 Gaya Magnet

Gaya magnet yang ditimbulkan oleh dua buah kutub yang saling terpisah dengan jarak r dan memiliki muatan masing masing m_1 dan m_2 maka dihasilkan rumus (Burger, 1992).

$$F = \frac{1}{\mu} \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.2)$$

Dimana F adalah gaya coulomb (N), r adalah jarak antara kutub m_2 dan m_1 (m), m_1 dan m_2 adalah kuat kutub yaitu banyaknya muatan magnet (C), μ adalah permeabilitas medium sekitar (dalam ruang hampa = 1). Jika m_1 dan m_2 berbeda tanda kutub maka F akan tarik menarik begitupun sebaliknya akan tolak menolak (Burger, 1992).

2.3.2 Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnet (\vec{H}) adalah besarnya medan magnet pada suatu titik yang timbul akibat adanya kuat kutub yang berada sejauh r dari m atau disebut

gaya persatuan kuat kutub magnet, dapat dituliskan sebagai berikut (Sarkowi, 2010).

$$\vec{H} = \frac{m}{\mu r^2} \vec{r} \quad (2.3)$$

dengan \vec{H} adalah kuat medan magnet (A^{-1}), r adalah jarak titik pengukuran dari m (m) sedangkan dalam satuan cgs \vec{H} satuannya *oersted* (Sarkowi, 2010).

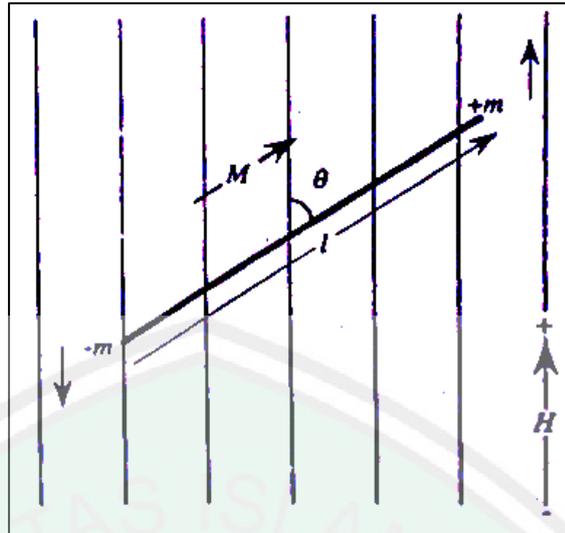
2.3.3 Momen Magnetik

Jika sebuah batang magnet diletakkan di medan magnet H yang seragam (gambar 2.3), maka akan mengalami sepasang gaya yang sama yang bekerja secara paralel satu sama lain tetapi berlawanan arah (sebuah pasangan). Besarnya pasangan adalah (Burger, 1992).

$$C = 2(ml) H \sin \theta \quad (2.4)$$

dimana θ ketetapan pada medan magnet. Gerakan ini dihasilkan oleh pasangan adalah bergantung terhadap besaran H sebagai nilai dari θ (tidak ada gerakan yang dihasilkan jika $\theta = 0$). Kuantitas lain (ml) yang mana juga mempengaruhi besaran dari pasangan disebut momen magnetik, secara khusus dilambangkan oleh M , jadi (Burger, 1992).

$$M = ml \quad (2.5)$$



Gambar 2.3 Ilustrasi Diagram Momen Magnetik dalam Menentukan Gaya Batang Magnet Sebuah Medan Magnet (Burger, 1992)

2.3.4 Intensitas Magnetik

Bila suatu tubuh magnetik terletak dalam suatu medan magnetik eksternal, tubuh magnetik tersebut akan menjadi termagnetisasi oleh induksi. Intensitas dan arah magnetisasi/kemagnetan tubuh magnetik tersebut adalah sebanding dengan kuat dan arah medan magnetik yang menginduksi. Intensitas kemagnetan didefinisikan sebagai momen magnet persatuan volume (Sarkowi, 2010).

$$I = \frac{M}{v} \quad (2.6)$$

dengan I adalah intensitas kemagnetan ($A\text{m}^{-1}$), M adalah momen magnetik (m.C), v adalah volume (m^3). Karena kuat medan magnet bumi konstan dimana-mana, maka harga intensitas medan magnet akan hanya tergantung pada perubahan kerentanan magnet. Konsep inilah yang digunakan sebagai dasar dalam eksplorasi geomagnetik (Sarkowi, 2010).

2.3.5 Induksi Magnetik

Medan magnet yang terukur oleh magnetometer adalah medan magnet induksi termasuk efek magnetisasinya. Berikut ini berdasarkan persamaan (Telford, 1990).

$$\mathbf{B} = \mu_o (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (2.7)$$

$$\mathbf{B} = \mu_o (1 + k)\mathbf{H} \quad (2.8)$$

dimana \mathbf{H} dan \mathbf{M} memiliki arah yang sama seperti kasus pada umumnya. Satuan Internasional (SI) untuk \mathbf{B} adalah tesla = 1 newton/ ampere meter = 1 Wb/ m² (Telford, 1990).

Dengan demikian intensitas total yang diukur oleh magnetometer adalah suatu vektor antara medan total yang tidak terganggu dengan anomali lokal \mathbf{H} . Dari persamaan-persamaan di atas, nampak bahwa parameter suseptibilitas magnetik (k) merupakan parameter yang sangat penting, karena menyatakan derajat magnetisasi suatu benda akibat pengaruh medan magnet luar. Suseptibilitas magnetik merupakan parameter yang menyebabkan timbulnya anomali magnetik (Yang, 2014).

2.4 Suseptibilitas Batuan

Dalam eksplorasi magnetik di lapangan yang diukur secara teliti adalah perubahan besaran medan magnetik yang dihasilkan oleh variasi magnetisasi formasi batuan. Kemagnetan dalam batuan sebagian disebabkan oleh induksi dari satu gaya magnet yang berasosiasi dengan medan magnet bumi dan sebagian dari kemagnetan sisa. Induksi magnetik suatu formasi batuan semata-mata adalah fungsi dari suseptibilitas volume magnet dan besar dan arah dari gaya magnet

yang menginduksi, sedangkan kemagnetan sisa berhubungan dengan sejarah terjadinya formasi batuan tersebut (Sarkowi, 2010).

Kemudahan suatu benda magnetik untuk dimagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas kemagnetan (k) yang dirumuskan sebagai berikut (Noor, 2014).

$$\vec{M} = k \vec{H} \quad (2.9)$$

Dengan \vec{M} adalah intensitas magnetik dalam A/m, k adalah suseptibilitas suatu bahan dan tidak memiliki dimensi, dan \vec{H} adalah kuat medan magnet dalam A/m. Nilai suseptibilitas magnetik dalam ruang hampa sama dengan nol karena hanya benda berwujud yang dapat termagnetisasi (Kahfi, 2008).

Suseptibilitas magnetik dapat diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu benda. Sifat magnetisasi batuan atau suseptibilitas pada batuan beranekaragam, tergantung pada pembentukan batuan itu sendiri diantaranya (Rosid, 2009).

a. Paramagnetik

Sifat material tipe paramagnetik yaitu memiliki suseptibilitas positif dan sedikit lebih besar dari satu serta nilai suseptibilitasnya tergantung pada nilai temperatur. Material ini mempunyai nilai susptibilitas sebesar $(4 < 36000) \times 10^{-6}$ emu. Contoh batuan yang bersifat paramagnetik yaitu pegmatit, gneiss, sekis, syanit dan dolomit.

b. Diamagnetik

Sifat material tipe diamagnetik memiliki nilai suseptibilitas negatif dan nilainya kecil. Material dengan sifat ini nilai suspetibilitasnya tidak bergantung pada nilai temperturnya. Material tipe diamagnetik memiliki nilai suseptibilitas sebesar $(-8 < 310) \times 10^{-6}$ emu. Batuan yang

menunjukkan diamagnetik diantaranya garam, grafit gipsum, marmer dan anhidrin.

c. Ferromagnetik

Suseptibilitas material tipe ferromagnetik sebesar [$10^2 < k < (1,6 \times 10^4)$] $\times 10^6$ emu dan tidak bergantung pada temperatur *curie* karena material-material atom mempunyai momen magnet dan interaksi antara atom terdekatnya sangat kuat, kombinasi orbit elektron dan gerak spinnya menghasilkan magnet yang kuat. Batuan yang mempunyai kemagnetan tinggi disebut ferromagnetik contohnya seperti *magnetit* (Fe_3O_4), *titanomagnetit* ($\text{FeO}(\text{Fe},\text{Ti})_2\text{O}_3$) dan *ilmenit* (FeTiO_3). Material ferromagnetik dibagi menjadi 2 tipe diantaranya:

1. Antiferromagnetik

Pada bahan antiferromagnetik domain-domain tadi menghasilkan dipole magnetik yang saling berlawanan arah sehingga momen magnetik secara keseluruhan sangat kecil. Bahan antiferromagnetik yang mengalami cacat kristal dan suseptibilitasnya seperti pada bahan paramagnetik suseptibilitas (k) seperti paramagnetik, tetapi harganya naik sampai dengan titik *curie* kemudian turun lagi menurut hukum *curie-weiss*.

2. Ferrimagnetik

Pada bahan ferrimagnetik domain-domain tadi juga saling antipararel tetapi jumlah dipole pada masing-masing arah tidak sama sehingga masih mempunyai resultan magnetisasi cukup besar.

Secara lebih spesifik batuan terbagi menjadi tiga macam, yaitu batuan sedimen, batuan beku, batuan metamorf yang memiliki suseptibilitas yang berbeda, berikut nilai suseptibilitas masing-masing batuan (Telford, 1990).

1. Batuan sedimen, biasanya mempunyai jangkauan suseptibilitas $(0 - 20) \times 10^3$ SI dengan rata-rata $(0 - 10) \times 10^3$ SI, contoh: *dolomite, limestones, sandstone dan shales*.
2. Batuan beku, biasanya mempunyai jangkauan suseptibilitas $(0 - 250) \times 10^3$ SI dengan rata-rata $(2 - 200) \times 10^3$ SI, contoh: *granite, rhyolite, basalts dan andesite*.
3. Batuan metamorf, biasanya mempunyai jangkauan suseptibilitas $(0 - 100) \times 10^3$ SI dengan rata-rata $(0 - 10) \times 10^3$ SI, contoh: *amphibolite, schist, pheyllite, gneiss, quartzite, serpentine dan slate*.

Tabel 2.2 Daftar Suseptibilitas Magnetik Beberapa Batuan (Telford, 1990)

Type	Susceptibility $\times 10^3$ (SI)	
	Range	Average
<i>Sedimentary</i>		
<i>Dolomite</i>	0 – 0.9	0.1
<i>Limestones</i>	0 – 3	0.3
<i>Sandstone</i>	0 – 20	0.4
<i>Shales</i>	0.01 – 15	0.6
<i>Av. 48 sedimentary</i>	0 – 18	0.9
<i>Methamorphic</i>		0.7
<i>Amphibolite</i>	0.3 – 3	1.4
<i>Schist</i>		1.5
<i>Pheyllite</i>	0.1 – 25	
<i>Gneiss</i>		4

<i>Quartzite</i>	3 – 17	
<i>Serpentine</i>	0 – 35	6
<i>Slate</i>	0 – 70	4.2
<i>Av. 61 methamorphic</i>		
<i>Igneous</i>		
<i>Granite</i>	0 – 50	2.5
<i>Rhyolite</i>	0.2 – 35	
<i>Dolorite</i>	1 – 35	17
<i>Augite – syenite</i>	30 – 40	
<i>Olivine – diabase</i>		25
<i>Diabase</i>	1 – 160	55
<i>Phorphyry</i>	0.3 – 200	60
<i>Gabbro</i>	1 – 90	70
<i>Basalts</i>	0.2 – 175	70
<i>Diorite</i>	0.6 – 120	85
<i>Pyroxenite</i>		125
<i>Peridotite</i>	90 – 200	150
<i>Andesite</i>		160
<i>Av. Acidic igneous</i>	0 – 80	8
<i>Av. Basic igneous</i>	0.5 – 97	25

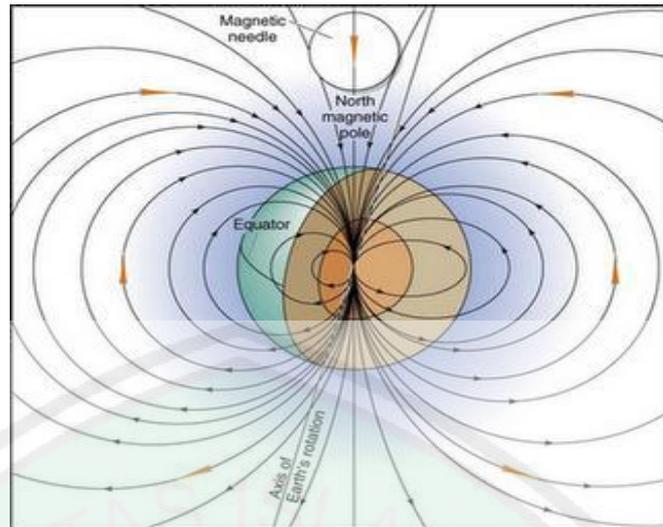
Untuk *suseptibitas*/kerentanan jenis mineral ada pada tabel 2.3. Nilai-nilai *suseptibilitas* mineral yang berbeda-beda dan relatif kecil seperti Chalcophyrite yang termasuk mineral sulfida dan umumnya bersifat nonmagnetik atau mineral kecil lainnya. Meskipun nilai mineral tersebut relatif kecil namun itu adalah hasil survei.

Tabel 2.3 Daftar Suseptibilitas Beberapa Mineral (Telford, 1990)

<i>Type</i>	<i>Susceptibility x 10³ (SI)</i>	
	<i>Range</i>	<i>Average</i>
<i>Mineral</i>		
<i>Graphite</i>		0.1
<i>Quartz</i>		-0.01
<i>Rock salt</i>		-0.01
<i>Anhydrite, gypsum</i>		-0.01
<i>Calcite</i>	-0.001 - -0.01	
<i>Coal</i>		0.02
<i>Clays</i>		0.2
<i>Chalcopyrite</i>		0.4
<i>Sphalerite</i>		0.7
<i>Cassiterite</i>		0.9
<i>Siderite</i>	1 – 4	
<i>Pyrite</i>	0.05 – 5	1.5
<i>Limonite</i>		2.5
<i>Arsenopyrite</i>		3
<i>Hematite</i>	0.5 – 35	6.5
<i>Chromite</i>	3 – 110	7
<i>Franklinite</i>		430
<i>Pyrrhotite</i>	1 – 6000	1500
<i>Ilmenite</i>	300 – 3500	1800
<i>Magnetite</i>	1200 – 19200	6000

2.5 Medan Magnet Bumi

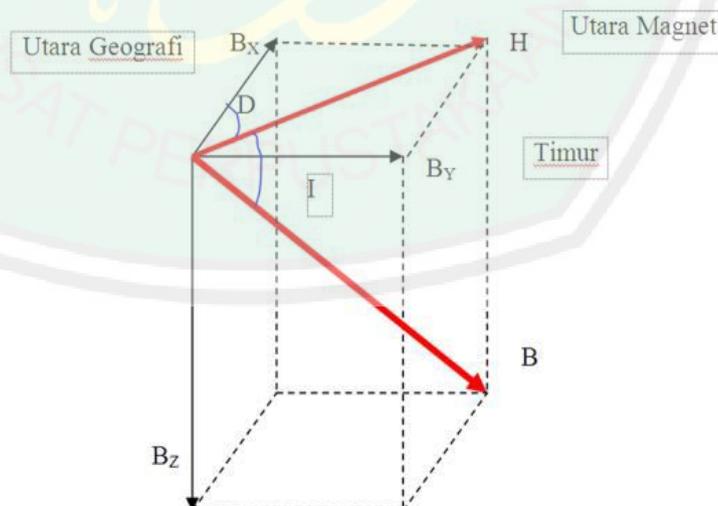
Medan magnet bumi adalah salah satu dari besaran vektor, saat partikel dalam medan magnet bergerak gaya magnet yang dihasilkan akan sebanding dengan besar medan magnet. Sebuah elektromagnetik terdapat dua kutub yaitu kutub utara dan selatan. Pasangan kutub magnet ini disebut dwikutub (dipole) magnet (Tjasyono, 2006).



Gambar 2.4 Medan Magnet Bumi
(Sumber: www.doctorgeologyindonesia.blogspot.com)

Para ahli melakukan analisa harmonik dari medan magnet bumi berdasarkan kesimpulan Gauss pada tahun 1893 diantaranya:

1. Intensitas medan magnetik bumi hampir seluruhnya berasal dari dalam bumi.
2. Medan magnet yang teramati di permukaan bumi dapat didekati dengan persamaan harmonik yang pertama yang berhubungan dengan potensi dwikutub.



Gambar 2.5 Unsur-Unsur Medan Magnet Bumi (Telford, 1990)

Medan magnet disebut unsur magnet (*magnetic elements*) (Untung, 2001).

- a. *Deklinasi* (D) yaitu sudut yang dibentuk antara utara geografis dengan utara magnetik.
- b. *Inklinasi* (I) yaitu sudut yang dibentuk antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah.
- c. Intensitas horizontal (B) yaitu besar medan magnetik total pada bidang horizontal.
- d. Medan magnet total (T) yaitu besar dari vektor medan magnet total.

2.5.1 Medan Utama (*Main Field*)

Medan magnet utama secara teoritis disebabkan oleh sumber dalam bumi, magnetisasi permanen oleh aliran arus listrik yang keluar masuk bumi. Beberapa teori menganggap bumi tersusun atas besi dan sumber magnetik. Adapun penyusun inti bumi sumber magnetik merupakan dinamo berkonduktivitas tinggi dan bergerak dengan mekanisme yang kompleks, seperti arus atau senyawa kimia dan variasi termal beserta alirannya. Kombinasi gerak dan arus tersebut disebabkan terjadinya medan magnet (Telford, 1990).

Medan magnet adalah salah satu besaran vektor yang memiliki nilai dan arah. Arus listrik di dalam inti akan mempengaruhi adanya medan magnet. Medan utama ini tidak konstan terhadap waktu dan perubahannya relatif lamban. Pada percobaan yang dilakukan oleh Gauss pada tahun 1838 diketahui bahwa medan magnet utama bumi yang terukur di permukaan bumi hampir

seluruhnya disebabkan oleh sumber dari dalam bumi dan dari luar tidak ada pengaruhnya.

2.5.2 Medan Magnet Luar (*External Field*)

Pengaruh medan luar berasal dari pengaruh luar bumi yang merupakan hasil dari ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dan matahari, karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat (Yang, 2014).

Beberapa sumber medan luar (Telford, 1990).

1. Perubahan konduktivitas listrik lapisan di atmosfer dengan siklus 11 tahun.
2. Variasi harian dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari yang mempunyai jangkauan 30 nT.
3. Variasi harian dengan periode 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan yang mempunyai jangkauan 10 nT.
4. Badai magnet yang bersifat acak dan mempunyai jangkauan sampai dengan 1000 nT.

2.5.3 Anomali Medan Magnetik

Variasi medan magnet yang terukur di permukaan merupakan target dari survei magnetik (anomali magnet). Besarnya anomali magnetik berkisar ratusan sampai ribuan nanotesla, tetapi ada juga yang lebih besar dari 1.000.000 nT yang berupa endapan magnetik. Secara garis besar anomali ini

disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnet induksi (Srijatno, 1980).

Medan magnet remanen mempunyai peranan yang besar pada magnetisasi batuan, yaitu pada besar dan arah medan magnetnya serta sangat rumit untuk diamati, karena berkaitan dengan peristiwa kemagnetan yang dialami sebelumnya. Sisa kemagnetan ini disebut dengan *normal residual magnetism* yang merupakan akibat dari magnetisasi medan utama (Srijatno, 1980).

Anomali yang di peroleh dari survei merupakan hasil gabungan dari keduanya, bila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksi maka anomalnya bertambah besar, demikian sebaliknya. Dalam survei magnetik, efek medan remanen akan diabaikan apabila anomali medan magnet kurang dari 25% medan magnet bumi. Dalam survei magnetik, adanya anomali magnetik menyebabkan perubahan medan magnet total bumi dan dapat dituliskan sebagai berikut (Telford, 1990).

$$HT = H0 + HL + HA \quad (2.10)$$

dimana:

HT = medan magnetik total bumi

$H0$ = medan magnetik utama bumi

HL = medan magnetik luar

HA = medan anomali magnetik

2.6 Koreksi Data Magnetik

Untuk mendapatkan anomali medan magnet yang sesungguhnya, maka data magnetik yang didapat di lapangan harus dikoreksi dari pengaruh medan-medan yang lain. Beberapa koreksi yang dilakukan dalam survei magnetik adalah (Rosid, 2009).

1. Koreksi Harian

Koreksi harian adalah variasi medan magnet yang berasal dari medan magnet luar akibat perputaran arus listrik dalam lapisan ionosfer. Pada saat ion-ion dari lapisan udara terionisasi matahari akan menjadi magnet ketika ada listrik di ionosfer (Rosid, 2009). Variasi harian dipengaruhi oleh aktivitas badai matahari yang mengakibatkan nilai magnet tinggi. Medan magnet terukur ini akan bersuperposisi dengan medan magnet anomali, maka nilai intensitas magnet berubah-ubah.

2. Koreksi IGRF

Setiap titik di bumi memiliki intensitas medan magnet tertentu, karena medan magnet bumi bervariasi terhadap waktu dan tempat (1-5 tahun) maka nilai medan magnet tersebut di tetapkan dengan *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF).

3. Koreksi Topografi

Koreksi topografi dilakukan jika pengaruh topografi daerah penelitian sangat kuat. Penentuan koreksi topografi dilakukan menggunakan pemodelan dan membutuhkan nilai suseptibilitas magnetik sehingga menghasilkan nilai anomali medan magnet yang sesuai di lapangan. Setelah dilakukan koreksi-koreksi tersebut akan diperoleh data anomali medan magnet topografi.

2.7 Transformasi Medan Magnetik

2.7.1 Reduksi ke Bidang Datar

Data anomali medan magnetik total yang masih tersebar di topografi direduksi ke bidang datar. Hal tersebut dilakukan untuk mempermudah proses pengolahan data dan interpretasi data magnetik. Beberapa teknik yang dilakukan adalah: teknik sumber ekuivalen, lapisan ekuivalen dan pendekatan deret *Taylor*. Setiap teknik yang dilakukan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing (Blakely, 1995).

Deret *Taylor* dapat dituliskan dengan persamaan (Santoso, 2002).

$$\Delta H_{(x,y,z_0)} = \Delta H_{(x,y,z)} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z-z_0}{n!} \cdot \frac{\partial^n}{\partial x^n} \Delta H_{(x,y,z_0)} \quad (2.11)$$

2.7.2 Kontinuasi ke Atas

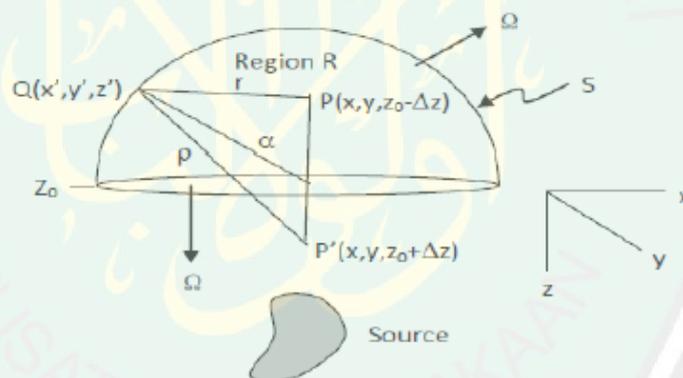
Kontinuasi ke atas adalah proses transformasi data medan potensial ke suatu bidang yang lebih tinggi. Pengolahan ini memisahkan efek lokal dengan efek regional secara massif. Proses ini digunakan untuk menghilangkan atau mereduksi efek magnetik yang berasal dari benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi (Hiskiawan, 2014).

Konsep dasar dari kontinuasi ke atas berasal dari teorema *Green*. Pada teorema ini menyebutkan bahwa apabila terdapat suatu fungsi potensial U yang kontinu di setiap tempat maka akan mempunyai turunan kontinu pada sepanjang daerah R yang selanjutnya dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut (Blakely, 1995).

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{\sqrt{((x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2)}} dx' dy', \Delta z > 0 \quad (2.12)$$

dimana $U(x, y, z_0 - \Delta z)$ adalah harga medan potensial pada bidang hasil kontinuitas, $U(x', y', z_0)$ adalah harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya, Δz adalah jarak atau ketinggian pengangkatan (Blakely, 1995).

Proses menghilangkan atau memfilterkan anomali lokal dengan kontinuitas ke atas merupakan suatu proses yang dilakukan dengan cara *trial and error* yang pada prinsipnya mengamati kecenderungan dari pola kontur yang terjadi saat pengolahan data. Medan potensial yang bekerja pada suatu bahan magnetik terutama pada bumi yang dianggap sebagai medan magnet terbesar, itu adalah medan potensial yang dapat dilakukan dengan perhitungan pada setiap titik di dalam suatu wilayah yang berada pada batas keberadaan besaran medan magnet tersebut (Hiskiawan, 2014).



Gambar 2.6 Kontinuitas ke Atas dari Permukaan Horizontal (Blakely, 1995)

Proses pengangkatan tidak boleh terlalu tinggi karena bisa mereduksi anomali magnetik lokal, melakukan kontinuitas ke atas dapat diperoleh hasil yaitu mereduksi dengan kontinuitas yang tidak terlalu besar dan menampilkan efek regional untuk kontinuitas yang besar. Setelah dilakukan hal ini data telah

bebas dari pengaruh regional, IGRF, dan medan regional sehingga yang tersisa hanya anomali saja.

2.7.3 Reduksi ke Kutub

Transformasi *Reduction to Pole* (RTP) atau reduksi ke kutub dilakukan karena adanya perbedaan nilai *inklinasi* dan *deklinasi* dari setiap wilayah. Transformasi ini mencoba mentransformasikan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet ke kutub utara magnetik (Nuha, 2012).

Metode Reduksi ke kutub dilakukan dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Rumus yang digunakan adalah (Blakely, 1995).

$$F [\Delta Tr] = F [\psi_r] F [\Delta T] \quad (2.13)$$

dimana, $F [\psi_r] = \frac{1}{\theta_m \theta_f}$, maka:

$$= \frac{|k|^2}{a_1 k_x^2 + a_2 k_y^2 + a_3 k_x k_y + i |k| (b_1 k_x k_y + b_2 k_y)} \quad (2.14)$$

$$a_1 = \hat{m}_z \hat{f}_z + \hat{m}_x \hat{f}_x$$

$$a_2 = \hat{m}_z \hat{f}_z + \hat{m}_y \hat{f}_y$$

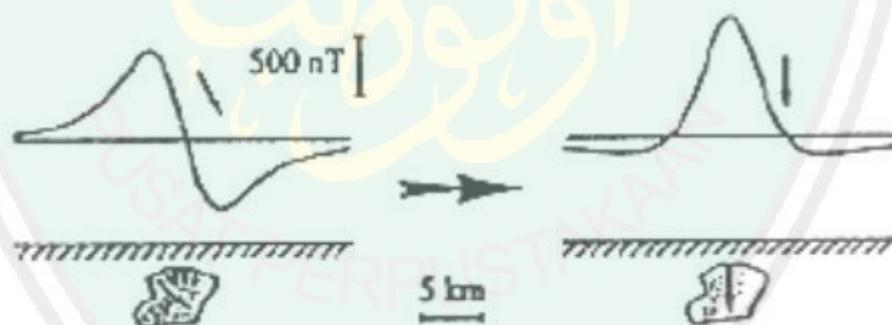
$$a_3 = -\hat{m}_y \hat{f}_x - \hat{m}_x \hat{f}_y$$

$$b_1 = \hat{m}_x \hat{f}_z - \hat{m}_z \hat{f}_x$$

$$b_2 = \hat{m}_y \hat{f}_z - \hat{m}_z \hat{f}_y$$

$F [\Delta Tr]$ adalah transformasi *fourier* intensitas magnetik ke kutub, $F [\Delta T]$ hasil transformasi intensitas magnetik pada lokasi penelitian dan $F [\psi_r]$ adalah faktor transformasi fase dari lokasi penelitian ke kutub.

Metode reduksi ke kutub merupakan metode memfilter pengolahan data magnetik untuk menghilangkan pengaruh sudut *inklinasi* magnetik. Pemfilteran ini dilakukan karena data anomali magnetik di lapangan masih berpola asimetrik. Pada filter reduksi ke kutub terdapat beberapa kelemahan diantaranya penggunaan harga *inklinasi* dan *deklinasi* yang cenderung sama pada seluruh daerah pengamatan. *Inklinasi* medan magnet bumi pada kutub utara yang berarah vertikal menjadi maksimum profil anomali pada kutub berhubungan langsung dengan posisi sumber benda penyebab anomali, sehingga memudahkan interpretasi survei magnetik. *Inklinasi* yaitu sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah, sedangkan *deklinasi* yaitu sudut antara utara magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur (Hiskiawan, 2014).



Gambar 2.7 Implus Anomali Sebelum dan Sesudah Direduksi ke Kutub (Blakerly, 1995)

2.8 Magnetometer (*Proton Precision Magnetometer*)

Magnetometer adalah alat ukur yang digunakan untuk penyelidikan atau penelitian bahan-bahan magnetik, keamanan penerbangan, pemetaan, dan pengetesan kebocoran medan magnet dari alat lainnya. Salah satu jenis

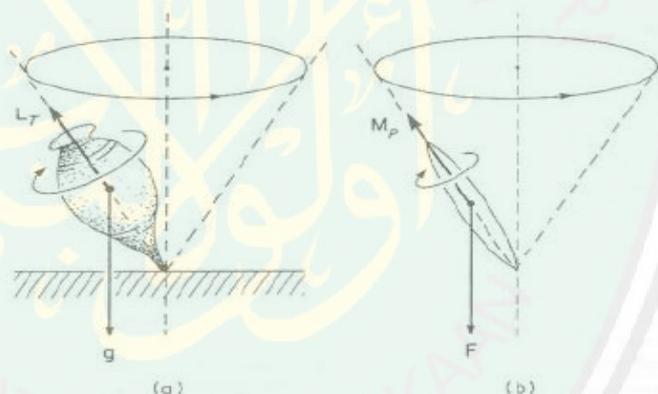
magnetometer adalah *Proton Precision Magnetometer* (PPM). Cara kerja *Proton Precision Magnetometer* (PPM) adalah sebuah botol dililitkan kumparan dan dimasuki cairan mengandung proton. Dan proton tersebut bergerak secara acak (bergerak spin atau precesi). Saat tegangan polarisasi diaktifkan akan menimbulkan medan magnet dan mengakibatkan proton bergerak teratur. Gerak precesi mengikuti aturan sedemikianrupa dan didapatkan hubungan (Munadi, 2001).

$$\omega_2 = \gamma H_2 \quad (2.15)$$

dimana: ω_2 = Kecepatan sudut gerak precesi (pengaruh medan magnet bumi)

γ = Rasio giromagnetik dari proton

H_2 = Kuat medan magnet bumi



Gambar 2.8 Gaya Presisi Sebuah Proton (Rosid, 2009)

2.9 Mineral dalam Perspektif Al-Qur'an

Mineral adalah bahan padat anorganik yang terdapat secara alamiah, yang terdiri dari unsur-unsur kimiawi dalam perbandingan tertentu. Mineral dapat dijumpai dimana-mana dalam wujud batuan, tanah atau pasir yang diendapkan. Secara umum mineral dapat diidentifikasi dari warnanya, kekerasannya, dan bentuknya.

Mineral dalam bentuk batuan dalam perspektif al-Qur'an terdapat dalam surah An-Nahl (16) ayat 15:

وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَأَنْهَارًا وَسُبُلًا لَعَلَّكُمْ تَهْتَدُونَ ﴿١٥﴾

“Dan Dia menancapkan gunung-gunung di bumi supaya bumi itu tidak goncang bersama kamu, (dan Dia menciptakan) sungai-sungai dan jalan-jalan agar kamu mendapat petunjuk” (Q.S An-Nahl ayat 15).

Dalam lafadz *alqaa* pada ayat diatas menunjukkan pemindahan. Ilmu geologi pemindahan bisa dikatakan adanya pemindahan materi-materi pembentuk misalnya dari gunung, baik yang berasal dari dasar bumi maupun dari permukaan bumi yang mengendap disuatu tempat. Contoh pemindahan yang terjadi di permukaan bumi misalnya meletusnya gunungapi yang mengeluarkan isinya seperti abu, kerikil, lava, pasir, dan material-material lainnya. Abu yang keluar terbawa oleh angin dan terjadi pengendapan dan terpengaruh oleh beberapa faktor bisa membentuk mineral atau batuan yang lainnya (Al-Qurthubi, 2007).

Pembentukan mineral zeolit yang berasal dari material akibat gunung berapi yang meletus. Material tersebut berupa abu yang mengandung senyawa-senyawa yang bisa membentuk mineral zeolit. Material tersebut kemudian mengendap dan terpengaruh oleh suhu (panas dan dingin) dan tekanan serta terjadi proses kimia sehingga material tersebut membentuk mineral zeolit.

Dalam eksplorasi mineral dibutuhkan suatu alat yang mendukung kegiatan tersebut. Dengan keterbatasan yang dimiliki oleh manusia Allah telah memberi petunjuk dalam al-Qur'an surah ar-Rahmaan (55) ayat 33 yang berbunyi:

يَمَعَشَرَ الْجِنِّ وَالْإِنْسِ إِنَّ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ
فَأَنْفُذُوا لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَنِ ﴿٣٣﴾

“Hai jama’ah jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit bumi, Maka lantasilah, kamu tidak dapat menembus kecuali dengan kekuatan” (Q.S. ar-Rahmaan (55):33).

Ayat diatas menjelaskan tentang bagaimana Allah menantang makhluk-Nya untuk melintasi atau menjelajah langit atau luar angkasa dan bumi (baik di dalam tanah) agar mengambil manfaatnya. Cara yang dilakukan untuk menembus atau melintasi langit dan bumi hanya dengan kekuatan (بِسْطَانٍ). Jaman sekarang kekuatan yang dimaksud adalah ilmu pengetahuan dan teknologi (Al-Baghawi, 2005).

Ilmu pengetahuan dan teknologi dapat digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui sebaran dan benda yang ada di dalam bumi yang tidak dapat dilihat hanya melalui panca indera manusia. Teknologi yang digunakan dalam penelitian ini memanfaatkan alat modern yang bisa digunakan untuk melacak atau mengetahui materi yang ada di dalam bumi tanpa merusak bumi tersebut.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada tanggal 8-9 September 2018, lokasi penelitian ini adalah di Desa Sumberagung, Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang yang terletak pada koordinat $08^{\circ}21'05,54''$ LS - $08^{\circ}21'39,50''$ LS dan $112^{\circ}40'29,06''$ BT - $112^{\circ}40'55,07''$ BT. Cakupan area penelitian ini sekitar 800 m x 1000 m. Pengolahan data akan dilakukan di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Area Penelitian

Koordinat area penelitian yang diteliti adalah koordinat A ($8^{\circ}21'2.54''$ S – $112^{\circ}40'22.93''$ E), Koordinat B ($8^{\circ}21'34.74''$ S – $112^{\circ}40'23.51''$ E),

Koordinat C ($8^{\circ}21'34.18'' S - 112^{\circ}40'55.23'' E$), Koordinat D ($8^{\circ}21'1.79'' S - 112^{\circ}40'55.99'' E$).

3.2 Instrumentasi Penelitian

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

- a. Magnetometer jenis *Proton Precession Magnetometer* (PPM)
- b. GPS untuk menentukan posisi stasiun pengukuran secara presisi
- c. Alat pengukur waktu
- d. Buku manual alat
- e. Peralatan pendukung : Peta geologi lembar Turen, Meteran, Alat tulis, Laptop untuk mengolah data, *Software* (*Ms. Excel, Surfer12, Matlab R2008b, Oasis Montaj 6.4, Magpick*)

3.3 Data Penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah:

- a. Koordinat Lintang dan Bujur
- b. Waktu pengambilan data (hari, jam, dan tanggal)
- c. Ketinggian titik ukur
- d. Data Magnetik yang meliputi medan total, variasi harian dan medan utama bumi (IGRF)

3.4 Prinsip Kerja Alat

Alat yang digunakan dalam metode magnetik adalah *Proton Precession Magnetometer* (PPM). Setiap proton adalah massa yang berputar dan membawa

muatan listrik positif. Putaran muatan partikel ini menghasilkan momen magnetik dan momentum angular pada arah sumbu putarnya. Medan magnet bumi akan menghasilkan momen magnetik proton yang kemudian dilawan oleh momentum angular proton. Sebagai akibatnya, sumbu proton akan berpresisi di sekitar kerucut yang menunjukkan arah medan magnet bumi. Jumlah putaran sumbu proton di sekitar kerucut dalam waktu tertentu disebut frekuensi presisi proton (f). Nilai f bergantung pada momen magnetik proton M , momentum angular proton L , dan intensitas medan magnet bumi \bar{H} yang dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$f = \frac{M}{2\pi L} \bar{H} = \frac{GH}{2\pi} \quad (3.1)$$

dengan G adalah *gyromagnetic ratio* yang bernilai 0,2657513/gamma-s.

Proton Precession Magnetometer (PPM) adalah suatu sensor untuk mengukur induksi medan magnet total. Sensor ini berisi zat cair yang kaya akan proton, misalnya methanol atau kerosene. Di dalam sensor ini terdapat koil atau kumparan yang melingkupi zat cair yang kaya akan proton tersebut. Koil ini dihubungkan dengan sumber arus DC dan sirkuit penghitung frekuensi. Jika arus listrik dilewatkan melalui koil tersebut, maka akan timbul medan magnet dan mempolarisasikan proton pada arah koil. Pada saat arus putus, koil akan dengan sirkuit penghitung frekuensi, sementara proton akan berpresisi pada arah medan magnet bumi. Gerakan momen magnetik proton akan menghasilkan medan magnet siklik yang menginduksi arus AC pada kumparan selama 2-3 detik sebelum proton berhenti berpresisi. Selama 2-3 detik ini, sirkuit penghitung frekuensi akan mengukur frekuensi presisi proton. Nilai frekuensi presisi proton ini dikonveksi ke unit intensitas medan magnet dan di transmisikan ke data *logger* yang dapat dibaca langsung.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini tahapan yang dilakukan adalah pengambilan data (Akuisisi data), proses pengolahan data dan Interpretasi data. Pada penelitian ini yang dianalisa berupa anomali magnetik, geologi daerah penelitian, dan kontras suseptibilitas. Berikut ini tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian metode magnetik.

3.5.1 Tahap Pengambilan Data (Akuisisi Data)

Pengambilan data dengan metode magnetik untuk mengamati besaran medan magnet total (H) bumi pada setiap titik. Dari data yang didapat benda terinduksi sehingga nilai medan magnet total (H) harus dikurangi dengan medan magnet yang menginduksi dan didapatkan anomali magnet (ΔH). Pengukuran dilakukan dengan acuan (*base station*) untuk memperoleh koreksi harian dan koreksi IGRF dan pengukuran mengelilingi area penelitian.

3.5.2 Tahap Pengolahan Data

Proses pengolahan data dapat dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Pengolahan Data Awal

Pengolahan data awal ini ditujukan untuk mengolah data mentah yang berasal dari lapangan guna memperoleh nilai anomali magnetik. Data mentah di lapangan masih terdapat pengaruh dari dalam dan luar bumi. Sehingga perlu adanya koreksi. Koreksi yang diterapkan adalah Koreksi Harian + Koreksi IGRF.

2. Reduksi ke Bidang Datar

Data anomali yang telah dikoreksi masih terletak mengikuti bidang topografi daerah penelitian. Oleh karena itu data anomali ditransformasikan ke suatu bidang datar (ketinggian yang sama). Sehingga data anomali tidak ada pengaruh dari bidang topografi. Suatu metode yang membawa data medan potensial yang berdistribusi di bidang bukan horizontal ke bidang horizontal adalah pendekatan deret Taylor.

3. Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas yaitu memfilter *noise-noise* frekuensi tinggi atau benda-benda magnet yang berada di dekat permukaan yang tergabung dengan anomali yang diperoleh. *Filter* ini berfungsi untuk mengoreksi pengukuran medan potensial ke dalam satu permukaan tertentu yang lebih tinggi dari permukaan pada saat melakukan pengukuran di lapangan.

4. Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub adalah salah satu transformasi yang digunakan untuk proses interpretasi. Dasar dilakukannya transformasi ini karena adanya perbedaan nilai *inklinasi* dan *deklinasi* dari setiap daerah, dengan transformasi ini medan magnet di tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnetik.

5. Pemodelan Geologi

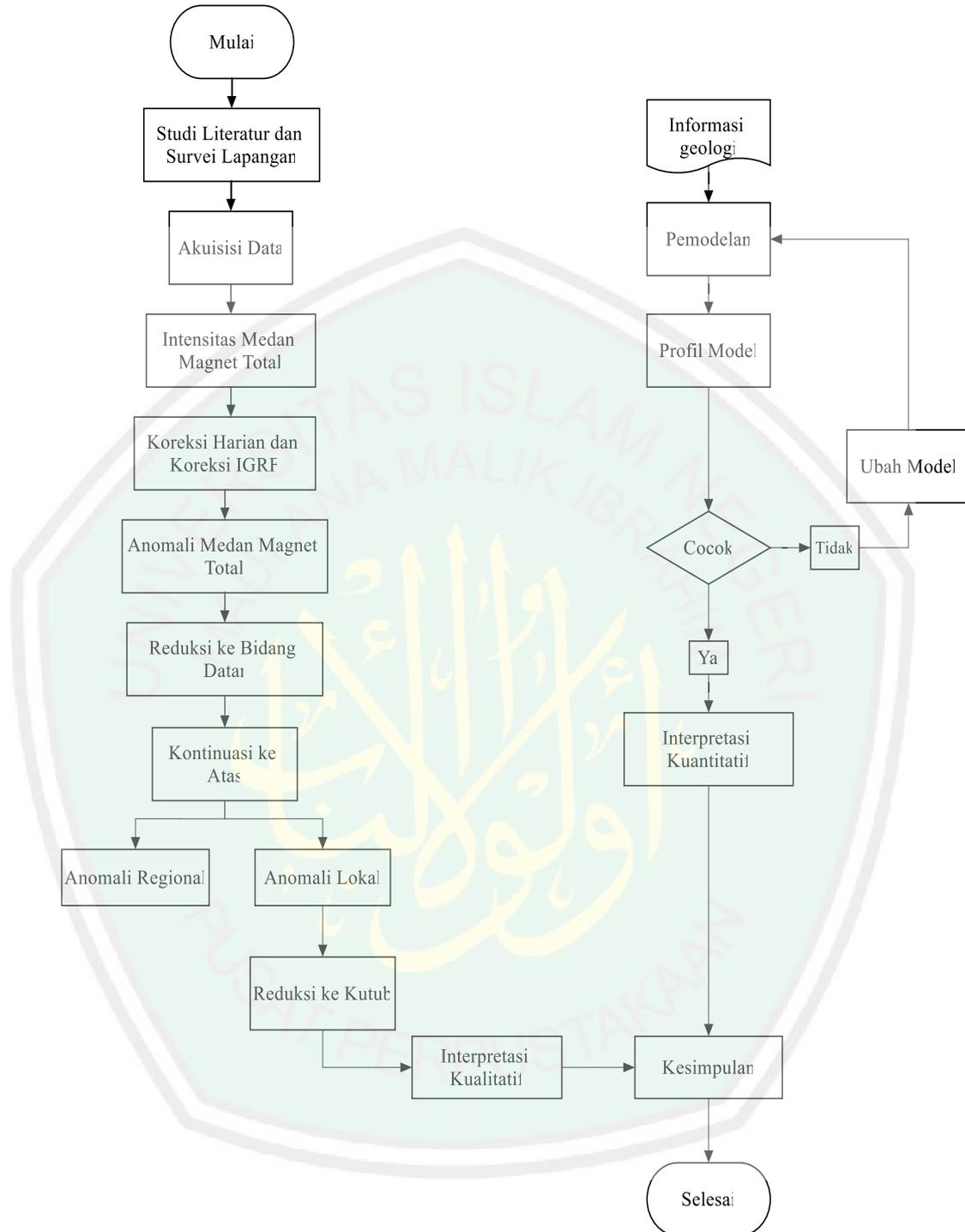
Pemodelan geologi dalam penelitian ini adalah mengambil dua penampang melintang dari kontur anomali, dalam mengambil penampang perhatikan tinggi rendahnya kontur dan pola anomali sehingga bisa menentukan benda di bawah permukaan. Setelah dilakukan penarikan

penampang dilanjutkan proses *digitize* dan *slice* menggunakan program *Surfer12*. Hasil dari *digitize* dan *slice* adalah data berupa nilai lokal dan jarak lintasan pada penampang yang telah dibuat, yang merupakan data masukan untuk *Oasis Montaj 6.4*. Setelah model anomali tergambar, maka dilakukan pemodelan struktur bawah permukaan dengan memasukan nilai suseptibilitas dan ketebalan lapisan batuan tertentu.

3.5.3 Tahap Interpretasi Data

Interpretasi data dilakukan dengan dua cara yaitu secara kualitatif dan kuantitatif. Secara kualitatif berdasarkan pada analisis peta kontur, sedangkan secara kuantitatif dilihat dari data pengolahan di *Oasis Montaj 6.4*. Interpretasi secara kualitatif bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya benda yang menyebabkan terjadinya anomali. Interpretasi secara kuantitatif untuk memodelkan struktur bawah permukaan serta kedalaman benda anomali.

3.6 Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode geomagnet atau magnetik adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk eksplorasi kekayaan alam dengan memanfaatkan sifat-sifat kemagnetan batuan di bawah permukaan bumi. Metode magnetik bisa digunakan untuk eksplorasi sumber air panas, arkeologi, dan mineral-mineral. Data yang didapat pada pengukuran geomagnet ada tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar, dan medan anomali. Pada pengukuran di lapangan diperoleh nilai anomali magnetik dimana nilai tersebut didapat dari benda yang terinduksi oleh medan magnet utama bumi, melalui anomali tersebut dapat diketahui susceptibilitas batuan di bawah permukaan bumi. Tahapan yang dilakukan dalam eksplorasi menggunakan metode magnetik terdiri atas pengambilan data atau akuisisi data, pengolahan data, dan interpretasi data.

4.1 Pengambilan Data (Akuisisi Data)

Pada pengambilan data eksplorasi mineral zeolit ini mencakup luar area sebesar 800 x 1000 meter dengan spasi antar titik 100 meter dan diperoleh titik pengukuran sebanyak 80 titik. Pengukuran titik tidak dilakukan secara manual tetapi langsung menggunakan GPS dengan cara mengkonvert titik yang telah ditandai pada *google earth* setelah itu dipindah ke GPS dengan bantuan aplikasi.

4.2 Pengolahan Data

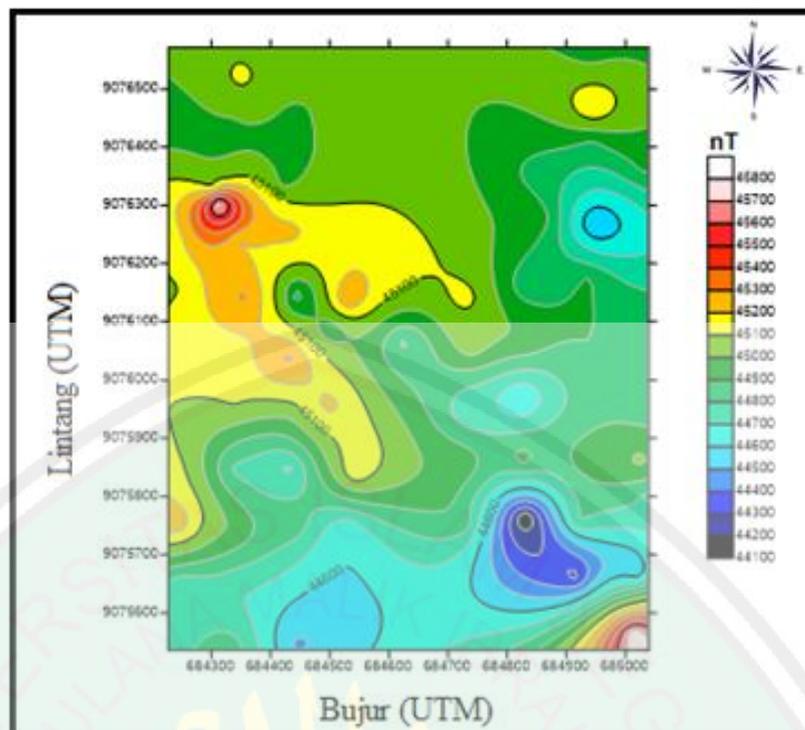
Data penelitian yang diperoleh sebanyak lima kali pengambilan data tiap satu titik kemudian dirata-rata sehingga diperoleh nilai intensitas medan magnet

total, hal ini dilakukan untuk meminimalisir kesalahan. Setelah diperoleh data lapangan dilakukan koreksi-koreksi, yaitu koreksi diurnal (harian) dan koreksi IGRF. Langkah selanjutnya transformasi medan diantaranya reduksi bidang datar, kontinuitas ke atas dan reduksi ke kutub kemudian dilanjutkan interpretasi secara kualitatif dan kuantitatif. Dari data yang telah dikoreksi didapatkan nilai anomali medan magnet (ΔH), data tersebut kemudian dikonturkan menggunakan *software surfer12*. Pengolahan data dimulai dari mengkonversi koordinat yang didapat di lapangan yang berbentuk *decimal degree* ke dalam bentuk *Universal Transfer Mercator* (UTM) pada *software Surfer12* dengan tujuan untuk mempermudah dalam pengolahan selanjutnya.

Pada interpretasi kualitatif terdapat beberapa peta yang dikonturkan diantaranya peta kontur intensitas medan magnet total, peta kontur elevasi atau ketinggian, kontur anomali medan magnet total, kontur reduksi bidang datar, kontur kontinuitas ke atas, kontur reduksi ke kutub. Parameter yang digunakan pada kontur ini adalah koordinat lintang (LS), koordinat bujur (BT), dan pengukuran di lapangan.

4.2.1 Intensitas Medan Magnet Total

Intensitas medan magnet total adalah data yang didapat di lapangan. Data ini didapat dari alat magnetik yaitu *Proton Processing Magnetometer* (PPM) dengan pengambilan data sebanyak 5 kali dalam 1 titik. Pengambilan data dilakukan sebanyak-banyaknya dalam satu titik agar didapatkan nilai kemagnetan yang efektif. Data intensitas medan magnet total di lapangan didapatkan dalam bentuk nano Tesla (nT).



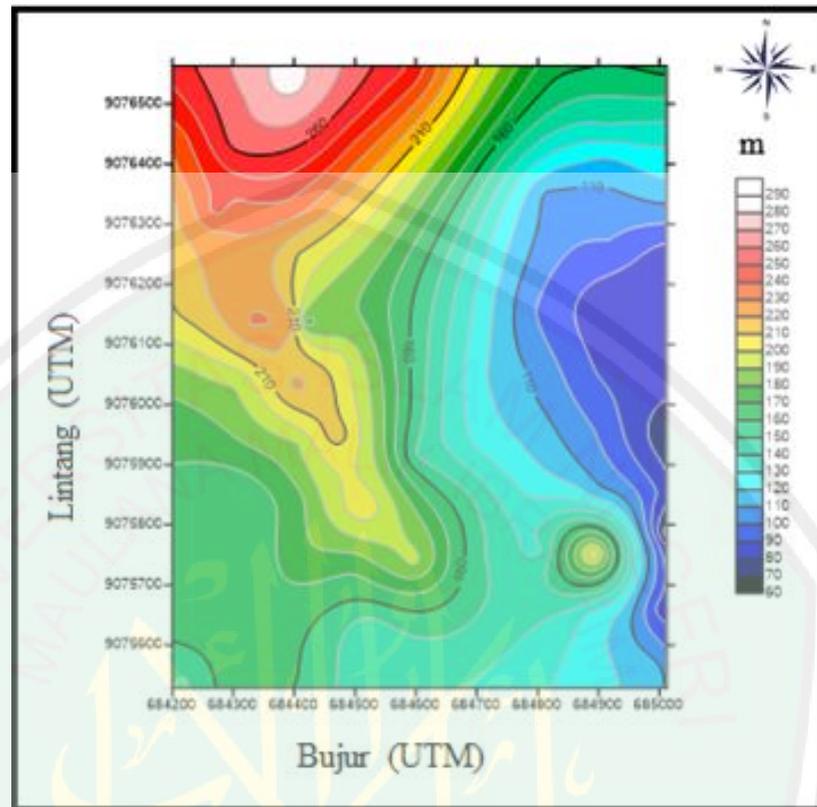
Gambar 4.1 Intensitas Medan Magnet Total

Gambar 4.1 menunjukkan nilai intensitas medan magnet total yang terukur di daerah penelitian. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai intensitas medan magnet total terkecil 44102,68 nT sampai dengan 44493,6 nT. Nilai intensitas sedang berkisar 44550,44 nT sampai dengan 44940,4 nT sedangkan nilai intensitas tinggi nilainya berkisar 45026,4 nT sampai dengan 45789,8 nT

4.2.2 Elevasi

Selain nilai intensitas medan magnet total, di lapangan juga diperoleh nilai ketinggian daerah. Elevasi adalah posisi ketinggian suatu objek dari suatu datum tertentu. Titik datum yang digunakan biasanya adalah permukaan laut dan permukaan geloid dengan satuan meter (mdpl). Dalam

pola kontur menunjukkan adanya dataran tinggi, lembah, atau bentuk lainnya di permukaan bumi.



Gambar 4.2 Peta Kontur Nilai Ketinggian atau Elevasi

Pada gambar 4.2 dapat dilihat nilai ketinggian daerah penelitian dari skala warna di atas, dimana skala di atas memiliki nilai terendah sebesar 60 meter dan tertinggi 290 meter dengan interval 10 meter. Dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa medan pada daerah penelitian memiliki ketinggian berkisar 60-290 meter. Pada kontur warna biru menunjukkan daerah tersebut memiliki elevasi rendah (dataran rendah) dengan nilai berkisar 60-100 meter. Warna hijau menunjukkan daerah tersebut memiliki elevasi atau ketinggian sedang berkisar 150-200 meter. Warna jingga sampai merah menunjukkan daerah dataran tinggi dengan elevasi berkisar 220- 270 meter.

4.2.3 Koreksi Harian dan Koreksi IGRF

Intensitas medan magnet total yang diperoleh di lapangan terdiri atas tiga komponen medan magnet, yaitu medan magnet utama (*main field*), medan magnet luar (*external field*), dan medan magnet lokal. Kemudian data tersebut dikoreksi diurnal (koreksi harian) dan koreksi IGRF untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar dan pengaruh medan magnet utama bumi karena data yang akan diteliti adalah anomali lokal.

Koreksi harian (*diurnal correction*) merupakan penyimpanan nilai medan magnetik bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari. Koreksi harian dilakukan untuk menghilangkan efek medan magnet yang berasal dari luar. Koreksi IGRF dilakukan untuk mengoreksi nilai medan magnet utama, nilai IGRF diperoleh dari kalkulator yang dilakukan secara online. Nilai IGRF akan diperbarui setiap lima tahun sekali. Berikut adalah contoh tampilan kalkulator IGRF yang diambil secara *online*:

Field Model Results

Location	Latitude	Longitude	Altitude	Date
'malang east java'	-8 degs 21 mins	112 degs 40 mins	0.00 km	2018.00

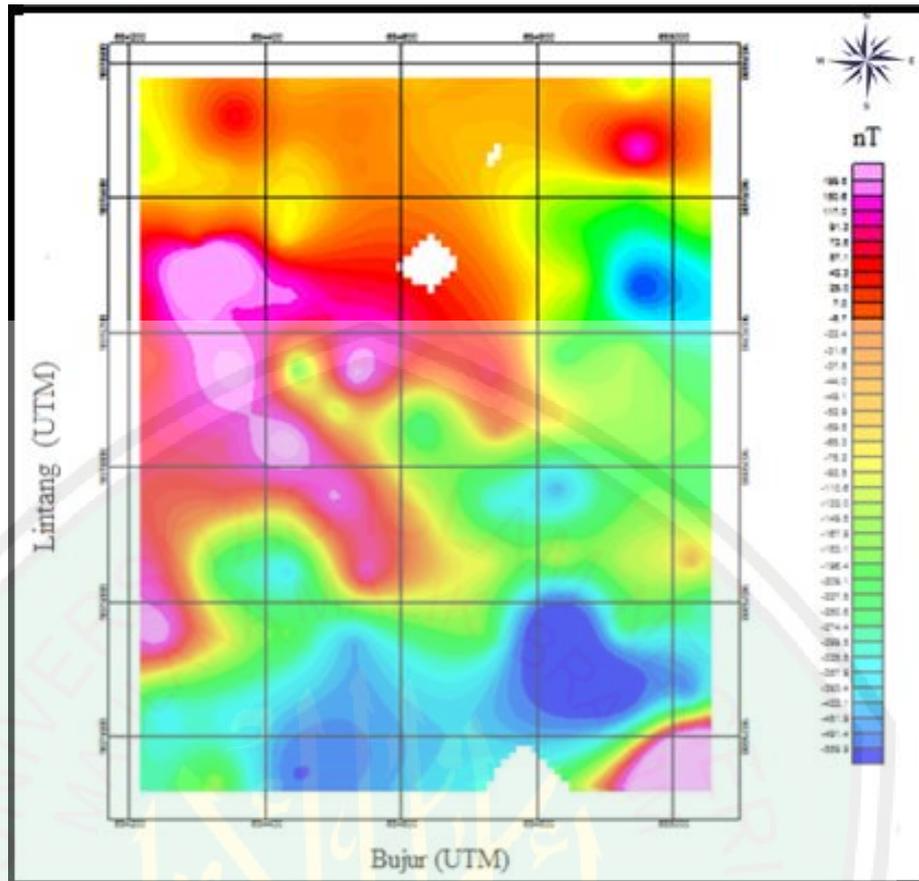
Component	Field Value	Secular Variation
Declination	0.985 degrees	-3.3 arcmin/year
Inclination	-33.089 degrees	8.4 arcmin/year
Horizontal Intensity	37747 nT	36.5 nT/year
North Component	37742 nT	37.1 nT/year
East Component	649 nT	-35.6 nT/year
Vertical Intensity	-24597 nT	108.2 nT/year
Total Intensity	45054 nT	-28.5 nT/year

IGRF definitions

Gambar 4.3 Nilai IGRF
(Sumber: www.geomag.bsg.ac.uk)

Daerah penelitian memiliki nilai medan magnet utama bumi (IGRF) sebesar 45054 nT pada koordinat $-8^{\circ}21'LS$ sampai $112^{\circ}40' BT$ pada tahun 2018 dan nilai tersebut dapat berubah dalam waktu 5 tahun sekali. Nilai anomali medan magnet total diperoleh setelah dilakukan koreksi-koreksi di atas. Anomali medan magnetik adalah harga medan magnetik disuatu titik yang dihasilkan oleh batuan atau benda di bawah permukaan bumi.

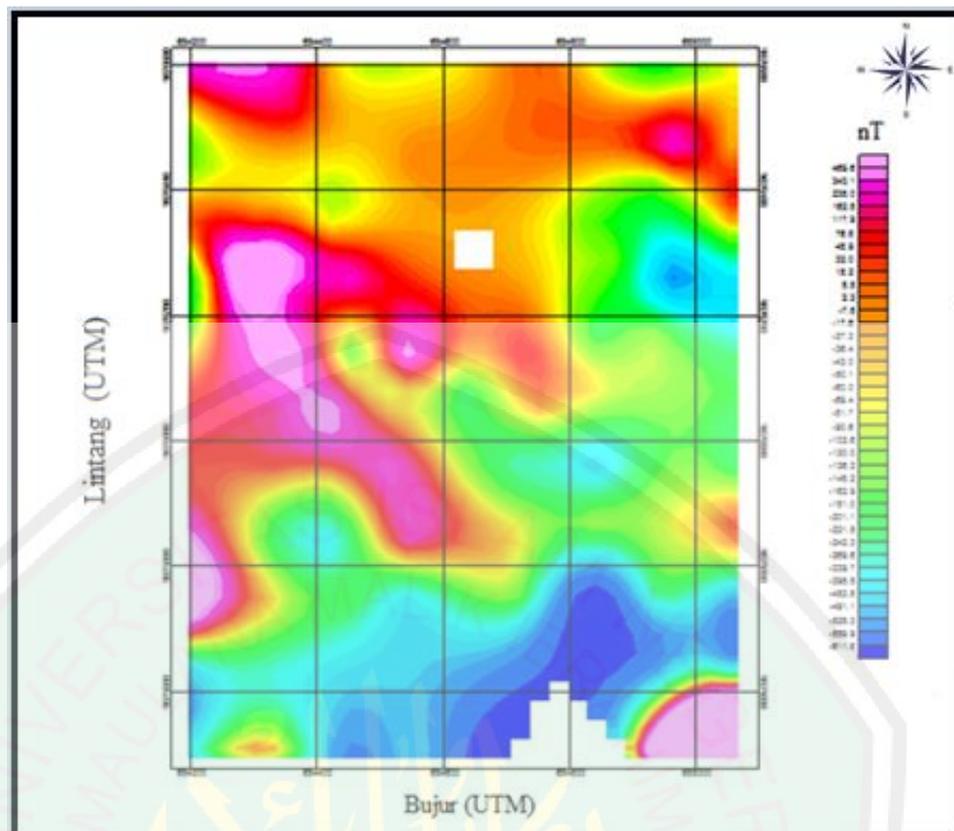
Setelah itu dibuatkan peta kontur anomali medan magnet total sehingga dapat diketahui variasi nilai medan magnet daerah penelitian melalui skala warna. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan nilai anomali medan magnet total di daerah penelitian yaitu -600 nT sampai dengan 200 nT. Berdasarkan kontur di atas skala warna biru menunjukkan nilai anomali medan magnet rendah dengan nilai berkisar -600 nT sampai -230 nT. Nilai anomali medan magnet sedang berkisar -225 nT sampai 0 nT dengan skala warna hijau. Skala warna jingga sampai merah muda menunjukkan nilai anomali medan magnet yang tinggi. Nilai anomali yang didapatkan merupakan nilai campuran antara anomali regional dan anomali lokal sehingga informasi yang diperoleh adalah gabungan bagian dalam dan dangkal.



Gambar 4.4 Anomali Medan Magnet Total

4.2.4 Reduksi ke Bidang Datar

Data anomali medan magnet total yang didapat masih dipengaruhi oleh topografi atau ketinggian daerah tersebut. Secara matematis topografi daerah penelitian yang tidak merata mempengaruhi nilai anomali medan magnet dan mempengaruhi dalam proses interpretasi data selanjutnya. Untuk menghindari hal itu, maka diperlukan transformasi nilai anomali medan magnet pada ketinggian yang sama sehingga mempermudah dalam proses interpretasi maupun pemodelan selanjutnya.



Gambar 4.5 Anomali Medan Magnet Setelah di Reduksi ke Bidang Datar

Gambar 4.5 merupakan hasil pengolahan reduksi bidang datar anomali medan magnet dengan nilai ketinggian rata-rata 300 meter. Dari hasil pengolahan menunjukkan pola kontur yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai anomali medan magnet sebelum dilakukan reduksi ke bidang datar. Nilai anomali medan magnet setelah dilakukan reduksi ke bidang datar berkisar -650 nT sampai 500 nT. Warna biru pada kontur menunjukkan nilai anomali paling rendah berkisar -650 nT sampai -250 nT. Warna hijau dan kuning menunjukkan nilai anomali sedang dengan nilai berkisar -250 nT sampai 0 nT, sedangkan anomali tinggi ditunjukkan dengan warna jingga sampai merah muda dengan nilai berkisar 0 nT sampai 500 nT.

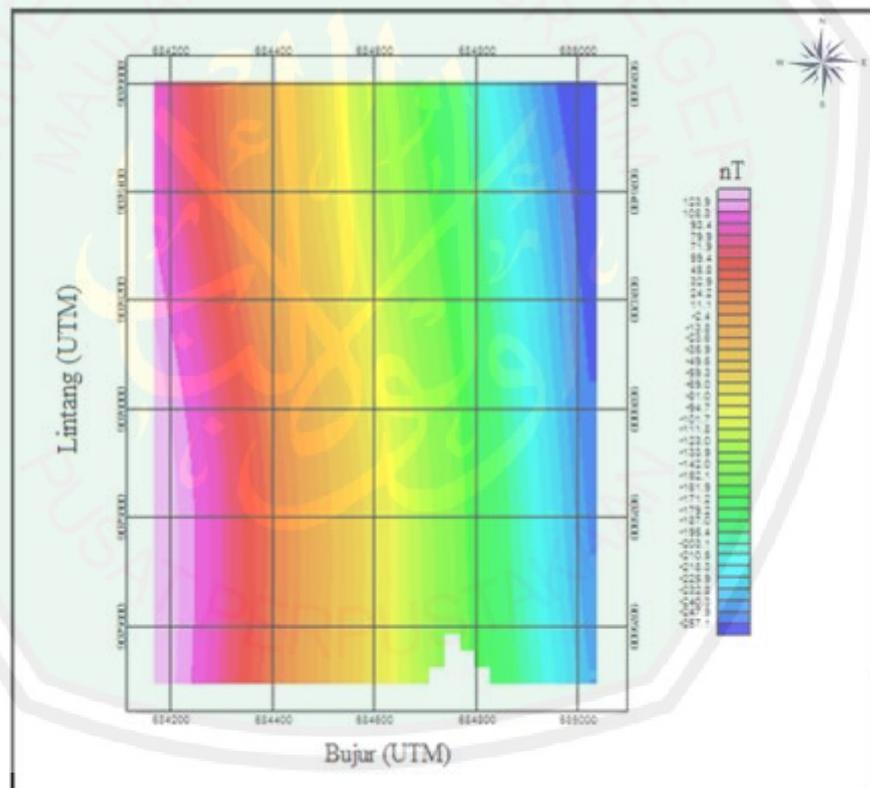
4.2.6 Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Kontinuasi ke atas (*Upward Continuation*) merupakan salah satu langkah yang dilakukan untuk perubahan data medan yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada level permukaan tertentu. Kontinuasi ke atas juga digunakan untuk menghilangkan efek-efek (*noise*) yang terdapat di permukaan pada daerah penelitian. Langkah ini digunakan karena dapat mentransformasikan medan yang terukur dipermukaan sehingga medan dipermukaan di tempat lain cenderung menonjolkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dalam (efek regional) dengan mengabaikan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dangkal (efek residual). Metode ini digunakan untuk mendapatkan anomali regional yang representatif karena anomali regional yang representatif akan menghasilkan anomali lokal (residual) yang baik sehingga pada tahapan interpretasi diperoleh hasil yang baik.

Proses kontinuasi ke atas dilakukan pada ketinggian tertentu dan seolah-olah melakukan perhitungan data pada ketinggian tersebut. Pada saat proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Magpick* dimana saat pengangkatan atau melakukan proses ini tidak boleh terlalu tinggi dari ketinggian rata-rata wilayah penelitian karena bisa mempengaruhi anomali lokal dari benda magnetik atau struktur geologi dari target penelitian magnetik ini. Hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 500 meter menunjukkan nilai anomali regional yang cenderung stabil (hampir sama). Hal ini menunjukkan bahwa pada ketinggian lebih dari 500 meter tidak mempengaruhi anomali lokal (anomali dari target penelitian) secara

signifikan. Untuk mendapatkan anomali lokal dilakukan perhitungan dengan mengurangi nilai anomali medan magnet dengan nilai anomali regional.

Hasil anomali setelah dilakukan proses kontinuasi ke atas adalah anomali regional (gambar 4.6) dan anomali lokal (gambar 4.7). Anomali regional adalah kondisi geologi umum atau medan magnet secara keseluruhan atau yang dominan di daerah penelitian. Sedangkan anomali lokal adalah kondisi geologi setempat yang telah terdeviasi dari kondisi regionalnya yang terdapat pada kedalaman dangkal, anomali lokal biasa disebut anomali sisa.

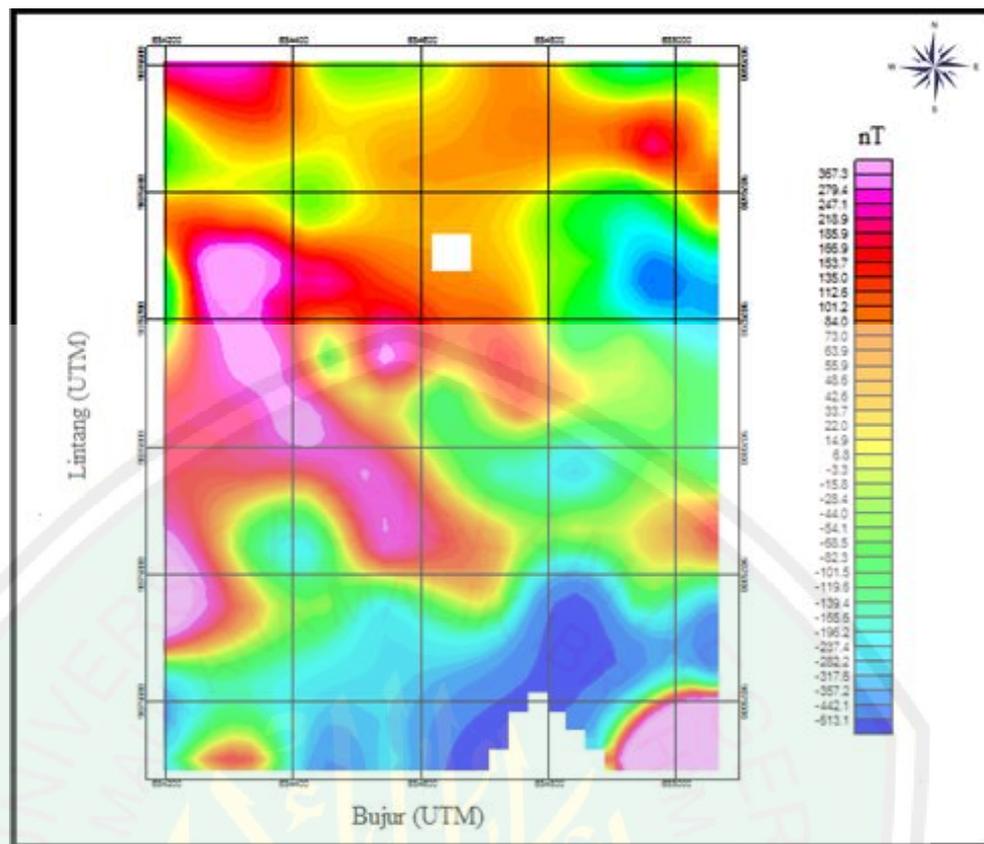


Gambar 4.6 Anomali Medan Magnet Regional dengan Ketinggian 500 Meter

Anomali regional (gambar 4.6) dicirikan dengan nilai anomali regional berkisar 125 nT sampai dengan -300 nT. Anomali rendah ditunjukkan dengan warna biru dengan nilai sekitar -210 nT sampai -300 nT

. Anomali sedang ditunjukkan oleh warna hijau sampai kuning dengan nilai berkisar -50 nT sampai -199 nT. Sedangkan anomali tinggi dengan nilai 0 nT sampai dengan 125 nT ditunjukkan oleh warna merah sampai merah muda. Nilai anomali yang rendah ataupun tinggi disebabkan karena pengaruh atau anomali berasosiasi dengan batuan yang berada di daerah penelitian, jenis batuan yang memiliki nilai kemagnetan berbeda sangat berpengaruh terhadap perubahan nilai anomali.

Target dari penelitian ini adalah anomali lokal. Anomali lokal dari pengukuran ini menunjukkan kondisi struktur batuan di bawah permukaan sesuai dengan yang ada di lapangan. Nilai anomali magnetik yang tinggi menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki struktur batuan yang dengan nilai suseptibilitas yang tinggi dan bernilai positif serta memiliki kerentanan kemagnetan yang tinggi atau batuan tersebut bersifat magnetik. Nilai anomali magnetik yang sedang mengindikasikan memiliki suseptibilitas bernilai positif tetapi memiliki kerentanan kemagnetan yang sedang atau kecil. Sedangkan anomali magnetik yang rendah mengindikasikan memiliki suseptibilitas bernilai negatif dan memiliki kerentanan kemagnetan yang sangat rendah atau batuan tersebut bersifat non-magnetik.

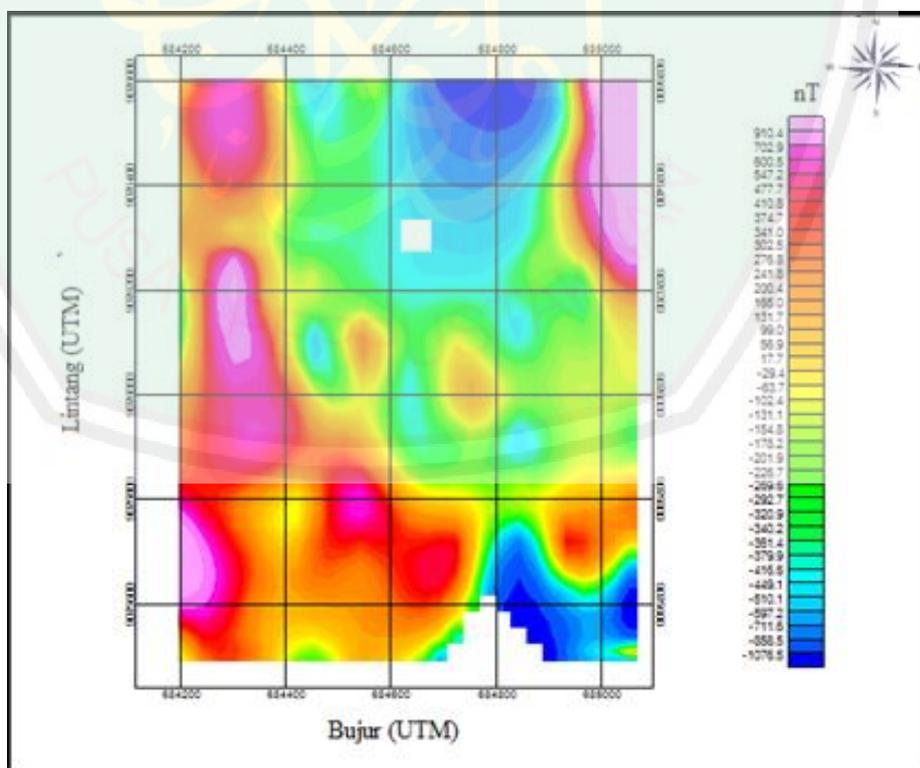


Gambar 4.7 Anomali Lokal

Nilai anomali lokal di atas menunjukkan nilai anomali magnet positif berkisar 0,1 nT sampai 400 nT ditafsirkan sebagai batuan yang bersifat magnetik yang kemungkinan ditafsirkan sebagai batuan lava andesit, sedangkan anomali magnet negatif dengan nilai anomali medan magnet berkisar -1 nT sampai -650 nT ditafsirkan sebagai batuan non-magnetik yang kemungkinan ditafsirkan sebagai batuan sedimen seperti batuan tufa. Berdasarkan data peta geologi lembar Turen (Gambar 2.2) daerah penelitian didominasi mengandung batuan tufa, basalt, lava andesit, dasit, breksi vulkanik yang tersebar di sepanjang sungai dan daerah di Sumbermanjing Wetan.

4.2.6 Reduksi Ke Kutub (*Reduction to The Pole*)

Data anomali yang telah di kontinuasi ke atas kemudian data tersebut di reduksi ke kutub. Reduksi ke kutub adalah salah satu filter pengolahan data untuk menghilangkan efek sudut inklinasi magnetik. Proses reduksi ke kutub dilakukan menggunakan *software magpick*. Filter ini diperlukan karena sifat dipole anomali magnetik menyulitkan saat proses interpretasi data lapangan yang umumnya masih berpola asimetrik. Proses reduksi ke kutub dilakukan untuk mengubah arah magnetisasi medan utama dalam arah vertikal sehingga posisi benda penyebabnya dapat diketahui dari anomali medan magnetiknya. Proses tersebut dilakukan dengan mengubah sudut inklinasi menjadi 90° dan sudut deklinasi menjadi 0° , karena pada kutub magnetik arah medan magnetik bumi dan arah magnetisasi induksinya mengarah ke bawah.



Gambar 4.8 Anomali Medan Magnet Setelah Proses Reduksi ke Kutub

Hasil dari proses reduksi ke kutub menunjukkan sumber anomali medan magnet lebih jelas dan lebih mudah dalam proses interpretasi data. Gambar 4.8 merupakan peta kontur anomali magnetik hasil dari proses reduksi ke kutub. Hasil di atas menunjukkan perbedaan yang signifikan dari anomali magnetik sebelum di reduksi ke kutub dengan anomali setelah di reduksi ke kutub. Dari skala warna pada gambar di atas menunjukkan anomali magnetik yang tinggi dengan warna merah sampai merah muda dengan nilai berkisar 0 nT sampai 723 nT, nilai anomali yang sedang yaitu warna hijau sampai kuning dengan nilai berkisar -100 nT sampai -400 nT sedangkan anomali yang rendah yaitu warna biru dengan nilai berkisar -401 nT sampai dengan -1000 nT.

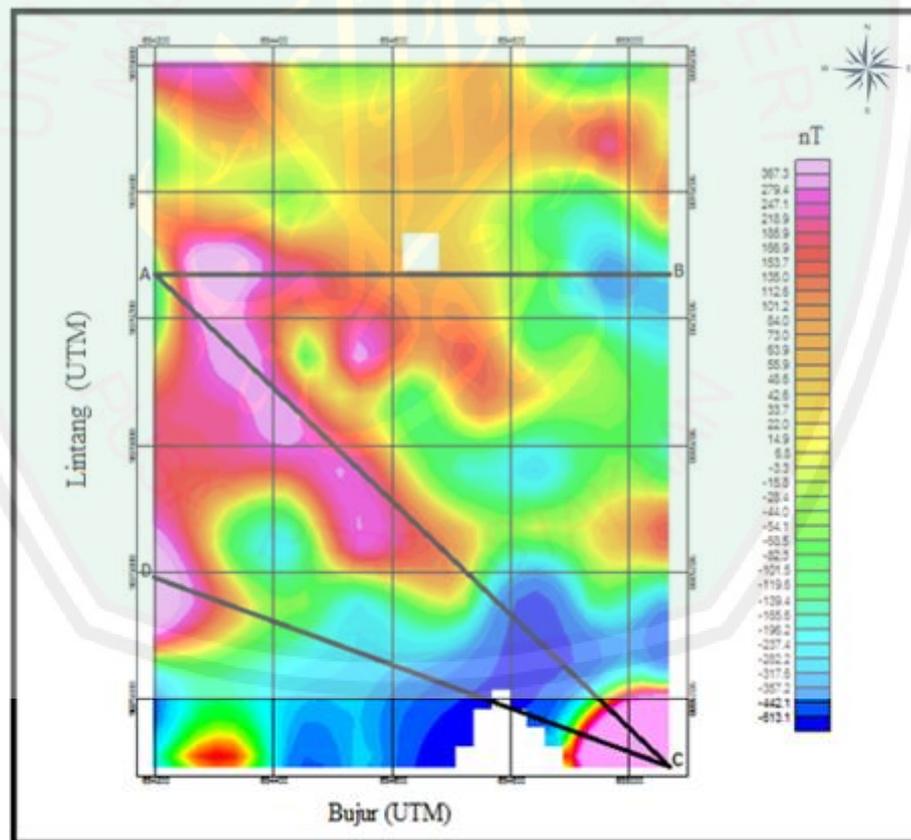
4.3 Interpretasi Kualitatif

Interpretasi kualitatif dilakukan untuk menganalisis daerah yang memiliki anomali yang diduga menjadi penyebab adanya anomali yang diteliti. Secara kualitatif peta kontur anomali yang didapat menunjukkan adanya anomali yang menjadi target dan anomali tersebut dapat dilihat dari hasil reduksi ke kutub dan hasil proses kontinuasi ke atas. Perubahan yang terjadi pada peta kontur bisa disebabkan oleh pola struktur yang ada di bawah permukaan atau karena ketidaseragaman batuan di bawah permukaan.

4.4 Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif dilakukan untuk menggambarkan struktur di bawah permukaan dari daerah penelitian dan untuk menentukan bentuk atau model serta

kedalaman benda anomali. Interpretasi ini dilakukan dengan menslice anomali magnetik dengan klosur positif dan klosur negatif yang terletak berdampingan. *Software* yang digunakan dalam pemodelan bawah permukaan adalah *Oasis Montaj (GM-SYS)*. Dalam melakukan interpretasi kuantitatif cara yang dilakukan berbeda-beda tergantung dari bentuk anomali yang diperoleh, sasaran yang dicapai dan ketelitian hasil pengukuran. Saat interpretasi kuantitatif masih terdapat ketidakpastian karena model, geometri dan kedalaman yang tidak pasti atau tidak menentu. Untuk mengurangi ketidakpastian tersebut maka diperlukan data pendukung berupa data geologi daerah penelitian, data nilai suseptibilitas batuan serta data geofisika lainnya.

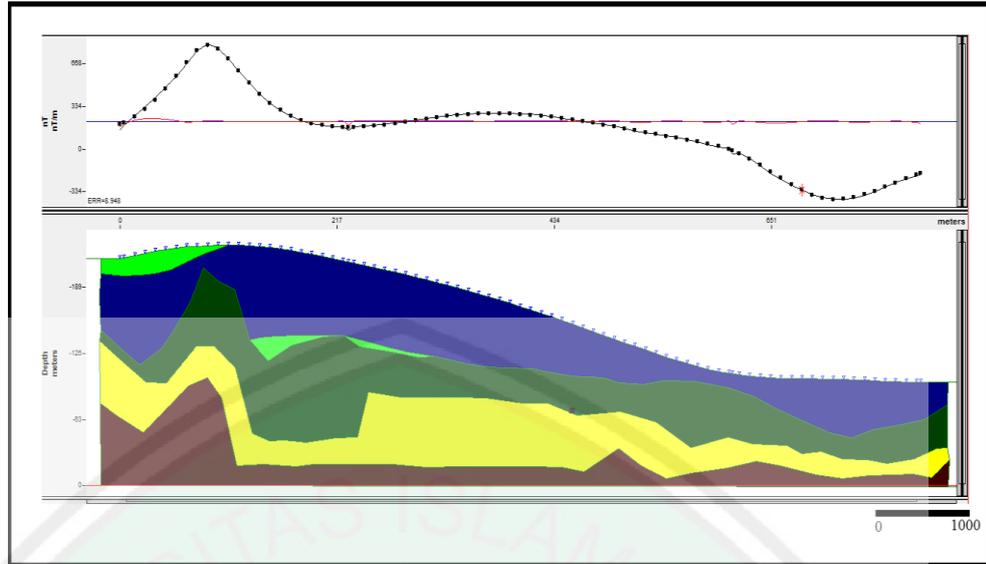


Gambar 4.9 Hasil *Slice* Pada Kontur Anomali Lokal

Pada gambar 4.9 merupakan anomali lokal dengan *slice* yang menunjukkan lintasan A-B, lintasan A-C dan lintasan C-D. Proses pemodelan di bawah permukaan dilakukan dengan menggunakan *software Oasis Montaj 6.4 (GM-SYS)* berdasarkan *slice* yang telah dibuat pada peta anomali lokal dengan acuan data geologi daerah penelitian serta dibutuhkan nilai suseptibilitas masing-masing batuan di daerah penelitian. Berdasarkan peta geologi yang dibuat Sujanto pada tahun 1992, kondisi geologi daerah penelitian didominasi oleh sebaran batuan tufa, breksi vulkanik, lava andesit, basalt.

4.4.1 Lintasan A-B

Setelah melakukan *slice* pada anomali lokal selanjutnya dilakukan pemodelan 2D untuk mengetahui kondisi geologi di bawah permukaan. Lintasan A-B dari arah barat laut ke arah tenggara melewati singkapan yang diduga zeolit. Gambar 4.10 adalah bentuk kurva dari anomali pengamatan yang berupa garis putus-putus hitam dengan anomali perhitungan yang berupa garis hitam tegas, sedangkan garis merah merupakan error. Pada pemodelan lintasan A-B diketahui nilai errornya adalah 8.948, dimana terdapat 2 anomali yaitu anomali positif dari 0 nT sampai 664 nT dari jarak 0 meter sampai 215 meter. Sedangkan anomali negatif dari -1 nT sampai -332 nT pada jarak 217 meter sampai 1000 meter. Pada gambar 4.10 juga merupakan gambar penampang bawah permukaan 2D dari lintasan A-B. Kedalaman pemodelan ini dari titik pengukuran adalah 200 meter.



Gambar 4.10 Lintasan A-B

Pada pemodelan lintasan A-B terdapat 5 *body* yang terdiri dari beberapa macam batuan. Pada tabel 4.1 merupakan batuan-batuan yang tersebar di daerah penelitian beserta nilai suseptibilitasnya.

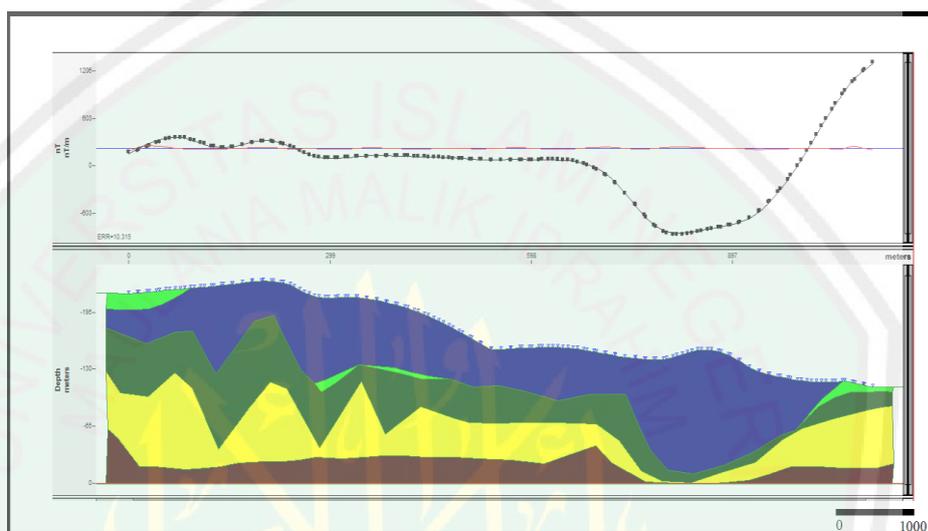
Tabel 4.1 Batuan yang Tersebar di Lintasan A-B dan Nilai Suseptibilitasnya

Warna	Nilai Suseptibilitas	Jenis Batuan
Biru	0.007 emu	Batuan gamping
Hijau Muda	0.035 emu	Batuan tufa yang berasosiasi dengan mineral zeolit
Hijau gelap	0.04 emu	Breksi Vulkanik
Kuning	0.05-0.06 emu	lava andesit
Merah Bata	0.07 emu	Batuan basalt

4.4.2 Lintasan A-C

Lintasan A-C melintang dari arah barat ke timur dengan melewati singkapan mineral zeolit. Gambar 4.11 merupakan kurva dari anomali pengamatan dan gambar penampang bawah permukaan 2D dari anomali

lokal untuk lintasan A-C. Pada pemodelan lintasan A-C nilai error yang didapat adalah 10.35, dimana terdapat beberapa anomali negatif dari -1 nT sampai -603 nT dengan jarak 260 meter sampai 950 meter. Sedangkan anomali positif dari 0 nT sampai 1000 nT dengan jarak 0 meter sampai 250 meter. Kedalaman lintasan ini dari titik pengukuran adalah 200 meter.



Gambar 4.11 Lintasan A-C

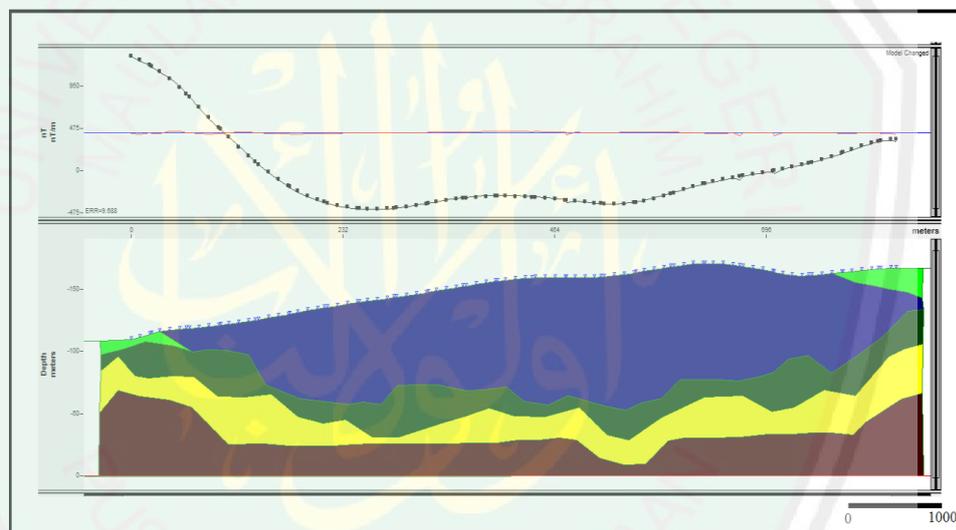
Pada pemodelan lintasan A-C terdapat 5 *body* beberapa batuan macam batuan. Pada tabel 4.2 merupakan batuan-batuan yang tersebar di daerah penelitian beserta nilai suseptibilitasnya.

Tabel 4.2 Batuan yang Tersebar di Lintasan A-C dan Nilai Suseptibilitasnya

Warna	Nilai Suseptibilitas	Jenis Batuan
Biru	0.009 emu	Batuan gamping
Hijau Muda	0.030 emu	Batuan tufa yang berasosiasi dengan mineral zeolit
Hijau gelap	0.04 emu	Batuan breksi vulkanik
Kuning	0.056 emu	Lava andesit
Merah Bata	0.07 emu	Batuan basalt

4.4.3 Lintasan C-D

Lintasan C-D melintang dari arah barat laut ke tenggara dengan melewati singkapan mineral zeolit. Gambar 4.12 merupakan kurva dari anomali pengamatan dan gambar penampang bawah permukaan 2D dari anomali lokal untuk lintasan C-D. Pada pemodelan lintasan C-D nilai error yang didapat adalah 9.688, dimana terdapat beberapa anomali negatif dari -1 nT sampai -474 nT dengan jarak 100 meter sampai 1000 meter. Sedangkan anomali positif dari 0 nT sampai 1000 nT dengan jarak 0 meter sampai 100 meter. Kedalaman lintasan ini dari titik pengukuran adalah 150 meter.



Gambar 4.12 Lintasan C-D

Pada pemodelan lintasan C-D terdapat 5 *body* beberapa batuan macam batuan. Pada tabel 4.3 merupakan batuan-batuan yang tersebar di daerah penelitian beserta nilai suseptibilitasnya.

Tabel 4.3 Batuan yang Tersebar di Lintasan C-D dan Nilai Suseptibilitasnya

Warna	Nilai Suseptibilitas	Jenis Batuan
Biru	0.007 emu	Batuan gamping
Hijau Muda	0.030 emu	Batuan tufa yang berasosiasi

		dengan mineral zeolit
Hijau gelap	0.04 emu	Batuan breksi vulkanik
Kuning	0.06 emu	Lava andesit
Merah Bata	0.07 emu	Batuan basalt

4.5 Proses Pembentukan Mineral Zeolit

Pada pemodelan A-B, A-C, dan C-D mineral zeolit tersebar setempat-setempat, dimana mineral zeolit menempati cekungan-cekungan pada batuan lainnya. Batuan yang terbentuk ada 5 body yaitu batuan gamping, batuan tufa, batuan breksi vulkanik, lava andesit dan batuan basalt. Secara geokronologi batuan yang umurnya lebih tua adalah batuan basalt, dilanjutkan lava andesit, batuan yang umurnya muda adalah batuan breksi vulkanik dan batuan tufa, sedangkan batuan paling muda adalah batuan gamping dan batuan tufa yang berasosiasi dengan mineral zeolit. Batuan yang terbentuk di atas berasal dari aktivitas gunung meletus, seperti batuan basalt yang terbentuk karena pembekuan magma dan breksi vulkanik berasal dari abu vulkanik. Lava andesit terbentuk karena pembekuan lava dan batuan gamping terbentuk dari koral atau batu karang. Mineral zeolit berasal dari abu vulkanik yang terbawa angin dan menempati suatu cekungan, karena pengaruh suhu dan tekanan serta kandungan senyawa aluminium dan silika pada abu vulkanik yang bereaksi dengan senyawa alkali tanah maka terbentuklah mineral zeolit tersebut. Berdasarkan hasil pemodelan kuantitatif mineral zeolit menempati cekungan laut dangkal, karena pengaruh tektonik maka terjadi pengangkatan lapisan endapan dan membentuk endapan di atas permukaan laut.

Pada daerah penelitian ini mineral zeolit berasosiasi dengan batuan tufa. Mineral zeolit sebelumnya termasuk dalam kategori batuan lempung akan tetapi karena kerangka dari mineral zeolit dan batuan lempung itu berbeda maka mineral zeolit dibuat spesifikasi sendiri. Mineral zeolit selain berasosiasi dengan batuan tufa atau basalt, zeolit juga berasosiasi dengan ion Fe, Ca, dan Mn.

Daerah penelitian ini secara stratigrafi terdapat lipatan-lipatan kompleks dan sering terjadi sesar (patahan). Selain itu daerah penelitian sering terjadi gempa tektonik sehingga menyebabkan adanya pergeseran tanah dan daerah ini memiliki kemiringan tanah yang sedikit dalam serta dekat dengan lokasi bahan galian mineral.

Fisiografi regional daerah Malang Selatan masuk ke dalam zona pegunungan selatan. Zona pegunungan selatan terletak pada bagian selatan dan relatif sejajar dengan pantai selatan Pulau Jawa. Zona pegunungan selatan ini memanjang barat – timur mirip plateau karena kedudukan batuan penyusunnya dengan kemiringan yang relatif kecil. Pola morfologi pegunungan selatan Jawa Timur banyak dikontrol oleh litologi dan struktur geologi, sehingga menimbulkan tiga kenampakan morfologi yaitu: Dataran Aluvial, Perbukitan dengan relief landai dan Pegunungan dengan relief tinggi. Dataran Aluvial pada umumnya menempati daerah – daerah depresi yang terjadi oleh adanya graben pada daerah tersebut. Daerah perbukitan dengan relief landai ditempati oleh batu pasir dan batu gamping. Daerah pegunungan dengan relief tinggi dibentuk oleh batuan tufa, breksi, lava dan batuan intrusi (Yuwanto, 2017).

4.6 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan dalam Pandangan Al-Qur'an

Dalam al-Qur'an telah dijelaskan kepada manusia tentang lapisan-lapisan bumi. Selain itu secara ilmiah telah banyak dilakukan kajian dan penelitian secara geofisika dan geologi bahwa bumi memiliki tujuh lapisan yang menyelubung sampai inti bumi. Setiap lapisan yang ada di bumi memiliki kandungan mineral atau kekayaan yang berbeda-beda, dimana perbedaan tersebut tergantung dari kondisi geologi dari lapisan. Kandungan dalam lapisan bumi dapat diketahui dari perbedaan warna lapisannya.

Bumi yang terdiri dari lapisan-lapisan telah dijelaskan dalam surat Ath-Thalaq (65):12:

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَوَاتٍ وَمِنَ الْأَرْضِ مِثْلَهُنَّ يَتَنَزَّلُ الْأَمْرُ بَيْنَهُنَّ لِتَعْلَمُوا أَنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ وَأَنَّ اللَّهَ قَدْ أَحَاطَ بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمًا ﴿١٢﴾

“Allah-lah yang menciptakan tujuh langit dan seperti itu pula bumi. perintah Allah berlaku padanya, agar kamu mengetahui bahwasannya Allah maha kuasa atas segala sesuatu, dan Sesungguhnya Allah ilmu-Nya benar-benar meliputi segala sesuatu” (Q.S Ath-Thalaq:12).

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah menciptakan tujuh langit sama pula dengan Allah menciptakan bumi dengan memiliki lapisan-lapisan sebanyak tujuh lapisan. Berdasarkan dari ayat (*Allah-lah yang menciptakan tujuh langit dan seperti itu pula bumi*) diketahui bahwa langit dan lapisan bumi itu sama.

Dalam Surat Al-Faathir (35) ayat 27 menjelaskan perubahan bentuk suatu benda yang dapat dilihat melalui perubahan warnanya:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُّخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا ۗ وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيْضٌ وَحُمْرٌ مُّخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ ﴿٢٧﴾

“Tidakkah kamu melihat bahwasanya Allah menurunkan hujan dari langit lalu Kami hasilkan dengan hujan itu buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat”(Q.S Faathir ayat 27).

Kata (جُدَدٌ) adalah bentuk jamak dari (جُدَّةٌ) yang artinya tanda dan jalan beraneka warna. Ibnu Hajar berpendapat bahwa kata (جُدَدٌ) berarti bagian (potongan). Sedangkan menurut Al Jauhari bahwa kata (جُدَدٌ) yaitu titik atau bintik yang berada di punggung keledai yang memiliki warna yang berbeda. Bentuk jamak dari kata (الْجُدَّةُ) adalah (جُدَدٌ) yang artinya jalan. Ada juga yang berpendapat bahwa maksudnya adalah jalan yang tidak sama dengan warna gunung (Al-Mahalli, 2009).

Kemukjizatan ayat ini dari segi ilmu pengetahuan tidak hanya membahas perbedaan warna dari gunung karena perbedaan kandungan materi-materi yang ada di dalam batuan penyusunnya. Jika warnanya merah maka kandungan didalamnya didominasi oleh besi, jika warnanya hitam dominan materinya adalah batu bara. Jika warnanya kehijau-hijauan maka dominan materi penyusunnya adalah perunggu dan seterusnya (Shihab, 2002).

Menjelaskan tentang kekuasaan-Nya. Allah menurunkan hujan dari langit, sehingga tanaman bisa tumbuh dan mengeluarkan buah yang beraneka warna, rasa dan aroma. Dalam ilmu saintis garis-garis warna juga bisa dijumpai dalam batuan paling umum pada batuan sedimen. Batuan sedimen terbentuk dari hasil pengendapan bahan yang terangkut oleh aliran air dan angin. Tempat pengendapan bahan sedimen ini umumnya terletak pada bagian-bagian yang rendah dimana kecepatan tenaga pengangkut berkurang. Setiap lapisan-lapisan pada batuan sedimen memiliki warna yang berbeda-beda. Perbedaan warna ini terutama dicirikan oleh perbedaan susunan mineralogis, misalnya: mineral-

mineral yang mengandung senyawa besi oksida (hemtit) berwarna merah dan mineral-mineral yang mengandung alomino-silikat (kaolin) berwarna putih.

Berdasarkan kondisi geologi dari daerah penelitian ditinjau dari peta geologi dan juga berdasarkan penelitian lapangan yang telah dilakukan, daerah penelitian didominasi oleh batuan tufa, basalt, lava andesit dan breksi. Karena kandungan yang berbeda serta materi pendukung yang berbeda tiap lapisan atau pengaruh materi-materi lainnya misalnya ion-ion, akhirnya membentuk gundukan-gundukan atau dalam ayat diatas disebut gunung-gunung yang beraneka warna.

Dalam ayat di atas juga memberi manfaat bagi kehidupan manusia, segala sesuatu yang telah diciptakan memiliki maksud dan tujuan untuk masa depan. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa di dalam bumi terdapat material-material yang berguna dan dapat dimanfaatkan untuk masa mendatang dengan dan tanpa bantuan teknologi. Seperti mineral zeolit ini yang bisa dimanfaatkan diberbagai bidang diantaranya peternakan, industri dan pertanian.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data dan interpretasi data geomagnet maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Keberadaan mineral zeolit terdeteksi pada lintasan A-B, A-C, C-D bersifat setempat, dan berasal dari abu vulkanik yang terpengaruh oleh suhu dan tekanan serta menempati cekungan geologi selama proses pengendapannya.
2. Litologi batuan yang tersebar di bawah permukaan adalah batuan basal, batuan breksi vulkanik, lava andesit, batuan tufa yang berasosiasi dengan mineral zeolite dan batuan gamping.

5.2 Saran

Pada penelitian ini perlu dilakukan penelitian lanjutan baik dengan metode geofisika lainnya ataupun dengan data tambahan dari uji laboratorium dengan memperluas daerah penelitian agar dapat diidentifikasi sebaran mineral zeolit yang lebih luas lagi. Pada tahap interpretasi penelitian ini menggunakan model forward modeling mungkin pada penelitian lanjutan bisa dicoba dengan model inversi agar bisa diketahui perbedaannya lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah. 2013. Pemanfaatan Amonium Zeolit dan Polimer dalam Pengolahan Limbah Air Pendingin Reaktor Nuklir. *Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah Vol 16 No 2*.
- Al-Baghawi, Abu Muhammad al-Husain bin Mas'ud al-Farra'. 2005. *Mukhtashar Tafsir al-Baghawi*. Kuwait: Maktabah Sabi'ah.
- Al-Mahalli, Imam Jalaluddin. 2009. *Terjemahan Tafsir Jalalain Berikut Asbabun Nuzul Jilid 2*. Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- Al-Qur'an dan Terjemahannya. 2008. Departemen Agama RI. Bandung: Diponegoro.
- Al-Qurthubi, Imam. 2007. *Tafsir Al-Qurthubi*. Penj. Hamzah, Amir. Jakarta: Pustaka Azzam.
- Anonymous. 2007. *Medan Magnet Bumi*.
(<http://www.doctorgeologyindonesia.blogspot.com> diakses tanggal 20 Mei 2018 pukul 14.00 WIB)
- Anonymous. 2012. *IGRF Definitions*.
(<http://www.geomag.bsg.ac.uk> diakses tanggal 10 September 2018)
- Blakely, Richard J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. New York: Cambridge University Press.
- Budi, Esmar, ddk. 2012. *Penggunaan Membran Keramik Berbasis Zeolit dan Clay dengan Karbon Aktif Sebagai adiktif untuk Penurunan Kadar Fe dan Mn Pada Air Tanah Daerah Bekasi*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- ESDM. 2012. Potensi Mineral Zeolit di Jawa Timur.
(<http://www.esdm.jatimprov.go.id> diakses tanggal 20 Desember 2017. Pukul 09.00 WIB)
- Heraldly, Eddy, ddk. 2003. Karakteristik dan Aktivasi Zeolit Alam Ponorogo. *Indonesian Journal of Chemistry*. Surabaya: Universitas Sebelas Maret.
- Huertas, F. Javier. 2018. Hydrothermal synthetis of zeolites Using Sanitary Ware as a Raw Material. *Applied Clay Science*. University of Granda.

- Hiskiawan, Puguh. 2014. *Pemetaan Mineral Konduktif dengan Metode Geomagnetik di Karst Puger kabupaten Jember*. Jember: Universitas Jember.
- Hoang, Phan Huy. 2015. Synthesis of Magnetically Recyclable ZSM-5 Zeolite for Styrene Epoxide. *Chemical Engineering Journal*. Hanoy University of Science and Technology.
- Juarsah, Ishak. 2016. Pemanfaatan Zeolit dan Dolomit Sebagai Pembenhah untuk Meningkatkan Efisiensi Pemupukan Pada Lahan Sawah. *Jurnal Agro Vol. III No. 1*.
- Kahfi, Rian Arifan dan Tony Yulianto. 2008. *Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Emas dengan Menggunakan Metode Magnetik di Papadayan Garut Jawa Barat*. Berkala Fisika. Vol 11, No. 4.
- Munadi, Suprajitno. 2001. *Instrumentasi Geofisika Program Studi Geofisika*. Depok: Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Indonesia.
- Noor, Djauhari. 2014. *Pengantar Geologi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Nuha, Dafihiy. 2012. *Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Daerah Sumber Air Panas Songgoriti Kota Batu Berdasarkan Data Geomagnetik*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Oxtoby, David W. 2003. *Prinsip-Prinsip Kimia Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Pollung. Siagian. 2005. Penggunaan zeolite dalam bidang peternakan. *Jurnal zeolite Indonesia vol. 4 (2)*.
- Rosid, Syamsu. 2008. *Geomagnetic Method Lecture Note. Physic Departement*. Depok: FMIPA UI.
- Santoso, Djoko. 2002. *Diktat Kuliah TG-424 Eksplorasi Energi Panas Bumi*. Jurusan Teknik Geologi. Bandung: ITB
- Sarkowi, Muh. 2010. *Buku Ajar Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung: Universitas Lampung.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al Misbah: pesan, kesan dan keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera hati.
- Simons, Barbara Brooks. 2010 *Minerals and Rocks*. China: Benchmark Education Company.
- Srijatno. 1980. *Diktat Kuliah Geofisika Terapan*. Bandung: Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung.

- Sujanto, dkk. 1992. *Peta Geologi Lembar Turen, Jawa Timur*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Telford, W.M, Geldart L.P., dan Sheriff R.E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Tjasyono, Bayong. 2006. *Ilmu Kebumian dan Antariksa*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Untung, Muhammad. 2001. *Dasar-Dasar Magnet dan Gaya Berat serta Beberapa Penerapannya (Seri Geofisika)*: Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia.
- Winarni, Ayu Zahrotul Wahidah. 2015. *Identifikasi Batuan yang Mengandung Mineral Zeolit Sebagai Absorben Logam Berat Berdasarkan Sifat Fisika Batuan di Desa Kedung Banteng Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang*. Malang: Jurusan FMIPA.
- Yang, Mingguo, dkk. 2014. The Relationships between Magnetic Suseptibility and Elemental Variations for Mineralized Rocks. *Journal of Geochemical Exploration*. China University of Geosciences.
- Yuwanto, Sapto Heru dan Muhammad Ridwan. 2017. *Studi Zona Alterasi Daerah Argotirto dan Sekitarnya, kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur*. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Zamroni, Husen. 2002. Penggunaan Zeolit dalam Bidang Industri dan Lingkungan. *Jurnal Zeolit Indonesia Vol.1 No.1 ISSN: 1411-6723*.

The logo is a shield-shaped emblem with a light green background and a white border. It features the text "UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM" in a circular arrangement at the top and "PUSAT PERPUSTAKAAN" at the bottom. In the center, there is a yellow calligraphic design. The word "LAMPIRAN" is superimposed over the logo in a large, bold, black serif font.

LAMPIRAN

Lampiran 1
Data Hasil Penelitian Di Lapangan

A. Hari Pertama (8 September 2018)

Waktu (s)	Lintang (UTM)	Bujur (UTM)	Ketinggian (m)	Intensitas Medan Magnet Total (nT)
28859	9076413.69	684179.23	236	45047.612
29500	9076444.83	684227.094	231	44952.48
29900	9076343.43	684230.335	219	45104.92
30384	9076253.1	684231.788	213	45125.96
30710	9076157.22	684236.888	210	45087.44
31735	9076048.48	684234.591	183	45128.9
32250	9075947.09	684235.996	174	45094.32
33040	9076044.35	684339.215	192	45141.2
33630	9075952.18	684338.824	181	45093.56
34085	9075847.12	684336.542	160	44782.32
34753	9075743.88	684339.775	160	44981.48
35312	9075640.64	684341.172	169	44710.12
35730	9075535.63	684327.875	166	44894.96
36295	9075550.71	684249	149	44760.72
36760	9075642.89	684245.72	165	44700.68
37090	9075751.67	684240.674	168	45272.4
37645	9075849.39	684235.582	165	45144.44
38700	9076143.81	684356.16	231	45318.8
39335	9076239.71	684347.388	226	45196.48
39615	9076346.69	684331.32	239	45097
40362	9076444.38	684331.734	264	44992.4
40728	9076519.87	684352.249	271	45129.04
41012	9076545.4	684418.448	285	45018.48
41552	9076462.4	684430.946	267	44993.32
44833	9076445.4	684526.337	240	45028.84
45563	9076337.08	684423.07	237	44978.48
46520	9076255.92	684435.576	209	45230.72
47055	9076145.34	684431.435	227	44975.24
47570	9076038.43	684430.981	223	45327.36
48375	9075944.4	684434.253	190	45030.36
48658	9075848.56	684432.01	176	44676.44
48990	9075752.68	684437.11	178	44873.56
49445	9076145.31	684438.778	175	44837.56

50575	9075544.36	684441.732	159	44482.56
51615	9075540.28	684535.34	145	44565.2
52685	9075630.55	684548.574	142	44585.68
53285	9075743.08	684527.023	173	44598.12
54115	9075748.19	684626.179	193	44818.28
54920	9075838.87	684542.117	208	45172.08
55652	9075955.19	684498.552	215	45231.68
56458	9076086.05	684502.78	203	44938
57495	9076137.54	684530.536	183	45296.12
59455	9076302.53	684312.774	231	45787.76
60250	9076413.69	684179.23	236	45055.92

Koreksi Harian (nT)	Koreksi IGRF (nT)	Anomali Medan Magnet Total (nT)
0	45054	-6.388
0.169648243	45054	-101.6896482
0.275512981	45054	50.64448702
0.403609315	45054	71.55639069
0.489889076	45054	32.95011092
0.761167468	45054	74.13883253
0.897468319	45054	39.42253168
1.106551177	45054	86.09344882
1.262701666	45054	38.29729833
1.383122806	45054	-273.0631228
1.559916919	45054	-74.07991692
1.707862891	45054	-345.5878629
1.818491542	45054	-160.8584915
1.968025485	45054	-295.2480255
2.091093243	45054	-355.4110932
2.178431652	45054	216.2215683
2.325318977	45054	88.11468102
2.604537224	45054	262.1954628
2.772597496	45054	139.7074025
2.846702813	45054	40.15329719
3.044405212	45054	-64.64440521
3.141271447	45054	71.89872855
3.216435411	45054	-38.73643541
3.359352808	45054	-64.03935281
4.227708324	45054	-29.38770832
4.420911471	45054	-79.94091147
4.674192858	45054	172.0458071
4.815786945	45054	-83.57578695
4.952087796	45054	268.4079122

5.165140582	45054	-28.80514058
5.240039884	45054	-382.8000399
5.327907617	45054	-185.7679076
5.448328757	45054	-221.8883288
5.747396642	45054	-577.1873966
6.022644962	45054	-494.822645
6.305833137	45054	-474.6258331
6.464630244	45054	-462.3446302
6.684299576	45054	-242.4042996
6.897352362	45054	111.1826476
7.091084833	45054	170.5889152
7.304402281	45054	-123.3044023
7.578856615	45054	234.5411434
8.097593833	45054	725.6624062
8.308	45054	-6.388



B. Hari Kedua (9 September 2018)

Waktu (s)	Lintang (UTM)	Bujur (UTM)	Ketinggian (m)	Intensitas Medan Magnet Total (nT)
28250	9076413.694	684179.23	236	45044.84
29730	9075858.366	684725.781	148	44969.6
30230	9075751.446	684727.162	153	44856
31725	9075946.822	684731.665	127	44717.2
32395	9075925.148	684626.931	149	44997.36
33357	9076065.248	684625.692	157	44777
33800	9076053.711	684737.628	121	45051.84
34210	9076142.222	684730.661	126	45130.84
35453	9076069.911	684829.488	107	44990.96
35875	9076163.912	684831.724	98	44826.6
36640	9076278.096	684856.076	104	44960.4
37370	9076357.437	684838.055	109	44870.08
38255	9076172.675	684938.239	83	44908.68
39000	9076065.778	684934.112	88	44899.56
40430	9076065.364	685031.409	88	44866.64
40974	9075966.27	684926.345	99	44836.44
41407	9075968.544	684825.384	115	44586.72
42010	9075865.31	684826.781	126	44938.32
42957	9075859.358	684925.889	114	44931.68
43150	9075759.842	684919.958	210	44808.48
43450	9075662.161	684915.87	128	44274.72
44125	9075763.912	684830.02	138	44102.68
45000	9075774.142	685024.66	93	44784.88
45740	9075667.237	685022.368	88	44550.44
48034	9075565.894	685012.757	116	45785.48
50325	9075860.778	685025.029	90	45024.84
50560	9075958.427	685036.46	72	44816.92
51697	9075792.521	685037.589	63	44744.16
52237	9076255.195	685039.561	84	44658.28
52955	9076268.489	684947.826	99	44493.6
53605	9076363.974	685034.517	117	44927.8
54007	9076467.184	685038.629	137	45020.28
54603	9076564.896	685035.373	162	44980.8
55075	9076563.459	684939.903	158	44948.08
55502	9076469.427	684945.01	139	45205.56
56125	9076406.761	684942.908	116	44880.52

57614	9076571.239	684844.473	165	45007.92
60042	9076561.124	684622.293	247	45001.04
60905	9076330.238	684298.205	243	45104.16
61230	9076413.694	684179.23	236	45046.24

Koreksi Harian (nT)	Koreksi IGRF (nT)	Anomali Medan Magnet Total (nT)
0	45054	-9.16
0.062825955	45054	-84.46282596
0.08405094	45054	-198.0840509
0.147513645	45054	-336.9475136
0.175955124	45054	-56.81595512
0.216791995	45054	-277.216792
0.235597332	45054	-2.395597332
0.253001819	45054	76.58699818
0.305767132	45054	-63.34576713
0.323681019	45054	-227.723681
0.356155246	45054	-93.95615525
0.387143723	45054	-184.3071437
0.424711947	45054	-145.7447119
0.456337174	45054	-154.8963372
0.517040631	45054	-187.8770406
0.540133414	45054	-218.1001334
0.558514251	45054	-467.8385143
0.584111583	45054	-116.2641116
0.624311704	45054	-122.9443117
0.632504548	45054	-246.1525045
0.645239539	45054	-779.9252395
0.673893269	45054	-951.9938933
0.711036992	45054	-269.831037
0.74244997	45054	-504.30245
0.8398302	45054	730.6401698
0.937083081	45054	-30.09708308
0.947058824	45054	-238.0270588
0.995324439	45054	-310.8353244
1.018247423	45054	-396.7382474
1.048726501	45054	-561.4487265
1.076318981	45054	-127.276319
1.093383869	45054	-34.81338387

1.118684051	45054	-74.31868405
1.138720437	45054	-107.0587204
1.156846574	45054	150.4031534
1.183292905	45054	-174.6632929
1.24650091	45054	-47.32650091
1.349569436	45054	-54.30956944
1.38620376	45054	48.77379624
1.4	45054	-9.16

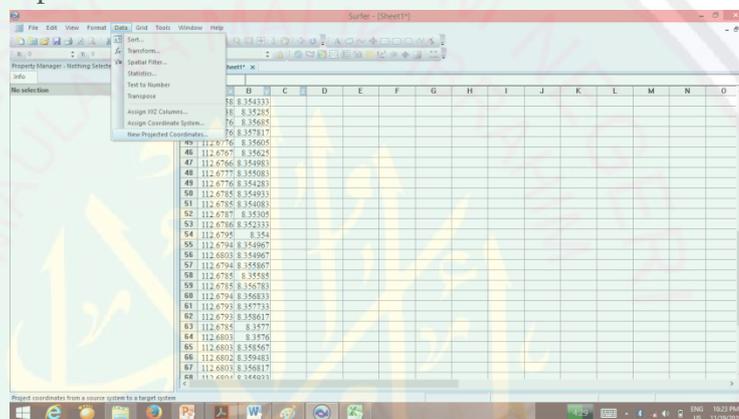


Lampiran 2 Proses Pengolahan Data

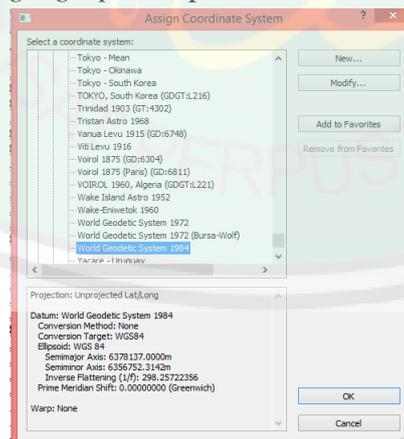
A. Pembuatan Kontur

1. Tahap koreksi IGRF

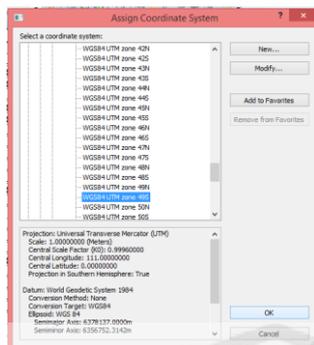
- Koreksi dilakukan di Surfer12, klik *new worksheet*.
- Kolom A (x) diisi dengan koordinat bujur (UTM) kolom B (y) diisi koordinat lintang (UTM) dan kolom C (z) diisi dengan ketinggian.
- Proses mengubah derajat ke dalam UTM.
 - a. Kolom A (x) diisi dengan koordinat bujur (derajat), kolom B (y) diisi dengan koordinat lintang (derajat).
 - b. Klik data – *new project coordinat*, maka akan muncul kolom seperti berikut:



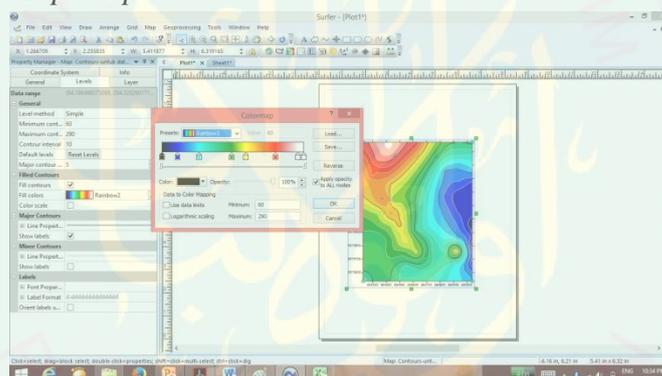
- c. Pilih *source* koordinat sistem, klik *unferenced local system* – pilih *geographic* – pilih *WGS 1984* – klik ok.



- d. Pilih target koordinat sistem, klik *unferenced local system* -- pilih *predefinet* – pilih UTM – pilih zona daerah penelitian (49s) klik ok.



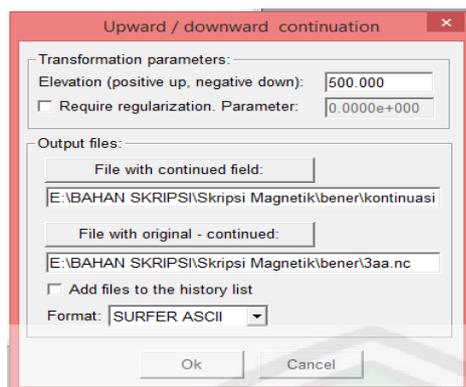
- e. Maka akan muncul koordinat utm pada kolom D (koordinat bujur dalam UTM), dan kolom E (koordinat lintang dalam UTM).
 - f. Maka diganti posisi pada kolom A dan B (koordinat derajat) dengan koordinat dalam bentuk UTM.
 - g. Save dalam type “*BLN Golden Software Blanking*”.
- *Grid* – data – data lokasi (x,y,z) – ok (dihasilkan file dalam type GRD) – save.
 - Memunculkan *contour* adalah *Map – contour Map – New contour Map – Open* data hasil *Grid*



- Pada *properties manager* klik *levels* – *file color* – pilih spectrum warna.
- Save dalam format *jpg*.

B. Kontinuasi ke Atas

1. *Open Magpick* – *file* – *open* (kontur anomali).
2. Klik *Operation* – *Upward Continuation*. Maka akan muncul seperti gambar di bawah ini.

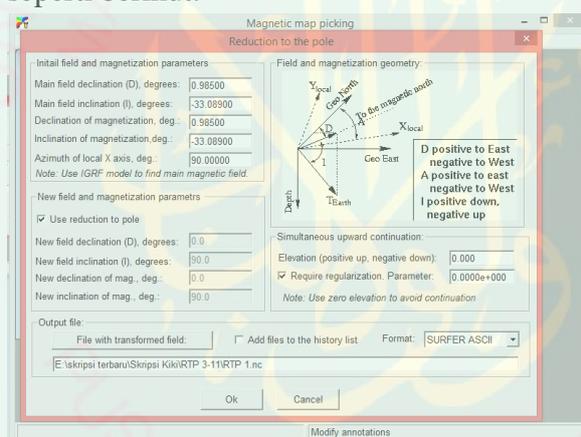


Keterangan gambar:

- Masukkan parameter transformasi ketinggian untuk medan kontinuitas ke atas, positif untuk *upward* dan negatif untuk *downward*.
- Simpan dalam format *grid file* (*.grd).

C. Reduksi ke Kutub

- Open Magpick – file – open* (pilih data anomali lokal dalam bentuk grd).
- Klik *Operation – Reduction on the pole*. Maka akan muncul gambar seperti berikut:



Keterangan gambar:

- Nilai inklinasi dan deklinasi dimasukkan.
- Parameter yang sama seperti no.1 dimasukkan tetapi untuk magnetisasi direkomendasikan untuk memulai dengan nilai yang sama seperti medan magnet utama.
- Azimuth dari sumbu x lokasi 90^0 jika berada di Timur.

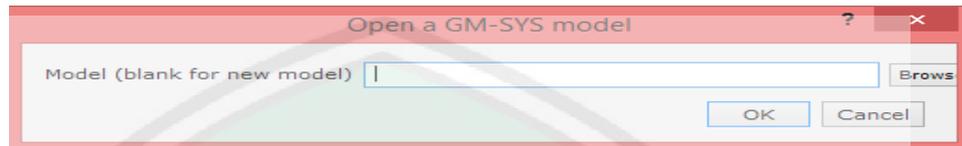
D. Pemodelan

- Sebelumnya *slice* dilakukan di *Software Surfer12*.
- Slice* dilakukan pada kontur anomali lokal dan topografi. Pilihlah titik yang akan di *slice*.
- Setelah itu diperoleh data dan di simpan dalam format txt.
- Proses selanjutnya di *software GM-SYS*.

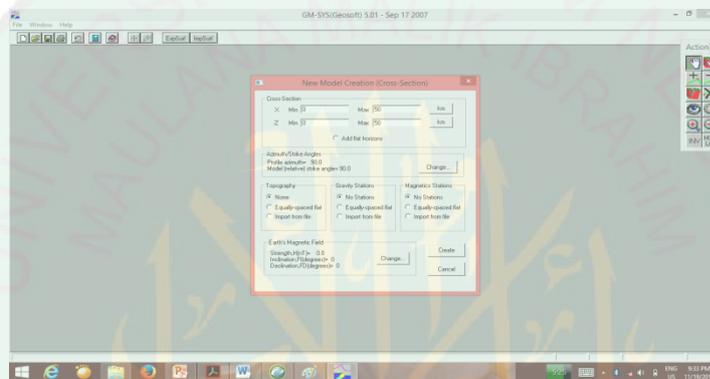
5. Open new blank model
6. Maka akan muncul window seperti berikut:



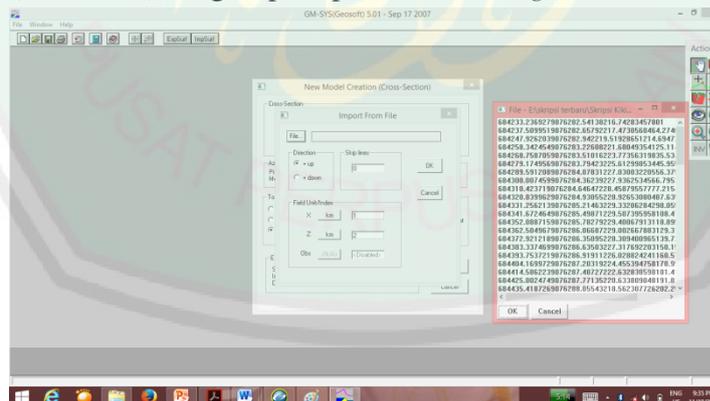
Klik ok



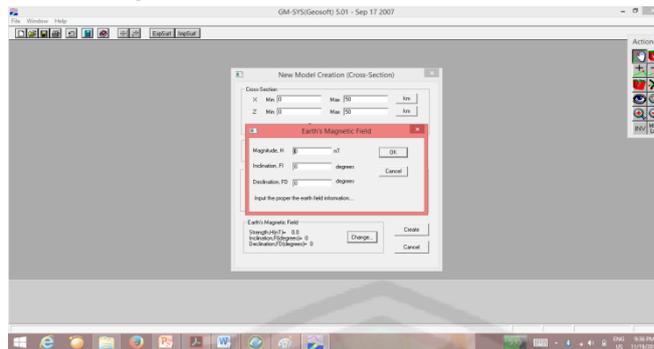
7. Klik file – new model (Dept) – tentukan x (max) dan y (max), seperti berikut:



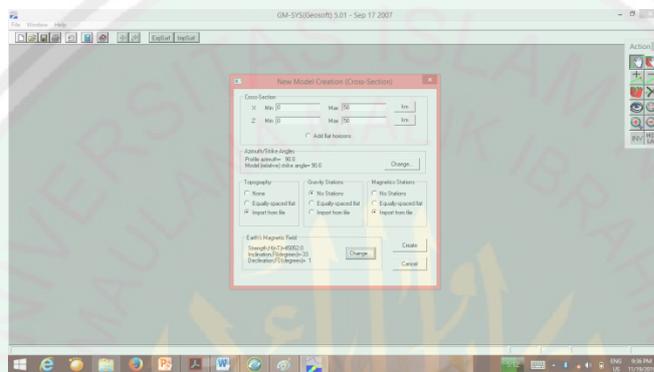
8. Kemudian pada kotak topografi klik import file topografi dari hasil *slice* (format txt). Begitu pula pada kolom *magnetic station*.



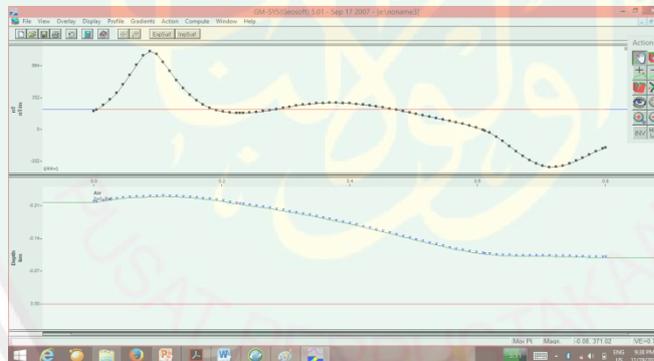
9. Klik *charge*.



10. Klik *creat*.



11. Maka akan muncul gambar seperti berikut:

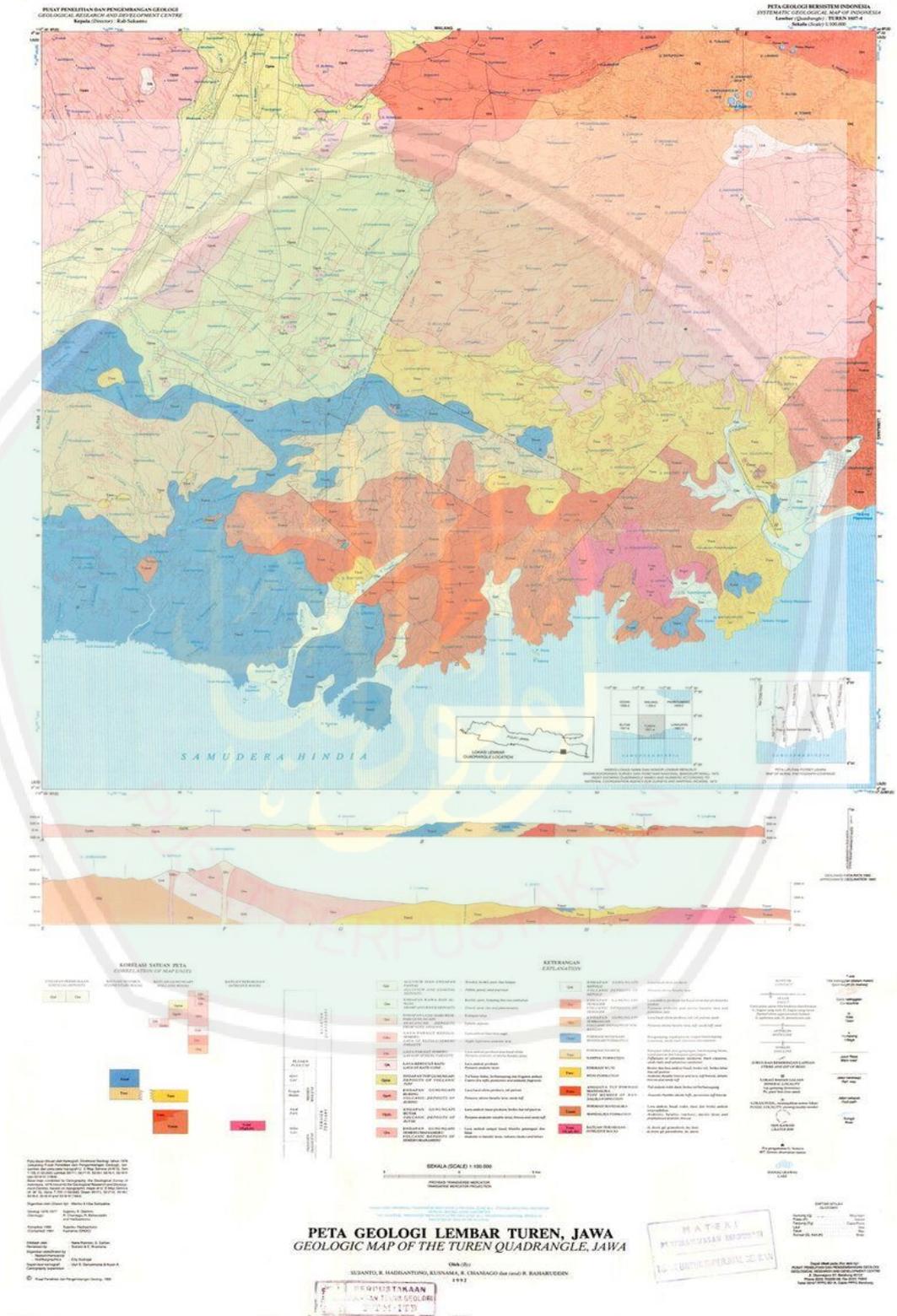


12. Buatlah perlapisan sesuai dengan data geologi daerah penelitian (pada kolom *Dept*).

Lampiran 3 Proses Pengambilan Data



Lampiran 4 Lembar Geologi Turen



Lampiran 5 Hasil Uji Laboratorium

	<p>UNIVERSITAS NEGERI MALANG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL) Jalan Semarang 5, Malang 65145 Telp. 0341-551312 (psw 200) 574895/08510601088 E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id Website : central-laboratory.um.ac.id</p>																																
<p>LAPORAN HASIL UJI No. LSUM.LHU.E.00334.2018</p>																																	
<p>Nomor Pengujian : LSUM.P.00310.2018 Nomor Sampel : Zeolit (E 315) Nama Pelanggan : Kiki Arista Instansi Pelanggan : UIN Malang Jenis Karakterisasi : XRF Sampel Diterima Tanggal : 12 April 2018</p>																																	
<p>Hasil</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Compound</th> <th>Conc (%)</th> <th>Metode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Al</td><td>4,7</td><td rowspan="14" style="text-align: center; vertical-align: middle;">XRF</td></tr> <tr><td>Si</td><td>30,7</td></tr> <tr><td>K</td><td>4,33</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>36,7</td></tr> <tr><td>Ti</td><td>0,84</td></tr> <tr><td>V</td><td>0,04</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,069</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>0,76</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>20,4</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>0,096</td></tr> <tr><td>Sr</td><td>0,81</td></tr> <tr><td>Ba</td><td>0,08</td></tr> <tr><td>Eu</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>Re</td><td>0,29</td></tr> </tbody> </table>		Compound	Conc (%)	Metode	Al	4,7	XRF	Si	30,7	K	4,33	Ca	36,7	Ti	0,84	V	0,04	Cr	0,069	Mn	0,76	Fe	20,4	Cu	0,096	Sr	0,81	Ba	0,08	Eu	0,2	Re	0,29
Compound	Conc (%)	Metode																															
Al	4,7	XRF																															
Si	30,7																																
K	4,33																																
Ca	36,7																																
Ti	0,84																																
V	0,04																																
Cr	0,069																																
Mn	0,76																																
Fe	20,4																																
Cu	0,096																																
Sr	0,81																																
Ba	0,08																																
Eu	0,2																																
Re	0,29																																
<p>Keterangan :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji 2. Dilarang mengandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju. 																																	
<p>Malang, 17 April 2018 Kepala Lab. Mineral dan Material Maju</p>  <p>FDRs: Abdullatif Fuad, M.Si NIP. 196302221988121002</p>																																	



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Kiki Arista
NIM : 14640019
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Identifikasi Sebaran Mineral Zeolit menggunakan Metode Geomagnet (Studi Kasus: Desa Sumberagung Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang)
Pembimbing I : Irjan, M.Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M.Pd

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	13 Maret 2018	Konsultasi Bab I	
2	09 April 2018	Konsultasi Bab II, dan III	
3	23 April 2018	Konsultasi Bab I, II, dan III	
4	14 Mei 2018	Konsultasi Bab I, II, III, dan ACC	
5	24 September 2018	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
6	16 April 2019	Konsultasi Bab IV	
7	5 Agustus 2019	Konsultasi Bab IV	
8	26 Agustus 2019	Konsultasi Bab IV	
9	19 September 2019	Konsultasi Kajian Agama	
10	31 Oktober 2019	Konsultasi Kajian Agama dan ACC	
11	28 November 2019	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan ACC	

Malang, 02 Desember 2019
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003