

**INTERPRETASI LITOLOGI BATUBARA MUDA  
BERDASARKAN DATA ANOMALI GEOMAGNETIK**

**SKRIPSI**

Oleh:

**LALA ANGGI RAKASIWI**

**NIM. 15640054**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK  
IBRAHIM MALANG  
2020**

**INTERPRETASI LITOLOGI BATUBARA MUDA  
BERDASARKAN DATA ANOMALI GEOMAGNETIK**

**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:**

**LALA ANGGI RAKASIWI**

**NIM. 15640054**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

INTERPRETASI LITOLOGI BATUBARA MUDA  
BERDASARKAN DATA ANOMALI GEOMAGNETIK

SKRIPSI

Oleh:  
Lala Anggi Rakasiwi  
NIM. 15640054

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji  
Pada tanggal:

Menyetujui.

Dosen Pembimbing I

Irjan, M.Si  
NIP. 19691231 200604 1 003

Dosen Pembimbing II

Ahmad Abtokhi, M.Pd  
NIP. 19761003 200312 1 004



HALAMAN PENGESAHAN

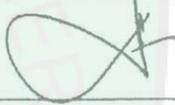
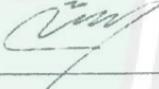
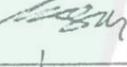
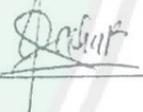
INTERPRETASI LITOLOGI BATUBARA MUDA  
BERDASARKAN DATA ANOMALI GEOMAGNETIK

SKRIPSI

Oleh:

Lala Anggi Rakasiwi  
NIM. 15640054

Telah diperiksa dan disahkan  
Pada tanggal: April 2020

Penguji Utama :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji :	<u>Rusli, M.Si</u> NIDT. 19880715 20180201 1 245	
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,  
Dekan Jurusan Fisika

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

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lala Anggi Rakasiwi  
NIM : 15640054  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Interpretasi Litologi Batubara Muda Berdasarkan Data  
Anomali Geomagnetik

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan serta menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Malang,  
Yang membuat pernyataan



Lala Anggi Rakasiwi  
NIM. 15640054

## MOTTO

**Beauty is Nothing Without Brain.**

Usaha, do'a, sabar, dan ikhlas menjadi kunci dalam setiap langkah perjalanan.  
Biarlah Allah SWT yang menjadi penulis skenario terbaik untuk setiap hambanya.



## HALAMAN PERSEMBAHAN

**Dengan segala kerendahan hati, karya kecil ini kupersembahkan untuk:**

*Untuk Siti Muslimah dan Bapakku Puryanto atas segala kasih sayang yang diberikan, do'a tulus yang selalu terselipkan disetiap langkah, pengorbanan yang begitu besar dan pengertian yang begitu dalam, baik segala moril maupun segala materil.*

*Saudariku Diana Putri Lestari dan Charina Seftia Wulan atas segala dukungan, inspirasi, serta menjadi tempat pelipur disetiap lara.*

*Diriku sendiri yang sudah kuat melewati satu kewajiban luar biasa dengan segala rintangan mampu berjuang dan bangkit meskipun harus jatuh berulang kali.*

\* \* \* \*

*Setiap orang memiliki cerita berbeda dalam menggapai mimpinya, biarlah proses itu menjadi bumbu terindah dalam rule kehidupan.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahma dan hidayah-Nya yang telah memberikan berkat karunia serta kemudahan sehingga skripsi yang berjudul “Interpretasi Litologi Batubara Muda Berdasarkan Data Anomali Geomagnetik” dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada baginda Rosulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang dan penuh dengan ilmu pengatuahuan yang luar biasa.

Selama melaksanakan tugas akhir ini, penulis mendapatkan suatu pelajaran yang sangat bermanfaat. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Prof. Dr. 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 Skripsi yang dengan sabar dan teliti dalam membimbing dan memberikan arahan untuk penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku Dosen Pembimbing Integrasi yang dengan sabar membimbing dan memberikan motivasi dalam penulisan skripsi ini. Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Seluruh Dosen dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah senantiasa mendidik dan membimbing saya selama masa perkuliahan.
7. Bapak Puryanto, Ibu Siti Muslimah, Diana, Charina, serta semua keluarga yang telah memberikan semangat, restu, serta doa disetiap langkah penulis.

8. Mas Rijal, Mas Asy'ari, Mas Vincent atas kesediaanya membimbing dan memberi arahan dengan sabar dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
9. Teman-teman HKBM Geofisika yang banyak membantu dalam proses akuisisi data di lapangan.
10. Risma, Septi, Rifa, Ida yang selalu sigap memberikan semangat dan motivasi.
11. Teman-teman Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang angkatan 2015.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, kurang lebihnya penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya dan penulis mohon kritik dan saran. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Amin.

Malang, 5 April 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Manfaat Penelitian .....	5
1.5. Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Bahan Bakar Fosil dalam Al-Qur'an .....	7
2.2. Batubara .....	9
2.2.1. Proses Pembentukan Batubara .....	10
2.2.2. Material Pembentuk Batubara .....	12
2.2.3. Tempat Terbentuknya Batubara .....	12
2.2.4. Jenis Batubara dan Sifatnya .....	14
2.3. Tinjauan Geologi Daerah Penelitian .....	15
2.3.1. Tinjauan Morfologi .....	16
2.3.2. Tinjauan Startigrafi .....	17
2.4. Teori Magnet .....	18
2.4.1. Gaya Magnetik .....	18
2.4.2. Medan Magnetik .....	19
2.4.3. Momen Magnetik .....	19
2.4.4. Intensitas Magnetik .....	20
2.4.5. Induksi Magnetik .....	21
2.4.6. Suseptibilitas Magnetik .....	22
2.5. Medan Magnet Bumi .....	27
2.5.1. Medan Magnet Utama ( <i>Main Field</i> ) .....	30
2.5.2. Medan Magnet Luar ( <i>Eksternal Field</i> ) .....	31
2.5.3. Anomali Medan Magnet ( <i>Crustal Field</i> ) .....	31
2.6. Metode Geomagnetik .....	32
2.6.1. Koreksi Data Geomagnetik .....	33
2.6.2. Transformasi Medan Magnetik .....	36
2.7. Magnetometer ( <i>Proton Precission Magnetometer</i> ) .....	40

### **BAB III METODOLOGI**

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	42
3.2. Prosedur Pelaksanaan Penelitian .....	43
3.2.1. Tahap Pra Akuisisi Data .....	43
3.2.2. Tahap Akuisisi Data .....	44
3.2.3. Tahap Pengolahan Data .....	44
3.2.4. Tahap Pemodelan Data .....	47
3.2.5. Tahap Interpretasi Data .....	48
3.3. Diagram Alir Penelitian .....	49

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Akuisisi Data .....	50
4.2. Pengolahan Data .....	51
4.2.1. Anomali Medan Magnet .....	53
4.2.2. Topografi .....	54
4.2.3. Reduksi Bidang Datar .....	55
4.2.4. Kontinuasi ke Atas .....	57
4.2.5. Reduksi ke Kutub (RTP) .....	61
4.3 Hasil dan Interpretasi Kuantitatif Data Magnetik .....	63
4.3.1. Penampang <i>Slice</i> A-A' .....	64
4.3.2. Penampang <i>Slice</i> B-B' .....	67
4.3.3. Penampang <i>Slice</i> C-C' .....	68
4.3.4. Penampang <i>Slice</i> D-D' .....	69
4.4. Pembahasan .....	72
4.5. Manfaat Fosil dan Batuan dalam Perspektif Al-Qur'an .....	74

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	76
5.2 Saran .....	76

### **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Tujuh Lapisan Bumi .....	9
Gambar 2.2.	Tahap Penggambutan dan Tahap Pembatubaraan .....	11
Gambar 2.3.	Jenis-Jenis Batubara .....	14
Gambar 2.4.	Peta Geologi Daerah Tulungagung .....	16
Gambar 2.5.	Ilustrasi Gaya Magnetik .....	18
Gambar 2.6.	Ilustrasi Batang Magnet dalam Sebuah Medan Magnet yang Seragam .....	20
Gambar 2.7.	Arah Polarisasi Diamagnetik .....	23
Gambar 2.8.	Arah Polarisasi Paramagnetik .....	24
Gambar 2.9.	Arah Polarisasi Ferromagnetik .....	24
Gambar 2.10.	Arah Medan Magnet Bumi .....	28
Gambar 2.11.	Elemen-Elemen Medan Magnet Bumi .....	29
Gambar 2.12.	Ilustrasi Kontinuasi ke Atas dari Permukaan Horizontal .....	38
Gambar 2.13.	Anomali Magnetik (A) dan Anomali Hasil Reduksi ke Kutub (B) .....	39
Gambar 2.14.	Diagram Kotak dari PPM .....	41
Gambar 3.1.	Desain Akuisisi Data pada Area Penelitian .....	42
Gambar 3.2.	Diagram Alir Penelitian .....	49
Gambar 4.1.	Kalkulator IGRF ( <a href="https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/">https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/</a> ) .....	52
Gambar 4.2.	Nilai IGRF ( <a href="https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/">https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/</a> ) .....	52
Gambar 4.3.	Kontur Anomali Medan Magnet Total .....	53
Gambar 4.4.	Kontur Topografi .....	54
Gambar 4.5.	Kontur Anomali Medan Magnet Total Setelah Reduksi ke Bidang Datar pada Ketinggian 80 meter .....	56
Gambar 4.6.	Proses Kontinuasi ke Atas (a) Anomali Medan Magnet Lokal dan (b) Anomali Medan Magnet Regional dengan Ketinggian 50 meter, 100 meter, 300 meter, 500 meter, dan 700 meter .....	58
Gambar 4.7.	Kontur Anomali Medan Magnet Regional .....	59
Gambar 4.8.	Kontur Anomali Medan Magnet Lokal .....	60
Gambar 4.9.	Kontur Anomali Medan Magnet Lokal Hasil Reduksi ke Kutub .....	62
Gambar 4.10.	Kontur <i>Slice</i> A-A', B-B', C-C', dan D-D' pada Anomali Medan Magnet Lokal .....	63
Gambar 4.11.	Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan <i>Slice</i> A-A' .....	65
Gambar 4.12.	Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan <i>Slice</i> B-B' .....	67
Gambar 4.13.	Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan <i>Slice</i> C-C' .....	69
Gambar 4.13.	Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan <i>Slice</i> D-D' .....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat Suseptibilitas Magnetik dari Batuan dan Mineral Magnetik .... 25



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1: Data Hasil Penelitian Geomagnetik
- Lampiran 2: Gambar Peta Geologi Lembar Tulungagung
- Lampiran 3: Gambar Pengambilan Data Geomagnetik
- Lampiran 4: Bukti Konsultasi Skripsi



## ABSTRAK

Rakasiwi, Lala Anggi. 2020. Interpretasi Litologi Batubara Muda Berdasarkan Data Anomali Geomagnetik. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.  
Pembimbing: (1) Irjan, M.Si. (2) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

---

**Kata Kunci:** Batubara, Metode Geomagnetik, Anomali Medan Magnet, Litologi Batuan, Suseptibilitas Batuan.

Telah dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi sebaran batubara muda di Dukuh Klatak, Desa Keboireng, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung dengan menggunakan metode geomagnetik. Metode geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika pasif yang memanfaatkan sifat kemagnetan suatu batuan untuk mengetahui kondisi litologi bawah permukaan bumi. Proses akuisisi data dilakukan menggunakan alat *Proton Precision Magnetometer* (PPM) dengan metode pengambilan data secara *looping* pada 229 titik data yang mencakup luas area 500m x 130m dan menggunakan jarak antar titik pengukuran 17m. Proses pengolahan data dilakukan dengan koreksi harian, koreksi IGRF, reduksi bidang datar, kontinuasi ke atas, dan reduksi ke kutub. Interpretasi data dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif, untuk interpretasi kualitatif dilakukan dengan menganalisis kontur anomali lokal yang telah direduksi ke kutub sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menganalisis hasil *slice* kontur anomali lokal yang dimodelkan secara 2D menggunakan *software* Oasis Montaj. Hasil interpretasi kualitatif menunjukkan posisi sebaran batubara berada pada anomali rendah. Sedangkan hasil interpretasi data secara kuantitatif dari keempat *slice* menunjukkan adanya 4 lapisan penyusun batuan pada daerah penelitian yaitu batubara (suseptibilitas 0.000006 cgs emu), tanah (suseptibilitas 0.00006 cgs emu), batupasir (suseptibilitas 0.001660 cgs emu), dan batuan breksi gunung api yang berkomponen andesit (suseptibilitas 0.013500 cgs emu). Adanya lapisan batubara diperkirakan berada dari atas permukaan sampai kedalaman maksimal  $\pm 6$ m dan mempunyai ketebalan lapisan maksimal  $\pm 6$ m.

## ABSTRACT

Rakasiwi, Lala Anggi. 2020. Interpretation of Coal Lithology Based on Geomagnetic Anomaly Data. Thesis. Departement of Physics, Science and Technology Faculty, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang.  
Advisor: (1) Irjan, M.Si. (2) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

---

**Key Word:** Coal, Geomagnetic Method, Magnetic Field Anomalies, Lithology, Suseptibility.

Research has been conducted to identify the distribution of coal in Dukuh Klatak, Keboireng, Besuki, Tulungagung Regency by using geomagnetic methods. The geomagnetic method is a passive geophysical method that utilizes rocks' magnetic properties to determine the lithological conditions below the surface. Data acquisition process is done using proton precision magnetometer (ppm) method, where data taking by looping at 229 points that covers an area of 500m x 130m and the length between two measuring points is 17m. Moreover, data are processed with diurnal correction, IGRF correction, flat-plane reduction (RBD), upward continuation, and reduction to the poles. Interpretation part are done qualitatively and quantitatively. Qualitative interpretation is by analyzing the contours of local anomaly that has been reduced to the poles, and quantitative interpretation is by analyzing the slice of local anomaly's contours which is modelled in 2d using oasis montaj software. Qualitative interpretation's shows that low anomalies indicate the position of the coal distribution. In addition, quantitatively there are four layers of rock shown in the slices, they are coals ( $6 \times 10^{-6}$  cgs emu susceptibility), soils ( $6 \times 10^{-5}$  cgs emu susceptibility), sandstone (0,00166 cgs emu susceptibility). And the last is volcanic breccia rocks with andesite components (0,013500 cgs emu susceptibility). Layers of coal is estimated to be above the surface to a maximum depth of  $\pm 6$  m and maximum thickness of  $\pm 6$  m.

## تجريد

راكاسيوي، لالا أنجي. تفسير لبيتولوجيا من الفحم الشاب على أساس بيانات الشذوذ المغنطيسي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. تحت الإشراف: (1) إرجان الماجستير، (2) أحمد أبطاخي الماجستير.

الكلمة المفتاحية: الفحم، المنهج المغنطيسي، شذوذ المجال المغنطيسي، لبيتولوجيا السخرية، حساسية السخور.

وقد أجري بحث لتحديد توزيع الفحم الشاب في قرية كلاتاك كيبوارينغ، منطقة بيسوكي، تولونجاونغ ريغنسي باستخدام طريقة مغناطيسية. الطريقة المغنطيسية الأرضية هي طريقة جيوفيزيائية سلبية تستخدم خصائص المجال المغنطيسي للسخور لتحديد الظروف الليثولوجية تحت سطح الأرض. تم تنفيذ عملية الحصول على البيانات باستخدام الآلة تسمى ب (PPM) Proton Precision Magnetometer مع تجميع البيانات المتكرر عند 229 نقطة بيانات تغطي مساحة 500 متر و130 متر واستخدام مسافة بين 17 متر نقاط قياس. تم معالجة البيانات عن طريق التصحيح اليومي وتصحيح IGRF وتقليل المستوى المسطح والاستمرار التصاعدي والتقليل إلى القطبين. يتم تفسير البيانات بشكل نوعي وكمي، ويتم التفسير النوعي من خلال تحليل ملامح الشذوذ المحلي التي تم تخفيضها إلى القطبين، ويتم التفسير الكمي من خلال تحليل نتائج شريحة كفاف الشذوذ المحلية التي تم تصميمها في 2 ديمانسي باستخدام برنامج وواسيس مونتاج. تظهر نتائج التفسير النوعي أن وضع توزيع الفحم عند شذوذ منخفض. في حين أظهرت نتائج تفسير البيانات الكمية من الشرائح الأربع أنه كانت هناك 4 طبقات من مكونات السخور في منطقة الدراسة، وهي الفحم (القابلية 0.000006 كجم من الاتحاد الأوروبي)، والترتبة (القابلية 0.00006 كجم من الاتحاد الأوروبي)، والحجر الرملي (القابلية 0.001660 كجم من الاتحاد الأوروبي)، وصخور بريشيا البركانية مع مكونات مكون من البركانية انديسايت (حساسية 0.013500 كجم من الاتحاد الأوروبي). يُفتر وجود طبقات الفحم من السطح إلى أقصى عمق يبلغ  $\pm 6$  متر ولسماعة قصوى تبلغ  $\pm 6$  متر.

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1. Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara yang dianugerahi kekayaan sumber daya alam melimpah. Sebagai negara berkembang pemanfaatan potensi sumber daya lokal seperti batubara perlu dimaksimalkan. Batubara merupakan energi fosil terpenting yang dimanfaatkan sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar minyak. Batubara dikenal masyarakat sebagai emas hitam atau batuan hitam yang bisa terbakar. Secara umum batubara diartikan sebagai salah satu bahan galian dari alam yang terbentuk dari dekomposisi tumpukan tanaman selama kurun waktu geologi ( $\pm$  300 juta tahun) dengan beragam proses pengendapan secara kimia maupun fisika. Berdasarkan hasil uji laboratorium diketahui bahwa unsur-unsur penyusun dari batubara yaitu besi (Fe), karbon (C), aluminium (Al), oksigen (O), silikon (Si), sulfur (S), dan kalsium (Ca).

Saat ini sumberdaya batubara di Indonesia diperkirakan mencapai 36 milyar ton yang tersebar di wilayah Papua, Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan, Sulawesi, dan beberapa daerah lainnya di pulau Jawa. Pada masa mendatang produksi batubara di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat, tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri (domestik) tetapi juga untuk memenuhi permintaan luar negeri (ekspor).

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan tersebut menyebabkan perlunya dilakukan kegiatan eksplorasi sumberdaya batubara. Agar hasil eksplorasi batubara dapat dilakukan dengan maksimal, maka ketepatan akan ditemukannya deposit batubara yang memiliki nilai ekonomis harus optimal. Untuk mengidentifikasi

batubara muda dan litologi bawah permukaan daerah deposit batubara dapat dilakukan melalui kegiatan eksplorasi geofisika menggunakan metode geomagnetik. Metode geomagnetik merupakan salah satu metode pasif yang memanfaatkan sifat kemagnetan bumi. Metode ini sering digunakan dalam survei pendahuluan pada eksplorasi mineral dan batuan karena keunggulannya dalam proses akuisisi data lapangan yang relatif mudah dengan akumulasi data berkecepatan tinggi pada daerah penelitian yang luas.

Sehah dkk (2014) dalam penelitiannya dengan menggunakan metode geomagnetik dapat memodelkan estimasi kedalaman bitumen batubara berdasarkan nilai suseptibilitas batuan-batuan penyusun bawah permukaan. Daerah penelitian diinterpretasikan sebagai batuan breksi andesit, tuff, batupasir, dan beberapa sisipan-sisipan tipis bitumen batubara dengan kedalaman berkisar 104,48m sampai 505,97m.

Kegiatan eksplorasi batubara dengan menggunakan metode geomagnetik cocok digunakan karena metode ini dapat membaca kondisi di bawah permukaan berdasarkan nilai intensitas magnetik dengan memanfaatkan gaya magnet alam. Sehingga benda-benda di bawah permukaan dapat terinduksi oleh medan magnet bumi dan menimbulkan medan magnet sekunder. Medan magnet sekunder ini akan menimbulkan perbedaan kontras suseptibilitas pada tubuh cebakan dari daerah sekelilingnya. Variasi suseptibilitas magnetik bawah permukaan yang terukur akan digunakan untuk menginterpretasi struktur geologi atau batuan bawah permukaan yang menjadi target penelitian.

Para Ilmuwan menjelaskan bahwa bumi mempunyai struktur lapisan penyusun yang berbeda-beda. Perbedaan pendapat tersebut ternyata sudah dijelaskan dalam

Al-Qur'an, dimana Allah telah berfirman dalam Surat At-Talaq[65]:12) (Depag RI, 2004):

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 bahwasanya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu, dan sesungguhnya Allah ilmu-Nya benar-benar meliputi segala sesuatu.”*

Berdasarkan ayat tersebut menurut Tafsir Jalalain mengatakan lafal “lita’lamuu bertaallauq” kepada lafal yang tidak disebutkan yakni Allah memberi tahu kepada semua umat yaitu mengenai masalah penciptaan dan penurunan wahyu-Nya (bahwasannya Allah maha kuasa atas segala sesuatu, dan sesungguhnya Allah ilmu-Nya benar-benar meliputi segala sesuatu). Tafsir tersebut memberikan petunjuk bagi manusia tentang penciptaan Allah mengenai ilmu kebumiharian yang menjelaskan struktur bumi tersusun atas tujuh lapisan. Pada setiap lapisan bumi tersebut tentunya mempunyai sifat dan kandungan mineral yang berbeda-beda sesuai dengan kedalaman lapisan atau sesuai dengan keadaan geologi lapisan tersebut. Jika dikaitkan dengan keberadaan deposit batubara yang terpendam di bawah permukaan bumi, maka masih terdapat beberapa lapisan lain yang berasosiasi dengan lapisan batubara seperti batuan kerikil, lempung, lanau, batupasir dan lain sebagainya. Dari penjelasan tersebut dapat menegaskan bahwa kebenaran ayat dari Al-Qur'an yang hanya bersumber dari Allah SWT.

Menurut informasi dari ESDM Provinsi Jawa Timur secara administratif keberadaan singkapan batubara muda ditemukan pada tiga kabupaten salah satunya

berada di Dukuh Klatak, Desa Keboireng, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung. Penelitian terhadap deposit batubara muda di wilayah ini pernah dilakukan dengan cara memanfaatkan data magnetik. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Sulfi Muchtar (2018) yaitu mengenai penerapan metode geomagnet untuk identifikasi sebaran batubara di Kabupaten Tulungagung. Dari hasil penelitiannya diketahui bahwa masih terdapat banyak ruang data yang tidak terambil karena proses akuisisi data tidak dilakukan berdasarkan desain area penelitian (bersifat random) dan tidak dilakukan berdasarkan pada koordinat singkapan batubara yang tersebar. Dari hal tersebut akan menyulitkan proses pemodelan struktur bawah permukaan dan proses interpretasi data. Selain itu pada umumnya hasil penelitian geofisika tidak bisa hanya dilakukan dengan satu kali kegiatan eksplorasi, karena hasil interpretasinya bersifat tidak tunggal (*non-unique*), sehingga memungkinkan terdapat hasil interpretasi yang lain. Untuk mengatasi hal ini, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan metode yang sama seperti metode geomagnetik.

Penelitian lanjutan dengan menggunakan metode geomagnetik ini bertujuan untuk melengkapi data penelitian sebelumnya, sehingga ketersediaan data lebih representatif terhadap luasan area pengukuran dan akan diperoleh hasil yang lebih maksimal.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka didapatkan beberapa rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana identifikasi batubara muda di daerah penelitian?
2. Bagaimana litologi bawah permukaan di daerah penelitian?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengidentifikasi batubara muda di daerah penelitian.
2. Untuk mengetahui litologi bawah permukaan di daerah penelitian.

### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh pada penelitian ini yaitu:

1. Dapat memberikan informasi terkait identifikasi batubara muda dengan pemodelan litologi bawah permukaan di daerah penelitian.
2. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk mengkaji dan mengambil langkah strategis terkait dengan hasil penelitian.
3. Dapat menambah wawasan sebagai pengembangan penelitian akademis dalam bidang geofisika, geologi, geokimia, dan geoteknik selanjutnya serta beberapa pihak lain yang terkait penelitian ini.

### 1.5. Batasan Masalah

1. Batasan masalah pada penelitian ini difokuskan hanya pada daerah sekitar singkapan batubara muda yang sudah tersingkap di Dukuh Klatak. Desa Keboireng, Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung dengan cakupan area penelitian 500 meter x 130 meter terletak pada koordinat  $8^{\circ}15'55.65''$  LS -  $8^{\circ}16'6.93''$  LS hingga  $111^{\circ}45'22.73''$  BT -  $111^{\circ}45'34.68''$  BT.
2. Metode geofisika yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode geomagnetik.

3. Pengolahan data menggunakan *software* Oasis Montaj 6.4.2, MagPick, Matlab, dan Surfer 13.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Bahan Bakar Fosil dalam Al-Qur'an

Bahan bakar fosil terbentuk melalui beberapa proses pembusukan atau dekomposisi secara anaerobik (tanpa bantuan oksigen) yang berasal dari sisa-sisa hancuran atau bagian tumbuhan yang telah tumbang dan mati. Material organik akan terakumulasi dengan beberapa lapisan lain seperti batupasir, lempung, dan akan tertimbun dibawah lapisan sedimen yang sangat tebal dalam jangka waktu geologi yang lama. Suhu dan tekanan yang tinggi mengubah bahan organik (tidak padat) tersebut secara kimiawi menjadi bahan keras (batubara) yang mengandung bahan karbon dan hidrokarbon. Allah SWT telah berfirman dalam Al-Qur'an surat Al-A'ala [87]: 4-5 (Depag RI, 2004):

وَالَّذِي أَخْرَجَ الْمَرْعَىٰ ﴿٤﴾ فَجَعَلَهُ غُثَاءً أَحْوَىٰ ﴿٥﴾

*“dan yang menumbuhkan rumput-rumputan(4), lalu dijadikan-Nya rumput-rumput itu kering kehitam-hitaman (5)” (Qs. Al-A'laa[87]: 4-5).*

Menurut Ibnu Abbas sebagaimana yang disebutkan dalam kitab tafsir Ibnu Katsir, ayat “wal ladzii qoddaro fa hadda” ditafsirkan dengan “hasyiman mutaghoyiron” pecah dan berubah dari awal yang maksudnya setelah Allah SWT menumbuhkan rumput yang hijau kemudian akan menjadi kering. Imam Al Qurthubi mengatakan "Ahwa" adalah hitam.“ahwaa” dalam Al-Qur'an bermakna untuk menjelaskan akhir dari proses penggambaran tumbuh-tumbuhan karena apabila kering ia akan menghitam. Adanya penemuan batu hitam yang berasal dari

proses pembusukan tumbuhan menegaskan kebenaran Al-Qur'an berasal dari Allah SWT.

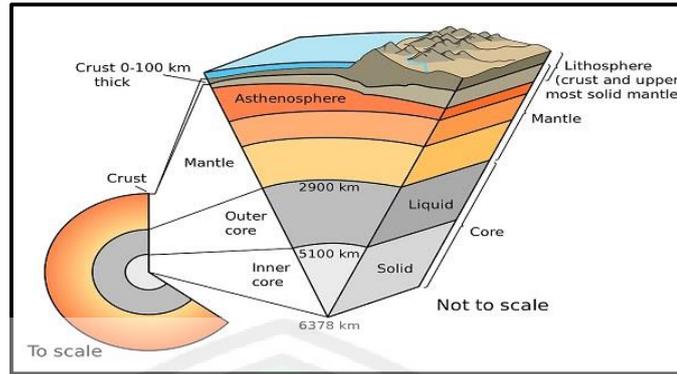
Proses pembentukan batubara yang terakumulasi dengan beberapa lapisan batuan lain di bawah permukaan juga dijelaskan dalam firman Allah SWT pada surat At-Talaq[65] :12 (Depag RI, 2004):

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 bahwasanya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu, dan Sesungguhnya Allah ilmu-Nya benar-benar meliputi segala sesuatu” (Qs. At-Talaq[65] :12).*

Para ahli fisika dalam bidang astronomi dan kebumihan telah memberikan pembuktian secara ilmiah mengenai tercantumnya tujuh lapisan langit dan tujuh lapisan struktur bumi dalam Al-Qur'an. Setiap lapisan mempunyai karakteristik dan fungsi masing-masing. Ketujuh lapisan pembentuk bumi tersebut merupakan lapisan tertentu yang bersumber dari dalam bumi dan luar bumi dengan susunan sebagai berikut:

1. Inti bumi (*chentrosphere*)
2. Lapisan luar inti bumi
3. Lapisan terbawah pita bumi (pita bawah)
4. Lapisan tangan pita bumi (pita tengah)
5. Lapisan teratas pita bumi (pita atas)
6. Lapisan bawah kerak bumi
7. Lapisan atas kerak bumi



Gambar 2.1. Tujuh Lapisan Bumi (Maulida, 2017).

Penjelasan gambar 2.1 menunjukkan lapisan bawah kerak bumi dan lapisan atas kerak bumi manusia dapat mengetahui struktur bumi. Lapisan atas kerak bumi maka dapat dilihat bentuk lapisan berupa pegunungan, samudera, dataran, dan lain-lain. Sedangkan dari lapisan bawah kerak bumi dapat di manfaatkan sebagai studi untuk mengetahui struktur bumi berupa jenis fosil, batuan, dan mineral yang terkandung.

## 2.2. Batubara

Endapan batubara adalah endapan yang mengandung hasil akumulasi material organik berasal dari sisa-sisa tumbuhan dan telah melalui proses litifikasi untuk membentuk lapisan batubara. Material tersebut telah mengalami kompaksi, ubahan kimia, dan proses metamorphosis oleh peningkatan panas dan tekanan selama periode geologis. Dekomposisi tanaman terjadi karena proses biologi dengan mikroba dimana banyak oksigen dalam selulosa diubah menjadi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Perubahan yang terjadi dalam kandungan bahan tersebut disebabkan oleh adanya tekanan dan pemanasan yang kemudian membentuk lapisan tebal sebagai akibat pengaruh panasbumi dalam jangka waktu berjuta-juta tahun sehingga lapisan tersebut akhirnya memadat dan mengeras (Billah, 2010).

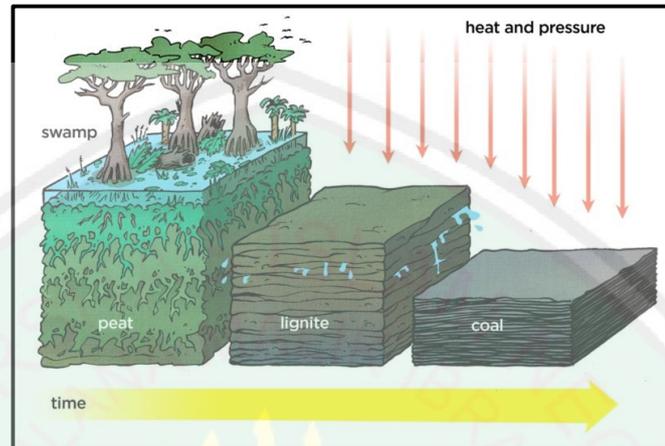
Menurut *World Coal Association* pada tahun 2017 sekitar 41% jumlah kebutuhan batubara digunakan sebagai pemasok kebutuhan sumber daya utama bahan bakar pembangkit tenaga listrik secara global. Selain itu batubara juga dimanfaatkan sebagai bahan baku sektor industri seperti besi, aluminium, semen, kertas, dan bahan kimia lainnya. Batubara dianggap sebagai salah satu sumber ekonomi di beberapa negara lain seperti di negara China, Amerika Serikat, Rusia, India, dan lain sebagainya (Dai dan Finkelman, 2018).

Terdapat enam parameter yang mengendalikan pembentukan endapan batubara, yaitu adanya sumber vegetasi, posisi muka air tanah, penurunan yang terjadi bersamaan dengan pengendapan, penurunan yang terjadi setelah pengendapan, kendali lingkungan geotektonik endapan batubara, dan lingkungan pengendapan terbentuknya batubara. Model geologi untuk pengendapan batubara menerangkan hubungan antara genesa batubara dan batuan sekitarnya baik secara vertikal maupun lateral pada suatu cekungan pengendapan dalam kurun waktu tertentu (Diessel, 1992).

### **2.2.1. Proses Pembentukan Batubara**

Proses pembentukan batubara pada umumnya terjadi pada zaman karbon yaitu sekitar 270-350 juta tahun lalu. Di Indonesia batubara yang ditemukan dan ditambang umumnya berumur jauh lebih muda, yaitu terbentuk pada zaman tersier. Meskipun batubara tertua yang ditambang di Indonesia berumur eosen (40-60 juta tahun yang lalu) namun sumber daya batubara di Indonesia umumnya berumur antara miosen dan pliosen (2-15 juta tahun yang lalu) (Yonas, 2016).

Tahap penggabutan dan pematubaraan merupakan dua hal penting dalam mempelajari genesa batubara. Tahapan ini adalah hasil dari suatu proses yang berurutan terhadap bahan dasar yang sama (tumbuhan).



Gambar 2.2. Tahap Penggabutan dan Tahap Pematubaraan (Riadi, 2018).

### 1. Tahap Biokimia (Penggabutan)

Tahap biokimia (penggabutan) adalah tahap ketika sisa-sisa tumbuhan yang terakumulasi tersimpan dalam kondisi bebas oksigen (anaerobik) di daerah rawa dengan sistem penisiran (*drainage system*) yang buruk dan selalu tergenang air beberapa inci dari permukaan air rawa. Material tumbuhan yang busuk tersebut melepaskan unsur H, N, O, dan C dalam bentuk senyawa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{NH}_3$  untuk menjadi humus (Stach, 1982; Arif, 2014), selanjutnya oleh bakteri anaerobik dan fungi, material itu diubah menjadi gambut.

### 2. Tahap Pematubaraan (*Coalification*)

Tahap pematubaraan (*coalification*) merupakan proses diagenesis terhadap komponen organik dari gambut yang menimbulkan peningkatan temperatur dan tekanan sebagai gabungan proses biokimia, kimia, dan fisika yang terjadi karena pengaruh pembebanan sedimen yang menutupinya dalam kurun waktu geologi.

Pada tahap tersebut presentase karbon akan meningkat, sedangkan presentase hidrogen dan oksigen akan berkurang sehingga menghasilkan batubara dalam berbagai tingkat maturitas material organiknya (Arif, 2014).

### 2.2.2 Material Pembentuk Batubara

Pada dasarnya terdapat dua jenis material yang membentuk batubara yaitu (Kentucky, 2012):

#### 1. *Combustible Material*

*Combustible Material* yaitu bahan atau material yang dapat dibakar atau dioksidasi oleh oksigen. Material tersebut umumnya terdiri dari karbon padat (*fixed carbon*), senyawa hidrokarbon, total sulfur, senyawa hidrogen dan beberapa senyawa lainnya dalam jumlah kecil.

#### 2. *Non Combustible Material*

*Non Combustible Material* yaitu bahan atau material yang tidak dapat dibakar atau dioksidasi oleh oksigen. Material tersebut umumnya terdiri dari senyawa anorganik ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  dan senyawa logam lainnya dalam jumlah kecil) yang akan membentuk abu dalam batubara. Kandungan *non combustible* material ini umumnya tidak diinginkan karena akan mengurangi nilai bakarnya.

### 2.2.3 Tempat Terbentuknya Batubara

Terdapat dua teori yang menjelaskan mengenai tempat terbentuknya batubara diantaranya yaitu:

## 1. Teori Insitu

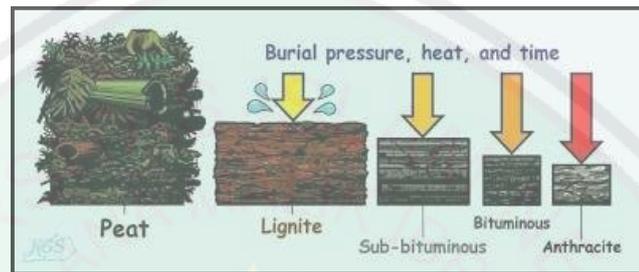
Batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang berasal dari hutan tempat dimana batubara tersebut. Batubara yang terbentuk biasanya terjadi di hutan basah dan berawa. Sehingga pohon-pohon di hutan tersebut pada saat mati atau roboh langsung tenggelam ke dalam rawa dan sisa tumbuhan tidak mengalami pembusukan secara sempurna sampai akhirnya menjadi fosil tumbuhan yang membentuk sedimen organik (Sundoyo, 2014). Jenis batubara yang terbentuk dengan cara teori insitu memiliki penyebaran yang luas dan merata, dengan kualitas yang lebih bagus karena kadar abunya relatif sedikit. Batubara yang terbentuk seperti ini di Indonesia didapatkan di lapangan batubara muara enim, Sumatera Selatan (Krevalen, 1993).

## 2. Teori Drift

Batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang berasal dari hutan yang bukan pada tempat dimana batubara tersebut. Batubara yang terbentuk biasanya terjadi di delta mempunyai ciri-ciri lapisannya yaitu tipis, tidak menerus (*splitting*), banyak lapisannya (*multiple seam*), banyak pengotor (kandungan abu cenderung tinggi). Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran tidak luas, tetapi dijumpai di beberapa tempat dengan kualitas kurang baik karena banyak mengandung material pengotor (*impurityties*) yang terangkut bersama selama proses pengangkutan dari tempat asal tanaman ke tempat sedimentasi. Batubara yang terbentuk seperti di Indonesia didapatkan di lapangan batubara delta mahakam purba, Kalimantan Timur (Sundoyo, 2014).

#### 2.2.4. Jenis Batubara dan Sifatnya

Dari tinjauan beberapa senyawa dan unsur yang terbentuk pada saat proses *coalification* (proses pematubaraan), maka dapat dikenal beberapa jenis batubara, yaitu Gambut (*peat*), lignit, sub-bituminus, bituminus, dan antrasit (Surtarno, 2003):



Gambar 2.3. Jenis-Jenis Batubara (Surtarno, 2003).

##### 1. Gambut

Gambut berpori dan memiliki kadar air diatas 75% serta nilai kalori yang paling rendah dan berwarna cokelat (Sukandarrumidi, 2016).

##### 2. Lignit atau Batubara Cokelat

Lignit merupakan batubara peringkat rendah dimana kedudukan lignit dalam tingkat klasifikasi batubara berada pada daerah transisi dari jenis gambut ke batubara. Lignit adalah batubara yang berwarna cokelat kehitaman dan memiliki tekstur seperti kayu (Sukandarrumidi, 2016).

##### 3. Sub-Bituminus

Batubara jenis ini merupakan peralihan antara jenis lignit dan bituminus. Batubara jenis ini memiliki warna hitam yang mempunyai kandungan air, zat terbang, dan oksigen yang tinggi serta memiliki kandungan karbon yang rendah. Sifat-sifat tersebut menunjukkan bahwa batubara jenis sub-bituminus ini

merupakan batubara tingkat rendah. Dengan kandungan karbon 35-45% dan menghasilkan nilai panas antara 8.300 hingga 13.000 BTU per pon. Meskipun nilai panasnya rendah, batubara ini umumnya memiliki kandungan belerang yang lebih rendah daripada jenis lainnya, yang membuatnya disukai untuk dipakai karena hasil pembakarannya yang lebih bersih (Sukandarrumidi, 2016).

#### 4. Bituminus

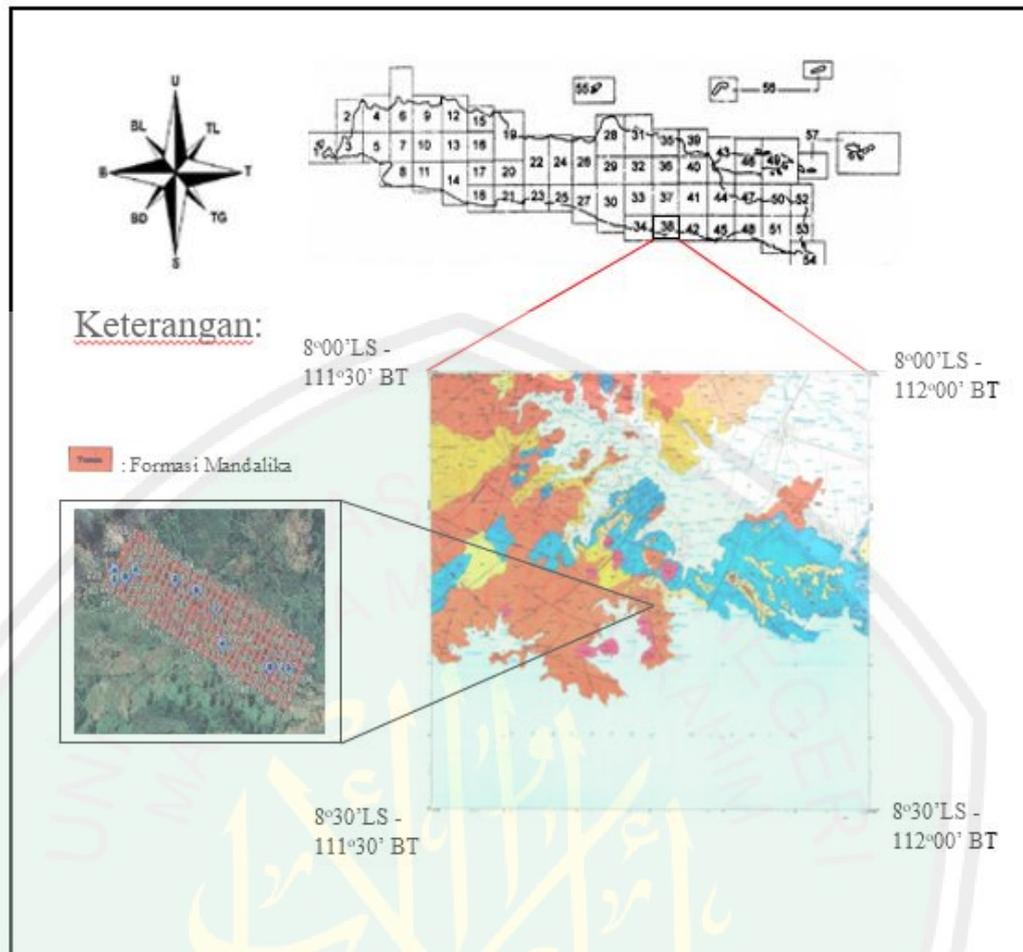
Batubara jenis ini merupakan batubara yang berwarna hitam dengan tekstur ikatan baik. Bituminus mengandung 68-86% unsur karbon (C) serta berkadar air 8 - 10% dari beratnya. Nilai panas yang dihasilkan antara 10.500 - 15.500 BTU per pon (Sukandarrumidi, 2016).

#### 5. Antrasit

Antrasit merupakan batubara paling tinggi tingkatan yang mempunyai kandungan karbon lebih dari 93% dan kandungan zat terbang kurang dari 10%. Antrasit umumnya lebih keras, kuat, dan seringkali berwarna hitam mengkilat seperti kaca (Yunita, 2000).

### 2.3. Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

Secara regional daerah penelitian masuk dalam peta Geologi Indonesia lembar Tulungagung, Jawa dengan skala 1:100.000. Penelitian ini terletak di Dukuh Klatak, Desa Keboireng, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada koordinat  $8^{\circ}15'55.65''$  LS -  $8^{\circ}16'6.93''$  LS hingga  $111^{\circ}45'22.73''$  BT -  $111^{\circ}45'34.68''$  BT.



Gambar 2.4. Peta Geologi Daerah Tulungagung (Samodra dkk., 1992).

### 2.3.1. Tinjauan Morfologi

Berdasarkan tataan fisiografi Van Bemmelen pada tahun 1949, lokasi penelitian yang terletak di daerah Tulungagung termasuk dalam lajur pegunungan selatan Jawa Timur, bagian utaranya berbatasan dengan lajur depresi yang ditempati oleh G. Wilis (Nahrowi dkk., 1978). Morfologi daerah Lembar dapat dibagi menjadi 3 satuan yaitu perbukitan, pedataran, dan kras.

Daerah penelitian memiliki sebaran satuan morfologi berupa perbukitan. Satuan perbukitan menempati wilayah sekitar 35% luas lembar, berjulang antara 300m dan 980m di atas mukalaut. Satuan ini disusun oleh batuan gunung api dan

endapan turbidit Oligo-Miosen. Sungai besar yang mengalir memiliki aliran yang berpola meranting membentuk lembah yang curam dan dalam. Beberapa kelurusan sungai dan punggungnya dikendalikan oleh struktur. Satuan ini terutama tersebar di bagian barat menerus hingga lembar Pacitan dan bagian utara hingga lembar Madiun (Samodra dkk., 1992).

### 2.3.2. Tinjauan Stratigrafi

Secara regional dalam lembar peta geologi Tulungagung daerah penelitian termasuk dalam kategori Formasi Mandalika. Formasi tersebut memiliki perbedaan pada stratigrafi, lingkungan pengendapan, genesa, dan tektoniknya (Samodra dkk., 1992).

Nama Formasi Mandalika pertamakali diusulkan oleh Samodra dan Gafoer pada tahun 1990, yaitu untuk memberi nama runtutan batuan gunungapi Oligo-Miosen di Lembar Pacitan. Formasi Mandalika dijelaskan memiliki susunan batuan breksi gunungapi yang terdiri dari komponen andesit, lava, bersisipan dengan batupasir (Samodra dkk., 1992).

Breksi gunungapi yang memiliki warna kelabu kecokelatan hingga kelabu kehijauan, kompak, pejal dan terdiri dari komponen andesit, dasit, diorit dan basal yang berukuran 3-30 cm, menyudut membulat tanggung, dan bermassa dasar tufan kasar. Sebagian besar batuanya terubah, sehingga breksi gunungapi berwarna kehijauan. Tebalnya dari 5 sampai lebih dari 10 m. Setempat batuan ini banyak mengandung urat kuarsa yang arahnya tak teratur.

Lava berwarna kehitaman atau hitam kehijauan, kelabu, kompak, bersusunan andesit basal, bertekstur halus, porfiritik tersusun oleh plagioklas dan

piroksin. Di beberapa tempat lava ini terkekar meniang dan melembar yang beberapa bidang kekarnya terisi oleh pirit. Tebalnya berkisar antara 50-100 cm setempat bahkan ada yang memiliki ukuran lebih dari 3 m membentuk sebuah perulangan dengan breksi gunungapi (Samodra dkk., 1992).

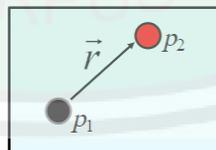
Sisipan dari batupasir bersifat tufan merupakan sisipan di bagian bawah satuan. Tebalnya berkisar antara 20 cm dan 50 cm dan sebagian besar juga mengalami ubahan sehingga berwarna kehijauan, (Samodra dkk., 1992).

## 2.4. Teori Magnet

### 2.4.1. Gaya Magnetik

Dasar teori mengenai metode geomagnetik adalah gaya Coulumb dimana gaya magnet yang ditimbulkan oleh dua kutub dari magnetik yang terpisah pada jarak  $r$  (cm). Muatan masing-masing antara dua kutub magnet yaitu  $p_1$  dan  $p_2$  (emu) dituliskan dalam bentuk persamaan dan ditunjukkan dalam sebuah ilustrasi pada gambar 2.5 berikut (Telford et al., 1990; Ariani dkk., 2013):

$$\vec{F} = \frac{p_1 p_2}{\mu r^2} \vec{r}_1 \quad (2.1)$$



Gambar 2.5. Ilustrasi Gaya Magnetik

$\vec{F}$  adalah gaya magnetik yang bekerja diantara dua kutub-kutub magnet  $p_1$  dan  $p_2$ ,  $\mu$  adalah permeabilitas suatu medium magnetik (untuk ruang hampa  $\mu =$

1) dengan satuan Henry per meter ( $\text{Hm}^{-1}$ ), dan  $\vec{r}_1$  adalah sebuah vektor satuan yang berarah dari  $p_1$  menuju ke  $p_2$ .

### 2.4.2. Medan Magnetik

Medan magnetik ( $\vec{H}$ ) merupakan suatu medan yang ditimbulkan oleh benda karena memiliki kandungan bahan-bahan magnetik. Medan magnetik ( $\vec{H}$ ) juga dapat didefinisikan sebagai gaya persatuan kuat kutub magnet yang dinyatakan dalam persamaan (Telford et al., 1990; Ariani dkk., 2013):

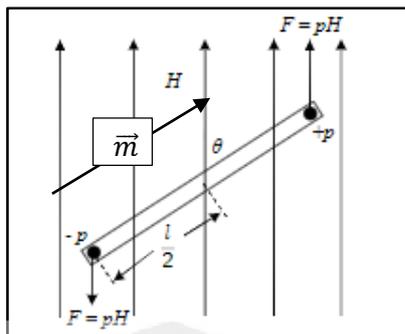
$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{p_2} = \frac{p_1}{\mu r^2} \vec{r}_1 \quad (2.2)$$

Satuan medan magnetik ( $\vec{H}$ ) dalam SI adalah amper/meter (A/m) sedangkan dalam cgs adalah dyne/unit kutub atau sama dengan Tesla (T).

### 2.4.3. Momen Magnetik

Ilustrasi pada sebuah batang magnet diletakkan di medan magnet yang seragam, maka batang tersebut akan mengalami sepasang gaya yang bekerja secara paralel satu sama lain tetapi berlawanan arah. Di alam kutub magnet selalu berpasangan atau disebut sebagai *dipole*. *Dipole-dipole* tersebut terdiri dari kutub positif dan kutub negatif yang dipisahkan oleh jarak  $l$ . Momen magnetik ( $\vec{m}$ ) dirumuskan sebagai (Graham dan Cullity., 2009):

$$\vec{m} = pl\vec{r}_1 \quad (2.3)$$



Gambar 2.6. Ilustrasi Batang Magnet dalam Sebuah Medan Magnet yang Seragam (Graham dan Cullity., 2009).

$\vec{m}$  merupakan sebuah vektor pada arah vektor satuan  $\vec{r}_1$  yang membentang dari kutub negatif menuju kutub positif. Arah momen magnetik resultannya menjadi nol. Sebaliknya, di alam material-material yang bersifat magnet atom-atom material tersebut teratur sehingga momen magnetik resultannya tidak sama dengan nol. Momen magnet mempunyai satuan dalam SI adalah  $A.m^2$  sedangkan dalam cgs adalah  $gauss.cm^3$  atau emu.

#### 2.4.4. Intensitas Magnetik

Intensitas magnetik atau magnetisasi adalah besaran yang menyatakan intensitas keteraturan atau kesearahan arah momen-momen magnetik dalam suatu material sebagai akibat dari pengaruh medan magnet luar yang melingkupinya. Nilai magnetisasi suatu benda dipengaruhi oleh orientasi atom dan molekul yang memiliki arah, dimana nilai magnetik suatu benda akan besar ketika molekul dan atom yang ada mempunyai polarisasi searah. Intensitas magnetisasi ( $\vec{M}$ ) dapat juga dinyatakan sebagai momen *dipole* ( $\vec{m}$ ) yang dikeluarkan suatu batuan tiap satuan volum (V). Satuan intensitas magnetik dalam cgs adalah gauss atau  $emu.cm^{-3}$  sedangkan dalam SI adalah  $Am^{-1}$  (Telford et al., 1990).

$$\vec{M} = \frac{\vec{m}}{V} \quad (2.4)$$

Suatu benda yang ditempatkan dalam medan magnet akan termagnetisasi. Besarnya intensitas suatu benda magnet tergantung pada kerentanan medan magnet tersebut. Jika medan magnetisasi ( $\vec{H}$ ) rendah, maka intensitas magnetisasi ( $\vec{M}$ ) akan sejajar atau sebanding terhadap medan magnetisasi ( $\vec{H}$ ) dalam arah yang sama dan dipengaruhi oleh suseptibilitas magnetik ( $k$ ). Nilai intensitas magnetik dinyatakan pada persamaan berikut (Telford et al., 1990; Haryanto dkk., 2016):

$$\vec{M} = k\vec{H} \quad (2.5)$$

#### 2.4.5. Induksi Magnetik

Medan magnet yang terukur oleh sebuah alat magnetometer merupakan nilai induksi medan magnet. Suatu bahan magnetik yang diletakkan dalam medan luar akan menghasilkan medan tersendiri yang meningkatkan nilai total medan magnetik bahan tersebut, dengan diketahui bahwa  $\mu_0(1+k)=\mu$  adalah permeabilitas magnetik, maka dapat dirumuskan sebagai berikut (Telford et al., 1990; Briyantara, 2015):

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \quad (2.6)$$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + k\vec{H}) \quad (2.7)$$

$$\vec{B} = \mu_0(1+k)\vec{H} \quad (2.8)$$

Suatu gaya magnetik dalam sebuah medium tertentu akan menimbulkan suatu kerapatan fluks magnet. Kerapatan fluks magnet yaitu jumlah fluks magnet dalam suatu luasan daerah tertentu. Kerapatan fluks magnetik sering juga disebut

induksi medan magnet yang dinyatakan dengan ( $\vec{B}$ ). jika kerapatan fluks magnetik  $\vec{B}$  berada dalam medium yang mengandung medan magnet maka (Hayt dan John, 2006):

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.9)$$

Dimana  $\mu$  adalah permeabilitas suatu medium dengan satuan Henry per meter ( $\text{Hm}^{-1}$ ). Sedangkan  $\vec{H}$  adalah kuat medan magnet, satuan dalam SI adalah amper per meter ( $\text{Am}^{-1}$ ). Sedangkan  $\vec{B}$  adalah fluks magnetik satuannya weber/meter kuadrat ( $\text{Wbm}^{-2}$ ) atau tesla (T).

#### 2.4.6. Suseptibilitas Magnetik

Intensitas magnetik pada batuan sebagian disebabkan oleh induksi dari magnet bumi dan adanya magnetisasi permanen. Intensitas dari induksi geomagnet akan bergantung pada suseptibilitas magnetik batuan dan gaya magnetnya, serta intensitas permanennya berdasarkan sejarah geologi batu tersebut.

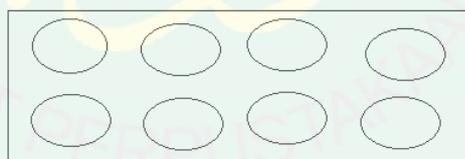
Suseptibilitas magnetik atau biasa disebut sebagai kerentanan magnet adalah suatu ukuran besar kecilnya suatu intensitas magnet. Suseptibilitas magnetik disimbolkan dengan “ $k$ ” (Telford et al., 1990). Faktor kesebandingan  $k$  adalah sifat fisik dari material yang dinamakan suseptibilitas magnetik. Suseptibilitas magnetik adalah ukuran seberapa mudah suatu material bisa dimagnetisasi. Besaran suseptibilitas adalah parameter dasar yang dipergunakan dalam prospek magnetik dimana semakin besar suseptibilitas batuan maka semakin banyak dijumpai mineral yang bersifat magnetik, dan suatu sifat

kerentanan magnet (suseptibilitas magnet) dalam ruang hampa bernilai  $k=0$  hal ini karena hanya benda yang berwujud yang dapat termagnetisasi.

Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik untuk setiap benda-benda magnetik tidak sama, hal ini bergantung dengan jenis bahan. Suseptibilitas magnetik akan menentukan sifat magnetik pada setiap bahan. Setiap batuan yang terdiri dari bermacam-macam mineral yang memiliki sifat magnetik dan suseptibilitas yang berbeda diklasifikasikan menjadi 3 kelompok yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik (Kaufman et al., 2008):

### 1. Diamagnetik

Material diamagnetik memiliki nilai suseptibilitas rendah atau negatif dan tidak tergantung pada medan magnet luar maka intensitas induksi akan berlawanan arah dengan gaya magnet atau medan polarisasi. Suseptibilitas tidak bergantung pada temperatur dan magnet luar. Material ini mempunyai nilai suseptibilitas  $(-8 < 310) \times 10^{-6}$  emu (Broto, 2011). Contoh dari material diamagnetik adalah: batuan kuarsa, marmer, *rock salt*, *graphite*, dan *gypsum*.

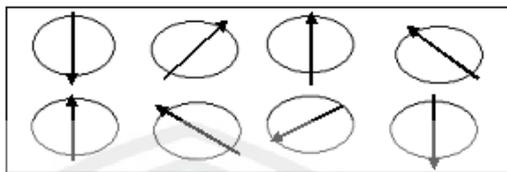


Gambar 2.7. Arah Polarisasi Diamagnetik (Syamsu, 2008).

### 2. Paramagnetik

Material paramagnetik memiliki nilai suseptibilitas rendah dan positif, nilai yang dimiliki sedikit lebih besar dari satu. Nilai suseptibilitas bergantung terhadap temperatur. Material ini memiliki nilai suseptibilitas  $(4 < 36000) \times$

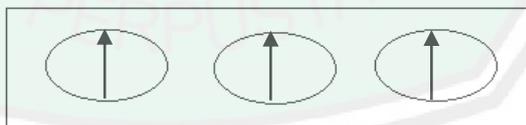
$10^{-6}$  emu (Syamsu, 2008). Contoh dari material paramagnetik adalah: Kapur, *olivine*, *pyroxene*, *amphibole*, dan *Biotite*.



Gambar 2.8. Arah Polarisasi Paramagnetik (Syamsu, 2008).

### 3. Ferromagnetik

Material ferromagnetik yaitu material yang memiliki nilai kerentanan magnet besar, misalnya berbagai batuan beku atau ultra basa (Broto, 2011). Material ferromagnetik dikarakterisasi dengan sifat kemagnetan kuat, memiliki nilai suseptibilitas tinggi, dan positif yang jauh lebih besar dari satu. Suseptibilitasnya bergantung terhadap temperatur. Nilai intensitas magnetisasi dari material ferromagnetik besarnya sejuta kali lebih besar daripada material diamagnetik dan paramagnetik. Material ini mempunyai nilai suseptibilitas ( $100 < (1.6 \times 10^{6}) \times 10^{-6}$  emu (Syamsu, 2008). Contoh dari material ferromagnetik adalah: besi, nikel, dan kobalt.



Gambar 2.9. Arah Polarisasi Ferromagnetik (Syamsu, 2008).

Material Ferromagnetik dibagi menjadi dua yaitu (Haryanto dkk., 2016):

#### a. Antiferromagnetik

Material antiferromagnetik domain-domain tadi menghasilkan *dipole* magnetik yang saling berlawanan arah sehingga momen magnetik secara

keseluruhan sangat kecil. Suseptibilitasnya seperti pada bahan paramagnetik, tetapi harganya naik sampai dengan titik *curie* kemudian turun lagi menurut hukum *curie-weiss*. Contoh batumannya adalah: *hematite*.

#### b. Ferrimagnetik

Pada bahan ferrimagnetik domain-domain tadi juga saling anti paralel tetapi jumlah *dipole* pada masing-masing arah tidak sama sehingga masih mempunyai resultan magnetisasi cukup besar. Suseptibilitasnya tinggi dan tergantung pada temperatur. Contoh batumannya adalah: *magnetite*, *ilmenite*, *pirhotite*, *hematite*, *ferrite*.

Tabel 2.1. Sifat Suseptibilitas Magnetik dari Batuan dan Mineral Magnetik (Telford, et al., 1990).

Jenis Batuan dan Mineral	Suseptibilitas Magnetik $\times 10^{-6}$ (cgs emu)	
	Range	Average
Batuan Sedimen		
Dolomit	0 – 75	10
Batu Gamping / Kapur	2 – 280	25
Batu Pasir / Pasir	0 – 1660	30
Lempung	5 – 1480	50
Rata-rata Sedimen	0 – 4000	75
Batuan Metamorf		
Amfibolit		60
Sekis ( <i>Schist</i> )	25 – 240	120
Phillite		130
Gneiss	10 – 2000	
Kuarsit ( <i>Quartzite</i> )		350
Serpentine	250 – 1400	6
Slate	0 – 3000	500
Rata-rata Metamorf	0 – 5800	

Batuan Beku		
Granit	0 – 4000	200
Riolit	20 – 3000	
Dolorit	100 – 3000	1400
Augit-senit	2700 – 3600	
Olivin-diabas		2000
Diabas	80 – 13000	4500
Porpiri	20 – 16700	5000
Gabbro	80 – 7200	6000
Basalt	20 – 14500	6000
Diorit	50 – 10000	7000
Piroxenit		10500
Peridotit	7600 – 15600	13000
Andesit	90 – 20000	13500
Rata-rata Beku Asam	3 – 6530	650
Rata-rata Beku Basa	44 – 9710	2600
Mineral		
Grafit		-8
Quartz		-1
Anidrite, Batu Kapur		-1
Calsit	-0,6 – -1	
Batu Bara ( <i>Coal</i> )		2
Tanah Liat ( <i>Soil</i> )		20
Chalcopirit		32
Sphalerit		60
Cassiterit		90
Siderit	100 – 310	
Pirit	4 – 420	130
Limonit		220
Garam Batu ( <i>Salt</i> )		-1
Arsenopirit		240

Hematit	40 – 3000	550
Chromit	240 – 9400	600
Franklinit		36000
Pirrhosit	100 – 50000	125000
Ilmenit	25000 – 300000	150000
Magnetit	100000 – 1600000	500000

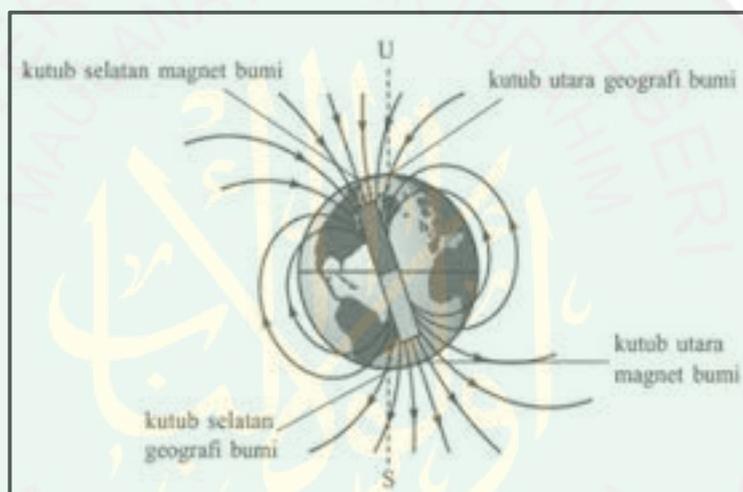
## 2.5. Medan Magnet Bumi

Medan magnet bumi disebabkan oleh adanya arus konveksi dari material konduktor pada inti luar bumi yang mencair. Dari beberapa teori yang berkembang inti bumi tersusun atas besi dan nikel yang dikenal sebagai konduktor listrik baik. Sumber magnetik bumi yang diibaratkan seperti dinamo, dimana fluida material yang mempunyai konduktivitas tinggi ini bergerak secara acak karena adanya arus konveksi (Telford et.al., 1990; Perdana, 2013).

Bumi diibaratkan sebagai magnet batang raksasa yang mempunyai gaya magnet dan kutub-kutub magnet. Kutub-kutub magnet terbagi menjadi dua yaitu kutub utara bumi yang terletak di Kepulauan Kanada pada koordinat 75° Lintang Utara sampai 101° Bujur Barat, dan kutub selatan bumi yang terletak di ujung Antartika pada koordinat 67° Lintang Selatan sampai 143° Bujur Timur. Medan magnet bumi yang ditimbulkan oleh magnet batang raksasa tidak berhimpit dengan pusat bumi, sehingga pada praktiknya sebuah penyimpangan jarum kompas terjadi karena posisi kutub-kutub magnet bumi tidak tepat berada di kutub-kutub bumi. Hal ini membuat garis-garis gaya magnet bumi mengalami penyimpangan terhadap arah utara dan selatan bumi sekitar  $\pm 11,5^\circ$ . Akibatnya pada kompas penyimpangan kutub utara akan membentuk sudut terhadap arah utara-selatan geografi, sehingga

posisi kutub utara bumi berada di dekat kutub selatan magnet dan kutub selatan bumi berada di dekat kutub utara magnet (Zubaidah et al., 2010).

Arah pergerakan medan selalu menuju ke permukaan bumi. Magnetik kutub utara medannya adalah vertikal yang bergerak secara *Inward* dan magnetik kutub selatan medannya juga vertikal tetapi bergerak secara *Outward*. Sedangkan ketika berada di equator medannya akan berubah menjadi horizontal yang bergerak secara *Northward* dan jika berada di kutub selatan maka medannya akan berubah menjadi vertikal kembali, namun bergerak secara *Outward* (Sarkowi, 2010).



Gambar 2.10. Arah Medan Magnet Bumi (Sarkowi, 2010).

Medan magnet bumi sebagai besaran vektor memiliki komponen medan magnet bumi atau biasa disebut elemen medan magnet bumi yang mempunyai tiga arah utama yaitu komponen arah utara geografis, komponen arah timur, dan komponen arah vertikal bawah (Mandea et al., 2010). Sedangkan dalam koordinat kartesian dinyatakan dalam X, Y, dan Z. Elemen-elemen tersebut adalah (Telford et al., 1990; Zubaidah et al., 2010):

### 1. Inklinasi (*Inclination*)

Inklinasi adalah posisi (sudut) pengamat ketika berada antara medan magnet total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal kebawah.

### 2. Deklinasi (*Declination*)

Deklinasi adalah penyimpangan antara sudut utara magnetik bumi dengan komponen horizontal ( $H = \sqrt{X^2 + Y^2}$ ) yang dihitung dari utara menuju timur (sudut antara utara geomagnet dan utara geografis).

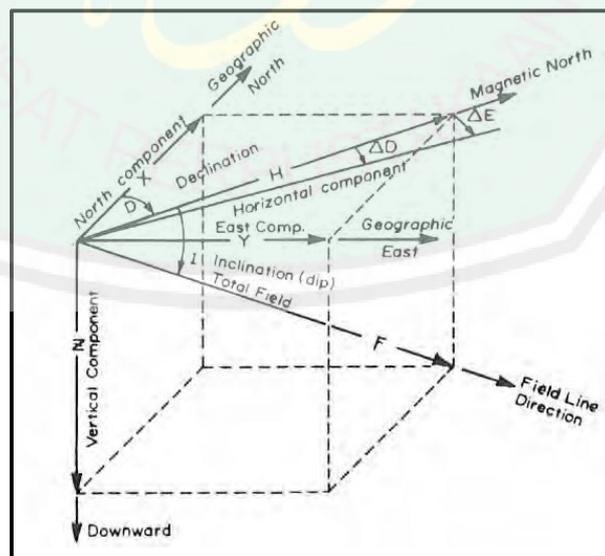
### 3. Intensitas horizontal (H)

Intensitas horizontal adalah besar dari medan magnetik total pada bidang horizontal.

### 4. Intensitas medan magnet total (F)

Intensitas medan magnet total adalah besar dari vektor medan magnetik dapat dituliskan sebagai  $F = \sqrt{H^2 + Z^2} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ .

Hubungan dari komponen-komponen tersebut terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Elemen-Elemen Medan Magnet Bumi ( Telford et al., 1990; Zubaidah et al., 2010).

Keterangan:

$H$  : Medan magnet horizontal (T).

$F$  : Intensitas medan magnet total (T).

$X$  : Utara geografis.

$Y$  : Timur geografis.

$Z$  : Medan magnet Vertikal (T).

Dalam kegiatan eksplorasi geofisika, nilai intensitas medan magnet yang terukur di lapangan merupakan gabungan dari nilai medan magnet utama (*main field*), medan magnet luar (*external field*), dan anomali medan magnet (*crustal field*) (Tjasyono, 2006):

### 2.5.1. Medan Magnet Utama (*Main Field*)

Pada tahun 1838, Gauss melakukan penelitian untuk mengetahui sumber medan magnet utama bumi. Nilai medan magnet utama yang bersumber dari dalam inti bumi merupakan nilai yang paling besar dan mendominasi nilai medan magnet bumi yaitu berkisar 99% (Blakely, 1995; Perdana et al., 2013). Medan magnet utama dapat didefinisikan sebagai medan rata-rata hasil pengukuran dalam jangka waktu yang cukup lama. Adanya perubahan medan magnet bumi terhadap waktu mengakibatkan ketidakseragaman nilai medan magnet bumi, sehingga untuk menyeragamkan nilai-nilai medan magnet bumi dibuatlah standar nilai yang disebut dengan *International Geomagnetism Reference Field* (IGRF). Nilai medan magnet bumi ditentukan berdasarkan kesepakatan internasional di bawah pengawasan *International Association of Geomagnetism and Aeronomy* (IAGA) dan akan selalu diperbaharui setiap 5 tahun sekali. Nilai IGRF tersebut diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 km<sup>2</sup> yang dilakukan dalam waktu satu tahun. Nilai intensitas medan magnet utama bumi berkisar antara 2500 nT sampai 6500 nT (Zubaidah et al., 2010).

### 2.5.2. Medan Magnet Luar (*External Field*)

Pengaruh medan magnet luar berasal dari pengaruh luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari 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. Beberapa sumber medan luar antara lain (Telford et al., 1990; Wahyudi, 2001):

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

### 2.5.3. Anomali Medan Magnet (*Crustal Field*)

Anomali merupakan sebuah penyimpangan, dalam hal ini anomali magnetik merupakan sebuah penyimpangan medan magnet yang disebabkan karena adanya batuan yang mengandung mineral magnetik kemudian dijadikan tujuan utama dalam penyelidikan geomagnet (Ariani dkk., 2013). Anomali medan magnet ini terjadi di dekat permukaan kerak bumi dan merupakan penyebab perubahan dalam medan magnet utama yang biasanya jauh lebih kecil dari pada medan utama serta relatif konstan terhadap waktu dan tempat (Telford, et al., 1990).

Besarnya anomali magnetik berkisar ratusan sampai dengan ribuan nT, tetapi ada juga yang lebih besar dari 100.000 nT yang berupa endapan magnetik. Dalam survei dengan metode magnetik yang menjadi target dari pengukuran adalah variasi medan magnetik yang terukur di permukaan (anomali magnetik). Secara garis besar anomali ini disebabkan oleh medan magnetik remanen (kemagnetan sisa yang menetap pada batuan) dan medan magnet induksi. Bila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksi maka anomalnya bertambah besar, demikian juga sebaliknya. Medan magnet remanen mempunyai peranan yang besar pada magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetnya serta sangat rumit diamati karena berkaitan dengan peristiwa kemagnetan yang dialami sebelumnya. Sisa kemagnetan ini disebut dengan *Normal Residual Magnetism* yang merupakan akibat magnetisasi medan utama. Anomali yang diperoleh dari survei merupakan hasil gabungan dari keduanya, dalam survei magnetik adanya anomali magnetik menyebabkan perubahan medan magnet total bumi dan persamaan medan magnetik luar dapat dituliskan dalam persamaan berikut (Telford et al., 1990; Kahfi et al., 2008):

$$H_A = H_T - H_M + H_O \quad (2.10)$$

Keterangan:

$H_A$  : Medan anomali magnetik.

$H_T$  : Medan magnetik total bumi.

$H_M$  : Medan magnetik utama bumi (IGRF).

$H_O$  : Medan magnet luar.

## 2.6. Metode Geomagnetik

Metode geomagnetik adalah salah satu metode geofisika untuk mengukur variasi intensitas medan magnetik pada suatu daerah. Variasi intensitas medan

magnetik yang terukur di bumi bergantung pada beberapa faktor seperti kandungan bahan magnetik dalam suatu massa batuan maupun suhu yang mempengaruhi sifat kemagnetan suatu batuan. Nilai intensitas medan magnetik dalam suatu massa batuan kemudian ditafsirkan dalam bentuk distribusi bahan magnetik yang termagnetisasi di bawah permukaan bumi dan kemudian dijadikan dasar pendugaan keadaan geologi bawah permukaan. Pengukuran intensitas medan magnetik bisa dilakukan melalui darat, laut, dan udara. Metode geomagnetik sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, panas bumi, batuan mineral, pencarian prospek benda-benda arkeolog, maupun untuk keperluan pemantauan (monitoring) gunung berapi (Rehman, 2019).

#### **2.6.1. Koreksi Data Geomagnetik**

Adanya suatu sumber yang merupakan suatu zona massa di bawah permukaan bumi, akan menyebabkan suatu gangguan dalam medan magnet yang sering disebut sebagai anomali magnetik. Hasil pembacaan di lapangan harus dihitung sehingga menghasilkan nilai-nilai perubahan magnetik bumi yang terkoreksi. Faktor-faktor koreksi ini adalah koreksi harian dan *International Geomagnetism Reference Field* (IGRF).

##### **1. Koreksi Harian**

Koreksi harian atau variasi harian merupakan variasi medan magnet yang sebagian bersumber dari medan magnet luar. Terdapatnya medan magnet luar berasal dari perputaran arus listrik di dalam lapisan udara yang terionisasi oleh matahari sehingga menjadi ion-ion yang akan menjadi magnet ketika ada listrik di ionosfer (Syamsu, 2008). Koreksi harian (*diurnal correction*) juga merupakan penyimpangan nilai intensitas medan magnetik bumi. Hal ini diakibatkan karena

adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari waktu pengukuran. Peristiwa ini bisa terjadi pada waktu yang relatif singkat maupun lama.

Aktivitas matahari sangat berpengaruh terhadap medan magnet luar bumi, salah satunya yaitu bintik matahari yang memberikan pengaruh besar terhadap medan magnetik luar bumi. Radiasi matahari dapat menyebabkan badai matahari sehingga dapat mempengaruhi medan magnet bumi. Nilai variasi harian di daerah khatulistiwa (seperti Indonesia) memiliki perbedaan sekitar 50 gamma (1 gamma = 1 nT) (Haryanto dkk., 2017). Nilai ini sangat berpengaruh terutama untuk kegiatan eksplorasi yang lebih detail. Untuk menghilangkan efek medan magnet luar yang terukur oleh alat maka dilakukan koreksi harian (*diurnal correction*).

Koreksi tersebut bisa dianalisis dengan menghitung medan magnet total yang diperoleh di titik akhir pengukuran, kemudian dikurangi terhadap nilai hasil pengukuran medan magnetik total titik awal, dan dikalikan dengan variasi waktu. Persamaan tersebut dapat ditulis dengan (Hakim dkk., 2014):

$$H_D = \left( \frac{t_n - t_{aw}}{t_{ak} - t_{aw}} \right) \times (H_{ak} - H_{aw}) \quad (2.11)$$

Keterangan:

$H_D$  : Nilai koreksi variasi harian (*diurnal correction*).

$t_n$  : Waktu pada titik n.

$t_{ak}$  : Waktu pada titik akhir.

$t_{aw}$  : Waktu pada titik awal.

$H_{ak}$  : Nilai medan magnet total di titik akhir.

$H_{aw}$  : Nilai medan magnet total di titik awal.

## 2. Koreksi *International Geomagnetism Reference Field* (IGRF)

Pada tahun 2014 *International Geomagnetism Reference Field* (IGRF) telah memasuki generasi ke 12 dalam membuat sebuah diskripsi matematis untuk menentukan harga medan magnetik utama bumi. Penelitian ini dilakukan oleh tim pemodelan bidang geomagnetik V-MOD berdasarkan kesepakatan internasional dibawah pengawasan *International Association of Geomagnetism and Aeronomy* (IAGA). *International Geomagnetism Reference Field* (IGRF) merupakan referensi nilai medan magnet yang mewakili nilai medan magnet utama bumi (Thébault et al., 2015).

Nilai IGRF ini didapatkan dari sebuah situs di Internet yang bernama *National Geophysical Data Center* (NGDC). Situs NGDC merupakan sebuah situs simulasi atau pemodelan dari nilai IGRF suatu daerah di muka bumi, sehingga dapat diketahui nilai IGRF suatu daerah dari tahun ke tahun sesuai waktu penelitian yang telah dilakukan.

Selain itu untuk koreksi IGRF juga dapat dilakukan dengan cara mengurangi nilai IGRF terhadap nilai medan magnetik total yang telah terkoreksi harian pada setiap titik pengukuran pada posisi geografis yang sesuai. Persamaan koreksinya (setelah dikoreksi harian) dapat dituliskan sebagai berikut (Tampubolon et al., 2018):

$$\Delta H_A = \Delta H_{rata-rata} \pm H_D - H_M \quad (2.12)$$

Keterangan :

$\Delta H_A$  : Nilai anomali medan magnet total.

$\Delta H_{rata-rata}$  : Nilai rata-rata intensitas medan magnet di setiap titik.

$H_D$  : Nilai koreksi variasi harian (*diurnal correction*).

$\Delta H_M$  : Nilai medan magnet utama bumi (IGRF= 45028 nT).

## 2.6.2. Transformasi Medan Geomagnetik

### 1. Reduksi Bidang Datar

Proses pengukuran dengan metode geomagnetik yang dilakukan pada ketinggian yang berbeda maka akan menghasilkan nilai medan magnet yang berbeda pula. Oleh karena itu data anomali harus di transformasi pada suatu bidang dengan ketinggian yang sama (*level surface*). Kesalahan yang mungkin terjadi apabila dilakukan sebuah pemodelan atau interpretasi pada bidang yang tidak rata (*uneven surface*) disebabkan oleh ketidak teraturan ketinggian data pengukuran.

Deret Taylor adalah salah satu metode yang digunakan dalam proses reduksi bidang datar. Metode ini diterapkan sebagai suatu teknik untuk memodifikasi bentuk benda penyebab anomali melalui fungsi non linear dengan menggunakan turunan sebuah fungsi yang dihitung pada satu titik dengan cara mengekstrapolasi dan menginterpolasi fungsi di sekitar titik tersebut. Deret Taylor juga dapat digunakan untuk memprediksi harga atau nilai medan potensial diantara dua titik yang berdekatan yang telah diketahui nilainya atau dapat juga digunakan untuk memprediksi nilai medan potensial pada titik-titik yang jauh dari bidang observasi (Blakely, 1995).

Jika dengan mengasumsikan suatu medan potensial  $U(x, y, z)$  secara aktual yang diukur pada suatu bidang yang tidak horizontal  $z(x, y)$  dan diinginkan nilai medan potensial tersebut pada bidang datar ( $z_0 = \text{konstan}$ ). Nilai medan potensial pada suatu titik  $(x, y, z_0)$  dari suatu permukaan yang baru ini dinyatakan dalam persamaan (Blakely, 1995; Rubaiyn dkk, 2019):

$$U(x, y, z_0) = U(x, y, z) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(z - z_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} U(x, y, z_0) \quad (2.13)$$

Secara empiris bahwa konvergensi persamaan 2.14 dapat berlangsung dengan cepat apabila  $z_0$  ditempatkan pada daerah rata-rata dari  $z(x, y)$  (Cordell dan Grauch, 1982; Blakely, 1995).

## 2. Kontinuasi ke Atas

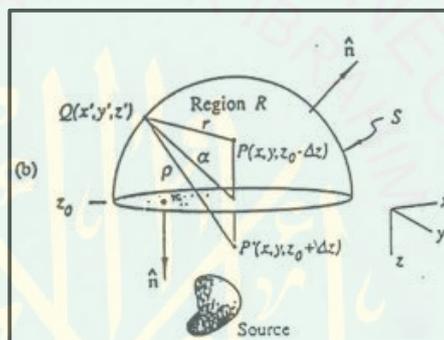
Suatu proses pengubahan data medan potensial yang diukur pada suatu bidang permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada bidang permukaan yang lebih tinggi disebut kontinuasi ke atas (Telford et al., 1990). Proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan cara trial and error yang pada prinsipnya mengamati kecenderungan dari pola kontur yang terjadi pada saat pengolahan data.

Konsep dari proses kontinuasi ke atas berlandaskan pada identitas ketiga teorema Green. Teorema ini menjelaskan apabila suatu fungsi  $U$  adalah harmonik, kontinu dan mempunyai turunan yang kontinu disepanjang daerah  $R$ , maka nilai  $U$  pada suatu titik  $P$  di dalam daerah  $R$  dapat dirumuskan melalui persamaan (Blakely, 1995; Darmawan, dkk. 2012):

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left( \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) ds \quad (2.14)$$

dengan  $S$  menunjukkan permukaan daerah  $R$ ,  $n$  menunjukkan arah normal keluar dan  $r$  adalah jarak dari titik  $P$  ke suatu titik pada permukaan  $S$ .

Metode kontinuitas ke atas digunakan karena dapat mentransformasi medan potensial yang diukur pada suatu permukaan, sehingga medan potensial di tempat lain berada di atas permukaan pengukuran dan cenderung menonjolkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dalam (efek regional) dengan menghilangkan atau mengabaikan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dangkal (efek lokal). Hasil dari metode ini adalah anomali regionalnya. Anomali lokal diperoleh dengan menghitung selisih anomali total terhadap anomali regionalnya (Ganiyu et al., 2012).



Gambar 2.12. Ilustrasi Kontinuitas ke Atas dari Permukaan Horizontal (Blakely, 1995).

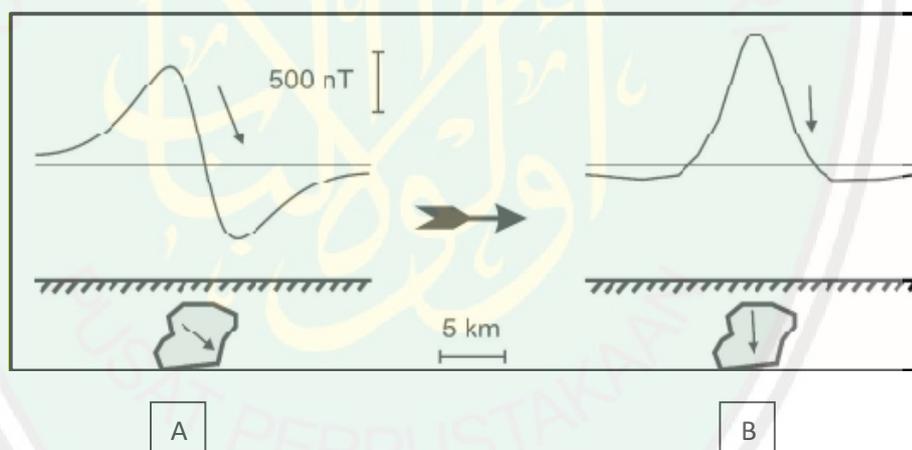
### 3. Reduksi ke Kutub Magnet Bumi

Baranov dan Naudy (1964) menggambarkan proses transformasi data dengan cara reduksi ke kutub digunakan untuk menyederhanakan interpretasi data magnetik pada daerah-daerah berlintang rendah dan menengah.

Medan magnet bumi selalu bervariasi terhadap waktu dan posisi, atau disebut sebagai *dipole*. Hasil dari proses koreksi data dalam metode geomagnetik tidak dapat menunjukkan benda-benda penyebab anomali secara tepat. Untuk melokalisasi daerah dengan anomali maksimum atau minimum tepat berada di atas tubuh benda penyebab anomali, maka dilakukan reduksi ke kutub dengan

cara menghilangkan gangguan dalam objek magnetik (*dipole*) atau dikenal dengan gangguan kutub yang akan ditransformasikan menjadi satu kutub (*monopole*) dimana posisi benda menjadi tepat di bawah klosur utama.

Tahapan reduksi ke kutub merupakan salah satu filter pengolahan data magnetik untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik. Filter tersebut diperlukan karena sifat *dipole* anomali magnetik menyulitkan interpretasi data lapangan yang umumnya masih berpola asimetris (tidak beraturan). Proses transformasi reduksi ke kutub dilakukan dengan merubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal, sehingga hasilnya berubah dari pola asimetris (tidak beraturan) menjadi ke pola simetris (beraturan) (Ganiyu et al., 2012).



Gambar 2.13 Anomali Magnetik (A) dan Anomali Hasil Reduksi ke Kutub (B) (Blakely, 1995).

Bentuk dari kontur anomali magnet ditentukan oleh besarnya sudut inklinasi dan deklinasi dari medan magnet utama bumi. Bentuk anomali magnet yang sama akan menghasilkan bentuk kontur yang berbeda apabila berada pada kawasan yang mempunyai nilai inklinasi dan deklinasi yang berbeda, hal ini disebabkan oleh sifat dwikutub (*dipole*) magnet. Reduksi ke kutub bertujuan untuk membuat

data yang diukur pada daerah selain kutub akan dibawa ke daerah kutub (Ansari dan Alamdar, 2009). Persamaan reduksi ke kutub ditulis dalam persamaan:

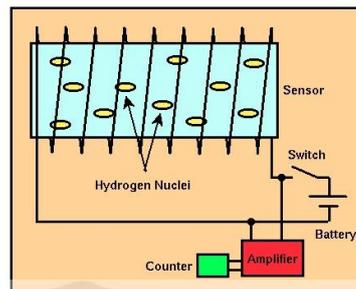
$$F\Delta T_r = F[\Psi_r]F[\Delta T] \quad (2.15)$$

dimana,  $F[\Psi_r]$  adalah transformasi reduksi ke kutub.  $F[\Delta T]$  adalah transformasi anomali medan magnet yang diukur di kutub. Dan  $F[\Delta T_r]$  adalah transformasi medan magnet yang diakibatkan oleh magnetisasi sumbernya (Blakely, 1995).

### 2.7 Magnetometer (*Proton Precision Magnetometer*)

Peralatan utama dalam proses akuisisi data geomagnetik adalah magnetometer, salah satu jenisnya yaitu *Proton Precision Magnetometer* (PPM). Dalam kegiatan akuisisi di lapangan, alat tersebut dioperasikan sebagai *base* dan *rover*. Alat yang digunakan sebagai *base* berfungsi untuk mengukur variasi harian akibat pengaruh medan magnet dari luar bumi. Sedangkan alat yang dioperasikan sebagai *rover* berfungsi untuk mengukur variasi intensitas medan magnetik pada titik-titik pengukuran yang telah ditentukan pada desain survei (Haryanto dkk., 2017).

Komponen utama dari *proton precision magnetometer* (PPM) secara umum terdiri dari sumber proton, medan magnet polarisasi yang sangat kuat dan diarahkan searah dengan medan magnet bumi, kumparan kawat tembaga (*coil*) yang dililitkan pada sumber proton dan dihubungkan dengan sumber arus, rangkaian penghitung frekuensi, penguat untuk menguatkan tegangan induksi di dalam kumparan kawat tembaga (*coil*), dan pengukur frekuensi. Sensor berbentuk tabung yang berisi zat cair yang kaya akan proton (hidrogen atau *kerosene*) (Milsom, 2003).



Gambar 2.14. Diagram Kotak dari PPM (Milsom, 2003).

Berdasarkan gambar 2.14 prinsip kerja dari alat *proton precision magnetometer* (PPM) yaitu ketika saklar dengan posisi tertutup, maka arus akan mengalir dari baterai menuju gulungan kawat tembaga (*coil*). Arus tersebut akan membentuk medan magnet dalam sebuah tabung, selanjutnya cairan hidrogen (proton) dalam tabung akan berputar pada arah gulungan kawat tembaga (*coil*). Pada saat arus listrik diputus, kawat tembaga (*coil*) akan dihubungkan dengan rangkaian penghitung frekuensi, sementara proton akan berpresesi atau mengalami perubahan arah sumbu putar dari medan yang kuat menuju ke medan magnet bumi pada lokasi penelitian. Gerakan momen magnet proton akan menghasilkan medan magnet siklik yang menginduksi arus pada kumparan dengan interval beberapa detik sebelum proton berhenti berpresesi. Selama interval waktu tersebut, penghitung frekuensi akan mengukur frekuensi presisi proton. Frekuensi presesi ini yang diterjemahkan oleh alat dan diolah menjadi pembacaan untuk menentukan nilai medan magnet total pada lokasi penelitian yang ditampilkan pada layar PPM (Milsom, 2003).

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 14 sampai 15 september 2019. Lokasi penelitian terletak di Dukuh Klatak, Desa Keboireng, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung. Secara geografis, lokasi penelitian terletak pada koordinat  $8^{\circ}15'55.65''$  LS -  $8^{\circ}16'6.93''$  LS hingga  $111^{\circ}45'22.73''$  BT -  $111^{\circ}45'34.68''$  BT. Luas area penelitian diperkirakan kurang lebih 500m x 130m.



Gambar 3.1 Desain Akuisisi Data pada Area Penelitian.

Alat yang digunakan untuk melakukan proses akuisisi data geomagnetik pada penelitian antara lain:

1. Magnetometer, jenis *Proton Precession Magnetometer* (PPM) G-856.
2. *Global Positioning System* (GPS)
3. Peta geologi
4. Alat pengukur waktu

5. Alat tulis
6. Kamera
7. Kompas

Proses pengolahan dan pemodelan data pada penelitian ini menggunakan perangkat keras dan *software* pendukung seperti:

1. Laptop
2. MS. Word
3. MS. Excel
4. Matlab
5. Surfer 13
6. MagPick
7. Oasis Montaj 6.4.2

### **3.2. Prosedur Pelaksanaan Penelitian**

Prosedur pelaksanaan penelitian terdiri dari 5 tahap yaitu tahap pra akuisisi data, tahap akuisisi data, tahap pengolahan data, tahap pemodelan data, dan tahap interpretasi data.

#### **3.2.1. Tahap Pra Akuisisi Data**

Tahap pra akuisisi data terdiri dari survei lokasi daerah penelitian, studi pustaka untuk mempelajari literatur-literatur yang berhubungan dengan geologi dan stratigrafi dengan tujuan memperoleh informasi kondisi litologi batuan dari daerah penelitian, serta pembuatan desain area penelitian dengan model lintasan secara grid.

### 3.2.2. Tahap Akuisisi Data

Tahap akuisisi data dilakukan pada sekitar area singkapan batubara muda di Dukuh Klatak, Desa Keboireng, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung. Jumlah titik pengukuran adalah 229 menggunakan spasi antara satu titik pengukuran dengan titik pengukuran berikutnya yaitu 17 m. Tahap pertama akuisisi data adalah menentukan posisi *base station*, tahap kedua yaitu proses pengukuran pada titik pertama dan untuk titik berikutnya dengan mengikuti plot desain lintasan menggunakan metode *looping*. Metode *looping* yaitu metode pengukuran yang dimulai dari *base station* dan berakhir di *base station* lagi. Hasil yang didapatkan pada tahap kedua yaitu akan berupa data koordinat lintang, data koordinat bujur, data ketinggian, waktu pengukuran, serta nilai intensitas medan magnet total. Proses pengambilan data disetiap titik pengukuran dilakukan dengan pengulangan sebanyak tiga kali dan selanjutnya data akan dirata-ratakan untuk diambil sebagai nilai medan magnet total.

### 3.2.3. Tahap Pengolahan Data

Proses dari tahap akuisisi data akan diperoleh sebuah data mentah yang masih terdapat pengaruh dari dalam dan luar bumi. Tahap pengolahan data akan melakukan koreksi terhadap data lapangan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet total yang sudah tidak dipengaruhi oleh nilai magnetik dari dalam dan luar bumi. Tahapan selanjutnya dari pengolahan data yaitu proses transformasi data dengan tujuan untuk memudahkan dalam tahap interpretasi data secara kualitatif, di bawah ini adalah penjelasan mengenai tahap pengolahan data metode geomagnetik:

### 1. Koreksi Harian dan Koreksi IGRF

Proses pengolahan data awal yaitu melakukan koreksi harian (*diurnal correction*). Koreksi harian dilakukan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet yang berasal dari luar dan adanya penyimpangan nilai intensitas medan magnetik bumi akibat perbedaan waktu dalam satu hari pengukuran. Koreksi harian dilakukan dengan ketentuan apabila nilai variasi harian negatif, maka koreksi harian dilakukan dengan menambahkan nilai intensitas medan magnet total di setiap stasiun dengan nilai variasi harian terhadap waktu, sedangkan apabila nilai variasi harian positif, maka koreksi harian dilakukan dengan mengurangi nilai intensitas medan magnet total di setiap stasiun dengan nilai variasi harian terhadap waktu.

### 2. Koreksi *International Geomagnetism Reference Field* (IGRF)

Medan magnet utama bumi adalah rata-rata nilai intensitas medan magnet pada daerah pengukuran. Medan magnet utama bumi dapat dihilangkan menggunakan koreksi IGRF. Nilai dari koreksi IGRF didapatkan dari kalkulator medan magnet di website NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

### 3. Reduksi ke Bidang Datar

Proses reduksi ke bidang datar dilakukan karena hasil anomali medan magnet masih berada pada topografi yang tidak rata, hal ini disebabkan karena kondisi geologi yang tidak teratur ketinggian data pengukurannya, sehingga data anomali tersebut perlu diproyeksikan ke sebuah bidang datar dengan ketinggian yang sama. Sebuah metode yang dapat digunakan untuk membawa data anomali hasil lapangan yang masih terdistribusi di bidang yang tidak horizontal (seperti

bidang topografi) ke sebuah bidang yang horizontal adalah melalui pendekatan dengan metode Deret Taylor. Pengolahan dengan metode Deret Taylor akan ditulis dalam bentuk algoritma yang dijalankan pada *software* Matlab.

#### 4. Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Kontinuasi ke atas atau *upward continuation* adalah proses-proses transformasi data geomagnetik terhadap ketinggian yang dilakukan dengan bantuan *software* MagPick. Hasil dari proses kontinuasi ke atas diharapkan dapat menekan *noise-noise* frekuensi tinggi dengan benda-benda magnetik disekitarnya. Dalam tahapan ini yang harus diingat bahwa proses pengangkatan data tidak boleh dilakukan terlalu tinggi, karena dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang menjadi target survei geomagnetik ini.

Proses kontinuasi ke atas atau *upward continuation* juga bertujuan untuk proses pemisahan hasil anomali lokal dan anomali regional. Proses ini sebagai filter tapis rendah yang bermaksud untuk menghilangkan atau mereduksi efek magnetik lokal yang berasal dari berbagai sumber benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi yang tidak terkait dengan survei. Proses pemisahan anomali lokal dan anomali regional dilakukan dengan pengangkatan ke atas pada ketinggian tertentu sampai semua kontur membentuk kurva terbuka. Hasil dari kontur cenderung tetap dan tidak mengalami perubahan pola ketika proses pengangkatan yang lebih tinggi, sehingga hasil tersebut dapat digunakan sebagai acuan proses interpretasi selanjutnya.

## 5. Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub adalah salah satu transformasi data yang dilakukan karena adanya perbedaan nilai inklinasi dan deklinasi dari setiap daerah. Proses reduksi ke kutub ini dilakukan dengan cara mengubah sudut inklinasi dan deklinasi menjadi  $90^\circ$  dan  $0^\circ$ . Hasil dari reduksi ke kutub ialah mencoba untuk mentransformasikan medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnetik, selain itu transformasi ini digunakan untuk mempermudah proses interpretasi data secara kualitatif dalam menentukan posisi atau keberadaan dari benda magnetik. Proses transformasi reduksi ke kutub dapat dilakukan dengan bantuan *software* MagPick.

### 3.2.4. Tahap Pemodelan Geologi

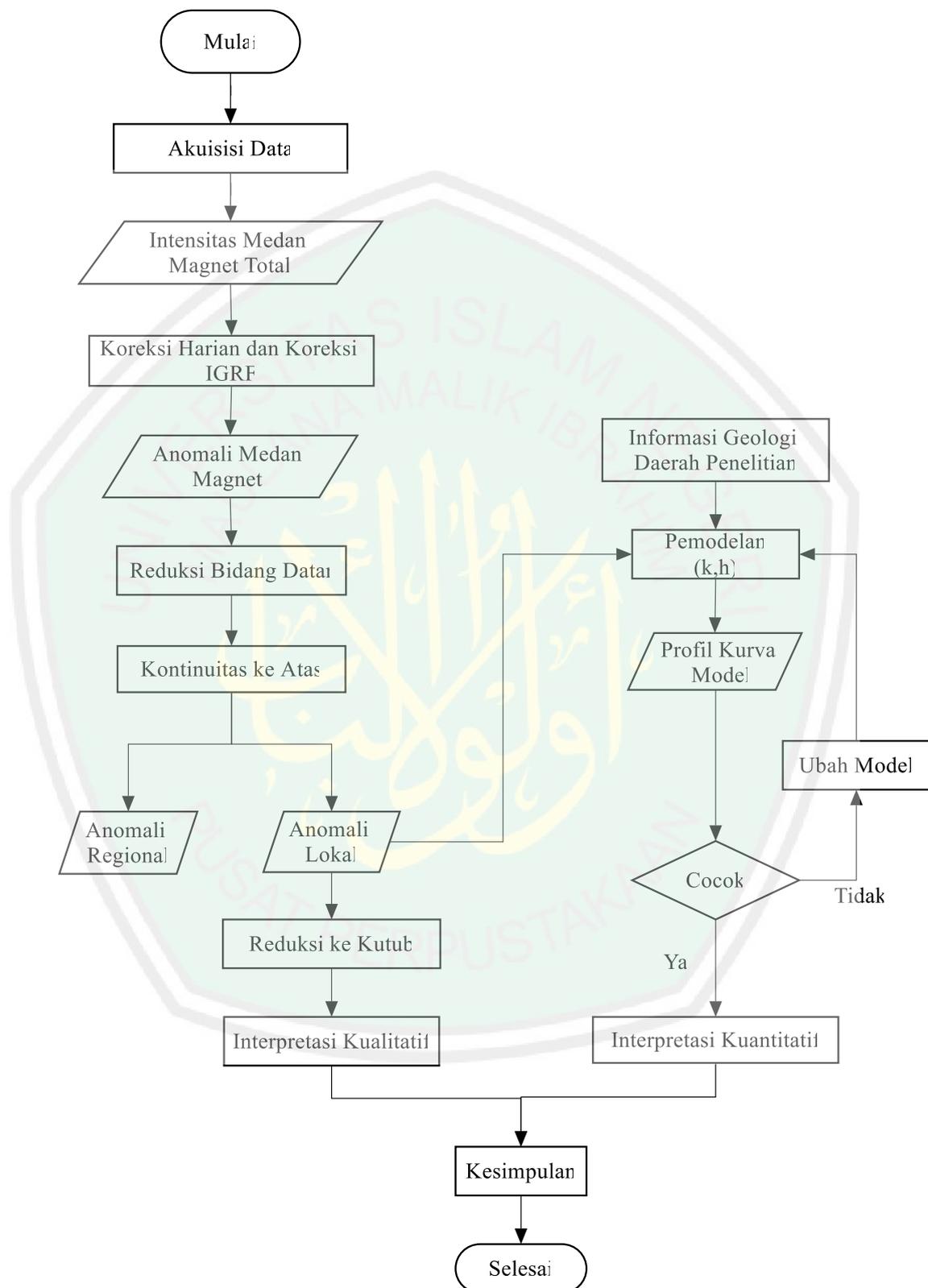
Pemodelan geologi dilakukan dengan menggunakan metode pemodelan ke depan (*forward modelling*). Menurut Talwani (1959) teknik pemodelan ke depan merupakan suatu metode matematika yang digunakan untuk mengolah data menjadi suatu bentuk model litologi batuan yang digambarkan sebagai sisi-sisi poligon melalui pendekatan geologi pada lokasi penelitian. Proses pemodelan dapat dibuat dengan menggunakan *software* Oasis Montaj 6.4.2. Pada proses interpretasi data hasil dari model yang dibuat harus mempunyai respon yang cocok atau *fit* dengan data pengamatan atau data lapangan, dengan demikian model yang dibuat dapat dianggap mewakili litologi batuan bawah permukaan di lokasi penelitian. Untuk memperoleh kesesuaian data tersebut dalam proses pemodelan dilakukan dengan cara coba-coba (*trial and error*).

Terdapat dua parameter yang digunakan dalam proses pemodelan menggunakan *software* Oasis Montaj 6.4.2. Parameter yang pertama yaitu berupa inputan data anomali medan magnetik lokal hasil *slice* di sepanjang lintasan titik koordinat tertentu, data ketinggian, data koordinat inklinasi dan deklinasi, serta nilai dari medan magnet teori (IGRF) pada lokasi penelitian. Sedangkan parameter kedua ialah bentuk benda anomali yang digambarkan sebagai sisi-sisi poligon akan ditentukan nilai suseptibilitas batuan berdasarkan informasi dari data geologi, sehingga akan diperoleh kurva anomali pengamatan dan kurva anomali model. Hasil kurva anomali pengamatan yang mendekati kurva anomali model akan menghasilkan bentuk 2 dimensi dari benda yang menyebabkan anomali magnet.

### **3.2.5. Tahap Interpretasi Data**

Interpretasi data dilakukan dengan dua cara yaitu interpretasi secara kualitatif dan interpretasi secara kuantitatif. Interpretasi data secara kualitatif dilakukan dengan menganalisis peta kontur anomali lokal hasil reduksi ke kutub, sedangkan untuk interpretasi data secara kuantitatif dilakukan dengan menganalisis hasil pemodelan geologi bawah permukaan. Interpretasi secara kualitatif dilakukan untuk menduga ada atau tidaknya benda penyebab anomali dan untuk melokalisasi daerah yang mempunyai anomali, sedangkan interpretasi secara kuantitatif adalah kelanjutan untuk menentukan model, ketebalan lapisan, dan kedalaman target anomali atau struktur geologinya.

### 3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Metode geomagnetik adalah salah satu metode geofisika pasif yang dimanfaatkan untuk mendapat gambaran bawah permukaan bumi atau benda dengan karakteristik magnetik tertentu. Metode geomagnet didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Variasi ini disebabkan oleh kontras sifat kemagnetan antar batuan di bawah permukaan bumi sehingga menimbulkan medan magnet yang tidak homogen atau bisa disebut sebagai anomali magnetik.

### **4.1. Akuisisi Data**

Proses akuisisi data dilakukan pada koordinat  $8^{\circ}15'55.65''$  LS -  $8^{\circ}16'6.93''$  LS hingga  $111^{\circ}45'22.73''$  BT -  $111^{\circ}45'34.68''$  BT. Nilai intensitas medan magnet yang diperoleh dari proses akuisisi data diukur menggunakan alat *Proton Precision Magnetometer* (PPM) tipe G-856. Field magnetometer melakukan pembacaan sebanyak 3 kali untuk setiap titik lokasi pengukuran, hal ini dilakukan agar memperoleh nilai intensitas medan magnet yang detail. Jumlah titik akuisisi yaitu 229 menyebar pada area singkapan batubara sepanjang sungai dengan spasi titik pengukuran 17 meter dan dalam luas area penelitian 500 meter x 130 meter. Data koordinat lintang, bujur, ketinggian titik ukur, dan waktu pengukuran terbaca melalui GPS yang dicatat dalam setiap titik pengukuran.

## 4.2. Pengolahan Data

Pengolahan data geomagnetik dilakukan untuk mengidentifikasi batubara muda dan mengetahui litologi bawah permukaan yang dilihat dari perubahan nilai intensitas medan magnet pada lokasi tersebut. Proses pengolahan data dimulai dengan mengkonversi koordinat lintang dan bujur yang diperoleh pada saat proses akuisisi data di lapangan. Data koordinat yang diperoleh dari bentuk *Decimal Degree* akan dirubah ke dalam bentuk *Universal Transfer Mercator (UTM)* dengan tujuan untuk mempermudah bacaan pada Surfer 13 dan proses pengolahan data berikutnya.

Data hasil pembacaan alat *Proton Precission Magnetometer (PPM)* di area penelitian merupakan data mentah yang besar nilainya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti sifat-sifat bumi secara keseluruhan (*main field*), medan magnet yang dihasilkan oleh sumber di atas permukaan bumi (*external field*), dan medan magnet yang dihasilkan oleh ketidak homogenan kerak bumi (*anomaly*) sehingga diperlukan koreksi harian (*diurnal correction*) dan koreksi IGRF pada data hasil pembacaan alat untuk menghilangkan pengaruh tersebut. Tujuan akhir dari koreksi yang dilakukan untuk memperoleh nilai anomali medan magnet total pada tiap titik ukur.

Nilai IGRF diperoleh dari suatu lembaga penelitian yang terlibat dalam pengumpulan dan penyebarluasan data medan magnet dari satelit dan survei di seluruh dunia. Nilai-nilai tersebut akan diperbarui setiap 5 tahun sekali. Untuk memperoleh nilai IGRF dapat diakses melalui web NOAA. Perhitungan IGRF yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data yang dirilis pada tahun 2015 dan

valid sampai desember 2020. Hasil perhitungan IGRF secara otomatis akan muncul tampilan sebagai berikut:

Gambar 4.1. Kalkulator IGRF (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/>).

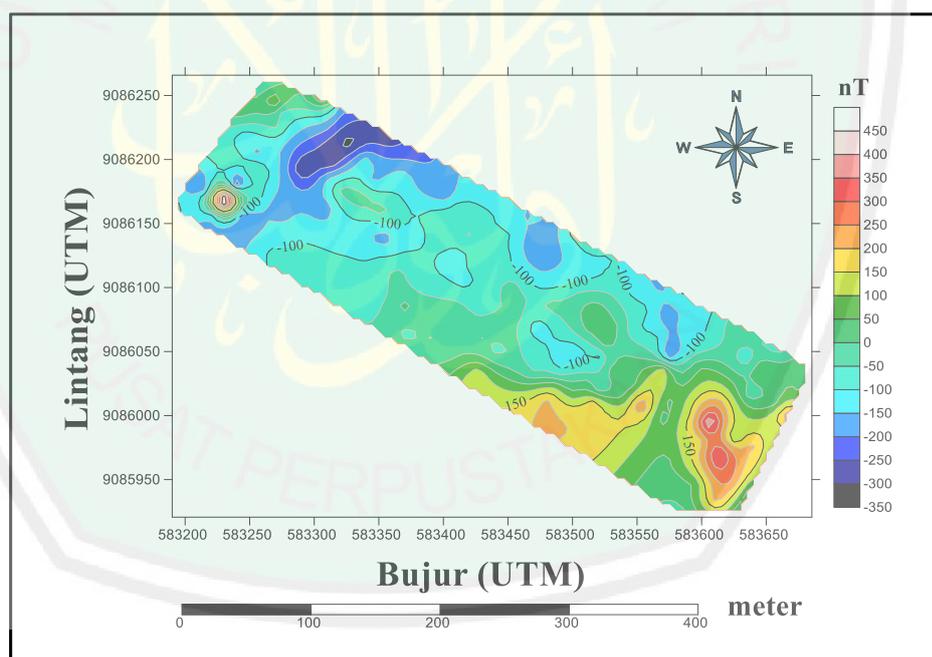
Date	Declination (+ E   - W)	Inclination (+ D   - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N   - S)	East Comp (+ E   - W)	Vertical Comp (+ D   - U)	Total Field
2019-09-14	0.8671°	-32.8017°	37,848.3 nT	37,844.0 nT	572.8 nT	-24,393.2 nT	45,028.0 nT
<b>Change/year</b>	<b>-0.0496°/yr</b>	<b>0.1450°/yr</b>	<b>37.8 nT/yr</b>	<b>38.3 nT/yr</b>	<b>-32.2 nT/yr</b>	<b>111.2 nT/yr</b>	<b>-28.5 nT/yr</b>

Gambar 4.2. Nilai IGRF (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/>).

Hasil dari koreksi IGRF secara otomatis di daerah penelitian diperoleh nilai sebesar 45.028 nT. Selain itu dalam situs *website* tersebut juga diperoleh nilai inklinasi sebesar  $-32.8017^\circ$  dan deklinasi sebesar  $0.8672^\circ$ . Semua nilai-nilai tersebut akan digunakan dalam inputan pengolahan data berikutnya.

#### 4.2.1. Anomali Medan Magnet

Hasil dari koreksi-koreksi yang dilakukan pada tahapan pengolahan data didapatkan peta TMI (*Total Magnetic Intensity*) atau bisa juga disebut sebagai peta kontur anomali medan magnet total. Peta kontur pada gambar 4.1 menunjukkan nilai maksimal anomali rendah -350 nT dan anomali tinggi 450 nT. Skala warna pada gambar 4.1 menunjukkan adanya klosur tinggi berwarna jingga sampai putih dengan rentang nilai 200 nT sampai 450 nT berada di selatan sampai ke timur daerah penelitian. Klosur sedang berwarna hijau sampai kuning dengan rentang nilai -50 nT sampai 150 nT menyebar. Klosur rendah berwarna biru tua sampai biru muda dengan rentang nilai -350 nT sampai -100 nT tersebar memanjang dari barat ke utara hingga ujung timur laut daerah penelitian.



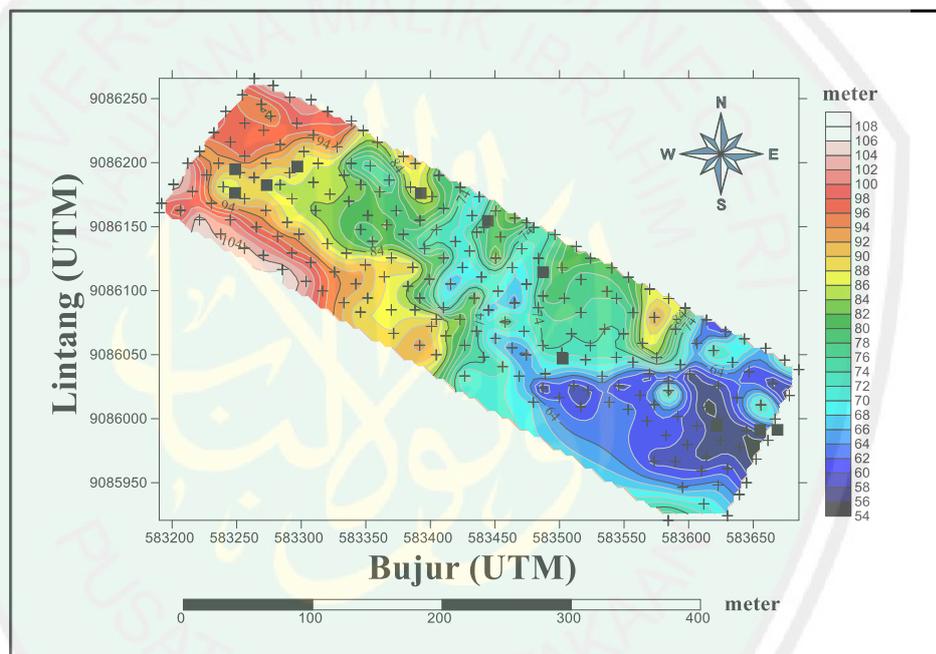
Gambar 4.3. Kontur Anomali Medan Magnet Total.

Data pada kontur anomali medan magnet total pada gambar 4.1 masih bersifat *dipole* karena memiliki nilai magnetik positif dan negatif. Pasangan klosur positif dan negatif yang menunjukkan bahwa anomali medan magnet total tersebut

masih dipengaruhi oleh anomali lokal disekitarnya. Anomali yang diperoleh dari hasil pengukuran merupakan hasil gabungan medan magnetik remanen dan induksi.

#### 4.2.2. Topografi

Topografi adalah gambaran tentang keadaan permukaan tanah beserta informasi ketinggian terhadap permukaan laut sebagai titik acuan. Topografi pada area penelitian memiliki ketinggian yang berbeda-beda terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Kontur Topografi.

Kontur Topografi pada gambar 4.4 menunjukkan adanya daerah yang tinggi, daerah sedang, dan daerah yang rendah. Persebaran titik pengukuran tertinggi terdapat pada ketinggian 108 meter dan terendah pada ketinggian 54 meter. Kontur dengan warna jingga sampai putih merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian 90 meter sampai 108 meter, Warna hijau sampai kuning merupakan daerah yang sedang atau datar dengan ketinggian 76 meter sampai 88

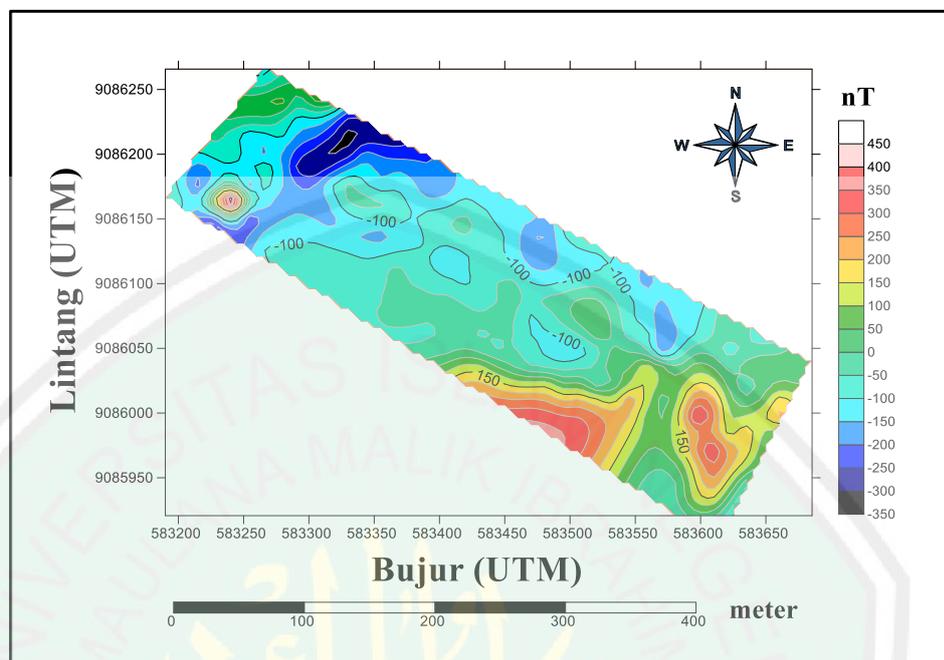
meter, Sedangkan warna biru tua sampai biru muda merupakan daerah yang rendah dengan ketinggian 54 meter sampai 74 meter.

#### **4.2.3. Reduksi Bidang Datar**

Proses reduksi bidang datar pada survei menggunakan metode geomagnetik dapat dilakukan maupun diabaikan. Proses reduksi bidang datar akan dilakukan apabila data anomali medan magnet total masih terdistribusi pada permukaan topografi yang tidak rata dengan perbedaan ketinggian yang relatif jauh, sehingga terjadi undulasi data akibat adanya distorsi data pada nilai anomali medan magnet total. Salah satu teknik yang digunakan untuk mentransformasikan data anomali medan magnet total ke bidang datar yaitu melalui pendekatan deret Taylor (Blakely, 1995; Hadisuryo, Dito, 2014). Sedangkan proses reduksi bidang datar dapat diabaikan apabila data anomali medan magnet total terdistribusi pada permukaan topografi yang hampir sama atau rata, sehingga pengaruh nilai ketinggian pada anomali medan magnet total sebesar 0.03 nT/meter (Burger, 1992).

Pada penelitian ini proses reduksi bidang datar perlu dilakukan karena data nilai anomali medan magnet total masih terdistribusi pada permukaan topografi daerah penelitian yang tidak rata yaitu pada titik terendah terdapat pada ketinggian 54 meter dan titik tertinggi terdapat pada ketinggian 108 meter. Hasil data anomali medan magnet yang terdapat pada kondisi tersebut dapat mempengaruhi proses interpretasi atau pemodelan data selanjutnya. Algoritma koreksi ini ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab, sehingga anomali magnetik hasil

estimasi reduksi bidang datar inilah yang akan digunakan untuk proses analisis selanjutnya. Hasil reduksi bidang datar terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.5. Kontur Anomali Medan Magnet Total Setelah Reduksi ke Bidang Datar pada Ketinggian 80 meter.

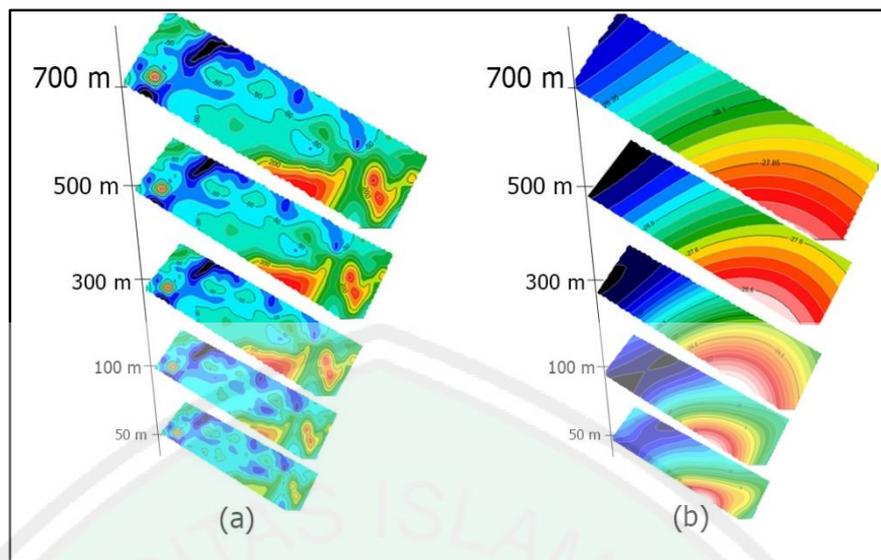
Estimasi deret Taylor untuk pendekatan bidang datar menurut Rasimeng (2008) paling cepat mengalami konvergensi apabila data pengukuran yang terdapat di topografi tidak rata akan direduksi pada ketinggian rata-rata daerah penelitian. Dengan demikian, data anomali medan magnet yang tersebar pada topografi tidak rata tersebut direduksikan ke sebuah bidang dengan ketinggian rata-rata daerah pengukuran sebesar 80 meter. Hasilnya diperoleh kontur reduksi bidang datar pada gambar 4.5. Bentuk kontur anomali medan magnet total setelah di reduksi ke bidang datar tidak jauh berbeda dengan kontur anomali medan magnet total yang terukur di topografi, hanya saja kontur terlihat lebih *smooth* dan klosur yang diduga sebagai noise telah menghilang. Nilai anomali yang dihasilkan

tidak mengalami perubahan yang signifikan terhadap anomali medan magnetik sebelum di reduksi bidang datar.

#### **4.2.4. Kontinuasi ke Atas**

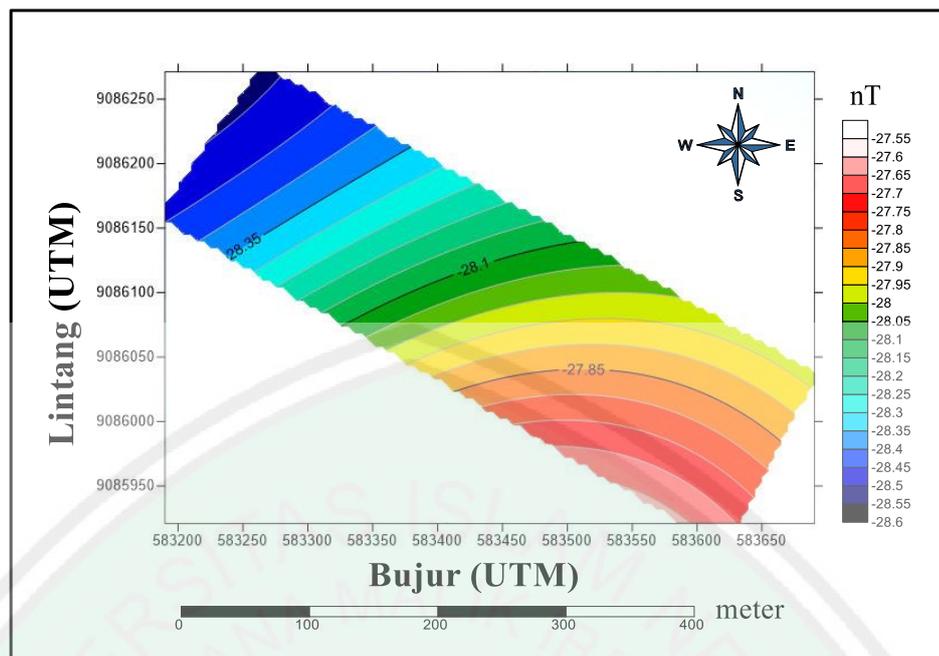
Proses kontinuasi ke atas merupakan tahapan pengolahan data yang dilakukan setelah anomali medan magnet total direduksi ke bidang datar. Filter ini berfungsi untuk mengkoreksi pengukuran medan potensial ke dalam suatu permukaan tertentu yang lebih tinggi dari permukaan topografi penelitian, sehingga dengan cara ini diharapkan dapat menekan *noise-noise* frekuensi tinggi atau benda-benda magnet yang letaknya dekat dengan permukaan. Fungsi lain dari proses kontinuasi ke atas yaitu digunakan untuk menampakkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang lebih dalam (efek regional) dan untuk mengurangi anomali yang disebabkan oleh sumber yang dangkal (efek lokal).

Proses kontinuasi ke atas dilakukan pada ketinggian tertentu di atas topografi dengan cara seolah-olah mengukur data pada ketinggian tersebut. Penentuan pengangkatan ketinggian tergantung dari efek yang ingin ditampilkan atau dihilangkan, mengingat target dari penelitian adalah sumber anomali dangkal di dekat permukaan (batubara muda) maka proses pengangkatan tidak boleh dilakukan terlalu tinggi karena dapat menghilangkan informasi objek yang menjadi target penelitian.



Gambar 4.6. Proses Kontinuasi ke Atas (a) Anomali Medan Magnet Lokal dan (b) Anomali Medan Magnet Regional dengan Ketinggian 50 meter, 100 meter, 300 meter, 500 meter, dan 700 meter.

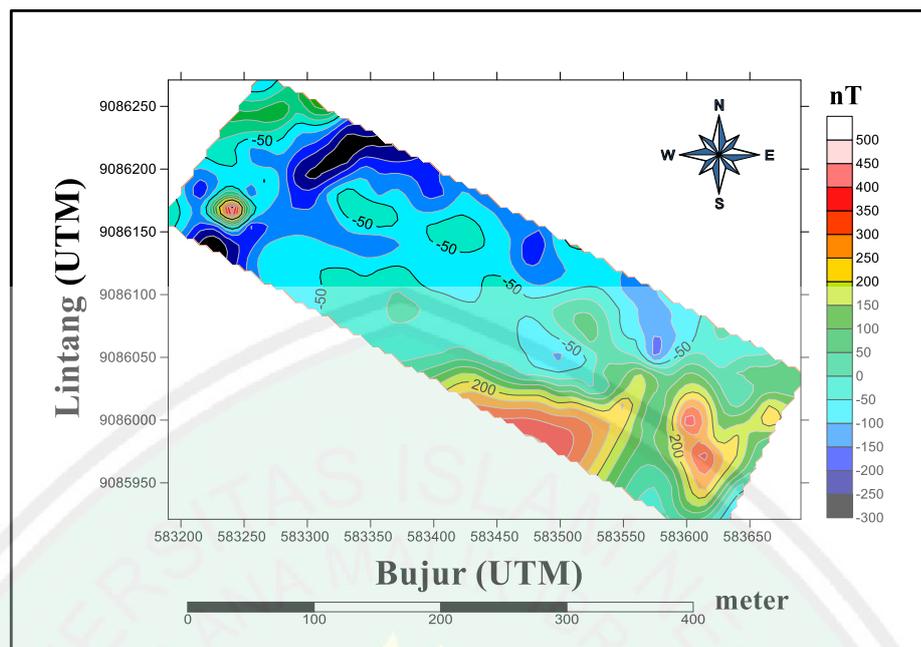
Proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan pengangkatan pada ketinggian mulai dari 50m, 100m, 300m, 500m, dan 700m pada *software* MagPick, hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana perubahan pola kontur anomali medan magnet regional daerah penelitian pada tiap-tiap ketinggian kontinuasi yang diterapkan. Hasil anomali medan magnet total yang sudah melalui proses kontinuasi ke atas terdiri dari kontur anomali medan magnet regional dan kontur anomali medan magnet lokal. Gambar 4.6 menunjukkan proses kontinuasi ke atas maksimal dilakukan pada ketinggian 700 meter.



Gambar 4.7. Kontur Anomali Medan Magnet Regional

Hasil penerapan filtering kontinuasi ke atas pada ketinggian 700 meter diperoleh kontur anomali medan magnet regional yang tidak menunjukkan perubahan pola kontur secara signifikan pada ketinggian lebih dari 700 meter. Gambar 4.7 menunjukkan hasil anomali regional dengan nilai anomali medan magnet berkisar antara -28.6 nT sampai -27.55 nT, hal ini menunjukkan besar anomali medan magnet regional yang relatif stabil.

Kontur anomali medan magnet lokal diperoleh dari hasil pengurangan antara anomali medan magnet total hasil reduksi ke bidang datar dengan anomali medan magnet regional. Proses pengurangan ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh nilai anomali medan magnet regional yang dipengaruhi oleh batuan yang lebih dalam. Hasil dari kontur anomali medan magnet lokal menunjukkan nilai anomali medan magnet yang dipengaruhi oleh lapisan batuan yang dangkal di area penelitian. Gambar 4.8 menunjukkan hasil dari kontur anomali medan magnet lokal.



Gambar 4.8. Kontur Anomali Medan Magnet Lokal.

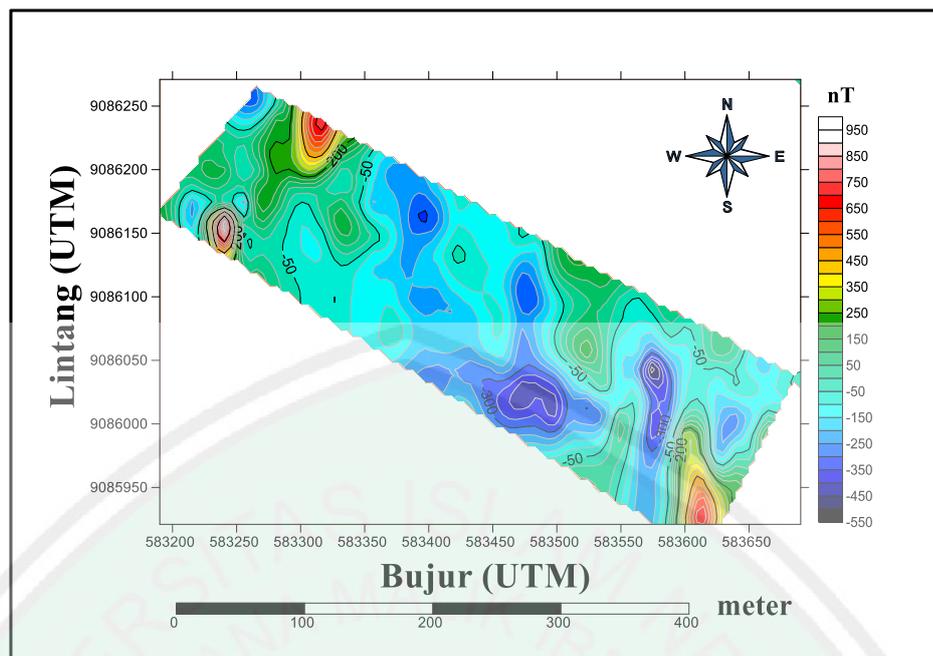
Kontur anomali medan magnet lokal (gambar 4.8) menunjukkan adanya pendominan *body* anomali, semakin tinggi kontinuitas ke atas dilakukan *body* anomali semakin jelas terlihat. Hasil dari proses kontinuitas ke atas pada kontur anomali medan magnet lokal menunjukkan area penelitian yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu anomali tinggi, anomali sedang, dan anomali rendah. Anomali medan magnet tinggi ditunjukkan oleh warna jingga sampai putih dengan rentang nilai 250 nT sampai 500 nT. Anomali medan magnet sedang ditunjukkan oleh warna hijau sampai kuning dengan rentang nilai 0 nT sampai 200 nT, sedangkan untuk anomali medan magnet rendah ditunjukkan oleh warna biru tua sampai biru muda dengan rentang nilai -300 nT sampai -50 nT.

Perbedaan pola anomali medan magnet lokal menunjukkan bahwa, litologi atau susunan batuan pada daerah penelitian memiliki ketidak seragaman (sangat bervariasi). Tinggi atau rendahnya nilai anomali medan magnet dapat dipengaruhi

oleh jenis batuan, posisi atau kedalaman batuan, dan nilai suseptibilitas atau nilai kemagnetan batuan tersebut. Klosur anomali tinggi menunjukkan pola yang terbentuk akibat adanya intrusi batuan beku sehingga diduga mempunyai nilai suseptibilitas atau nilai kemagnetan batuan lebih tinggi dibandingkan batuan di sekitarnya, sedangkan klosur anomali sedang dan rendah menunjukkan keberadaan batuan yang diduga mempunyai nilai suseptibilitas atau nilai kemagnetan batuan lebih rendah dibandingkan batuan di sekitarnya.

#### 4.2.5. Reduksi ke Kutub (RTP)

Benda penyebab anomali medan magnet berupa *dipole* magnetik, sehingga kontur anomali akan dipengaruhi oleh inklinasi dan deklinasi yang bervariasi menurut posisi di permukaan bumi. Artinya, respon suatu benda pada kontur akan berupa pasangan nilai positif di bagian utara dan nilai negatif di bagian selatan. Proses reduksi ke kutub medan magnet anomali lokal dilakukan dengan merubah parameter medan magnet bumi pada daerah penelitian yang memiliki nilai inklinasi sebesar  $-32.8017^\circ$  menjadi  $90^\circ$  dan deklinasi sebesar  $0.8672^\circ$  menjadi  $0^\circ$ , sehingga dalam proses ini arah medan magnet yang awalnya *dipole* menjadi *monopole* dalam arah vertikal. Kontur anomali medan magnet lokal hasil reduksi ke kutub ditunjukkan oleh gambar 4.9 dibawah ini.

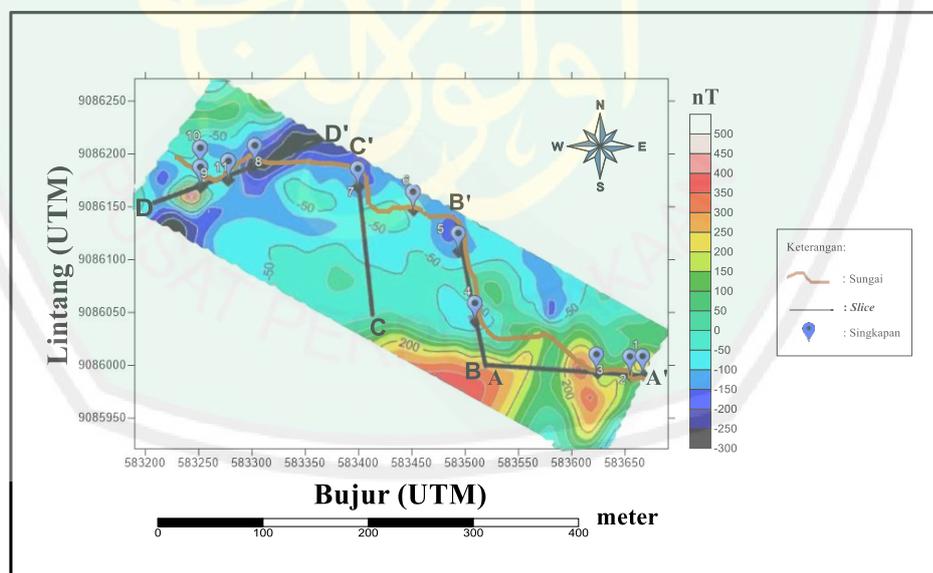


Gambar 4.9. Kontur Anomali Medan Magnet Lokal Hasil Reduksi ke Kutub.

Gambar 4.9 menunjukkan nilai anomali medan magnet lokal hasil reduksi ke kutub pada area penelitian mengalami perbedaan yang signifikan apabila dibandingkan dengan nilai anomali medan magnet lokal sebelum direduksi ke kutub, dimana setelah proses reduksi ke kutub nilai kemagnetannya mengalami penguatan. Pasangan klosur negatif dan positif menunjukkan nilai anomali medan magnet pada area penelitian berkisar antara -550 nT sampai 950 nT. Pada kontur anomali medan magnet lokal hasil reduksi ke kutub dapat diasumsikan bahwa benda yang menyebabkan anomali tinggi tepat berada di bawah pola klosur positif dan benda yang menyebabkan anomali rendah tepat berada di bawah pola klosur negatif. Klosur anomali tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah secara masif berada di area barat daya dan tenggara daerah penelitian, sedangkan klosur anomali rendah ditunjukkan oleh warna biru yang menyebar pada tengah peta anomali daerah penelitian.

### 4.3. Hasil dan Interpretasi Kuantitatif Data Magnetik

Proses interpretasi data secara kuantitatif diperlukan untuk menentukan kedalaman atau menggambarkan litologi bawah permukaan secara 2 dimensi (2D) dari pengukuran data magnetik. Proses ini dilakukan berdasarkan hasil dari interpretasi data secara kualitatif pada kontur anomali lokal, sehingga dari hasil interpretasi secara kualitatif dapat digunakan untuk menentukan posisi anomali yang menarik untuk dibuat *slice*. *Software* yang digunakan untuk pemodelan 2D bawah permukaan yaitu Oasis Montaj, dimana prinsip kerja dari *software* ini adalah menyamakan bentuk dari kurva anomali pengamatan yang berupa garis putus-putus ( ······· ) dengan kurva anomali model yang berupa garis tegas ( ————— ). Dalam penelitian ini dibuat empat *slice* pada kontur anomali medan magnetik lokal yaitu *slice* A-A', B-B', C-C', dan D-D'. Hasil *slice* yang telah dibuat ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.



Gambar 4.10. Kontur *Slice* A-A', B-B', C-C', dan D-D' pada Anomali Medan Magnet Lokal.

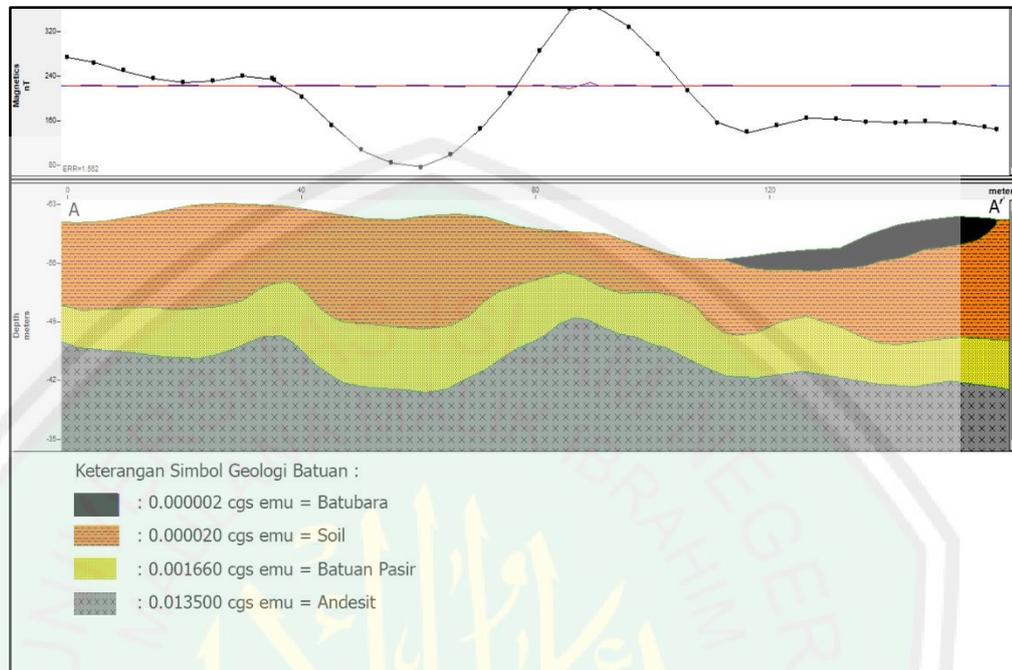
Gambar 4.10 merupakan hasil kontur lokal dengan beragam *slice* yang telah ditentukan, dari hasil *slice* diperoleh data berupa jarak lintasan dan nilai anomali. Data tersebut digunakan sebagai parameter inputan *software* Oasis Montaj bersama data lain yaitu data ketinggian, data koordinat inklinasi dan deklinasi, serta nilai dari medan magnet teori (IGRF). Proses interpretasi data secara kuantitatif selanjutnya dilakukan dengan cara menganalisis penampang pola anomali lokal sepanjang *slice* yang telah dibuat. Karena dalam proses pemodelan yang masih terdapat beragam bentuk model yang berbeda-beda sehingga dapat menimbulkan ambiguitas maka perlu adanya data pendukung yang berupa data geologi daerah penelitian, data suseptibilitas batuan, dan data pendukung lainnya.

Pembuatan model 2D bawah permukaan yang menggunakan konsep *forwad modelling* dilakukan dengan cara *trial and error*. Prinsip dari *forwad modelling* yaitu dengan mengubah-ubah parameter model seperti lebar, kedalaman, bentuk dari tiap formasi, dan nilai suseptibilitas batuan, sehingga model yang dihasilkan dapat menggambarkan formasi batuan daerah penelitian yang memiliki kesesuaian dengan referensi. Nilai suseptibilitas batuan yang digunakan dapat menunjukkan jenis batuan. Sedangkan umur dari tiap-tiap lapisan dapat dilihat dari kedalaman pada setiap formasi batuan.

#### **4.3.1. Penampang Slice A-A'**

Pemodelan 2D bawah permukaan dari anomali lokal pada hasil *slice* A-A' memotong pola anomali positif yang diduga merupakan sebuah intrusi batuan beku. Penampang *slice* A-A' melintang mulai dari arah barat sampai ke arah timur melewati tiga singkapan batubara pada koordinat  $8^{\circ} 16.080' \text{ LS } 111^{\circ} 45.558' \text{ BT}$

sampai  $8^{\circ} 16.082' \text{ LS } 111^{\circ} 45.584' \text{ BT}$ . Hasil pemodelan 2D bawah permukaan ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan *Slice A-A'*.

Pemodelan bawah permukaan pada gambar 4.11 memiliki 2 bagian utama yaitu bagian referensi (bagian atas) dan bentuk model (bagian bawah). Pada gambar 4.11 terdapat sebuah kurva anomali pengamatan pada bagian referensi yang berupa garis putus-putus ( ······· ) dengan kurva anomali model yang berupa garis tegas (——) sedangkan bagian bawah pemodelan memperlihatkan litologi batuan. Ketebalan pada setiap litologi atau lapisan batuan bawah permukaan pada *software* Oasis Montaj ditunjukkan dalam satuan meter. Pada pemodelan ini setiap lapisan batuan mempunyai nilai suseptibilitas, ketebalan, dan kedalaman yang berbeda-beda. Tampilan kedalaman atau *depth* (h) ditunjukkan dengan nilai positif, hal ini menyatakan posisinya berada di bawah garis permukaan laut. Sedangkan untuk tampilan ketinggian atau *elevasi* (z)

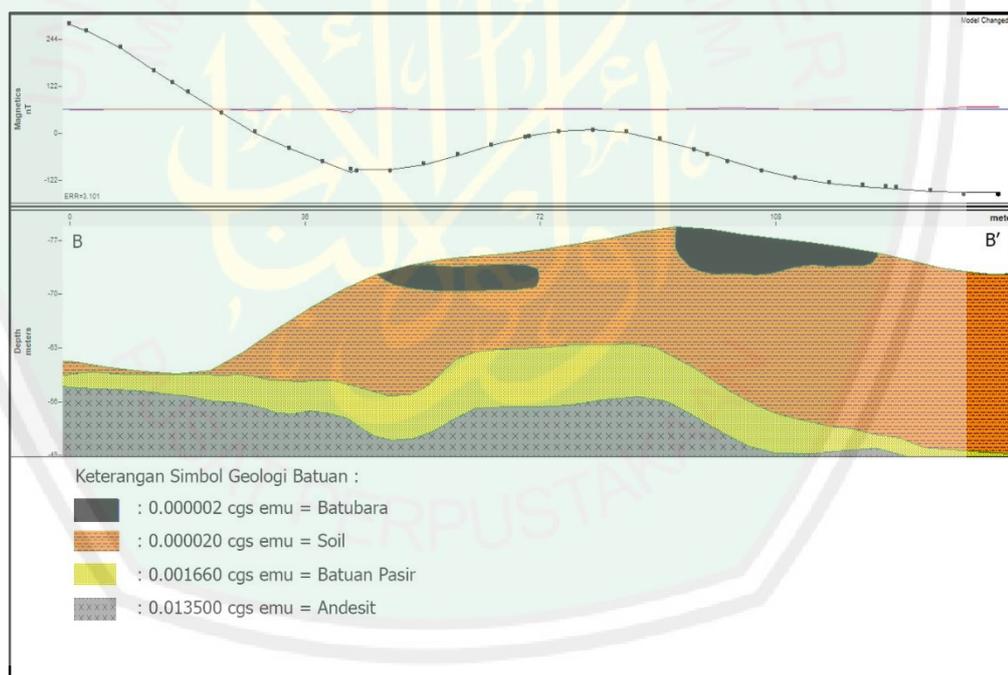
ditunjukkan dengan nilai negatif, yang menyatakan posisi data pengamatan berada di atas garis permukaan laut. Kesesuaian referensi dengan model ditunjukkan dalam angka eror yang terletak di kolom referensi bagian kiri bawah. Eror dalam pemodelan 2D dikontrol dengan kurva anomali pengamatan (—) dan kurva eror model (—) yang terletak dalam satu garis. Eror pada pemodelan 2D *slice* A-A' menunjukkan nilai sebesar 1.562.

Hasil yang didapatkan pada *slice* A-A' terdapat beberapa anomali positif yang terletak pada jarak 0 meter sampai 160 meter, terdiri dari 36 titik dengan variasi nilai anomali sebesar 75.207 nT sampai 362.105 nT. Mengingat target dari penelitian ini yaitu batubara, maka potensi batubara yang teridentifikasi pada *slice* A-A' memiliki arah persebaran yang menerus di bagian atas lapisan dimulai dari arah barat menuju ke timur. Sedangkan litologi batuan pada hasil pemodelan 2D bawah permukaan terdiri atas 4 jenis lapisan. Jenis lapisan pertama diperkirakan dari atas permukaan sampai kedalaman  $\pm 5$  meter diinterpretasikan sebagai batubara dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batubara maksimal  $\pm 4$  meter. Lapisan kedua diperkirakan dari atas permukaan sampai kedalaman  $\pm 15$  meter diinterpretasikan sebagai tanah (*soil*) dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan tanah (*soil*) maksimal  $\pm 17$  meter. Lapisan ketiga diperkirakan dari kedalaman  $\pm 9$  meter sampai  $\pm 22$  meter diinterpretasikan sebagai batuan pasir dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batupasir maksimal  $\pm 8$  meter, sedangkan untuk lapisan keempat diperkirakan dari kedalaman lebih dari  $\pm 15$  meter diinterpretasikan sebagai batuan breksi gunung api yang berkomponen andesit dengan ketebalan lapisan yang

bervariasi, ketebalan lapisan batuan breksi gunung api yang berkomponen andesit maksimal  $\pm 16$  meter.

#### 4.3.2. Penampang Slice B-B'

Pemodelan 2D bawah permukaan dari anomali lokal pada hasil *slice* B-B' memotong pola anomali positif dan anomali negatif. Pada penampang *slice* B-B' melintang mulai dari arah selatan sampai ke arah utara melewati dua singkapan batubara pada koordinat  $8^{\circ} 16.052' \text{ LS } 111^{\circ} 45.493' \text{ BT}$  sampai  $8^{\circ} 16.015' \text{ LS } 111^{\circ} 45.485' \text{ BT}$ . Berdasarkan hasil pemodelan 2D bawah permukaan ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.12. Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan *Slice* B-B'.

Hasil pada *slice* B-B' terdapat beberapa anomali positif dan anomali negatif. Nilai anomali positif terletak pada jarak 0 meter sampai 32 meter dan 75 meter sampai 85 meter, sedangkan nilai anomali negatif terletak pada jarak 33

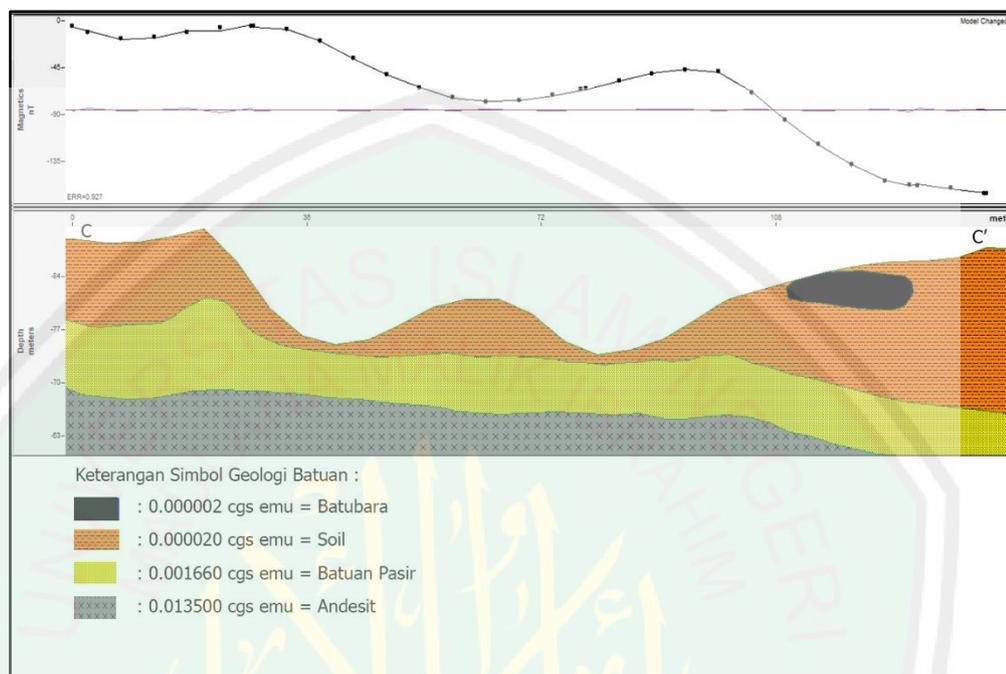
meter sampai 74 meter dan 86 meter sampai 143 meter. Total pajang penampang *slice* B-B' adalah 143 meter yang terdiri dari 35 titik dengan variasi nilai anomali sebesar -159.329 nT sampai 284.490 nT. Dalam pemodelan 2D *slice* B-B' perhitungan antara kurva anomali pengamatan (—) dan kurva eror model (—) menunjukkan nilai eror sebesar 3.101.

Distribusi persebaran batubara pada *slice* B-B' mengarah dari utara ke selatan, tetapi pada *slice* ini persebaran batubara tidak bersifat menerus. Sedangkan litologi batuan pada hasil pemodelan 2D bawah permukaan terdiri atas 4 jenis lapisan. Jenis lapisan pertama diperkirakan dari atas permukaan sampai kedalaman  $\pm 6$  meter diinterpretasikan sebagai batubara dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batubara maksimal  $\pm 6$  meter. Lapisan kedua diperkirakan dari atas permukaan sampai kedalaman  $\pm 29$  meter diinterpretasikan sebagai tanah (*soil*) dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan tanah (*soil*) maksimal  $\pm 22$  meter. Lapisan ketiga diperkirakan dari kedalaman  $\pm 16$  meter sampai  $\pm 30$  meter diinterpretasikan sebagai batuan pasir dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batupasir maksimal  $\pm 8$  meter, sedangkan untuk lapisan keempat diperkirakan dari kedalaman lebih dari  $\pm 21$  meter diinterpretasikan sebagai batuan breksi gunung api yang berkomponen andesit dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batuan breksi gunung api yang berkomponen andesit maksimal  $\pm 10$  meter.

#### 4.3.3. Penampang Slice C-C'

Pemodelan 2D bawah permukaan dari anomali lokal pada hasil *slice* C-C' memotong pola anomali negatif. Pada penampang *slice* C-C' melintang mulai dari

arah selatan sampai ke arah utara melewati satu singkapan batubara pada koordinat  $8^{\circ} 15.982' \text{ LS } 111^{\circ} 45.433' \text{ BT}$ . Berdasarkan hasil pemodelan bawah permukaan secara 2 dimensi ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan *Slice C-C'*.

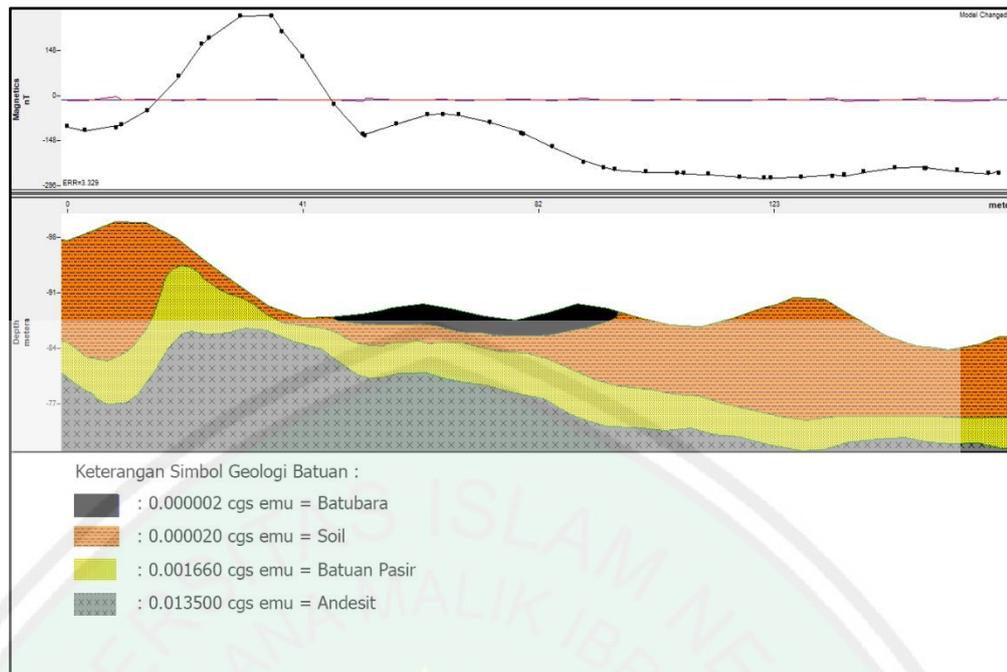
Hasil pada *slice C-C'* terdapat beberapa anomali negatif yang terletak pada jarak 0 meter sampai 142 meter. Total panjang penampang adalah 142 meter yang terdiri dari 32 titik dengan variasi nilai anomali sebesar -166.186 nT sampai -5.364 nT. Dalam pemodelan 2D *slice C-C'* perhitungan antara kurva anomali pengamatan (—) dan kurva eror model (—) menunjukkan nilai eror sebesar 0.927.

Distribusi persebaran batubara relatif berarah dari utara menuju ke selatan. Sedangkan litologi batuan pada hasil pemodelan 2D bawah permukaan terdiri atas 4 jenis lapisan. Jenis lapisan pertama diperkirakan dari atas permukaan sampai kedalaman  $\pm 5$  meter diinterpretasikan sebagai batubara dengan ketebalan lapisan

yang bervariasi, ketebalan lapisan batubara maksimal  $\pm 6$  meter. Lapisan kedua diperkirakan dari atas permukaan sampai kedalaman  $\pm 25$  meter diinterpretasikan sebagai tanah (*soil*) dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan tanah (*soil*) maksimal  $\pm 21$  meter. Lapisan ketiga diperkirakan dari kedalaman  $\pm 10$  meter sampai  $\pm 30$  meter diinterpretasikan sebagai batuan pasir dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batupasir maksimal  $\pm 12$  meter, sedangkan untuk lapisan keempat diperkirakan dari kedalaman lebih dari  $\pm 16$  meter diinterpretasikan sebagai batuan breksi gunung api yang berkomponen andesit dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batuan breksi gunung api yang berkomponen andesit maksimal  $\pm 17$  meter.

#### 4.3.4. Penampang Slice D-D'

Pemodelan 2D bawah permukaan dari anomali lokal pada hasil *slice* D-D' memotong pola anomali positif dan anomali negatif. Pada penampang *slice* D-D' melintang mulai dari arah barat sampai ke arah timur laut melewati tiga singkapan batubara pada koordinat  $8^{\circ} 15.982' \text{ LS } 111^{\circ} 45.355' \text{ BT}$  sampai  $8^{\circ} 15.970' \text{ LS } 111^{\circ} 45.381' \text{ BT}$ . Berdasarkan hasil pemodelan 2D bawah permukaan ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 4.14. Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan *Slice D-D'*.

Hasil pada *slice D-D'* terdapat beberapa anomali positif dan anomali negatif. Nilai anomali positif terletak pada jarak 19 meter sampai 41 meter, sedangkan nilai anomali negatif terletak pada jarak 0 meter sampai 19 meter dan 41 meter sampai 163 meter. Total panjang penampang adalah 163 meter yang terdiri dari 43 titik dengan variasi nilai anomali sebesar 261.749 nT sampai -256.726 nT. Dalam pemodelan 2D *slice D-D'* perhitungan antara kurva anomali pengamatan (—) dan kurva eror model (—) menunjukkan nilai eror sebesar sebesar 3.329.

Distribusi persebaran batubara yang menerus mengarah dari barat daya ke timur laut. Litologi batuan pada hasil pemodelan 2D bawah permukaan terdiri atas 4 jenis lapisan. Jenis lapisan pertama diperkirakan dari atas permukaan sampai kedalaman  $\pm 5$  meter diinterpretasikan sebagai batubara dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batubara maksimal  $\pm 3$  meter. Lapisan kedua diperkirakan dari atas permukaan sampai kedalaman  $\pm 25$  meter diinterpretasikan

sebagai tanah (*soil*) dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan tanah (*soil*) maksimal  $\pm 18$  meter. Lapisan ketiga diperkirakan dari kedalaman  $\pm 13$  meter sampai  $\pm 29$  meter diinterpretasikan sebagai batuan pasir dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batupasir maksimal  $\pm 9$  meter, sedangkan untuk lapisan keempat diperkirakan dari kedalaman lebih dari  $\pm 13$  meter diinterpretasikan sebagai batuan breksi gunung api yang berkomponen andesit dengan ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan lapisan batuan breksi gunung api yang berkomponen andesit maksimal  $\pm 18$  meter.

#### 4.4. Pembahasan

Berdasarkan peta geologi lembar Tulungagung daerah penelitian berada pada formasi Mandalika yang tersusun atas batuan breksi gunung api dengan komponen andesit dan sisipan batupasir. Morfologi pada daerah penelitian yang cenderung landai dan berbukit-bukit mempunyai ketinggian terendah hingga mencapai 54 meter dari atas permukaan laut. Pada beberapa area tertentu di daerah penelitian banyak ditemukan tebing-tebing tinggi dan terjal yang terdapat aliran sungai, dimana pada bagian bawahnya terlihat adanya batuan beku yang tersingkap. Selain itu, banyak juga ditemukan batubara sepanjang aliran sungai yang tersingkap di permukaan.

Kegiatan tektonik di daerah penelitian ini dimulai pada zaman Oligo-Miosen dan pada saat itu terjadi kegiatan gunung api bawah laut yang menghasilkan runtunan batuan gunungapi yang berhubungan dengan pembentukan endapan turbidit. Proses terbentuknya singkapan batubara terjadi pada masa peralihan dari zaman Oligo-Miosen menuju ke akhir Miosen Awal. Pada masa itu terjadi proses

pengangkatan cepat yang diikuti oleh genang laut dan pengendapan batuan sedimen klastika (Samodra dkk., 1992). Dampak lain dari proses pengangkatan cepat dapat mengakibatkan perubahan morfologi permukaan tanah, sehingga mengakibatkan perubahan lingkungan pengendapan pada suatu daerah. Daerah yang awalnya merupakan lingkungan pengendapan sedimen dapat berubah menjadi daerah lingkungan pengikisan. Sungai-sungai pada daerah penelitian yang awalnya beraliran lambat dan berperan mengendapkan sedimen berubah menjadi beraliran cepat dan berperan sebagai pengabrasi atau pengikis batuan-batuan sedimen, sehingga lapisan batubara yang awalnya berada di bawah permukaan menjadi tersingkap akibat pengikisan aliran air sungai.

Dahulu daerah penelitian diduga merupakan wilayah perhutanan, sehingga diperkirakan pembentukan batubara berasal dari tumbuhan atau pohon yang telah mati langsung tenggelam ke dasar sungai. Air sungai yang terus mengalir dengan membawa tanah atau batuan yang tererosi pada daerah sekitar sungai akan menjadikan tumbuhan atau pohon tersebut tetap tenggelam dan tertimbun selama kurun waktu geologi. Dalam penjelasan proses pembentukan batubara pada daerah penelitian ini didukung dengan adanya teori insitu yang menjelaskan bahwa batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang berasal dari hutan tempat dimana batubara tersebut. Proses ini biasanya terjadi di hutan basah sehingga tumbuhan atau pohon ketika mati tidak menjadi busuk atau tidak berubah menjadi humus, tetapi akan mengalami pengawetan alami sehingga akan menjadi fosil tumbuhan yang membentuk batubara (sedimen organik) (Sundoyo, 2014).

Pembentukan batubara dengan proses pengendapan yang dikontrol oleh tekanan, temperatur, dan waktu geologi yang relatif muda mengakibatkan batubara

pada daerah penelitian dikategorikan dalam jenis lignit dengan unsur karbon kurang dari 10%, hal ini didukung oleh adanya data uji SEM-EDX yang dilakukan Wahidah (2017). Lignit merupakan batubara tingkat rendah hasil transisi dari fase penggabutan ke fase pematubaraan. Lignit mempunyai ciri-ciri berwarna coklat kehitaman dengan tekstur yang halus seperti kayu, mempunyai kandungan air tinggi, serta nilai kalor yang rendah (Sukandarrumidi, 2016).

#### 4.5. Manfaat Fosil dan Batuan dalam Persepektif Al-Qur'an

Hasil dari penelitian ini mencangkup tentang identifikasi dan litologi bawah permukaan batubara muda. Pada daerah penelitian terdapat beberapa singkapan batubara muda dan beberapa material lainnya sebagai batuan penyusun struktur bawah permukaan. Selain terdapat batubara diketahui batuan penyusun bawah permukaan lainnya berupa tanah (*soil*), batupasir, dan breksi gunung api yang tersusun dari salah satu komponennya yaitu andesit. Batuan-batuan tersebut dimanfaatkan masyarakat sekitar untuk diolah kembali agar mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Pemanfaatan sumber daya alam ini sudah dijelaskan dalam firman Allah SWT pada surat Al-Baqoroh[1]:29 (Depag RI, 2014):

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَّا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ أَسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَوَاتٍ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٢٩﴾

*“Dia-lah Allah, yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu dan Dia berkehendak (menciptakan) langit, lalu dijadikan-Nya tujuh langit. dan Dia Maha mengetahui segala sesuatu” (Qs. Al-Baqoroh[1] :29).*

Tafsir Al-Muyassar mengatakan bahwa “hanya Allah SWT yang menciptakan semua yang ada di bumi untuk kalian, seperti sungai, pohon, dan lain-lainnya yang tidak terhitung jumlahnya. Sementara kalian memanfaatkan dan menikmati apa yang telah Allah SWT sediakan untuk kalian. Kemudian Allah menciptakan langit sebanyak tujuh lapis. Dan pengetahuan-Nya meliputi segala sesuatu.

Berdasarkan tafsir diatas maka dapat dipahami bahwasannya Allah SWT yang menciptakan seluruh makhluk hidup, Allah SWT juga telah mempersiapkan berbagai fasilitas kesejahteraan dan kemakmuran. Untuk itu Allah SWT menciptakan bumi dan langit beserta isinya lalu menyerahkannya kepada manusia. Karena manusia adalah makhluk termulia di antara seluruh makhluk lain yang Allah SWT ciptakan. Dan segala sesuatu, baik langit, benda-benda mati, hewan, tumbuhan, tanah, dan fosil, semua diciptakan demi kepentingan manusia untuk dapat memanfaatkan dengan bijaksana. Salah satu fosil yang dapat dimanfaatkan oleh manusia adalah batubara. Batubara banyak memberikan manfaat bagi kehidupan manusia salah satunya sebagai bahan bakar pengganti minyak dan gas. Proses pengolahan batubara apabila diolah menjadi briket akan menambah nilai jual. Selain sebagai bahan bakar, batubara juga banyak dimanfaatkan oleh beberapa industri kimia sebagai bahan campuran pembuatan semen, kertas, dan bahan kimia lainnya. Sedangkan berdasarkan hasil interpretasi litologi bawah permukaan yang berupa batupasir juga dapat dimanfaatkan masyarakat untuk kegiatan penambangan yang dimanfaatkan sebagai bahan material pembuatan bangunan dan lain sebagainya.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data, dan interpretasi data geomagnetik maka diperoleh kesimpulan:

1. Batubara di daerah penelitian secara umum berasosiasi pada anomali rendah yang diinterpretasikan sebagai batuan sedimen non klastik. Proses pembentukan batubara berada pada lingkungan pengendapan sungai, dimana keberadaan batubara bersifat setempat pada aliran sungai.
2. Litologi bawah permukaan pada daerah penelitian ini terdiri atas 4 lapisan batuan, lapisan pertama adalah batubara jenis *lignite* dengan nilai susceptibilitas 0.000002 cgs emu, lapisan kedua adalah tanah (*soil*) dengan nilai susceptibilitas 0.000002 cgs emu, lapisan ketiga adalah batu pasir dengan nilai susceptibilitas 0.001660 cgs emu, dan lapisan keempat adalah batuan andesit dengan nilai susceptibilitas 0.013500 cgs emu.

### **5.2 Saran**

Hasil dari penelitian ini masih berupa pendugaan, sehingga untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan survei geofisika secara detail guna mengetahui persebaran batubara di area penelitian dan daerah di sekitarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ansari, A., and Alamdar, K. 2009. *Reduction to the pole of magnetic anomalies using analytic signal*. World Applied Sciences Journal. Vol. 7.
- Ariani, N. D., Niyartama, T. F., dan Wibowo, N. B. 2013. *Pemetaan Sebaran Batuan Penyusun Pagar Candi Di Situs Candi Losari Dusun Losari, Desa Salam, Kecamatan Salam, Kabupaten Magelang Berdasarkan Metode Magnetik*. Berkala Arkeologi. Vol.33.
- Arif, Irwandy. 2014. *Batubara Indonesia*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Baranov, V. dan Naudy, H. 1964. *Numerical Calculation of The Formula of Reduction to The Magnetic Pole*. Geophysics 53. 1592-1600.
- Billah, Mutasim. 2010. *Peningkatan Nilai Kalor Batubara Peringkat Rendah Dengan Menggunakan Minyak Tanah Dan Minyak Residu*. Surabaya: UPN Press.
- Blakely, Richard J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. Newyork: Cambridge University Press.
- Briyantara, S. S. 2015. *Aplikasi Metode Magnetik Untuk Melokalisasi Target Zona Mineralisasi Emas Di Daerah "X"*. Youngster Physics Journal. Vol. 4.
- Broto, Sudaryo., dan Thomas, T. Putranto. 2011. *Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panasbumi*. Jurnal Teknik. Vol. 32.
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exploration Geophysics of The Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Cordell, L., dan Grauch, V. J. S. 1982. *Mapping Basement Magnetization Zones from Aeromagnetic Data in The San Juan Basin, New Mexico, in The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomaly Maps*. Society of Exploration Geophysicists.
- Dai, S., and Finkelman, R. B. 2018. *Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects*. International Journal of Coal Geology, Vol. 186.
- Darmawan, Sigit, Hernowo Danusaputro, dan Tony Yuliyanto. 2012. *Interpretasi Data Anomali Medan Magnetik Total untuk Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Mud Vulcano (Studi Kasus Bledug Kuwu Gobogan)*. Jurnal Geofisika. Semarang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Diponegoro. Vol.13.

- Departemen Agama RI. 2004. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: CV Penerbit J-Art.
- Diessel, C. F. K. 1992. *Coal Bearing Depositional Systems*, Springer-Verlag, Berlin.
- Ganiyu, S. A., Badmus, B. S., Awoyemi, M. O., Akinyemi, O. D., and Olurin, O. T. 2012. *Upward Continuation and Reduction to Pole Process on Aeromagnetic Data of Ibadan Area, South-Western Nigeria*. Earth Science Research, Vol. 2.
- Graham, C. D. & Cullity, B. D. 2009. *Introduction Magnetic Material Second Edition*. Canada: IEEE Press.
- Hakim, Arif Rahman., Susilo, Adi., Maryanto, Sukir. 2014. *Indikasi Penyebaran Kontaminan Sampah Bawah Permukaan dengan Menggunakan Metode Magnetik (Studi Kasus: TPA Supit Urang, Malang)*. Natural, B. Vol. 2. No. 3.
- Haryanto, D., Karunianto, A. J., dan Garwan, M. B. 2016. *Interpretasi Anomali Geomagnetik Daerah Rabau Hulu, Kalan*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016 BATAN.
- Haryanto, D., dan Karunianto, A. J. 2017. *Koreksi Variasi Harian Untuk Survei Geomagnetik Di Daerah Potensi Uranium Dan Thorium , Mamuju Sulawesi Barat*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2017 BATAN.
- Hayt, William H. dan John A. Buck. 2006. *Elektromagnetika Edisi 7*. Jakarta: Erlangga.
- John, Dewey. 2019. *Pengertian Kompas di <https://www.silabus.web.id/kompas/>* (diakses 15 November).
- Kahfi, Rian Arifan dan Yulianto, T. 2008. *Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Emas Dengan Menggunakan Metode Magnetik Di Papandayan Garut Jawa Barat*. Berkala Fisika. Vol 11.
- Kaufman, A. A., R. O. Hansen., and Robert, L. K. Kleinberg. 2008. *Principles of the Magnetic Methods in Geophysics*.
- Kentucky, G. S. 2012. *Identification of Coal Components*. University of Kentucky.
- Krevalen, D. W. Van. 1993. *Coal*. Tokyo (JPN): Elsevier.
- Mandea, M., Korte, M., Soloviev, A., and Gvishiani, A. 2010. *Alexander von Humboldt's charts of the Earth's magnetic field: an assessment based on modern models. History of Geo- and Space Sciences*.
- Maulida, Lely. 2017. *Hadist dan Sains Jelaskan Tujuh Lapisan Bumi di*

<https://techno.okezone.com> (diakses 5 Mei).

- Milsom, John. 2003. *Field Geophysics Third Edition*. London: John Wiley & Sons Ltd.
- Muchtar, Sulfi Hidayah. 2018. *Penerapan Metode Geomagnetik untuk Identifikasi Sebaran Batubara Daerah Klatak Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung*. Skripsi. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Nahrowi, T. Y., Suratman, S. Namida dan S. Hidayat. 1978. *Geologi Pegunungan Selatan, Jawa Timur, PIT IX*. Bandung: Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Perdana, O. A., Daeng A. S., and Sujitp. 2013. *Application Geomagnetic Method to Identification Chromit Mineral's in Sukorejo Village , Kalidawir District, Tulungagung Regency*. Journa Physics. Malang: State University of Malang.
- Riadi, Muchlisin. 2018. *Pembentukan, Jenis, Analisa Kualitas Batubara di* <https://www.kajianpustaka.com/> (diakses 18 Desember).
- Rehman, F. M. Abdelazeem., M. M. Gobashy., H. M. Harbi and H.S. O. Abuelnaga. 2019. *Application of magnetic method to define the structural setting controlling the contaminated area of Wadi Bani Malik , east Jeddah , Saudi Arabia*. Vol 60.
- Samodra, H., S. Gafoer., dan T. Suwarti. 1992. *Geologi Lembar Tulungagung, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sehah., Sukmaji, A. Raharjo., & dan Adi, Chandra. 2014. *Estimasi Kedalaman Bitumen Batubara di Desa Banjaran Kecamatan Salem Kabupaten Brebes Berdasarkan Data Anomali Magnetik*. Indonesian Journal of Applied Physics. Vol. 4.
- Stach, E., M. Th. Mackowsky., M. Teihmuller., G. H. Taylor., D. Chandra., and R. Teichmuller. 1982. *Textbook of Coal Petrology*. Berlin : Gebruder Borntraeger.
- Sundoyo. 2014. *Perhitungan Sumberdaya Batubara Berdasarkan Usgs Circular No.891 Tahun 1983 Pada CV. Amindo Pratama*. *Jurnal Geologi Pertambangan*.
- Sukandarrumidi. 2016. *Batubara dan Gambut*. Yogyakarta: UGM Press.
- Surtarno. 2003. *Sumber Daya Energi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Syamsu, Rosid. 2008. *Geomagnetic Method Lecture Note Physic Departement*. Depok: UI.

- Tampubolon, T., Juliani, R., Hutahean, J., and Widiyanti, S. 2018. *Identification of Magnetic Anomaly at Geothermal Subsurface Area PLTP Sarulla Unit i Pahae Jae, North Sumatera, Indonesia*. Journal of Physics: Conference Series.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E. 1990. Applied geophysics. 2nd edition. *Applied Geophysics. 2nd Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Thébault, E., Finlay, C. C., Beggan, C. D., Alken, P., Aubert, J., Barrois, O., Zvereva, T. 2015. *International geomagnetic reference field: The 12<sup>th</sup> generation international geomagnetic reference field - The twelfth generation*. Earth, Planets and Space. Vol. 67.
- Tjasyono, Bayong. 2006. *Ilmu Kebumihan dan Antariksa*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Wahidah, Rohmatul. 2017. *Interpretasi Potensi Sebaran Batubara Menggunakan Metode GPR (Ground Penetrating Radar)*. Skripsi. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Wahyudi. 2001. *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori dan Aplikasi Metode Magnetik)*. Yogyakarta: Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Gadjah Mada
- Yonas, M. N. 2016. *Geologi dan Potensi Batubara di Daerah Bonggo dan Sekitarnya Kabupaten Jayapura , Propinsi Papua*. Promine Journal. Vol. 4.
- Yunita, P. 2000. *Pembuatan Briket Dari Batubara Kualitas Rendah Dengan Proses Non Karbomisasi Dengan Menambahkan MgO dan MgCl<sub>2</sub>*. Surabaya: UPN Veteran.
- Zubaidah, T., Korte, M., Manda, M., Quesnel, Y., and Kanata, B. 2010. *Geomagnetic field anomalies over the Lombok Island region: An attempt to understand the local tectonic changes*. International Journal of Earth Sciences.

# LAMPIRAN



## LAMPIRAN I

### 1. Data Hasil Penelitian Magnetik

#### a. Hari Pertama (Sabtu, 14 September 2019)

No.	Nama Titik	Posisi (UTM)		Elevasi (m) Z	Waktu			Intensitas Medan Magnet Total
		Bujur	Lintang		Jam	Menit	Detik	
1.	Base Awal	584023	9085774	41	7	48	20	45237.4
2.	T007	583678	9086018	55	8	0	13	45070.44
3.	T010	583665	9086027	57	8	5	1	45073.12
4.	T023	583647	9086037	60	8	7	5	45081.73333
5.	T027	583623	9086026	58	8	8	35	45086.2
6.	T037	583601	9086035	56	8	10	20	45093.48
7.	T044	583584	9086029	58	8	13	37	45039.48
8.	T053	583570	9086035	59	8	14	13	45164.72
9.	T061	583546	9086026	59	8	18	0	45045.24
10.	T067	583522	9086022	59	8	20	50	44974.3
11.	T082	583487	9086024	57	8	24	43	45101.45
12.	T078	583511	9086026	59	8	28	45	45046.3
13.	T094	583474	9086050	63	8	31	40	44947.12
14.	T099	583463	9086055	64	8	34	25	44972.52
15.	T110	583450	9086063	65	8	35	50	44993.04
16.	T116	583445	9086085	65	8	37	56	44975.6
17.	T124	583440	9086111	69	8	39	20	44942.2
18.	T134	583430	9086131	70	8	42	18	44926.88
19.	T150	583405	9086148	73	8	45	20	44975.92
20.	T156	583379	9086144	77	8	47	10	44905.12
21.	T164	583355	9086139	77	8	49	10	44852.8
22.	T173	583346	9086148	79	8	54	40	44890.65
23.	T180	583475	9086153	80	8	58	4	44897.2
24.	T189	583311	9086163	83	9	0	10	44854.88
25.	T196	583293	9086172	86	9	2	15	44837.75
26.	T205	583284	9086183	84	9	6	30	44822.3
27.	T211	583256	9086172	89	9	8	50	44949.75
28.	T222	583240	9086181	85	9	11	45	44781.5
29.	T228	583236	9086200	93	9	13	30	44962.6
30.	T237	583221	9086209	92	9	15	59	44968.53333
31.	T236	583232	9086224	98	9	20	55	44968.48
32.	T235	583242	9086240	98	9	21	5	45074.88
33.	T234	583254	9086253	95	9	24	40	44995.72

34.	T233	583264	9086266	102	9	28	20	44939.95
35.	T232	583278	9086260	105	9	31	4	45025.4
36.	T237	583291	9086251	101	9	33	15	45022.32
37.	T231	583269	9086246	94	9	37	35	45122.84
38.	T230	583256	9086231	97	9	39	37	44991.48
39.	T229	583245	9086216	97	9	41	18	44878.55
40.	T220	583256	9086205	97	9	43	50	44860.88
41.	T219	583271	9086225	98	9	44	20	44978.52
42.	T218	583276	9086236	93	9	46	25	44949.74
43.	T203	583302	9086209	88	9	50	25	44775.1
44.	T214	583284	9086214	96	9	54	35	44852.9
45.	T198	583313	9086199	86	9	57	53	44714.36
46.	T202	583309	9086222	95	10	0	37	44816.26667
47.	T215	583297	9086231	99	10	4	34	44897.55
48.	T216	583308	9086249	103	10	6	47	45151.33333
49.	T201	583320	9086240	99	10	12	59	44847.84
50.	T200	583339	9086233	99	10	17	50	44776.1
51.	T199	583328	9086212	95	10	19	42	44702.28
52.	T197	583309	9086185	85	10	22	12	44870.76
53.	T204	583291	9086192	90	10	26	11	44715.525
54.	T213	583273	9086199	91	10	33	52	44880.05
55.	T212	583263	9086188	91	10	35	30	44932.6
56.	T221	583252	9086192	90	10	42	20	44982.56
57.	T223	583230	9086168	95	10	48	47	44802.36
58.	T2240	583192	9086168	100	10	52	1	44928.16
59.	Bonus	583190	9086161	99	10	54	43	44955.46667
60.	T239	583201	9086183	106	10	58	54	44845.2
61.	T226	583216	9086177	101	11	2	32	44842.5
62.	T227	583227	9086190	96	11	5	19	44920.35
63.	T238	583212	9086200	103	11	10	15	44890.8
64.	T225	583207	9086163	96	11	16	37	44890.45
65.	T210	583245	9086155	101	11	22	5	44818.2
66.	T209	583238	9086144	103	11	25	55	44817.6
67.	T224	583221	9086155	106	11	28	18	44888.8
68.	T208	583256	9086133	105	11	33	40	44905.92
69.	T193	583271	9086128	103	11	34	5	44928.28
70.	T192	583285	9086117	106	11	37	10	44928.33333
71.	T177	583304	9086107	103	11	39	25	44935.8
72.	T176	583317	9086100	97	11	40	57	44952.36
73.	T162	583342	9086105	93	12	7	46	44936.55
74.	T163	583350	9086120	92	12	9	29	44935.76
75.	T157	583370	9086126	88	12	11	10	44923.64
76.	T148	583386	9086118	90	12	15	35	44925.4

77.	T140	583410	9086126	81	12	17	45	44888.96
78.	Bonus	583436	9086146	76	12	22	3	44950.2
79.	T135	583441	9086149	77	13	11	23	44909.3
80.	T136	583451	9086162	80	13	15	21	44895.15
81.	T121	583465	9086157	84	13	17	14	44855.2
82.	T122	583454	9086142	79	13	20	5	44912.8
83.	T123	583451	9086125	84	13	22	4	44920.28
84.	T125	583434	9086094	83	13	25	15	44932.45
85.	T126	583423	9086078	83	13	30	31	44966.45
86.	T130	583401	9086072	90	13	32	35	44970.2
87.	T129	583392	9086057	93	13	37	29	44963.3
88.	T128	583405	9086050	90	13	41	37	44980.55
89.	T127	583412	9086065	83	13	46	35	44986.45
90.	T114	583427	9086057	78	13	50	43	44958.95
91.	T115	583436	9086068	75	13	55	44	44977.8
92.	T109	583458	9086076	77	13	58	50	44972.45
93.	T100	583473	9086068	70	14	5	58	44876.36
94.	T093	583487	9086057	75	14	8	40	44910.68
95.	T092	583495	9086076	76	14	10	27	44507.2
96.	T101	583484	9086087	75	14	13	4	44979.6
97.	T102	583487	9086096	79	14	15	36	44928.1
98.	T103	583502	9086118	81	14	16	28	44878.45
99.	T104	583513	9086135	83	14	23	28	44935.6
100.	T089	583524	9086125	81	14	25	44	44911.55
101.	T090	583517	9086109	76	14	27	45	44902.2
102.	T091	583504	9086094	78	14	30	54	44969.8
103.	T086	583517	9086083	76	14	31	34	45043.7
104.	T087	583537	9086099	77	14	34	45	44932.12
105.	T088	583541	9086118	79	14	36	17	44910.64
106.	T073	583553	9086111	80	14	38	25	44864.36
107.	T074	583544	9086094	76	14	42	24	44910.5
108.	T075	583535	9086070	74	14	43	22	45012.36
109.	T076	583524	9086057	74	14	47	50	45032.75
110.	T077	583520	9086046	72	14	49	59	44903.25
111.	T084	583502	9086052	73	14	51	18	44882.36
112.	T085	583509	9086066	74	14	53	13	45007.7
113.	T083	583489	9086035	68	14	57	10	44914.68
114.	T095	583469	9086033	67	15	0	25	44964.35
115.	T068	583533	9086033	67	15	3	38	45058.16
116.	T060	583557	9086044	68	15	7	53	45008.56
117.	T069	583544	9086048	73	15	17	55	45005.56
118.	T070	583550	9086066	74	15	19	4	44909.4
119.	T071	583557	9086083	77	15	20	35	44919.4

120.	T072	583570	9086101	87	15	27	21	44849.4
121.	T057	583585	9086094	86	15	31	56	44916.65
122.	T056	583597	9086086	87	15	34	45	44872.4
123.	T055	583590	9086070	79	15	36	1	44891
124.	T058	583573	9086079	94	15	39	45	44826.8
125.	T059	583564	9086059	86	15	42	10	44928.36
126.	T054	583575	9086048	84	15	44	38	44794.7
127.	T044	583584	9086022	78	15	48	1	45062.35
128.	T011	583656	9086011	75	15	56	15	45027.65
129.	T009	583674	9086046	74	15	59	32	45014.96
130.	T008	583685	9086038	71	16	3	5	45057
131.	T006	583667	9086000	68	16	6	41	45258.88
132.	Base Akhir	584023	9085774	41	16	16	52	45216.6

No.	Nama Titik	$\Delta H$ Diurnal	IGRF	Anomali Magnetik (nT)
1.	Base Awal	0	45028	209.4
2.	T007	-0.4861	45028	42.9261
3.	T010	-0.6824	45028	45.8024
4.	T023	-0.7669	45028	54.5002
5.	T027	-0.8283	45028	59.0283
6.	T037	-0.8998	45028	66.3798
7.	T044	-1.0341	45028	12.5141
8.	T053	-1.0587	45028	137.779
9.	T061	-1.2134	45028	18.4534
10.	T067	-1.3293	45028	-52.371
11.	T082	-1.4881	45028	74.9381
12.	T078	-1.6531	45028	19.9531
13.	T094	-1.7724	45028	-79.108
14.	T099	-1.8849	45028	-53.595
15.	T110	-1.9428	45028	-33.017
16.	T116	-2.0287	45028	-50.371
17.	T124	-2.086	45028	-83.714
18.	T134	-2.2073	45028	-98.913
19.	T150	-2.3314	45028	-49.749
20.	T156	-2.4064	45028	-120.47
21.	T164	-2.4882	45028	-172.71
22.	T173	-2.7132	45028	-134.64
23.	T180	-2.8522	45028	-127.95
24.	T189	-2.9381	45028	-170.18
25.	T196	-3.0233	45028	-187.23

26.	T205	-3.1972	45028	-202.5
27.	T211	-3.2926	45028	-74.957
28.	T222	-3.4119	45028	-243.09
29.	T228	-3.4835	45028	-61.917
30.	T237	-3.5851	45028	-55.882
31.	T236	-3.7868	45028	-55.733
32.	T235	-3.7937	45028	50.6737
33.	T234	-3.9402	45028	-28.34
34.	T233	-4.0902	45028	-83.96
35.	T232	-4.202	45028	1.60199
36.	T237	-4.2913	45028	-1.3887
37.	T231	-4.4685	45028	99.3085
38.	T230	-4.5517	45028	-31.968
39.	T229	-4.6206	45028	-144.83
40.	T220	-4.7242	45028	-162.4
41.	T219	-4.7446	45028	-44.735
42.	T218	-4.8298	45028	-73.43
43.	T203	-4.9934	45028	-247.91
44.	T214	-5.1639	45028	-169.94
45.	T198	-5.2988	45028	-308.34
46.	T202	-5.4106	45028	-206.32
47.	T215	-5.5722	45028	-124.88
48.	T216	-5.6629	45028	128.996
49.	T201	-5.9165	45028	-174.24
50.	T200	-6.1148	45028	-245.79
51.	T199	-6.1912	45028	-319.53
52.	T197	-6.2934	45028	-150.95
53.	T204	-6.4564	45028	-306.02
54.	T213	-6.7706	45028	-141.18
55.	T212	-6.8374	45028	-88.563
56.	T221	-7.1169	45028	-38.323
57.	T223	-7.3808	45028	-218.26
58.	T2240	-7.513	45028	-92.327
59.	<b>Bonus</b>	-7.6234	45028	-64.91
60.	T239	-7.7945	45028	-175.01
61.	T226	-7.9432	45028	-177.56
62.	T227	-8.057	45028	-99.593
63.	T238	-8.2588	45028	-128.94
64.	T225	-8.5192	45028	-129.03
65.	T210	-8.7428	45028	-201.06
66.	T209	-8.8996	45028	-201.5

67.	T224	-8.9971	45028	-130.2
68.	T208	-9.2166	45028	-112.86
69.	T193	-9.2336	45028	-90.486
70.	T192	-9.3597	45028	-90.307
71.	T177	-9.4518	45028	-82.748
72.	T176	-9.5145	45028	-66.126
73.	T162	-10.611	45028	-80.839
74.	T163	-10.682	45028	-81.558
75.	T157	-10.75	45028	-93.61
76.	T148	-10.931	45028	-91.669
77.	T140	-11.02	45028	-128.02
78.	Bonus	-11.196	45028	-66.604
79.	T135	-13.213	45028	-105.49
80.	T136	-13.376	45028	-119.47
81.	T121	-13.453	45028	-159.35
82.	T122	-13.569	45028	-101.63
83.	T123	-13.65	45028	-94.07
84.	T125	-13.781	45028	-81.769
85.	T126	-13.996	45028	-47.554
86.	T130	-14.08	45028	-43.72
87.	T129	-14.281	45028	-50.419
88.	T128	-14.45	45028	-33
89.	T127	-14.653	45028	-26.897
90.	T114	-14.822	45028	-54.228
91.	T115	-15.027	45028	-35.173
92.	T109	-15.154	45028	-40.396
93.	T100	-15.446	45028	-136.19
94.	T093	-15.556	45028	-101.76
95.	T092	-15.629	45028	-505.17
96.	T101	-15.736	45028	-32.664
97.	T102	-15.84	45028	-84.06
98.	T103	-15.875	45028	-133.67
99.	T104	-16.162	45028	-76.238
100.	T089	-16.254	45028	-100.2
101.	T090	-16.337	45028	-109.46
102.	T091	-16.466	45028	-41.734
103.	T086	-16.493	45028	32.193
104.	T087	-16.623	45028	-79.257
105.	T088	-16.686	45028	-100.67
106.	T073	-16.773	45028	-146.87
107.	T074	-16.936	45028	-100.56

108.	T075	-16.976	45028	1.33567
109.	T076	-17.158	45028	21.9084
110.	T077	-17.246	45028	-107.5
111.	T084	-17.3	45028	-128.34
112.	T085	-17.379	45028	-2.9214
113.	T083	-17.54	45028	-95.78
114.	T095	-17.673	45028	-45.977
115.	T068	-17.805	45028	47.9646
116.	T060	-17.978	45028	-1.4616
117.	T069	-18.389	45028	-4.0512
118.	T070	-18.436	45028	-100.16
119.	T071	-18.498	45028	-90.102
120.	T072	-18.775	45028	-159.83
121.	T057	-18.962	45028	-92.388
122.	T056	-19.077	45028	-136.52
123.	T055	-19.129	45028	-117.87
124.	T058	-19.282	45028	-181.92
125.	T059	-19.381	45028	-80.259
126.	T054	-19.482	45028	-213.82
127.	T044	-19.62	45028	53.97
128.	T011	-19.957	45028	19.6067
129.	T009	-20.091	45028	7.05103
130.	T008	-20.236	45028	49.2362
131.	T006	-20.383	45028	251.263
132.	Base Akhir	-20.8	45028	209.4

## b. Hari Kedua (15 September 2019)

No.	Nama Titik	Posisi		Elevasi (m) Z	Waktu			Intensitas Medan Magnet Total
		Bujur	Lintang		Jam	Menit	Detik	
133.	Base Awal	584023	9085774	41	8	19	9	45240.92
134.	T004	583652	9085968	55	8	33	25	45133.16
135.	T003	583645	9085950	59	8	34	14	45106.3
136.	T002	583639	9085941	63	8	36	59	45024.04
137.	T001	583630	9085924	68	8	39	31	45010.65
138.	T016	583612	9085933	70	8	41	15	45249.28
139.	T017	583595	9085946	64	8	46	17	45084.75
140.	T018	583610	9085959	60	8	47	15	45323.3
141.	T015	583623	9085948	65	8	50	46	45285.12
142.	T014	583630	9085961	61	8	51	59	45248.45

143.	T013	583639	9085978	57	8	53	2	45243.24
144.	T019	583614	9085970	57	8	56	59	45394.45
145.	T020	583625	9085983	57	8	57	43	45114.5
146.	T029	583606	9085994	60	9	0	46	45435.35
147.	T030	583599	9085980	59	9	6	16	45204.88
148.	T031	583590	9085967	59	9	8	8	45158.76
149.	T034	583573	9085967	59	9	11	41	45069.24
150.	T035	583582	9085987	62	9	13	16	45134.45
151.	T036	583592	9086002	60	9	16	2	45180.8
152.	T045	583573	9086011	62	9	19	40	45062.68
153.	T046	583568	9085998	61	9	20	47	45056.88
154.	T051	583553	9086007	63	9	23	48	45282.86
155.	T062	583538	9086013	64	9	26	56	45076.36
156.	T079	583500	9086017	62	9	31	19	45087.8
157.	T066	583516	9086009	60	9	34	55	45210.35
158.	T081	583480	9086013	68	9	36	52	45232.48
159.	T098	583456	9086041	73	9	42	34	44996.12
160.	T111	583441	9086048	75	9	45	7	44963.96
161.	T131	583410	9086087	70	9	51	57	44985.36
162.	T132	583416	9086105	64	9	57	36	44904.96
163.	T133	583425	9086118	68	9	59	59	44951.76
164.	T141	583399	9086109	80	10	14	50	44923.72
165.	T142	583392	9086094	79	10	20	55	44972.22
166.	T147	583383	9086103	84	10	24	41	44937.95
167.	T158	583364	9086111	88	10	26	5	44987.45
168.	T159	583351	9086094	90	10	30	50	44954.48
169.	T161	583333	9086091	92	10	34	29	44968.2
170.	T160	583346	9086083	88	10	38	9	44963
171.	T145	583405	9086078	91	10	41	55	45007.42
172.	T144	583372	9086067	88	10	45	50	44966.2
173.	T146	583370	9086085	87	10	47	29	45038
174.	T143	583388	9086085	86	10	50	10	44985.88
175.	T175	583326	9086115	94	11	0	25	44959.7
176.	T178	583307	9086122	98	11	2	40	44941.875
177.	T197	583293	9086129	97	11	4	53	44937.08
178.	T194	583282	9086142	96	11	15	5	44891.58
179.	T207	583265	9086150	96	11	19	5	44876.7
180.	T206	583273	9086163	93	11	21	24	44834.65
181.	T195	583289	9086153	88	11	23	46	44888.3
182.	T190	583298	9086144	93	11	29	2	44890.8
183.	T179	583320	9086137	86	11	32	43	44885.52
184.	T174	583335	9086129	85	11	34	19	44887.275
185.	T172	583352	9086159	81	11	40	51	44988.68
186.	T181	583337	9086170	82	11	45	31	44991.12
187.	T188	583322	9086175	86	11	47	41	44995.425
188.	T187	583333	9086190	84	11	49	37	44900.475

189.	T182	583346	9086183	84	11	52	5	44855.7
190.	T171	583361	9086177	79	11	56	25	44909.75
191.	T166	583374	9086162	77	11	58	43	44916.96
192.	T165	583366	9086151	83	12	1	14	44935.25
193.	T155	583392	9086155	82	13	15	36	44941.8
194.	T151	583410	9086164	80	13	20	5	44925.48
195.	T154	583401	9086173	85	13	26	49	44825.28
196.	T167	583385	9086181	87	13	30	5	44839.68
197.	T168	583388	9086199	90	13	32	43	44811.3
198.	T169	583379	9086205	91	13	34	31	44795.28
199.	T184	583359	9086216	84	13	38	54	44736.16
200.	T185	583348	9086225	87	13	40	28	44726.16
201.	T186	583339	9086199	76	13	45	21	44893.2
202.	T183	583353	9086197	74	13	46	5	44832.3
203.	T170	583368	9086186	73	13	48	31	44893.5
204.	T153	583407	9086190	78	13	52	32	44856.5
205.	T152	583423	9086181	77	13	54	6	44893.45
206.	T138	583432	9086159	69	14	3	41	44925
207.	T137	583438	9086173	68	14	6	16	44861.52
208.	T139	583419	9086138	71	14	12	11	44966.76
209.	T149	583396	9086133	73	14	17	23	44925.96
210.	T106	583484	9086125	74	14	33	46	44836.84
211.	T119	583471	9086133	70	14	37	31	44809.68
212.	T120	583480	9086149	72	14	40	17	44802.64
213.	T105	583497	9086144	75	14	43	8	44919.3
214.	T107	583474	9086105	69	14	46	26	44880.4
215.	T118	583463	9086118	68	14	50	41	44872.8
216.	T108	583465	9086090	64	14	54	6	44961.04
217.	T117	583452	9086100	70	14	54	2	44992.2
218.	T052	583562	9086018	61	15	14	33	45170.15
219.	T043	583594	9086042	70	15	20	13	45002
220.	T038	583427	9086033	69	15	24	9	45143.45
221.	T039	583619	9086053	75	15	30	21	44976.35
222.	T026	583634	9086044	69	15	33	26	44927.84
223.	T025	583643	9086062	72	15	36	47	44975.44
224.	T040	583629	9086068	60	15	38	6	45007.1
225.	T041	583614	9086077	61	15	39	8	44933.82
226.	T042	583606	9086059	62	15	44	44	44920.44
227.	T024	583660	9086055	65	15	50	2	44918.26667
228.	T022	583638	9086016	62	15	54	31	44981.76
229.	T005	583661	9085983	55	16	8	52	45080.8
230.	T021	583623	9086000	56	16	15	10	45179.1
231.	T012	583645	9085991	56	16	21	21	45141.2
232.	T028	583614	9086009	55	16	31	5	45243.92
233.	T032	583584	9085921	80	16	42	40	44978.15

234.	Base Akir	584023	9085774	41	17	22	14	45219.4
------	-----------	--------	---------	----	----	----	----	---------

No.	Nama Titik	$\Delta H$ Diurnal	IGRF	Anomali Magnetik (nT)
133.	Base Awal	0	45028	212.92
134.	T004	-0.5653	45028	105.725
135.	T003	-0.5977	45028	78.8977
136.	T002	-0.7067	45028	-3.2533
137.	T001	-0.807	45028	-16.543
138.	T016	-0.8757	45028	222.156
139.	T017	-1.0752	45028	57.8252
140.	T018	-1.1135	45028	296.413
141.	T015	-1.2528	45028	258.373
142.	T014	-1.301	45028	221.751
143.	T013	-1.3426	45028	216.583
144.	T019	-1.4992	45028	367.949
145.	T020	-1.5282	45028	88.0282
146.	T029	-1.6491	45028	408.999
147.	T030	-1.867	45028	178.747
148.	T031	-1.941	45028	132.701
149.	T034	-2.0817	45028	43.3217
150.	T035	-2.1444	45028	108.594
151.	T036	-2.254	45028	155.054
152.	T045	-2.398	45028	37.078
153.	T046	-2.4423	45028	31.3223
154.	T051	-2.5618	45028	257.422
155.	T062	-2.686	45028	51.046
156.	T079	-2.8596	45028	62.6596
157.	T066	-3.0023	45028	185.352
158.	T081	-3.0796	45028	207.56
159.	T098	-3.3054	45028	-28.575
160.	T111	-3.4065	45028	-60.634
161.	T131	-3.6773	45028	-38.963
162.	T132	-3.9011	45028	-119.14
163.	T133	-3.9956	45028	-72.244
164.	T141	-4.584	45028	-99.696
165.	T142	-4.8251	45028	-50.955
166.	T147	-4.9743	45028	-85.076
167.	T158	-5.0298	45028	-35.52
168.	T159	-5.218	45028	-68.302
169.	T161	-5.3627	45028	-54.437
170.	T160	-5.508	45028	-59.492
171.	T145	-5.6572	45028	-14.923
172.	T144	-5.8124	45028	-55.988

173.	T146	-5.8778	45028	15.8778
174.	T143	-5.9841	45028	-36.136
175.	T175	-6.3903	45028	-61.91
176.	T178	-6.4794	45028	-79.646
177.	T197	-6.5673	45028	-84.353
178.	T194	-6.9715	45028	-129.45
179.	T207	-7.13	45028	-144.17
180.	T206	-7.2218	45028	-186.13
181.	T195	-7.3155	45028	-132.38
182.	T190	-7.5242	45028	-129.68
183.	T179	-7.6702	45028	-134.81
184.	T174	-7.7336	45028	-132.99
185.	T172	-7.9925	45028	-31.328
186.	T181	-8.1774	45028	-28.703
187.	T188	-8.2633	45028	-24.312
188.	T187	-8.3399	45028	-119.19
189.	T182	-8.4376	45028	-163.86
190.	T171	-8.6093	45028	-109.64
191.	T166	-8.7005	45028	-102.34
192.	T165	-8.8002	45028	-83.95
193.	T155	-11.747	45028	-74.453
194.	T151	-11.925	45028	-90.595
195.	T154	-12.191	45028	-190.53
196.	T167	-12.321	45028	-176
197.	T168	-12.425	45028	-204.27
198.	T169	-12.497	45028	-220.22
199.	T184	-12.67	45028	-279.17
200.	T185	-12.732	45028	-289.11
201.	T186	-12.926	45028	-121.87
202.	T183	-12.955	45028	-182.75
203.	T170	-13.051	45028	-121.45
204.	T153	-13.211	45028	-158.29
205.	T152	-13.273	45028	-121.28
206.	T138	-13.652	45028	-89.348
207.	T137	-13.755	45028	-152.73
208.	T139	-13.989	45028	-47.251
209.	T149	-14.195	45028	-87.845
210.	T106	-14.844	45028	-176.32
211.	119	-14.993	45028	-203.33
212.	T120	-15.103	45028	-210.26
213.	T105	-15.216	45028	-93.484
214.	T107	-15.346	45028	-132.25
215.	T118	-15.515	45028	-139.69
216.	T108	-15.65	45028	-51.31
217.	T117	-15.647	45028	-20.153

218.	T052	-16.46	45028	158.61
219.	T043	-16.685	45028	-9.315
220.	T038	-16.841	45028	132.291
221.	T039	-17.087	45028	-34.563
222.	T026	-17.209	45028	-82.951
223.	T025	-17.341	45028	-35.219
224.	T040	-17.394	45028	-3.5063
225.	T041	-17.435	45028	-76.745
226.	T042	-17.657	45028	-89.903
227.	T024	-17.867	45028	-91.867
228.	T022	-18.044	45028	-28.196
229.	T005	-18.613	45028	71.4128
230.	T021	-18.862	45028	169.962
231.	T012	-19.107	45028	132.307
232.	T028	-19.493	45028	235.413
233.	T032	-19.952	45028	-29.898
234.	Base Akir	-21.52	45028	212.92

## 2. Data Hasil Ekstraksi

### a. Data Slice A-A'

No.	Jarak (m)	Elevasi (m)	Anomali Magnetik (nT)
1.	0	60.91811	273.617
2.	4.5516	60.82775	262.922
3.	9.628384	60.99603	250.1213
4.	14.70517	61.55558	235.3193
5.	19.78195	62.2705	227.4284
6.	24.85874	62.89586	231.3016
7.	29.93552	63.14521	239.7981
8.	35.01231	63.0419	235.7411
9.	35.47243	62.83117	232.6828
10.	40.08909	62.38189	201.572
11.	45.16588	61.74984	151.2397
12.	50.24266	61.31048	107.8312
13.	55.31944	61.26358	83.70714
14.	60.39623	61.23686	75.20749
15.	65.47301	61.64414	99.13079
16.	70.5498	61.91381	145.2442
17.	75.62658	61.51627	207.8609
18.	80.70337	60.43063	284.6074
19.	85.78015	59.93216	360.8998

20.	89.41987	59.71441	362.1052
21.	90.85693	59.51998	361.3114
22.	95.93372	58.36304	326.4574
23.	101.0105	57.17648	279.0596
24.	106.0873	56.86075	213.1787
25.	111.1641	56.51562	155.2043
26.	116.2409	56.48632	138.7394
27.	121.3176	56.874	151.2639
28.	126.3944	57.29496	164.0822
29.	131.4712	57.56643	162.6505
30.	136.548	57.80625	156.7532
31.	141.6248	59.41452	155.4301
32.	143.3673	60.57449	156.7468
33.	146.7016	61.20319	157.8773
34.	151.7783	61.54877	155.3176
35.	156.8551	61.3871	148.114
36.	158.8683	61.34098	142.9204

b. Data Slice B-B'

No.	Jarak (m)	Elevasi (m)	Anomali Magnetik (nT)
1.	0	61.309742	284.4904
2.	2.661978	61.137572	266.6008
3.	7.823942	60.449397	222.679
4.	12.98591	60.427169	162.4914
5.	15.86273	59.948157	131.8566
6.	18.14787	59.641656	106.3455
7.	23.30983	60.060418	51.74182
8.	28.4718	62.495545	3.070211
9.	33.63376	65.39341	-38.594
10.	38.79572	66.139297	-74.5385
11.	43.12314	68.212496	-94.1118
12.	43.95769	70.636566	-97.7941
13.	49.11965	72.584304	-98.828
14.	54.28162	73.82134	-79.2277
15.	59.44358	74.531655	-54.6412
16.	64.60554	74.794842	-30.464
17.	69.76751	74.977995	-9.74663
18.	70.38354	75.383302	-8.12701
19.	74.92947	75.886972	3.737015
20.	80.09143	76.521658	7.435583

21.	85.2534	77.306805	3.644271
22.	90.41536	78.064488	-15.1029
23.	95.57732	78.17413	-43.9712
24.	97.64394	78.780631	-55.8314
25.	100.7393	78.501397	-73.6654
26.	105.9013	77.8023	-97.8118
27.	111.0632	77.236928	-116.678
28.	116.2252	76.769662	-128.648
29.	121.3871	76.67587	-135.512
30.	124.9043	76.200337	-139.577
31.	126.5491	75.491421	-141.514
32.	131.7111	74.433079	-149.443
33.	136.873	73.441427	-159.329
34.	142.035	72.74799	-159.246
35.	142.1771	72.61292	-159.038

c. Data Slice C-C'

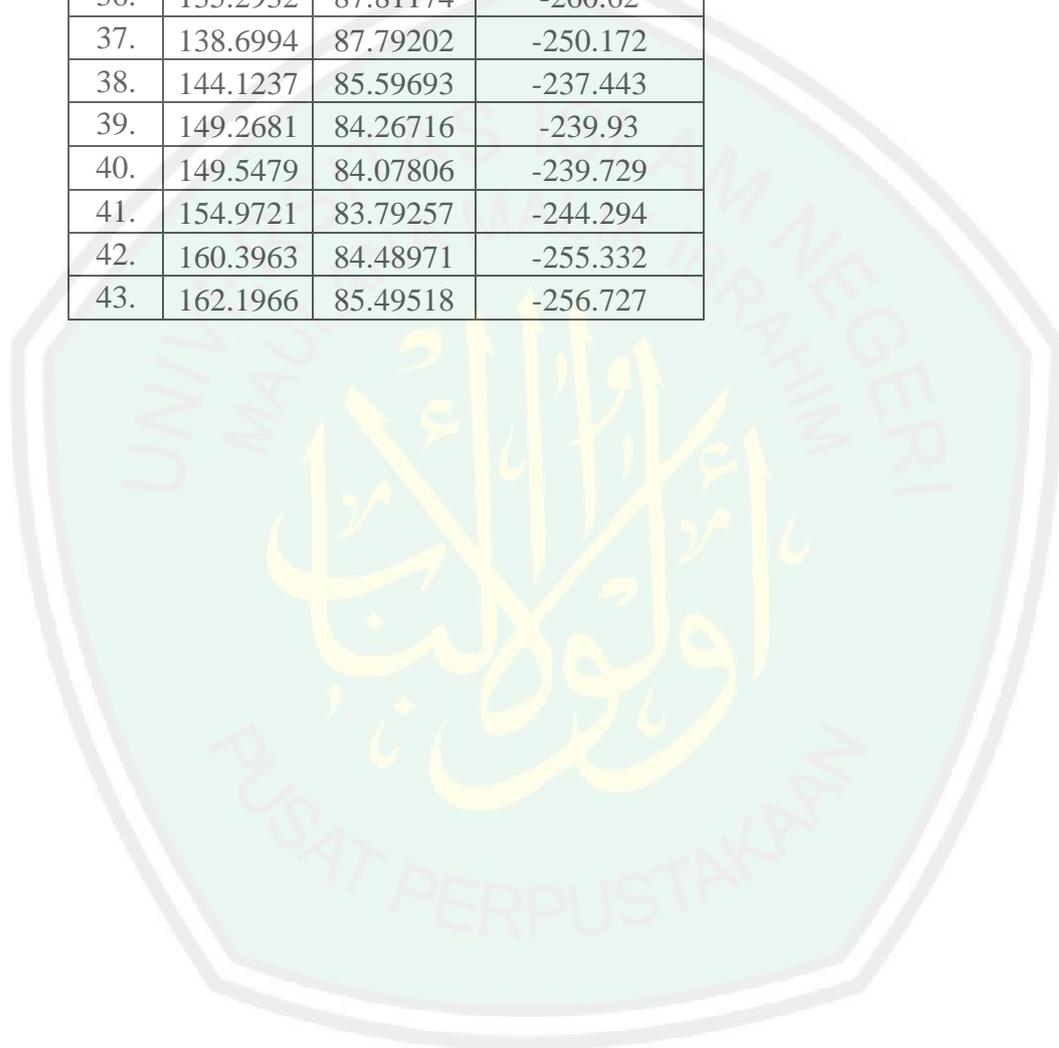
No.	Jarak (m)	Elevasi (m)	Anomali Magnetik (nT)
1.	0	88.8835	-5.364
2.	2.38834	88.8694	-11.194
3.	7.48642	88.4378	-17.408
4.	12.5845	88.5092	-16.249
5.	17.6826	89.2312	-11.508
6.	22.7807	90.0503	-7.173
7.	27.5613	85.9076	-5.502
8.	27.8787	79.7296	-5.3678
9.	32.9768	76.1675	-8.0379
10.	38.0749	74.9953	-19.331
11.	43.173	75.6451	-35.937
12.	48.2711	77.0386	-52.226
13.	53.3692	77.7366	-64.879
14.	58.4672	79.9377	-73.911
15.	63.5653	81.0171	-77.898
16.	68.6634	80.9945	-76.967
17.	73.7615	79.047	-71.813
18.	78.042	75.4526	-66.528
19.	78.8596	73.6968	-65.691
20.	83.9576	74.3322	-58.038
21.	89.0557	75.7873	-51.373
22.	94.1538	78.313	-47.108

23.	99.2519	79.9446	-49.036
24.	104.35	80.987	-69.21
25.	109.448	82.2823	-95.274
26.	114.546	83.4207	-118.87
27.	119.644	84.5847	-137.99
28.	124.742	85.4575	-154.19
29.	128.523	85.9012	-157.58
30.	129.84	85.9877	-158.6
31.	134.938	86.492	-160.68
32.	140.037	87.7508	-166.19

d. Data Slice D-D'

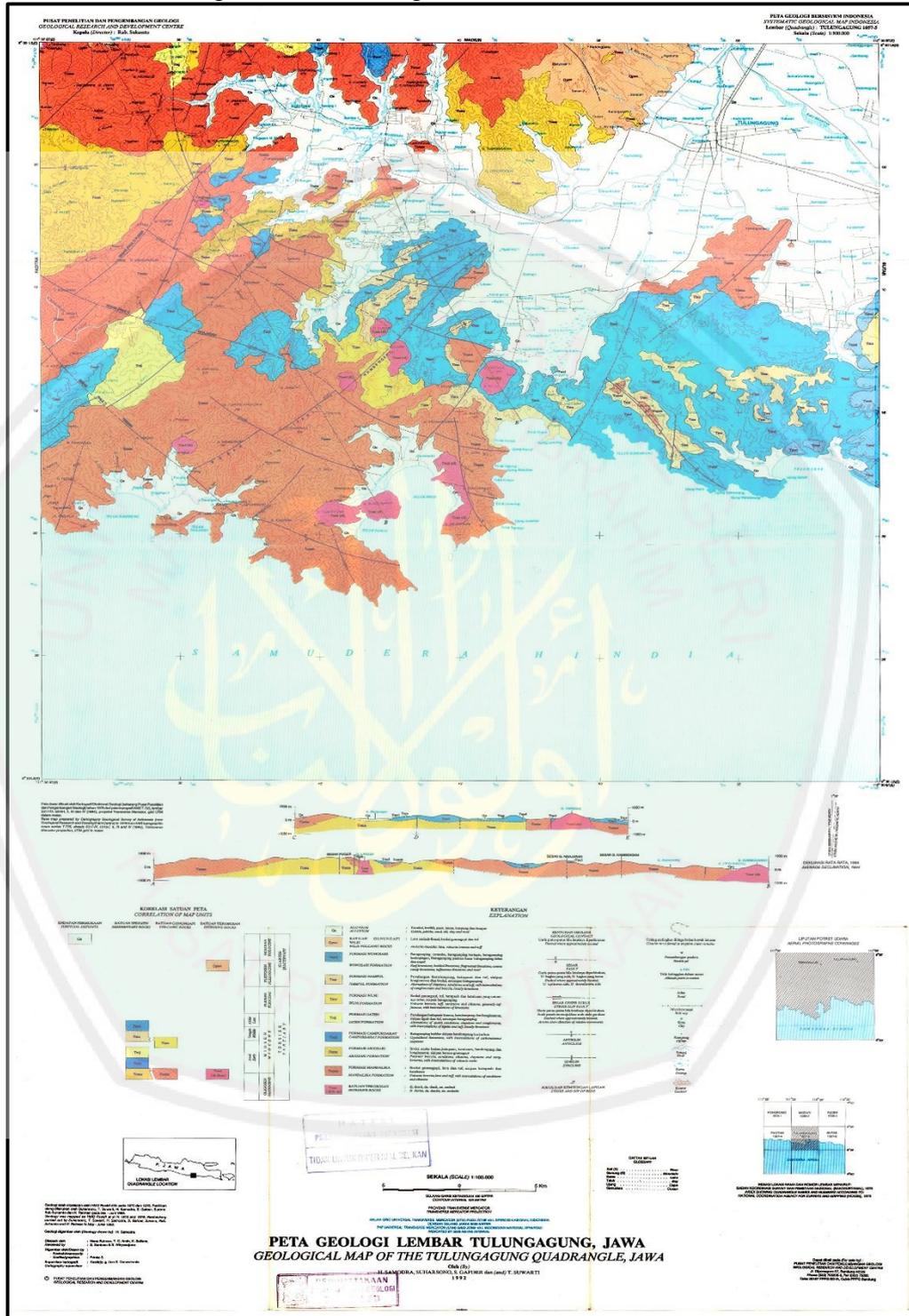
No.	Jarak (m)	Elevasi (m)	Anomali Magnetik (nT)
1.	0	97.63268	-100.74
2.	3.093987	98.35655	-113.414
3.	8.518205	100.0044	-107.25
4.	9.518918	99.82935	-95.7826
5.	13.94242	99.81721	-50.252
6.	19.36664	97.93363	63.59632
7.	23.49384	94.78196	168.1817
8.	24.79086	93.42849	189.916
9.	30.21508	91.95626	261.5301
10.	35.6393	89.32778	261.7494
11.	37.46876	87.90014	210.7501
12.	41.06351	87.86959	128.6281
13.	46.48773	87.91975	-29.0488
14.	51.44368	88.34523	-127.745
15.	51.91195	88.71607	-132.989
16.	57.33617	89.10326	-92.9028
17.	62.76039	89.58003	-62.0405
18.	65.4186	88.94477	-63.1044
19.	68.1846	88.74523	-63.1257
20.	73.60882	88.01702	-87.849
21.	79.03304	87.55364	-123.173
22.	79.39352	88.18189	-126.167
23.	84.45726	88.38073	-169.394
24.	89.88148	89.60832	-218.56
25.	93.36844	89.00361	-236.486
26.	95.3057	88.65727	-243.112
27.	100.7299	87.77705	-251.437

28.	106.1541	86.91803	-256.286
29.	107.3434	86.6939	-256.267
30.	111.5783	86.71411	-257.358
31.	117.0026	87.68065	-267.673
32.	121.3183	89.15421	-272.401
33.	122.4268	89.54247	-272.344
34.	127.851	90.34996	-268.692
35.	133.2752	90.19017	-267.262
36.	135.2932	87.81174	-260.62
37.	138.6994	87.79202	-250.172
38.	144.1237	85.59693	-237.443
39.	149.2681	84.26716	-239.93
40.	149.5479	84.07806	-239.729
41.	154.9721	83.79257	-244.294
42.	160.3963	84.48971	-255.332
43.	162.1966	85.49518	-256.727



# LAMPIRAN 2

Gambar Peta Geologi Lembar Malang



### LAMPIRAN 3

#### Gambar Pengambilan Data Geomagnetik



Lokasi Singkapan Batubara



Singkapan 1  
Zona: 49S

X: 583668.77 dan Y: 9085991.30

Singkapan 2  
Zona: 49S

X: 583655.31 dan Y: 9085991.32



Singkapan 3  
Zona: 49S

X: 583621.66 dan Y: 9085994.46

Singkapan 4  
Zona: 49S

X: 583502.45 dan Y: 9076046.89



Singkapan 5  
Zona: 49S  
X: 583487.28 dan Y: 9086114.49

Singkapan 6  
Zona: 49S  
X: 583444.53 dan Y: 9086154.50



Singkapan 7  
Zona: 49S  
X: 583392.56 dan Y: 9086176.09

Singkapan 8  
Zona: 49S  
X: 583297.00 dan Y: 9086197.00 S

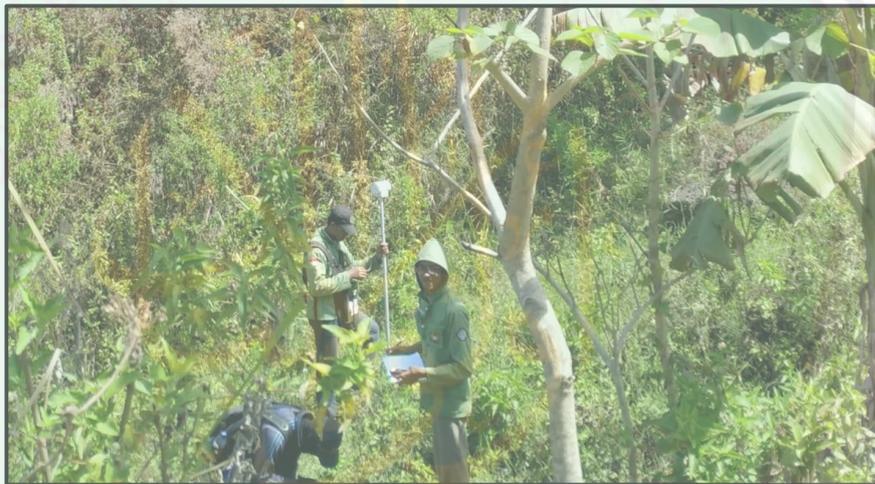


Singkapan 9  
Zona: 49S  
X: 583248.77 dan Y: 9086176.37

Singkapan 10  
Zona: 49S  
X: 583248.81 dan Y: 9086194.79



Singkapan 11  
Zona: 49S  
X: 583273.26 dan Y: 9086182.46



Kegiatan Akuisisi Data di Lokasi Penelitian.



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 : Lala Anggi Rakasiwi  
NIM : 15640054  
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika  
Judul Skripsi : Interpretasi Litologi Batubara Muda Berdasarkan Data Anomali Geomagnetik  
Pembimbing I : Irjan, M.Si  
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M. Pd

NO.	TANGGAL	MATERI	TANDA TANGAN
1	30 April 2019	Konsultasi Bab I	
2	20 Mei 2019	Konsultasi Bab II dan III	
3	02 September 2019	Konsultasi Bab I, II, III, dan Acc	
4	22 November 2019	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
5	18 Februari 2020	Konsultasi Pembahasan Bab IV	
6	17 Maret 2020	Konsultasi Bab IV dan V	
7	07 April 2020	Konsultasi kajian agama dan Acc	
8	07 April 2020	Konsultasi semua Bab, Abstrak dan Acc	



07 April 2020

Abdul Basid, M.Si  
Jurusan Fisika

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