

**PENERAPAN METODE GEOMAGNETIK UNTUK IDENTIFIKASI
SEBARAN BATUBARA DAERAH KLATAK KECAMATAN BESUKI
KABUPATEN TULUNGAGUNG**

SKRIPSI

Oleh:

SULFI HUDAYA MUCHTAR

NIM. 13640005



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

**PENERAPAN METODE GEOMAGNETIK UNTUK IDENTIFIKASI
SEBARAN BATUBARA DAERAH KLATAK KECAMATAN BESUKI
KABUPATEN TULUNGAGUNG**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**SULFI HUDAYA MUCHTAR
NIM. 13640005**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENERAPAN METODE GEOMAGNETIK UNTUK IDENTIFIKASI
SEBARAN BATUBARA DAERAH KLATAK KECAMATAN
BESUKI KABUPATEN TULUNGAGUNG**

SKRIPSI

Oleh:
Sulfi Hudaya Muchtar
NIM. 13640005

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal 5 Desember 2018

Pembimbing I

Pembimbing II

Irjan, M.Si
NIP. 19691231 200604 1 003

Umairatus Syarifah, M. A.
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

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

HALAMAN PENGESAHAN

PENERAPAN METODE GEOMAGNETIK UNTUK IDENTIFIKASI SEBARAN BATUBARA DAERAH KLATAK KECAMATAN BESUKI KABUPATEN TULUNGAGUNG

SKRIPSI

Oleh:
Sulfi Huda Mughtar
NIM.13640005

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal 20 Desember 2018

Penguji Utama	:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	:	<u>Farid Samsu Hananto, MT</u> NIP. 19740513 2003121 1 001	
Sekretaris Penguji	:	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	:	<u>Umayatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sulfi Hudaya Muchtar

NIM : 13640005

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Penerapan Metode Geomagnetik untuk Identifikasi
Sebaran Batubara Daerah Klatak Kecamatan Besuki
Kabupaten Tulungagung

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 jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 5 Desember 2018
Yang membuat pernyataan

Sulfi Hudaya Muchtar
NIM. 13640005

Motto

kalau bisa start dari angka 5 kenapa harus mulai dari nol?

But always remember

“There are lucky people in this world. However, when facing a real challenge,
being lucky is **“far from enough”**”

-Young Dream-



HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Karya sederhana ini ku persembahkan untuk:

- Abba dan Ummi tercinta atas segala jasa, do'a dan dukungan yang tak pernah putus kalian berikan padaku.
- Teman-teman angkatan fisika 2013 serta teman-teman geofisika yang telah membantu melaksanakan penelitian ini.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi kita, Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan 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 Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Umaiatus Syarifah, M.A selaku Dosen Pembimbing Integrasi Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Segenap Dosen dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Kedua orang tua dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Teman-teman Geofisika yang telah membantu dalam proses penelitian
9. Teman-teman Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang angkatan 2013.
10. 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 Desember 2018

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TERTULIS	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Batubara	5
2.2.1 Materi Pembentuk Batubara	5
2.2.2 Pembentukan Batubara	6
2.2.3 Tempat Terbentuknya Batubara	11
2.2.4 Faktor yang Mempengaruhi Terbentuknya Batubara	12
2.2 Jenis-Jenis Batubara	18
2.3 Jenis-Jenis Lapisan Batubara	18
2.4 Batubara di Indonesia	24
2.5 Geologi Daerah Penelitian	25
2.6 Medan Magnet Bumi	28
2.7 Konsep Teori Magnetik	35
2.7.1 Gaya Magnetik	36
2.7.2 Medan Magnetik	36
2.7.3 Momen Magnetik	37
2.7.4 Intensitas Magnetik	37
2.7.5 Suseptibilita sKemagnetan	39
2.7.6 Induksi Magnetik	43
2.8 Magnetometer	43
BAB III METODOLOGI	
3.1 Waktudan Tempat Penelitian	46
3.2 Peralatan Penelitian	46
3.3 Pelaksanaan Penelitian	47
3.3.1 Pengambilan Data	48
3.3.2 Pengolahan Data Geomagnetik	48
3.3.3 Reduksi Bidang Datar	50

3.3.4 Reduksi ke Kutub.....	50
3.3.5 Pengangkatan ke Atas	50
3.3.6 Interpretasi Data Geomagnetik	51
3.4 Diagram Alir	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Akuisisi Data	54
4.2 Pengolahan Data.....	54
4.3 Interpretasi Kualitatif	57
4.3.1 Reduksi Bidang Datar	57
4.3.2 Reduksi ke Kutub.....	59
4.3.3 Kontinuasi ke Atas	60
4.3 Interpretasi Kuantitatif	63
4.4.1 Lintasan A-B	64
4.4.2 Lintasan C-D	66
4.4.3 Lintasan E-F	68
4.4.4 Lintasan G-H	70
4.5 Pemodelan 3D Lintasan A-B, C-D, E-F, G-H	72
4.6 Pembahasan.....	74
4.6 Integrasi Penelitian dengan al-Quran.....	76
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pembentukan Batubara	8
Gambar 2.2	Bentuk <i>Horse Back</i>	20
Gambar 2.3	Bentuk <i>Pinch</i>	21
Gambar 2.4	Bentuk <i>Clay Vein</i>	22
Gambar 2.5	Bentuk <i>Burried Hill</i>	23
Gambar 2.6	Bentuk <i>Fault</i>	23
Gambar 2.7	Bentuk <i>Fold</i>	24
Gambar 2.8	Geologi Daerah Penelitian	26
Gambar 2.10	Medan Magnet Bumi.....	29
Gambar 2.11	Elemen Magnetik Bumi	31
Gambar 2.12	Medan Magnet Anomali	34
Gambar 3.1	Daerah Penelitian	46
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	53
Gambar 4.1	Kontur Elevasi atau Ketinggian Daerah Penelitian.....	55
Gambar 4.2	Kontur Anomali Medan Magnet Total.....	56
Gambar 4.3	Kontur Anomali Medan Magnet Total setelah Reduksi ke Bidang Datar dengan Masukan Ketinggian 86m dan Kedalaman 26m	58
Gambar 4.4	Kontur Anomali Medan Magnet Total Hasil Reduksi ke Kutub ..60	
Gambar 4.5	Peta Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi ke Atas pada Ketinggian 1810m dpl.....	61
Gambar 4.6	Peta Kontur Anomali Residual (Lokal) Hasil Kontinuasi ke Atas pada Ketinggian 1810m dpl.....	62
Gambar 4.7	Irisan Kontur Anomali Lokal Lintasan A-B, Lintasan C-D, Lintasan E-F, dan Lintasan G-H.....	64
Gambar 4.8	Peta Model Bawah Permukaan Lintasan A-B.....	65
Gambar 4.9	Peta Model Bawah Permukaan Lintasan C-D.....	67
Gambar 4.10	Peta Model Bawah Permukaan Lintasan E-F.....	69
Gambar 4.11	Peta Model Bawah Permukaan Lintasan G-H	71
Gambar 4.12	Gambar Pemodelan 3D Lintasan A-B, C-D, E-F, G-H	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat magnetik dari batuan dan mineral magnetik	40
Tabel 4.1	Nilai Suseptibilitas Dan Jenis Batuan Yang Ada Pada Lintasan A-B	64
Tabel 4.2	Nilai Suseptibilitas Dan Jenis Batuan Yang Ada Pada Lintasan C-D	66
Tabel 4.3	Nilai Suseptibilitas Dan Jenis Batuan Yang Ada Pada Lintasan E-F	68
Tabel 4.4	Nilai Suseptibilitas Dan Jenis Batuan Yang Ada Pada Lintasan G-H	70



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Pengolahan Data Lapangan Hari Pertama
Lampiran 2 Pengolahan Data Lapangan Hari Kedua



ABSTRAK

Hudaya Muchtar, Sulfi. 2018. **Penerapan Metode Geomagnetik untuk Identifikasi Sebaran Batubara Daerah Klatak Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung**. Skripsi Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing (I):Irjan, M.Si.; Pembimbing (II) Umayatus Syarifah, M. A.

Kata Kunci: Batubara, magnetik, metode geomagnetik, Tulungagung.

Telah dilakukan survey metode geomagnetik untuk mengetahui sebaran batubara dan struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian menggunakan metode geomagnetik. Pengambilan data dilakukan pada 309 titik ukur yang tersebar pada daerah penelitian dengan luas sekitar 320m x 640m dengan spasi 10m-20m bergantung pada kondisi area penelitian dan juga menggunakan alat *proton processing magnetometer* (PPM). Pengolahan data diawali dengan koreksi harian dan koreksi IGRF untuk mendapatkan anomali magnetik total. Selanjutnya akan diinterpretasi secara kualitatif dan kuantitatif. Penafsiran secara kuantitatif menggunakan *software* surfer11, matlab dan *MagPick*. Hasil interpretasi kualitatif dalam penelitian diperoleh anomali lokal positif antara 0 nT sampai 180 nT ditafsirkan sebagai breksi gunungapi dan lava. Sedangkan anomali negatif berkisar 0 nT sampai dengan -220 nT ditafsirkan sebagai sisipan batupasir, dan batu lanau. Hasil dari interpretasi kuantitatif dengan maksimal kedalaman 20m dibawah permukaan tanah secara umum tersusun dari adanya batubara, batu pasir batulanau dan andesit. Batu bara dalam penelitian ini kemungkinan berada pada lapisan pertama yg bersisipan dengan batu pasir dan batu lanau. Diduga pada lapisan dengan nilai suseptibilitas 0.0002 (satuan SI) didominasi oleh batubara.

ABSTRACT

HudayaMughtar, Sulfi. 2018. Applying Geomagnetic Methods to Identify Coal Distribution of Klatak, Besuki, Tulungagung. Thesis Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University ofMaulana Malik Ibrahim of Malang. Supervisor (I): Irjan, M.Sc.; (II) UmayatusSyarifah, M. A.

Keywords: Coal, magnetic, geomagnetic method, Tulungagung.

A geomagnetic method survey was conducted to determine the distribution of coal and the subsurface geological structure of the research area by using geomagnetic methods. Data collection was carried out on 309 measuring points that were spread over the research area with an area of about 320m x 640m with a spacing of 10m-20m depending on the condition and it used a proton processing magnetometer (PPM). Data processing was begun with daily correction and IGRF correction to obtain total magnetic anomalies. Furthermore, it will be interpreted qualitatively and quantitatively. Quantitative interpretation used surfer11, matlab and MagPick software. The results of qualitative interpretations of the research were obtained positive local anomalies between 0 nT to 180 nT interpreted as volcanic fragment and lava. The negative anomalies started from 0 nT to -220 nT that were interpreted as insertions of sandstones, and silt stones. The results of quantitative interpretations with a maximum depth of 20m under the soil surface were generally composed of coal, siltstone and andesite sandstone. The coal in the research was likely to be in the first layer which was intertwined with sandstone and silt stone. The layers with susceptibility value of 0.0002 (SI units) were dominated by coal.

ملخص البحث

هدايمختار، سلفى. 2018. تطبيق الطرق الجغرافية المغناطيسية لتحديد توزيع الفحم لمنطقة كلاتاك، بسوكي تولونج أكونج. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. الاشراف: إرجان، الماجستير، وأمىة الشريفة، الماجستير

الكلمات الرئيسية: الفحم ، المغناطيسية ، الطريقة الجغرافية المغناطيسية، تولونج أكونج
 قد أجريالمسح للطرق المغناطيسية لتحديد توزيع الفحم والهيكال الجيولوجي تحت السطحي لمنطقة الدراسة باستخدام أساليب الجغرافية المغناطيسية. جمعت البيانات على 309 نقاطالتي تنشر على منطقة الدراسة بمساحة تبلغ 320 م × 640 م مع تباعد يتراوح بين 10 م و 20 م بحالة منطقة الدراسة واستخدم أيضا مقياس مغناطيسي لمعالجة البروتونات (PPM) *proton processing magnetometer*. بدأ معالجة البيانات بالتصحيح اليومي وتصحيح IGRF للحصول على التشوهات المغناطيسية الإجمالية. وعلاوة على ذلك ، سيفسره نوعيا وكميا. التفسير الكمي هو باستخدام برنامج سورفير 11 ، مطلوبمكفيك. حصلت نتائج التفسيرات النوعية في البحث على حالات شذوذات محلية إيجابية بين 0 nT إلى 180 nT أن تفسر على أنها قطعة بركانية والحمم. والشاذة السلبية التي تتراوح من 0 nT إلى -220 nT تفسر غرزات من الأحجار الرملية والحجارة الطمية. نتائج التفسيرات الكمية الأفضالتي تبلغ عمقها 20 متر تحت سطح تشكل من الفحم وحجر الغرين والحجر الرملي وأنديسايت. يكون الفحم في هذا البحث في الطبقة الأولى التي تتشابه مع الحجر الرملي وحجر الطمي. يزعم في طبقات ذات قيمة حساسية 0.0002 SI (وحدة) وتهيمنبالفحم.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak antara dua benua dan dua samudera. Yaitu benua Asia dan benua Australia serta samudera Hindia dan samudera Pasifik. Indonesia termasuk dalam daerah Sabuk Api Pasifik (*Ring of Fire*), yaitu wilayah melingkar yang merupakan batas-batas lempeng bertemu yang mengakibatkan munculnya banyak gunungapi dan zona seismik aktif.

Secara geologis, Indonesia mempunyai sumberdaya mineral termasuk bahan galian industri (salah satunya batubara) yang sangat besar. Pembentukan pegunungan, aktivitas magma pada gunungapi-gunungapi serta proses sedimentasi yang telah berjalan dalam periode yang lama selalu disertai dengan proses evolusi geologi. Aktivitas-aktivitas ini mengakibatkan terjadinya proses pembentukan bahan galian. Berbagai indikasi adanya proses tersebut banyak dijumpai di berbagai tempat di kepulauan Indonesia (Massinai & Effendi, 2007).

Allah berfirman,

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا ۖ ذَٰلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا ۖ فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ
النَّارِ { ٢٧ }

Artinya: Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya dengan sia-sia. Itu anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang yang kafir itu karena mereka akan masuk neraka (Q.S. Shaad (38): 27)

Batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen.

Allah menjelaskan bahwa dia menjadikan langit, bumi, dan makhluk apa saja yang berada diantaranya, tidak sia-sia. Langit dengan segala bintang yang menghiasi matahari yang memancarkan sinar di waktu siang, dan bulan yang menampilkan bentuknya yang berubah-ubah dari malam ke malam, sangat bermanfaat bagi manusia. Begitu juga bumi dengan segala isinya, baik yang tampak di permukaan ataupun yang tersimpan dalam perutnya, sangat besar artinya bagi kehidupan manusia. Semua itu diciptakan Allah atas segala kuasa dan kehendak-Nya sebagai rahmat yang tak ternilai harganya (Kementrian Agama RI, 2010).

Pada masa sekarang ini batubara merupakan sumber energi yang banyak digunakan oleh negara-negara maju. Batubara juga sangat cocok digunakan oleh negara berkembang seperti Indonesia dan khususnya negara-negara yang tidak memiliki sumber minyak maka batubara menjadi energi alternatif selain dikarenakan berlimpah juga memiliki harga yang murah.

Batubara dapat ditemukan hampir diseluruh benua, bersifat berkelanjutan dan tidak mudah punah. Dengan semakin menipisnya sumber daya minyak di dunia maka batubara merupakan salah satu solusi sumber daya pengganti minyak yang terus menipis. Secara umum manfaat batubara yang dapat kita rasakan dalam

kehidupan sehari-hari sebagai pembangkit listrik, bahan bakar kereta api, sisa pembakaran batubara dapat diolah menjadi pupuk pertanian dan lain sebagainya.

Metode geomagnetik adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki kondisi bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat kemagnetan batuan yang teridentifikasi melalui kerentanan magnet batuan. Metode ini didasarkan pada pengukuran variasi intensitas magnetik di permukaan bumi yang disebabkan adanya variasi distribusi (anomali) benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Variasi intensitas medan magnetik yang terukur kemudian ditafsirkan dalam bentuk distribusi bahan magnetik di bawah permukaan, kemudian dijadikan dasar bagi pendugaan keadaan geologi yang mungkin teramati. Pengukuran intensitas medan magnetik dapat dilakukan di darat, laut maupun udara.

Berdasarkan pada hal di atas peneliti ingin mengetahui bagaimana potensi batubara daerah Klatak Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung serta mengetahui bagaimana struktur geologi bawah permukaan pada daerah penelitian menggunakan metode geomagnetik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana potensi sebaran batubara dengan menggunakan metode geomagnetik pada daerah penelitian?
2. Bagaimana struktur geologi bawah permukaan dengan menggunakan metode geomagnetik pada daerah penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui potensi sebaran batubara dengan menggunakan metode geomagnetik pada daerah penelitian.
2. Untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan dengan menggunakan metode geomagnetik pada daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Memberikan informasi mengenai model bawah permukaan daerah penelitian serta menambah wawasan pada bidang geofisika dan geologi khususnya yang berhubungan pada daerah penelitian.

1.5 Batasan Masalah

1. Area penelitian berada di Daerah Klatak Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung Jawa Timur, yang terletak pada koordinat (8.265711° - 8.268629°) LS dan (111.7554° - 111.7612°) BT.
2. Metode geofisika yang digunakan adalah metode geomagnetik.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Batubara

Batubara merupakan bahan bakar padat organik yang berasal dari batuan sedimen yang terbentuk dari sisa bermacam-macam tumbuhan purba dan menjadi padat disebabkan tertimbun lapisan di atasnya (Sudarsono, 2003).

2.2.1 Materi Pembentuk Batubara

Hampir seluruh pembentuk batubara berasal dari tumbuhan. Jenis-jenis tumbuhan pembentuk batubara dan umumnya menurut Diessel (1986) adalah sebagai berikut:

1. Alga, dari zaman Pre-kambrium hingga Ordovisium dan bersel tunggal. Sangat sedikit endapan batubara dari periode ini.
2. Silofita, dari Zaman Silur hingga Devon Tengah, merupakan turunan dari alga. Sedikit endapan batubara dari periode ini.
3. Pteridofita, umur Devon Atas hingga Karbon Atas. Materi utama pembentuk batubara berumur Karbon di Eropa dan Amerika Utara. Tumbuhan tanpa bunga dan biji, berkembang biak dengan spora dan tumbuh di iklim hangat.
4. Gimnospermae, kurun waktu mulai dari Zaman Permian hingga Kapur Tengah. Tumbuhan heteroseksual, biji terbungkus dalam buah, semisal pinus, mengandung kadar getah (resin) tinggi. Jenis Pteridospermae seperti gangamopteris dan glossopteris adalah penyusun utama batubara Permian seperti di Australia, India dan Afrika.

5. Angiospermae, dari Zaman Kapur Atas hingga kini. Jenis tumbuhan modern, buah yang menutupi biji, jantan dan betina dalam satu bunga, kurang bergetah dibanding gimnospermae sehingga secara umum kurang dapat terawetkan.

2.2.2 Pembentukan Batubara

Allah berfirman,

الَّذِي جَعَلَ لَكُمْ مِنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِنْهُ تُوقِدُونَ { ٨٠ }

“... yaitu tuhan yang menjadikan untukmu api dari kayu yang hijau, lalu kamu pun (bisa) menyalakan (api) dari kayu itu,” (Q.S. Yasin (36): 80).

Menurut Zaghlun an Najjar, ayat di atas tentang ketetapan ilahiyah yang menjadikan pohon hijau sebagai sumber penciptaan api. Maksud dari lafadz syajarah adalah pohon atau kayu bakar, atau pohon *affar* dan *marakh*. Saat ini kami memahami ayat ini sebagai keterangan yang menjelaskan tentang energi yang berasal dari bahan organik untuk dijadikan minyak dan gas serta energi yang berasal dari batubara, arang, kayu, kayu bakar, jerami dan lainnya. Hal ini merupakan keutamaan energi yang berasal dari bahan organik (tanaman dan hewan) yang memainkan peran penting di kehidupan kita (Khoir, 2018).

Ayat tersebut mengisyaratkan bahwa energi yang digunakan oleh manusia sesungguhnya berasal dari pepohonan yang hijau dan merupakan satu-satunya sumber kayu. Saat al-Qur'an diturunkan, dengan pemahaman bahwa ketika pohon mengering dan dibakar dapat menjadi sumber api. Para ahli kemudian

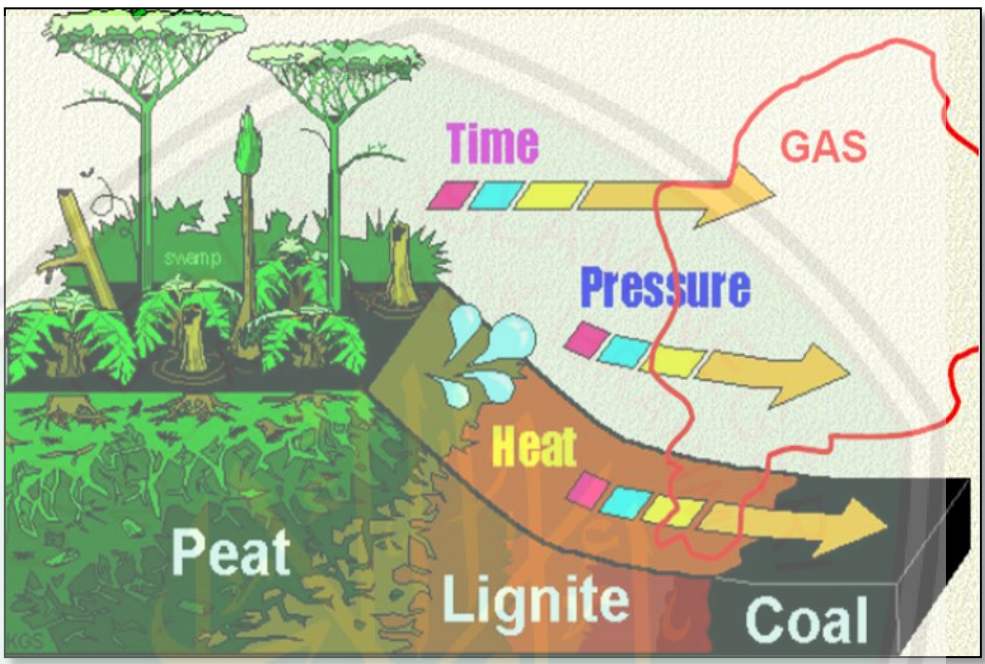
menyingkap bahwa pohon yang kering oleh terik matahari dapat diubah menjadi arang kayu, dan ketika ia ditimbun dalam tanah dapat berubah menjadi batubara (Thayyarah, 2013).

Apabila tanaman yang hijau itu dimakan oleh hewan, hewan itu dapat memisahkan dan mengambil unsur lemak dalam tanaman yang mengandung sumber energi baginya. Jika kemudian hewan itu dikubur tanpa terkena udara samasekali, ia pun dapat berubah menjadi minyak lalu menjadi gas alami ketika semakin terkena panas yang ekstrem didalam perut bumi.

Oleh karena itu, tumbuhan yang hijau dapat berubah menjadi kayu ketika kering, sementara tumbuhan hijau yang lebih kecil dapat berubah menjadi jerami kering dan keduanya bisa menjadi sumber bahan bakar. Lazim diketahui bahwa tanaman-tanaman dapat berubah dari hijau segar menjadi kering dan layu, kemudian menjadi arang yang hitam. Kesimpulannya, tumbuhan-tumbuhan adalah muasal dari batubara.

Proses pembentukan batubara secara singkat dapat didefinisikan sebagai suatu perubahan dari sisa-sisa tumbuhan yang ada, mulai dari pembentukan peat (peatifikasi) kemudian lignit dan menjadi berbagai macam tingkat batubara, disebut juga sebagai proses coalifikasi yang kemudian berubah menjadi antrasit. Untuk menjadi batubara, ada beberapa tahapan penting yang harus dilewati oleh bahan dasar pembentuknya (tumbuhan). Tahapan penting tersebut yaitu: tahap pertama adalah terbentuknya gambut (*peatification*) yang merupakan proses mikrobial dan perubahan kimia (*biochemical coalification*). Serta tahap berikutnya adalah proses-proses yang terdiri dari perubahan struktur kimia dan

fisika pada endapan pembentuk batubara (*geochemical coalification*) karena pengaruh suhu, tekanan dan waktu.



Gambar 2.1 Proses Pembentukan Batubara (<https://www.uky.edu/KGS/coal/images/peatcoal.gif.com>, diakses pada bulan April 2017).

1. Penggambutan (*Peatification*)

Gambut merupakan batuan sedimen organik (tidak padat) yang dapat terbakar dan berasal dari sisa-sisa hancuran atau bagian tumbuhan yang tumbang dan mati di permukaan tanah, pada umumnya akan mengalami proses pembusukan dan penghancuran yang sempurna sehingga setelah beberapa waktu kemudian tidak terlihat lagi bentuk asalnya. Pembusukan dan penghancuran tersebut pada dasarnya merupakan proses oksidasi yang disebabkan oleh adanya oksigen dan aktivitas bakteri atau jasad

renik lainnya. Jika tumbuhan tumbang di suatu rawa, yang dicirikan dengan kandungan oksigen yang sangat rendah sehingga tidak memungkinkan bakteri *aerob* (bakteri yang memerlukan oksigen) hidup, maka sisa tumbuhan tersebut tidak mengalami proses pembusukan dan penghancuran yang sempurna sehingga tidak akan terjadi proses oksidasi yang sempurna. Pada kondisi tersebut hanya bakteri-bakteri *anaerob* saja yang berfungsi melakukan proses dekomposisi yang kemudian membentuk gambut (*peat*). Daerah yang ideal untuk pembentukan gambut misalnya rawa, delta sungai, danau dangkal atau daerah dalam kondisi tertutup udara. Gambut bersifat porous, tidak padat dan umumnya masih memperlihatkan struktur tumbuhan asli, kandungan airnya lebih besar dari 75% (berat) dan komposisi mineralnya kurang dari 50% (dalam keadaan kering).

Syarat untuk terbentuknya formasi batubara antara lain adalah kenaikan muka air tanah lambat, perlindungan rawa terhadap pantai atau sungai dan energi relief rendah. Jika muka air tanah terlalu cepat naik (atau penurunan dasar rawa cepat) maka kondisi akan menjadi *limnic* atau bahkan akan terjadi endapan marin. Sebaliknya kalau terlalu lambat, maka sisa tumbuhan yang terendapkan akan teroksidasi dan tererosi. Terjadinya kesetimbangan antara penurunan cekungan/*land-subsidence* dan kecepatan penumpukan sisa tumbuhan (kesetimbangan bioteknik) yang stabil akan menghasilkan gambut yang tebal (Diessel, 1992).

Lingkungan tempat terbentuknya rawa gambut umumnya merupakan tempat yang mengalami depresi lambat dengan sedikit sekali atau bahkan tidak ada penambahan material dari luar. Pada kondisi tersebut muka air tanah terus mengikuti perkembangan akumulasi gambut dan mempertahankan tingkat kejenuhannya. Kejenuhan tersebut dapat mencapai 90% dan kandungan air menurun drastis hingga 60% pada saat terbentuknya *brown-coal*. Sebagian besar lingkungan yang memenuhi kondisi tersebut merupakan *topogenic low moor*. Hanya pada beberapa tempat yang mempunyai curah hujan sangat tinggi dapat terbentuk rawa gambut ombrogenik (*high moor*) (Diessel, 1992).

2. Pembatubaraan (*Coalification*)

Proses pembatubaraan adalah perkembangan gambut menjadi lignit, sub-bituminous, bituminous, antrasit sampai meta-antrasit. Proses pembentukan gambut dapat berhenti karena beberapa proses alam seperti misalnya karena penurunan dasar cekungan dalam waktu yang singkat. Jika lapisan gambut yang telah terbentuk kemudian ditutupi oleh lapisan sedimen, maka tidak ada lagi bahan *anaerob*, atau oksigen yang dapat mengoksidasi, maka lapisan gambut akan mengalami tekanan dari lapisan sedimen. Tekanan terhadap lapisan gambut akan meningkat dengan bertambah tebalnya lapisan sedimen. Tekanan yang bertambah besar pada proses pembatubaraan akan mengakibatkan menurunnya porositas dan meningkatnya anisotropi. Porositas dapat dilihat dari kandungan airnya yang menurun secara

cepat selama proses perubahan gambut menjadi *brown coal*. Hal ini memberi indikasi bahwa masih terjadi proses kompaksi.

Proses pembatubaraan terutama dikontrol oleh kenaikan temperatur, tekanan dan waktu. Pengaruh temperatur dan tekanan dipercayai sebagai faktor yang sangat dominan, karena sering ditemukan lapisan batubara *high-rank* (antrasit) yang berdekatan dengan intrusi batuan beku sehingga terjadi kontak metamorfisme. Kenaikan peringkat batubara juga dapat disebabkan karena bertambahnya kedalaman. Sementara bila tekanan makin tinggi, maka proses pembatubaraan makin cepat, terutama di daerah lipatan dan patahan.

2.2.3 Tempat Terbentuknya Batubara

Batubara terbentuk dengan cara yang sangat kompleks dan memerlukan waktu yang lama (puluhan sampai ratusan juta tahun) di bawah pengaruh fisika, kimia ataupun keadaan geologi. Untuk menjelaskan tempat terbentuknya batubara dikenal dua macam teori (Sukandarumidi, 1996):

a. Teori *In situ*

Teori ini mengatakan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara, terbentuk ditempat dimana tumbuhan-tumbuhan asal itu berada. Dengan demikian maka setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengalami proses transportasi secara tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses *coalification*. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran luas dan merata, kualitasnya lebih baik karena kadar abunya relatif kecil.

b. Teori *Drift*

Teori ini menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadi di tempat yang berbeda dengan tempat tumbuhan semula hidup dan berkembang. Dengan demikian tumbuhan yang telah mati diangkut oleh media air dan berakumulasi disuatu tempat, tertutup oleh batuan sedimen dan mengalami proses *coalification*, jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran tidak luas, tapi dijumpai di beberapa tempat, kualitas kurang baik karena banyak mengandung material pengotor yang terangkut bersama selama proses pengangkutan dari tempat asal tanaman ke tempat sedimentasi.

2.2.4 Faktor yang Mempengaruhi Terbentuknya Batubara

Cara terbentuknya batubara melalui proses yang sangat panjang dan lama, disamping dipengaruhi oleh faktor alamiah dan tidak mengenal batas waktu, terutama ditinjau dari segi fisika, kimia dan biologis. Dikenal serangkain faktor yang akan berpengaruh dan menentukan terbentuknya batubara. Faktor-faktor tersebut antara lain (Hutton dan Jones, 1995), Posisi geotektonik, keadaan topografi daerah, iklim daerah, proses penurunan cekungan sedimentasi, umur geologi, jenis tumbuh-tumbuhan, proses dekomposisi sejarah setelah pengendapan, struktur geologi cekungan dan metamorfosa organik (Sukadarumidi, 2006).

Secara rinci, hal-hal tersebut diatas diuraikan lebih lanjut sebagai berikut:

1. Posisi Geotektonik

Posisi geotektonik adalah letak suatu tempat yang merupakan cekungan sedimentasi yang keberadaannya dipengaruhi oleh gaya-gaya tektonik lempeng. Adanya gaya-gaya tektonik ini akan mengakibatkan cekungan sedimentasi menjadi lebih luas apabila terjadi penurunan dasar cekungan. Proses tektonik dapat pula diikuti oleh perlipatan perlapisan batuan maupun patahan. Apabila proses yang disebut terakhir ini terjadi, satu cekungan sedimentasi akan dapat terbagi menjadi dua atau lebih sub cekungan sedimentasi dengan luasan yang relatif kecil. Kejadian ini juga akan berpengaruh pada penyebaran batubara yang terbentuk. Makin dekat cekungan sedimentasi batubara terbentuk akan terakumulasi, terhadap posisi kegiatan tektonik lempeng, kualitas batubara yang dihasilkan akan semakin baik.

2. Keadaan Topografi Daerah

Daerah tempat tumbuhan berkembang baik, merupakan daerah yg relatif tersedia air. Oleh karenanya tempat tersebut mempunyai topografi yang relatif lebih rendah dibandingkan daerah yang mengelilinginya. Makin luas daerah dengan topografi relatif rendah, makin banyak tanaman yang tumbuh, sehingga makin banyak tanaman yang tumbuh, sehingga makin banyak bahan pembentuk batubara apabila keadaan topografi daerah ini dipengaruhi oleh gaya tektonik, baik yang mengakibatkan kenaikan atau penurunan topografi, maka akan berpengaruh pula terhadap luas tanaman

yang merupakan bahan utama sebagai bahan pembentuk batubara. Hal ini merupakan salah satu faktor yang mengakibatkan penyebaran batubara berbentuk lensa.

3. Iklim Daerah

Iklim berperan penting dalam pertumbuhan tanaman. Di daerah beriklim tropis dengan curah hujan silih berganti sepanjang tahun, di samping tersedianya sinar matahari sepanjang waktu, merupakan tempat yang cukup baik untuk pertumbuhan tanaman. Di daerah iklim tropis hampir semua jenis tanaman dapat hidup dan berkembang baik. Oleh karenanya di daerah yang mempunyai iklim tropis pada masa lampau, sangat dimungkinkan didapatkan endapan batubara dalam jumlah banyak, sebaliknya daerah yang beriklim subtropis mempunyai penyebaran endapan batubara relatif terbatas. Kebanyakan luas tanaman yang keberadaannya sangat ditentukan oleh iklim akan menentukan penyebaran dan ketebalan batubara yang nantinya akan terbentuk.

4. Proses Penurunan Cekungan Sedimentasi

Cekungan sedimentasi yang terdapat di alam bersifat dinamis, artinya dasar cekungannya akan mengalami proses penurunan atau pengangkatan, apabila proses penurunan dasar cekungan sedimentasi lebih sering terjadi, akan terbentuk penambahan luas permukaan tempat tanaman mampu hidup dan berkembang. Selain itu penurunan dasar cekungan akan mengakibatkan batubara yang cukup tebal. Makin sering cekungan sedimentasi mengalami proses penurunan, batubara yang terbentuk akan

semakin tebal. Di Indonesia batubara mempunyai nilai ekonomi (artinya menguntungkan bila di tambang) terdapat cekungan sedimentasi yang berumur tersier, dengan luasan ratusan hingga ribuan hektar, terutama di pulau Sumatra dan Kalimantan. Kenyataan tersebut, memberikan pola pikir pada kita bahwa cekungan sedimentasi di kedua pulau tersebut, proses penurunan dasar cekungan lebih sering terjadi, sehingga suatu hal yang wajar bila ketebalan endapan batubara di kedua pulau tersebut dapat mencapai ratusan meter.

5. Umur Geologi

Jaman karbon (kurang lebih 350 juta tahun yang lalu), diyakini merupakan awal munculnya tumbuhan-tumbuhan di dunia untuk pertama kali. Sejalan dengan proses tektonik yang terjadi di dunia selama sejarah geologi berlangsung, luas daratan tempat tanaman hidup berkembang biak, telah mengalami proses *coalification* cukup lama, sehingga mutu batubara yang dihasilkan sangat baik. Jenis batubara ini pada umumnya terdapat di beberapa benua seperti Australia, Asia, Afrika, Eropa dan Amerika.

6. Jenis-Jenis Tumbuhan

Bertitik tolak pada analogi, batubara yang terbentuk dari tanaman keras dan berumur tua akan lebih baik dibandingkan dengan batubara yang terbentuk dari tanaman berbentuk semak dan hanya berumur semusim. Didapatkannya batubara di Indonesia khususnya di pulau Sumatra dan Kalimantan (kebanyakan dari bentuk bitumina) dalam jumlah yang cukup besar, memberikan gambaran pada kita bahwa selama jaman Tersier di

kedua pulau tersebut merupakan daerah hutan tanaman dengan jenis tumbuhan bervariasi, tetapi didominasi oleh tanaman keras.

7. Proses Dekomposisi

Proses dekomposisi pada tumbuhan merupakan bagian dari transformasi biokimia dan bahan organik, merupakan proses awal panjang rantai alterasi. Selama proses pembentukan gambut (yang merupakan tahap awal proses pembentukan batubara), sisa tumbuhan mengalami perubahan baik secara fisik maupun kimia. Setelah tumbuhan ini mati proses degradasi biokimia lebih berperan. Proses pembusukan (*decay*) akan terjadi sebagai akibat kinerja dari mikrobiologi dalam bentuk bakteri *anaerobic*. Jenis bakteri ini bekerja dalam suasana tanpa oksigen, menghancurkan bagian lunak dari tumbuhan seperti selulosa, protoplasma dan karbohidrat. Proses tersebut membuat kayu berubah menjadi lignit dan bitumina.

8. Sejarah Setelah Pengendapan

Sejarah cekungan tempat terjadi pembentukan batubara salah satu faktor diantaranya ditentukan oleh posisi cekungan sedimentasi tersebut terhadap posisi geotektonik. Makin dekat posisi cekungan sedimentasi terhadap posisi geotektonik yang selalu dinamis, akan mempengaruhi perkembangan batubara dan letak cekungan batubara berada. Selama itu pula proses geokimia dan metamorfosis organik akan ikut berperan dalam mengubah gambut menjadi batubara. Apabila mekanika geotektonik memungkinkan terbentuk lipatan pada lapisan batuan yang mengandung batubara, dan terjadi pensesaran, proses ini akan

mempercepat terbentuknya batubara dengan *rank* yang lebih tinggi. Proses ini akan dipercepat apabila dalam cekungan atau bedekatan dengan cekungan tempat batubara tersebut terjadi proses intrusi magmatis. Panas yang ditimbulkan selama terjadi proses perlipatan, pensesaran ataupun proses intrusi magmatis, akan mempercepat terjadinya proses *coalification*. Hasil akhir dari proses ini mengakibatkan terbentuk batubara dengan kadar C cukup tinggi dengan kandungan H₂O yang relatif rendah.

9. Struktur Geologi Cekungan

Batubara terbentuk pada cekungan sedimentasi yang sangat luas, hingga mencapai ratusan hingga ribuan hektar, dalam sejarah bumi, batuan sedimen yang merupakan bagian kulit bumi, akan mengalami deformasi akibat gaya tektonik. Cekungan akan mengalami deformasi lebih hebat apabila cekungan tersebut berada dalam satu sistem geantiklin dan geosinklin. Akibat gaya tektonik yang terjadi pada waktu-waktu tertentu, batubara bersama dengan batuan sedimen yang merupakan perlipatan diantaranya akan terlipat dan tersesarkan. Proses perlipatan dan pensesaran akan menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan akan berpengaruh pada proses metamorfosis batubara, dan batubara akan menjadi lebih keras dan lapisannya terpatah-patah. Makin banyak perlipatan dan pensesaran secara teoritis akan meningkatkan mutu batubara.

10. Metamorfosa Organik

Tingkat kedua dalam proses pembentukan batubara adalah penimbunan atau penguburan oleh sedimen baru. Apabila telah terjadi proses

penimbunan, proses degradasi biokimia tidak berperan lagi, tetapi mulai digantikan dan didominasi oleh proses dinamokimia. Proses ini menyebabkan terjadinya perubahan gambut menjadi batubara dalam berbagai mutu. Selama proses ini terjadi pengurangan air lembab, oksigen dan senyawa kimia lainnya antara lain CO, CO₂, CH₄ serta gas lainnya. Di lain pihak terjadi pertambahan presentase karbon (C), belerang (S) dan kandungan abu, peningkatan mutu batubara sangat ditentukan oleh faktor tekanan dan waktu. Tekanan dapat diakibatkan oleh lapisan sedimen penutup yang tebal, atau karena tektonik. Waktu ditunjukkan, bilamana bahan utama pembentuk batubara mulai bergradasi. Makin lama selang waktu semenjak saat mulai bergradasi hingga berubah menjadi batubara, makin baik mutu batubara yang diperoleh. Faktor-faktor tersebut mengakibatkan bertambahnya tekanan dan percepatan proses metamorfosa organik. Proses ini akan mengubah gambut menjadi batubara sesuai dengan perubahan kimia, fisika dan tampak pula pada sifat optiknya.

2.2 Jenis-Jenis Batubara

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu batubara umumnya dibagi menjadi lima kelas: antrasit, bituminous, sub-bituminus, lignit dan gambut (Sutarno, 2003).

1. Antrasit adalah kelas batubara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86%-98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.

2. Bituminus mengandung 68%-86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya, kelas batubara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminous.
4. Lignit atau batubara coklat adalah batubara yang sangat lunak dan mengandung air 35-75% dari beratnya.
5. Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

2.3 Jenis-Jenis Lapisan Batubara

Pada kegiatan eksplorasi batubara selalu menginginkan untuk mendapatkan lapisan batubara yang tebal, dalam bentuk lapisan menerus dengan ketebalan yang sama ke semua arah dan kualitas batubaranya baik. Impian ini tidak pernah ditemukan di lapangan.

Sebagai catatan, hasil pengamatan pada singkapan batubara yang diperoleh di lapangan, dikombinasikan dengan hasil pemboran eksplorasi, akan dapat diketahui berbagai macam bentuk lapisan batubara yang ada diantara lapisan batuan sedimen. Berdasarkan atas pengalaman tersebut, dianjurkan ahli geologi dalam melakukan interpretasi geologi yang berkaitan dalam usaha memahami bentuk lapisan batubara, dianjurkan memadukan semua data geologi yang diperoleh pada saat melakukan pemetaan permukaan (*surface*) dan pemetaan bawah permukaan (*subsurface*). Dalam pembuatan peta bawah permukaan, makin banyak informasi yang diperoleh dari hasil pemboran inti, interpretasi geologi

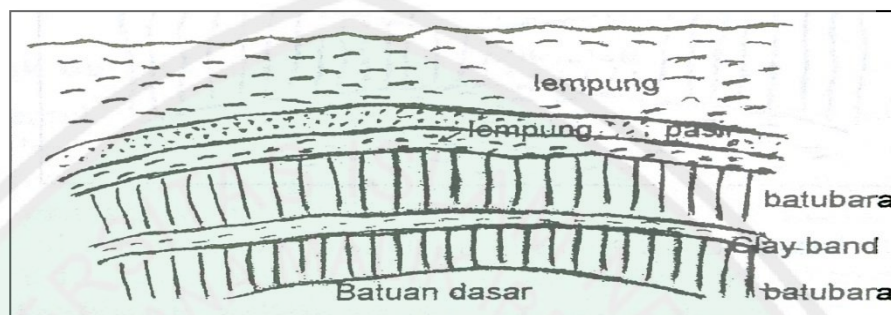
akan mendekati keadaan sebenarnya (walaupun tidak mungkin menjamin 100% betul).

Mencermati berbagai bentuk lapisan batubara dikenal beberapa tipe antara lain bentuk *Horse back*, *Pinch*, *Clay Vein*, *Burried Hill*, *Fault*, dan *Fold*. Uraian berikut memberikan gambaran tentang bentuk-bentuk lapisan batubara (Sukandarumidi, 2006):

1. Bentuk *Horse Back*

Bentuk ini dicirikan oleh lapisan batubara dan lapisan batuan sedimen yang menutupinya melengkung ke arah atas akibat adanya gaya kompresi. Tingkat pelengkungan sangat ditentukan oleh besaran gaya kompresi. Semakin kuat gaya kompresi yang berpengaruh semakin besar tingkat pelengkungannya. Ke arah lateral lapisan batubara mungkin akan sama tebalnya atau menjadi lebih tipis. Kenampakan ini dapat terlihat langsung pada singkapan batubara yang tampak atau dijumpai di lapangan (dalam skala kecil) atau dapat diketahui dari hasil rekontruksi beberapa lubang pemboran eksplorasi pada saat dilakukan *coring* secara sistematis. Akibat dari pelengkungan ini, lapisan batubara terlihat terpecah-pecah akibatnya batubara menjadi kurang kompak. Pengaruh air hujan yang selanjutnya menjadi air tanah akan mengakibatkan sebagian dari butiran batuan sedimen yang terletak di atasnya bersama air tanah akan masuk diantara rekahan lapisan batubara. Kejadian ini akan mengakibatkan apabila batubara tersebut ditambang, batubara mengalami pengotoran (kontaminasi) dalam bentuk butiran-butiran batuan sedimen sebagai kontaminan anorganik, sehingga

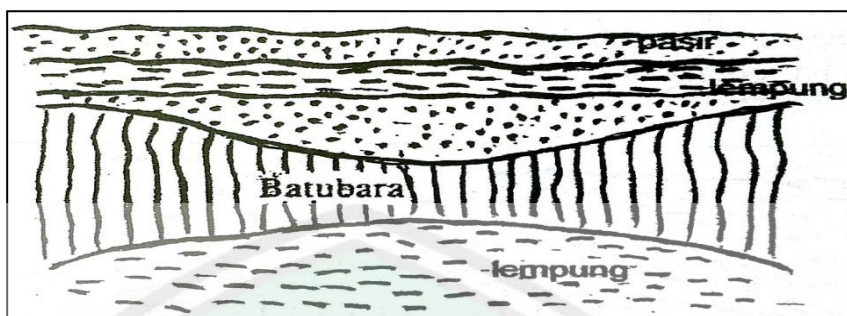
batubara menjadi tidak bersih. Keberadaan pengotor ini tidak diinginkan, apabila batubara tersebut akan dipergunakan sebagai bahan bakar. Pada gambar di bawah ini tampak lapisan batubara berbentuk *Horse Back*.



Gambar 2.2 Bentuk *Horse Back* (Sukandarumidi, 2006).

2. Bentuk *Pinch*

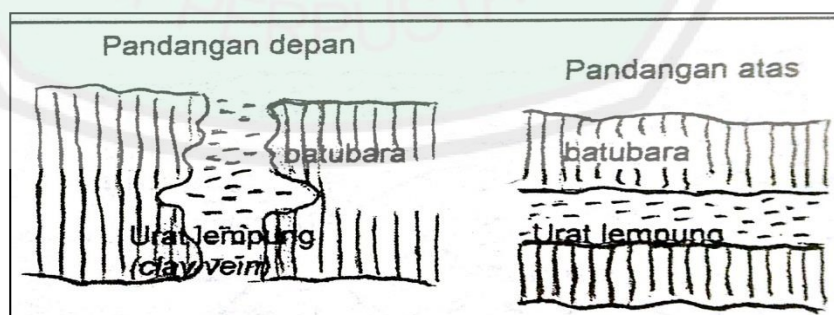
Bentuk ini dicirikan oleh lapisan batubara yang menipis di bagian tengah. Pada umumnya bagian bawah (dasar) dari lapisan batubara bentuk ini merupakan batuan yang plastis (misal: batulempung) sedang bagian atas dari lapisan batubara secara setempat-setempat ditutupi oleh batupasir, yang secara lateral merupakan pengisian suatu alur. Sangat dimungkinkan bentuk *pinch* ini bukan merupakan penampakan tunggal melainkan meruoakan penamapakan yang berulang-ulang. Ukuran bentuk *pinch* bervariasi dari beberapa meter sampai puluhan meter. Dalam proses penambangan batubara batu pasir yang mengisi pada alur-alur tersebut tidak terhindarkan ikut tergali sehingga keberadaan fragmen-fragmen batupasir tersebut juga dianggap sebagai pengotor anorganik. Keberadaan pengotor ini tidak diinginkan apabila batubara tersebut akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar.



Gambar 2.3 Bentuk *Pinch* (Sukandarumidi, 2006).

3. Bentuk *Clay Vein*

Bentuk ini terjadi apabila diantar 2 bagian (secara lateral) endapan batubara terdapat urat lempung ataupun pasir. Bentuk ini terjadi apabila pada satu seri endapan batubara mengalami patahn dan diantara 2 bidang patahan tersebut yang merupakan rekahan terbuka terisi oleh lempung ataupun pasir. Apabila batubaranya ditambang, bentukan *Clay Vein* ini dipastikan ikut tergali dan merupakan pengotor anorganik yang tidak diinginkan. Pengotor ini harus dihilangkan apabila batubara tersebut akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar.



Gambar 2.4 Bentuk *Clay Vein* (Sukandarumidi, 2006).

4. Bentuk *Burried Hill*

Bentuk ini terjadi apabila di daerah batubara terbentuk, terdapat suatu kulminasi, seolah-olah lapisan batubara batubara seperti “terintrusi”. Sangat dimungkinkan lapisan batubara pada bagian yang “terintrusi” menjadi menipis atau hampir hilang sama sekali. Bentukan “intrusi” mempunyai ukuran dari beberapa meter sampai puluhan meter. Data hasil pemboran inti pada saat eksplorasi akan banyak membantu dalam menentukan dimensi bentuk tersebut. Apabila bentukan “intrusi” tersebut merupakan batuan beku, pada saat proses penambangan dapat dihindarkan, tetapi apabila bentukan tersebut merupakan tubuh batupasir, dalam proses penambangan akan ikut tergali.



Gambar 2.5 Bentuk *Burried Hill* (Sukandarumidi, 2006).

5. Bentuk *Fault*

Bentuk ini terjadi apabila di daerah endapan batubara mengalami beberapa seri patahan. Apabila hal ini terjadi, akan mempersulit dalam melakukan perhitungan cadangan batubara. Hal ini disebabkan telah terjadi pergeseran per lapisan batubara ke arah vertikal. Dalam melaksanakan eksplorasi

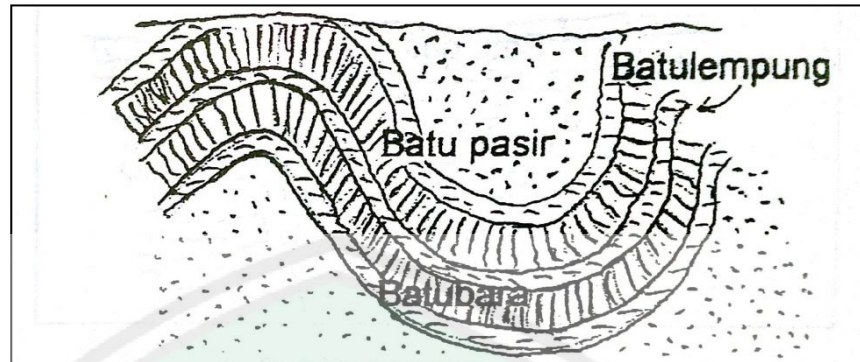
batubara di daerah yang memperlihatkan banyak gejala patahan, diperlukan tingkat ketelitian yang tinggi, tidak dibenarkan hanya berpedoman pada hasil pemetaan geologi permukaan saja.



Gambar 2.6 Bentuk *Fault* (Sukandarumidi, 2006).

6. Bentuk *Fold*

Bentuk ini terjadi apabila di daerah endapan batubara didapatkan, mengalami proses tektonik hingga terbentuk perlipatan. Perlipatan tersebut memungkinkan masih dalam bentuk sederhana, misalnya bentuk antiklin atau bentuk siklin atau sudah merupakan kombinasi dari kedua bentuk tersebut. pada lapangan batubara yang sangat luas bentuk-bentuk tersebut dapat berupa siklinorium ataupun antiklinorium. Lapisan batubara berbentuk *fold* memberi petunjuk awal kita bahwa batubara yang terdapat di daerah tersebut telah mengalami proses *coalification* relatif lebih sempurna, akibatnya batubara yang diperoleh kualitasnya relatif lebih sempurna. Akibatnya batubara yang diperoleh kualitasnya relatif lebih baik sering kali terjadi, lapisan batubara berbentuk *fold* berasosiasi dengan lapisan batubara berbentuk *fault*.



Gambar 2.7 Bentuk *Fold* (Sukandarumidi, 2006).

2.4 Batubara di Indonesia

Di Indonesia, endapan batubara yang bernilai ekonomis terdapat di cekungan tersier, yang terletak di bagian barat paparan sunda (termasuk pulau Sumatra dan Kalimantan), pada umumnya endapan batubara ekonomis tersebut dapat dikelompokkan sebagai batubara berumur Eosen atau sekitar tersier bawah, kira-kira 45 juta tahun yang lalu dan Miosen atau sekitar tersier atas, kira-kira 20 juta tahun yang lalu menurut skala waktu geologi (Sutarno, 2013).

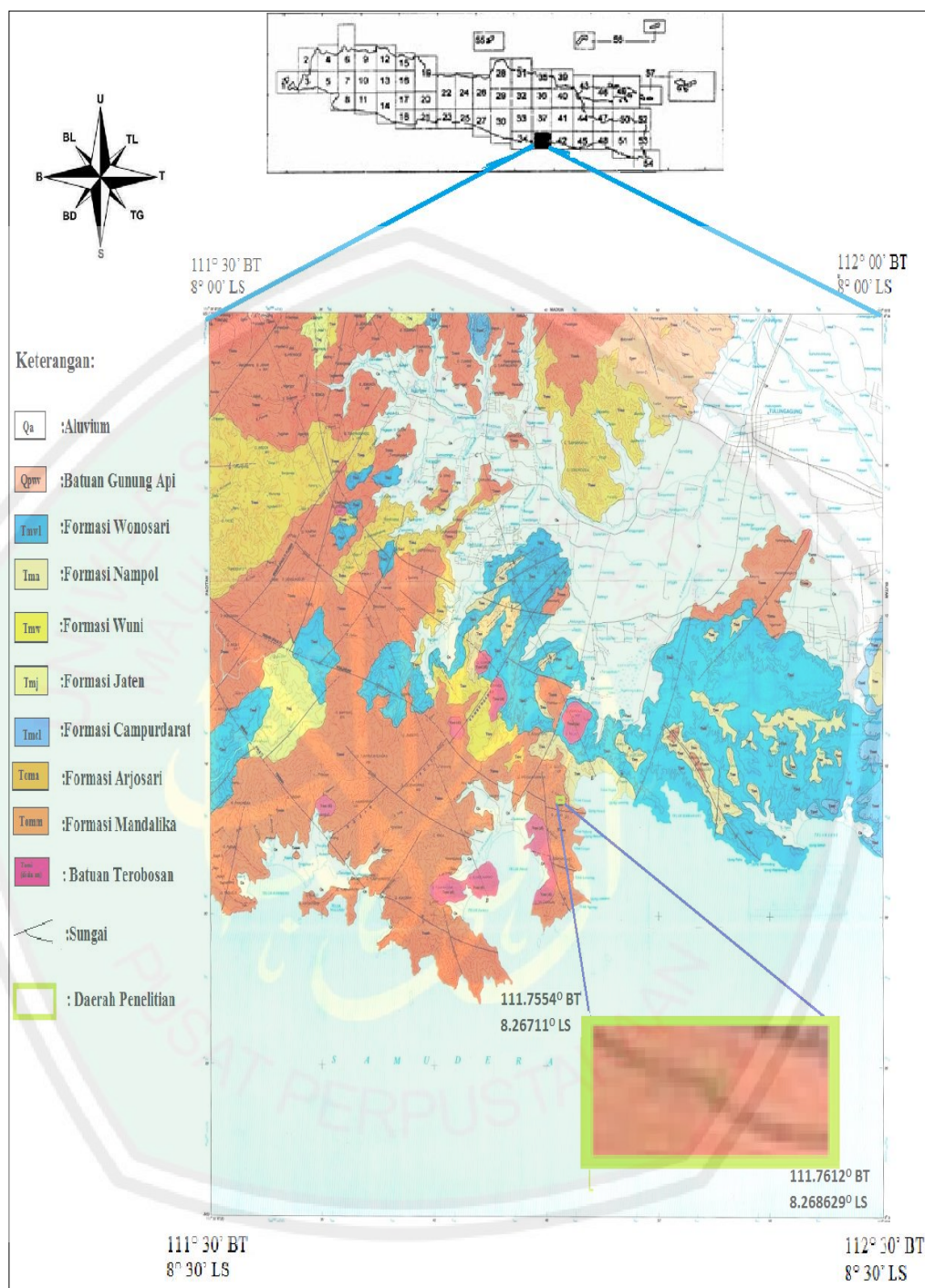
Batubara ini terbentuk dari endapan gambut pada iklim purba ssekitar katulistiwa yang mirip dengan kondisi kini, berbeda diantaranya tergolong kubah gambut yang terbentuk diatas muka air tanah rata-rata pada iklim basah sepanjang tahun. Dengan kata lain, kubah gambut ini terbentuk pada kondisi dimana mineral-mineral anorganik terbawa air dapat masuk kedalam sistem dan membentuk lapisan batubara berkadar air dan sulfur rendah dan menebal secara lokal. Hal ini sangat umum dijumpai pada batubara Miosen. Sebaliknya endapan batubara Eosen umumnya lebih tipis, berkadar abu dan sulfur tinggi. Kedua endapan batubara ini terbentuk pada lingkungan lakustrin, daratan pantai atau

delta, mirip dengan daerah pembentukan gambut yang terjadi saat ini di daerah timur Sumatera dan sebagian besar Kalimantan (Frederich dkk, 1995).

2.5 Geologi Daerah Penelitian

Pada penelitian kali ini terletak di daerah Klatak Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung yang terletak pada yang terletak pada koordinat (8.265711° - 8.268629°) LS dan (111.7554° - 111.7612°) BT.





Gambar 2.9 Peta Geologi Tulungagung (Samodra, H. dan S. Gafoer, 1990)

Berdasarkan tataan fisiografi van Bemmelen (1949) daerah Tulungagung termasuk dalam Lajur Pegunungan Selatan Jawa Timur yang bagian utaranya

berbatasan dengan Lajur Depresi yang ditempati oleh Gunung Wilis (Nahrowi, 1978).

Daerah penelitian termasuk dalam kategori formasi Madalika yang berupa: breksi gunungapi berwarna kelabu kecoklatan hingga kelabu kehijauan, kompak, pejal; terdiri dari komponen andesit, dasit, diorit dan basal berukuran 3-30 cm, menyudut membundar tanggung, kemas tertutup, terpilah sangat buruk dan bermassa dasar batu pasir tufan kasar. Sebagian besar batuan berubah dan terkarsikan sehingga berwarna kehijauan. Tebalnya beragam dari 5 sampai lebih dari 10 meter. Setempat batuan ini banyak mengandung urat kuarsa yang arahnya tak teratur.

Lava berwarna kehitaman atau hitam kehijauan, kompak, bersusunan andesit basal, bertekstur halus, porfiritik tersusun oleh plagioklas dan piroksin, bermassa dasar mikrolit plagioklas. Umumnya terpropilitkan dan terkarsikan. Di beberapa tempat lava ini terkekar meniang dan melebar yang beberapa bidang kekarnya terisi oleh pirit. Tebalnya berkisar antara 50-100 cm setempat bahkan lebih dari 3 m; membentuk perulangan dengan breksi gunungapi.

Tuf berwarna coklat kekuningan, berukuran halus-sedang, sebagian terkarsikan. Tebalnya berkisar antara 1 dan 2 m. Bersama-sama dengan breksi gunungapi dan lava, umumnya menempati bagian tengah dan atas satuan.

Batu pasir dan batu lanau yang bersifat tufan merupakan sisipan di bagian bawah satuan. Tebalnya berkisar antara 20 dan 50 cm dan sebagian besar juga mengalami ubahan sehingga berwarna kehijauan, kedua batuan ini saling

berselang-seling. Satuan ini diterobos oleh diorit, dasit dan retas-retas andesit, seperti yang dijumpai di sekitar Munjungan.

Fosil tidak ditemukan dalam satuan ini, tetapi berdasarkan kesebandingannya dengan satuan sejenis di lembar pacitan satuan ini berumur Oligo Miosen. Batupasir dan Tufan dan batu lempung yang menyelangi bagian bawah satuan memberikan pendugaan kalau satuan ini ke arah bawah berangsur berubah menjadi Formasi Arjosari. Satuan batuan Gunungapi Oligo-Miosen ini dirindih oleh Formasi Campurdarat atau bersentuhan langsung dengan Formasi Jaten dan Formasi Wuni secara tak selaras. Lavanya yang setempat berstruktur bantal menunjukkan bahwa lingkungannya adalah laut.

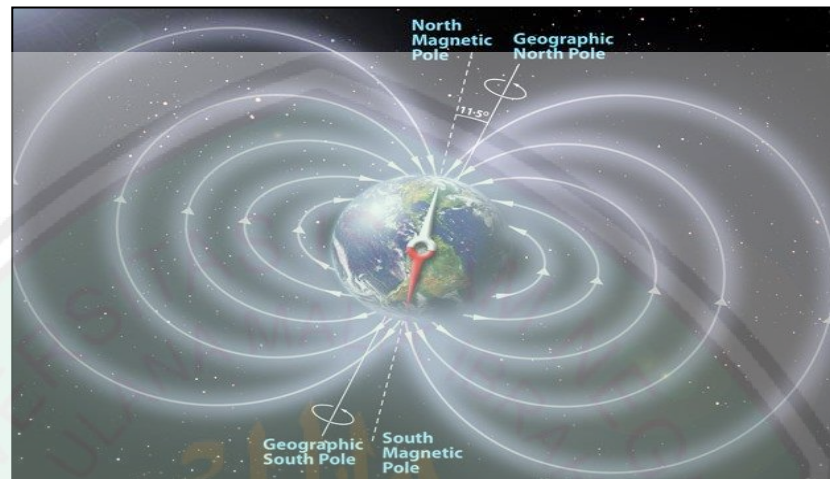
Sebaran satuan ini cukup luas, terutama di bagian barat dan utara lembar. Ke barat menerus hingga lembar Pacitan dan ke utara hingga Lembar Madiun. Satuan ini membentuk morfologi perbukitan yang menjulang lebih dari 500 m di atas muka laut, seperti misalnya di daerah Munjungan. Beberapa tebing melingkar di sebelah barat Kampak dan di Teluk Sambreng diduga merupakan bekas kawah letusan. Tebal seluruh satuan diduga lebih dari 500 m.

Nama Formasi Mandalika pertama kali diusulkan oleh Samodra dan Gafoer (1990) yaitu untuk memberi nama runtunan batuan gunungapi Oligo-Miosen di Lembar Pacitan. Singkapannya yang baik terdapat di Mandalika di bagian hulu S. Grendulu, Pacitan Jawa Timur.

2.6 Medan Magnet Bumi

Pengertian umum medan magnet bumi adalah medan dimana dapat dideteksi distribusi gaya magnet. Pada tahun 1839 Gauss pertama kali melakukan

analisa harmonik dari medan magnet bumi untuk mengamati sifat-sifatnya (Indratmoko dkk, 2009).



Gambar 2.10 Medan Magnet Bumi
(<https://lampukecil.com>, diakses pada bulan April 2017).

Magnet bumi adalah harga kemagnetan dalam bumi. Diyakini bahwa arus listrik mengalir dalam inti besi cair dari bumi dan menghasilkan medan magnet. Kerapatan fluks magnet B sekitar $0,62 \times 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$ (0.062 nT) di kutub utara magnet dan sekitar $0,5 \times 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$ (0,05 nT) di garis lintang 40° . Sumbu simpul arus magnetik efektif berada pada 11° dari sumbu rotasi bumi (Liang Chi Shen, 2001).

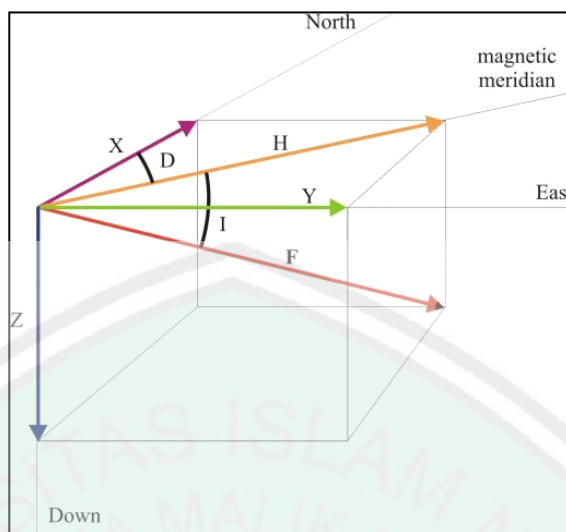
(Pada tahun 1893 Gauss pertama kali melakukan analisa harmonik dari medan magnetik bumi untuk mengamati sifat-sifatnya. Analisa selanjutnya yang dilakukan oleh para ahli mengacu pada kesimpulan umum yang dibuat oleh Gauss yaitu:

- 1) Intensitas medan magnetik bumi hampir seluruhnya berasal dari dalam bumi

- 2) Medan yang teramati di permukaan bumi dapat didekati dengan persamaan harmonik yang pertama yang berhubungan dengan potensial dwikutub di pusat bumi. Dwi kutub Gauss ini mempunyai kemiringan 11.5° terhadap sumbu geografi.

Medan magnet bumi terkarakterisasi oleh parameter fisis atau disebut juga elemen medan magnet bumi yang dapat diukur yaitu meliputi arah dan intensitas kemagnetannya. Parameter fisis tersebut meliputi (Siahaan, 2009):

1. Deklinasi (D)
Yaitu sudut antara utara magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur.
2. Inklinasi (I)
Yaitu sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah.
3. Intensitas Horizontal (H)
Yaitu besar dari medan magnetik total pada bidang horizontal.
4. Medan magnetik total (F)
Yaitu besar dari vektor medan magnetik total.



Gambar 2.11 Elemen Magnetik Bumi (Reynold, 1997)

Kalau kita anggap terdapat suatu arus listrik mengalir dengan arah timur-barat di permukaan timur-barat di permukaan inti bumi, maka arus listrik tadi akan menyebabkan medan listrik yang diamati di permukaan bumi, maka arus listrik tadi akan menyebabkan medan yang diamati di permukaan bumi. Jikalau seseorang melilit kawat beraliran listrik mengelilingi suatu bola, maka akan dihasilkan suatu medan dengan kutub ganda. Keadaan demikian tidak dapat menerangkan medan yang diukur di lapangan, karena adanya variasi sekuler. Demikian juga diketahui bahwa sumbu medan magnet dengan sendirinya juga membalik kira-kira satu juta tahun (Untung, 2001).

Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu sehingga untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi, dibuat standar nilai yang disebut dengan *International Geomagnetiks Reference Field* (IGRF) yang diperbaharui tiap 5 tahun sekali. Nilai-nilai IGRF tersebut diperoleh dari hasil

pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km yang dilakukan dalam waktu satu tahun.

1. Medan Magnet Utama

Medan magnet utama secara teoritis disebabkan oleh sumber dalam bumi, magnetisasi permanen oleh aliran arus listrik atau arus listrik yang keluar masuk bumi. Beberapa teori menganggap bumi tersusun oleh besi dan sumber magnetik, dua materi yang dikenal sebagai konduktor yang sangat baik. Adapun penyusun inti bumi sumber magnetik merupakan dinamo berkonduktivitas tinggi dan bergerak dengan mekanisme yang kompleks, seperti arus atau senyawa kimia dan variasi termal beserta alirannya. Kombinasi gerak dan arus tersebut disebabkan terjadinya medan magnet (Telford, 1982).

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

2. Medan Magnet Luar

Medan ini merupakan sebagian kecil dari medan utama, yaitu hanya 1% dari medan bumi dan berasal dari luar bumi. Medan ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir pada lapisan terionisasi yang terletak di atas atmosfer. Perbedaan waktu untuk medan ini lebih cepat dari padamedan utama, beberapa efeknya adalah sebagai berikut (Telford,1982):

- a. Perputarannya berdurasi 11 tahun dan berkorelasi dengan aktivitas matahari.
- b. Variasi diurnal matahari mempunyai periode 24 jam dan mempunyai range 30 nT dan berubah menurut garis lintang dan musim kemungkinan dipengaruhi oleh aksi matahari pada lapisan ionosfer.
- c. Mempunyai periode 25 jam (variasi diurnal bulan) dengan range kira-kira 2 nT, yang diasosiasikan dengan interaksi bulan-ionosfer.
- d. Acak yaitu adanya badai magnetik yang merupakan gangguan transient dengan amplitudo sebesar 1000 nT pada semua garis lintang. Pada puncak badai magnetik, praktis eksplorasi dengan menggunakan metode magnetik tidak berguna.

3. Anomali Magnetik Lokal

Medan magnet lokal sering juga disebut medan magnet anomali (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti magnetik (Fe_7S_8), titanomagnetik (Fe_2TiO_4) dan lain-lain yang berada di kerak bumi. Potensial magnet di suatu titik yang disebabkan oleh batuan yang mempunyai magnetisasi momen dipol per satuan volum (M) adalah (Grant dan West, 1965):

$$U(r) = -\int M \cdot \nabla \frac{1}{|r - r_0|} d^3 r_0 \quad (2.1)$$

jika M konstan dengan arah k , maka

$$M \cdot \nabla = M \frac{\partial}{\partial k}$$

sehingga persamaan (2.1) menjadi:

$$U(r) = -M \frac{\partial}{\partial k} \int M \cdot \nabla \frac{1}{|r - r_0|} d^3 r_0 \quad (2.2)$$

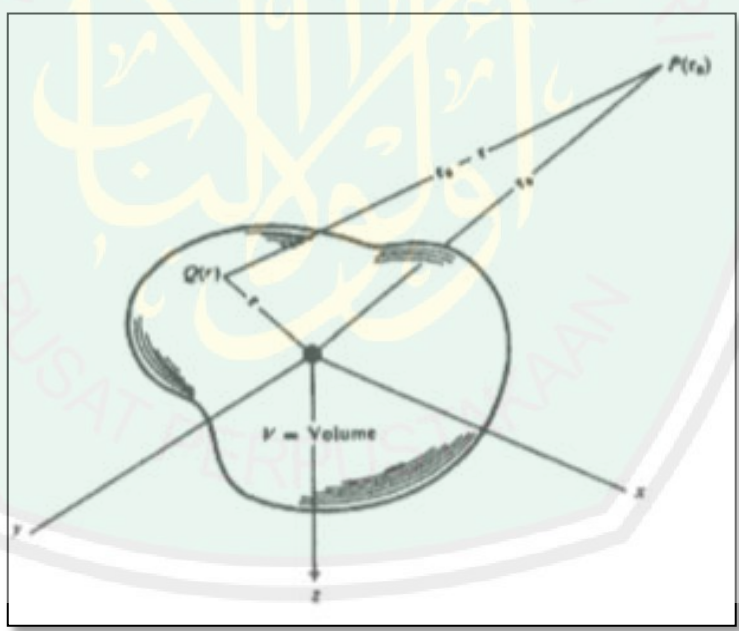
Karena medan magnet anomali jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan medan magnet utama, maka medan magnet anomali terukur pada arah medan magnet utama. Jika komponen adalah ΔT maka:

$$\Delta T = -\frac{\partial U}{\partial a} \quad (2.3)$$

dimana a adalah arah dari medan magnet utama, dengan kata lain

$$\frac{\partial}{\partial a} = \cos i \sin \lambda \frac{\partial}{\partial x} + \cos i \cos \lambda \frac{\partial}{\partial y} + \sin i \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.4)$$

dimana i adalah inklinasi dan λ adalah deklinasi terhadap sumbu y



Gambar 2.12 Medan Magnet Anomali (Telford, 1979)

4. Variasi Medan Magnet

Variasi medan magnet ini berubah-ubah menurut waktu yang beragam ordenya dari mili detik sampai ratusan tahun. Variasi medan magnet bumi terhadap

waktu ini dikelompokkan menjadi variasi sekuler dan variasi harian (*Diurnal Variation*) (Srijatno, 1980).

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

Variasi diurnal merupakan variasi yang secara dominan ditimbulkan oleh gangguan matahari. Radiasi ultraviolet matahari menimbulkan ionisasi lapisan ionosfer. Adanya ionisasi ini dan juga adanya elektron-elektron yang terlempar dari matahari juga akan menimbulkan fluktuasi arus sebagai sumber medan magnet. Sifat perubahan harian ini acak tetapi periodik dengan periode rata-rata sekitar panjang hari matahari (24 jam). Periode perubahan berkisar (Baisa, 2007):

$$10 \text{ gamma} - 30 \text{ gamma}$$

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

2.7 Konsep Teori Magnetik

Metode geomagnet atau metode magnetik merupakan salah satu metode fisika untuk eksplorasi bawah permukaan bumi yang telah banyak digunakan dalam eksplorasi mineral dan batuan (Sharma, 1997). Burger dkk (1992), mengemukakan bahwa metode magnetik dapat digunakan untuk mengetahui

kedalaman dan struktur permukaan, sehingga pengukuran dapat diperoleh dengan mudah untuk studi lokal dan regional.

Metode geomagnet juga memiliki kesamaan latar belakang fisika dengan metode gravitasi dimana kedua metode tersebut sama-sama berdasar kepada teori medan potensial, sehingga keduanya sering disebut sebagai metode potensial. Namun demikian, ditinjau dari parameter besaran fisika yang terkait keduanya mempunyai perbedaan yang mendasar. Dalam metode geomagnetik harus dipertimbangkan variasi besar dan arah vektor magnetisasi. Sedangkan dalam metode gravitasi hanya ditinjau variasi besar vektor percepatan gravitasi. Metode geomagnet ini bekerja berdasarkan pada pengukuran variasi kecil intensitas medan magnetik di permukaan bumi. Variasi ini disebabkan oleh kontras sifat kemagnetan (susceptibilitas) antar batuan di dalam kerak bumi (termasuk di dalamnya kemagnetan induksi dan kemagnetan remanen), sehingga menimbulkan medan magnet bumi yang tidak homogen, bisa disebut juga sebagai suatu anomali magnetik. Selain itu, variasi medan magnetik dapat disebabkan oleh adanya perubahan struktur geologi di bawah permukaan bumi.

2.7.1 Gaya Magnetik

Dasar dari metode magnetik adalah gaya Coulumb, antara dua kutub magnetik m_1 dan m_2 (e.m.u) yang berjarak r (cm) dalam bentuk (Telford et al.1979):

$$\vec{F} = \frac{m_1 m_2}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (2.5)$$

Konstanta μ_0 adalah permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi dan berharga satu yang besarnya dalam SI adalah $4\pi \times 10^{-7}$ newton/ampere².

2.7.2 Medan Magnetik

Kuat medan (\vec{H}) adalah gaya pada suatu kutub magnetik (m') jika diletakkan pada titik dalam medan magnetik yang merupakan hasil dari kuat kutub m (Telford dkk, 1979):

$$\vec{H} = \frac{F}{m'} = \frac{m}{\mu_0 r^2} \hat{r}_1 \quad (2.6)$$

Dimana r adalah jarak titik pengukuran dari m . Diasumsikan m' jauh lebih besar dari m sehingga m' tidak menimbulkan gangguan terhadap medan pada titik pengukuran. Satuan medan magnetik dalam SI adalah Ampere/meter (A/m), sedangkan dalam cgs adalah oersted, dimana oersted adalah 1 (satu) dyne/unit kutub.

2.7.3 Momen Magnetik

Di alam, kutub magnet selalu berpasangan atau disebut dipole (kutub (+) dan kutub (-)), yang dipisahkan oleh jarak l . Momen magnetik (\vec{M}) didefinisikan sebagai (Siahaan, 2009):

$$\vec{M} = ml\hat{r} \quad (2.7)$$

\vec{M} merupakan sebuah vektor pada arah vektor unit berarah \hat{r} dari kutub negatif menuju kutub positif. Momen magnet mempunyai satuan dalam cgs adalah gauss.cm³ atau emu dan dalam SI mempunyai satuan A.m² Arah momen magnetik dari atom material non-magnetik adalah tidak beraturan sehingga

momen magnetik resultannya menjadi nol. Sebaliknya, di dalam material-material yang bersifat magnet atom-atom material tersebut teratur sehingga momen magnetik resultannya tidak sama dengan nol.

2.7.4 Intensitas Magnetik

Intensitas magnetisasi adalah besaran yang menyatakan seberapa intensitas keteraturan atau kesearahan arah momen-momen magnetik dalam suatu material sebagai akibat dari pengaruh medan magnet luar yang melingkupinya. Intensitas magnetisasi (\vec{I}) didefinisikan sebagai momen magnetik \vec{M} per unit volume (Sakrowi, 2010):

$$\vec{I} = \frac{\vec{M}}{V} = \frac{ml}{V} \quad (2.8)$$

Satuan magnetisasi dalam cgs adalah gauss atau emu.Cm⁻³ dan dalam SI adalah Am⁻¹.

2.7.5 Suseptibilitas Kemagnetan

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

Tingkat suatu benda magnetik untuk mampu dimagnetisasi ditentukan oleh Suseptibilitas kemagnetan (k), yang dirumuskan dengan persamaan (Burger,1992):

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

Suseptibilitas Kemagnetan (k) merupakan parameter dasar yang digunakan dalam metode magnetik. Suseptibilitas magnetik bisa diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu material. Harga k pada batuan semakin besar apabila dalam batuan semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik, dan nilai suseptibilitas magnetik dalam ruang hampa sama dengan nol karena hanya benda yang berwujud saja yang dapat termagnetisasi (Telford dkk, 1979).

Jika suatu benda berada dalam medan magnet, maka akan timbul medan magnet baru dalam benda (induksi) yang menghasilkan anomali medan magnet. Sehingga dengan adanya batuan yang didalamnya mengandung mineral magnetik, medan magnet normal bumi akan mengalami gangguan yang disebabkan oleh anomali medan magnet sebagai hasil magnetisasi batuan (Telford, 1982).

Perubahan besar medan magnet yang dihasilkan oleh variasi intensitas kemagnetan formasi batuan diukur secara teliti dalam eksplorasi. Dan respon magnetik dari batuan pokok, secara umum adalah sebagai berikut (Robinson, 1988):

1. Batuan Sedimen. Karena sebagian besar batuan sedimen adalah magnetik yang diperoleh dari survei magnet sebagian besar disebabkan oleh lapisan batuan beku (*igneous*) basement. Besarnya ketebalan dari batuan sedimen pada daerah luas yang disurvei dapat terlihat jelas pada kontur magnetik. Besarnya mempunyai jangkauan suseptibilitas $(0-4000) \times 10^{-6}$ emu dengan rata-rata $(10-75) \times 10^{-6}$ emu. Contoh: dolomite, limestone, sandstone, dan shales.

2. Batuan Beku. Batuan beku mempunyai sifat magnetik yang bervariasi. Biasanya jenis acidic (asam) dan cenderung bermagnetik lemah. Batuan beku mempunyai jangkauan suseptibilitas $(0-9710) \times 10^{-6}$ emu dengan rata-rata $(200-1350) \times 10^{-6}$ emu, contoh: granit, rhyolie, basal dan andesit.
3. Batuan Metamorf. Batuan metamorf merupakan ubahan dari batuan sedimen atau batuan beku akibat perubahan suhu dan atau tekanan yang cukup besar, sehingga batuan metamorf selalu mempunyai sifat magnet yang bervariasi (Robinson, 1988).

Tabel 2.1 Sifat magnetik dari batuan dan mineral magnetik (Hunt dkk,1995)

Batuan/ Mineral	Massa Jenis (10^3 kg m ⁻³)	Suseptibilitas Magnetik		Tc (°C)
		Volume (k) (10^{-6} SI)	Massa (10^{-8} m ³ kg ⁻¹)	
Batuan beku				
<i>Andesite</i>	2,61	170.000	6.500	
<i>Basalt</i>	2,99	250-180.000	8,4-6.100	
<i>Diorite</i>	2,85	630-130.000	22-4.400	
<i>Gabbro</i>	3.03	1.000-90.000	24-30.000	
<i>Granite</i>	2,64	0-50.000	0-1.900	
Batuan Beku Asam (rata-rata)	2,61	38-82.000	1,4-3.100	
Batuan Beku Basa (rata-rata)	2,79	550-120.000	20-4.400	
Batuan Sedimen				
Lempung	1,70	170-250		
Batu Bara	1,35	25	1,9	
Gamping	2,11	2-25.000	0,1-1.200	
Batu Pasir	2,24	0-20.900	0-931	
Batu Sedimen (rata-rata)	2,19	0-50.000	0-2.000	

Batuan Malihan				
<i>Amphibolite</i>	2,96	750	25	
<i>Gneiss</i>	2,80	0-25.000	0-900	
<i>Quartzite</i>	2,60	4.400	170	
<i>Schist</i>	2,6	26-3.600	1-110	
<i>Slate</i>	2,79	0-35.000	0-1.00	
Batuan Malihan (rata-rata)	2,76	0-73.000	0- 2.600	
Mineral Magnetik				
<i>Magnetite</i> (Fe ₃ O ₄ ; Ferimagnetik)	5.18	1.000.000 - 5.700.000	20.000 - 140.00 0	575-585
<i>Hematite</i> (Fe ₂ O ₃ ;canted antiferomagnetik)	5.26	500- 40.000	10- 760	675
<i>Maghematite</i> (Fe ₂ O ₃ ; ferimagnetik)	4.90	2.000.000 - 2.500.000	40.000 - 50.000	-600
<i>Ilmenite</i> (FeTiO ₃ ; antiferomagnetik)	4.72	2.000- 3.800.000 -	45- 80.000	-233
<i>Pyrite</i> (FeS ₂)	5.02	35-5.000	1-100	
<i>Pyrrhotite</i> (Fe ₇ S ₈ ; ferimagnetik)	4.62	3.200.000	69.000	320
<i>Goethite</i> (FeOOH; antiferomagnetik)	4.27	1.100- 12.000	26.280	-120
Mineral non- magnetic				
Kuarasa(SiO ₂)	2.65	-(13-17)	-(0.5- 0.6)	
Kalsit(CaCO ₃)	2.83	-(7.5-39)	-(0.3- 1.4)	
<i>Halite</i> (NaCl)	2.17	-(10-16)	-(0.48- 0.75)	
Galena(PbS)	7.50	-33	-0.44	

4. Semua bahan dapat di klasifikasikan kedalam 3 kategori, bergantung pada sifat magnetiknya. Bahan paramagnetik dan feromagnetik adalah yang terbuat dari atom-atom yang memiliki momen magnetik permanen. Bahan

diamagnetik adalah yang terbuat dari atom-atom yang tidak memiliki momen magnetik yang tidak permanen (Serway dan Jewett, 2010).

Terdapat 4 sifat magnetik batuan yaitu:

1. Ferromagnetik

Suseptibilitas magnetik material ferromagnetik sebesar ($10^2 < k < 1.6 \times 10^4$) $\times 10^{-6}$ emu dan tidak bergantung pada temperatur Curie karena material-material atom mempunyai momen magnet dan interaksi antara atom terdekatnya sangat kuat, kombinasi orbit elektron dan gerak spinnya menghasilkan magnet yang kuat. Nilai k ferromagnetik positif dan tidak tergantung pada temperatur Curie, karena material-material atom mempunyai momen magnet dan interaksi antara atom terdekatnya sangat kuat (Rosid, 2008). Beberapa contoh zat ferromagnetik adalah besi, kobalt, nikel gadolinium dan disprosium. Zat-zat ini mengandung momen atom yang permanen dan cenderung menjadi sejajar antara satu sama lain, bahkan dalam pengaruh medan magnetik lemah (Serway dan Jewett, 2010).

2. Paramagnetik

Zat-zat paramagnetik memiliki suseptibilitas magnetik yang kecil namun positif sebagai akibat dari keberadaan atom-atom atau ion-ion yang memiliki momen magnetik permanen. Momen-momen ini berinteraksi sangat lemah dengan sesamanya secara acak pada saat tidak ada medan magnet eksternal (Serway dan Jewett, 2010). Dengan kata lain jika pengaruh medan magnet dari luarnya dihilangkan, maka pengaruh medannya menghilang juga. Karena pengaruh termal, maka gerakan elektronnya

menjadi random kembali dan nilai k positif dan berbanding terbalik dengan temperatur absolut (hukum Curie-Wiess). Jumlah elektron paramagnetik adalah ganjil, momen magnet pada paramagnetik ini searah dengan medan polarisasi dan induksi magnetiknya bernilai kecil karena hanya sebagian kecil spin teralenisasi (Rosid, 2008).

3. Diamagnetik

Bahan diamagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas negatif dan sangat kecil (Tipler, 1996). Material diamagnetik mempunyai harga suseptibilitas magnetik sebesar $(-8 < k < 310) \times 10^{-6}$ emu, karena harga suseptibilitasnya negatif maka intensitas induksi akan berlawanan arah dengan gaya magnetnya (Rosid, 2008). Momen magnetik yang memiliki arah yang berlawanan dengan demikian akan saling meniadakan (Tipler, 1996).

2.7.6 Induksi Magnetik

Bila benda magnetik diletakkan dalam medan luar H , kutub-kutub internalnya akan menyearahkan diri dengan H dan terbentuk suatu medan magnet baru yang besarnya adalah (Kurniati, 2008):

$$H' = 4\pi KH \quad (2.10)$$

Medan magnet totalnya disebut dengan induksi magnet B dan dituliskan sebagai (Kurniati, 2008):

$$B = M_r H \quad (2.11)$$

Dengan $M_r=1+4\pi k$ dan disebut sebagai permeabilitas relatif dari suatu benda magnetik. Satuan B dalam emu adalah gauss, sedangkan dalam geofisika eksplorasi dipakai satuan gamma atau nanotesla (SI), dimana (Blakely, 1995):

$$1 \text{ tesla} = 10^4 \text{ gauss}$$

$$1 \text{ nanotesla} = 10^{-9} \text{ tesla} = 1 \text{ gamma} = 10^{-5} \text{ gauss}$$

2.8 Magnetometer

Ada dua jenis tipe magnetometer yaitu magnetometer fluxtage dan magnetometer proton, dalam penelitian ini jenis magnetometer yang digunakan adalah magnetometer proton.

Magnetometer fluxtage diperuntukkan *survey* magnet udara dan keseluruhannya menggunakan prinsip elektronika dan tidak ada bagian-bagian yang bekerja secara mekanik yang akan terpengaruhi oleh gaya percepatan laju pesawat terbang *survey* (Untung, 2001).

Magnetometer Proton atau Proton Precision Magnetometer (PPM) memanfaatkan momen magnetik dari inti hidrogen (proton). Elemen pengindraannya terdiri dari botol yang berisi cairan hidrokarbon dengan titik beku rendah yang mengenai gulungan kawat tembaga. Arus polarisasi dari urutan amp atau lebih dilewatkan melalui kumparan, menciptakan medan magnet yang kuat (Milsom, 2003).

Alat ini tergantung dari sifat dasar suatu inti atom. Elektron yang berkitar inti mempunyai sifat seperti arus listrik. Oleh karena itu setiap elektron yang berputar mempunyai medan magnet dan bekerja sebagai magnet kecil. Jikalau sumbu kitar disimpangkan oleh medan magnet luar dan kemudian medan ini

dipindahkan atau dihilangkan, sumbu akan berotasi kebalik sejajar dengan medan magnet disekelilingnya (Untung, 2001).

Dalam survei magnetik di lapangan magnetik minimal dua buah alat magnetometer. Alat pertama mengukur variasi harian yang bertujuan untuk mengukur pengaruh medan magnet dari luar bumi, sedang alat kedua digunakan untuk mengukur lintasan-lintasan yang telah ditentukan. Selain itu medan magnet utama bumi dihitung berdasarkan persamaan IGRF (*International Geomagnetik Reference Field*). Dengan demikian anomali magnetik yang diamati, ditulis dengan persamaan 2.12 (Santoso, 2002):

$$\Delta T = T_{OBS} - T_{IGRF} \pm \mathcal{O}_{VH} \quad (2.12)$$

Dimana:

T_{obs} = medan magnet total terukur

T_{IGRF} = medan magnet teoritis berdasarkan IGRF

\mathcal{O}_{VH} = koreksi medan magnet akibat variasi harian

BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2017. Tempat penelitian terletak di Dusun Klatak Desa Keboireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung Jawa Timur yang secara astronomis terletak $8^{\circ}15'55.85''\text{S}$ - $111^{\circ}45'32.27''\text{E}$. Pengolahan data bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Google Earth, 2017)

3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data di lapangan menggunakan metode Magnetik

1. Seperangkat Magnetometer jenis *Proton Precession Magnetometer* (PPM)

2. GPS *GarminCSX 60*, sebagai alat penentu posisi lintang, bujur dan ketinggian dari setiap titik ukur
3. Alat pengukur waktu
4. Kamera
5. Peta geologi dan topografi daerah penelitian
6. Kompas

Sedangkan perangkat lunak (*software*) yang diperlukan untuk pengolahan data adalah:

1. Seperangkat Komputer
2. MS. Office
3. Surfer 12
4. Magpick
5. MatlabR2010a
6. Mag2DC
7. Sketch Up

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terlebih dahulu melakukan survei lokasi daerah penelitian serta mengumpulkan sumber-sumber literatur mengenai apa yang akan diteliti meliputi geologi daerah, topografi daerah dan lain sebagainya. Setelah sumber-sumber pendukung penelitian terkumpul maka dilakukanlah pengambilan data di daerah penelitian menggunakan metode geomagnetik. Data yang diperoleh kemudian akan diolah lalu dianalisis. Hasil akhir dari penelitian tersebut

diharapkan bisa mengetahui potensi persebaran batubara dan juga struktur bawah permukaan pada daerah penelitian.

3.3.1 Pengambilan Data

Pengambilan data dengan menggunakan metode magnetik menggunakan alat yang disebut Seperangkat Magnetometer jenis *Proton Precession Magnetometer* (PPM) dengan tipe *Geometrics G-856/27616*.

Pada proses pengambilan data dan penempatan *Base Station Magnetometer* harus dijauhkan dari benda-benda yang dapat mempengaruhi medan magnet karena dapat mempengaruhi pembacaan nilai dari Magnetometer. Pada penempatan base station harus diluar daerah penelitian. Dalam pengambilan data pengukurannya berjarak sekitar 20 sampai 25 meter dari titik satu ke titik yang lain.

Data yang diambil dalam penelitian ini antara lain:

1. Koordinat Lintang dan Bujur
2. Waktu pengambilan data (hari, tanggal dan jam).
3. Ketinggian titik ukur
4. Data geomagnetik: Medan magnet total

3.3.2 Pengolahan Data Geomagnetik

Agar dapat memperoleh nilai anomali medan magnetik yang dicari, maka akan dilakukan koreksi terhadap data magnetik total hasil pengukuran pada titik-titik lokasi pengukuran, koreksi yang dilakukan antara lain:

1. Koreksi Harian

Koreksi harian (*diurnal correction*) merupakan penyimpangan nilai medan magnetik bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari. Waktu yang dimaksudkan harus mengacu atau sesuai dengan waktu pengukuran data medan magnetik di setiap titik lokasi (stasiun pengukuran) yang akan dikoreksi. Apabila nilai variasi harian negatif, maka koreksi harian dilakukan dengan cara menambahkan nilai variasi harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi. Sebaliknya apabila variasi harian bernilai positif, maka koreksinya dilakukan dengan cara mengurangi nilai variasi harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi, dapat dituliskan dalam persamaan:

$$\Delta H = H_{total} \pm \Delta H_{harian} \quad (3.1)$$

2. Koreksi IGRF

Data hasil pengukuran medan magnetik pada dasarnya adalah kontribusi dari tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar dan medan anomali. Nilai medan magnetik utama tidak lain adalah nilai IGRF. Jika nilai medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi harian, maka kontribusi medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi IGRF. Koreksi IGRF 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:

$$\Delta H = H_{total} \pm \Delta H_{harian} \pm H_0 \quad (3.2)$$

Dimana $H_0 = \text{IGRF}$

3.3.3 Reduksi ke Bidang Datar

Untuk mempermudah proses pengolahan dan interpretasi data magnetik, maka data anomali medan magnetik total yang masih tersebar di topografi harus direduksi atau dibawa ke bidang datar. Proses transformasi ini mutlak dilakukan, karena proses pengolahan data berikutnya mensyaratkan input anomali medan magnetik yang terdistribusi pada bidang datar.

Beberapa teknik untuk mentransformasi data anomali medan magnetik ke bidang datar, antara lain : teknik sumber ekuivalen (*equivalent source*), lapisan ekuivalen (*equivalent layer*) dan pendekatan deret Taylor (*Taylor series approximation*), dimana setiap teknik mempunyai kelebihan dan kekurangan (Blakely, 1995).

3.3.4. Reduksi ke Kutub

Adanya perbedaan nilai inklinasi dan deklinasi pada setiap daerah yang melatar belakangi perlunya reduksi ke kutub, pada proses reduksi ke kutub disini mencoba mentransformasikan medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnetik.

3.3.5 Pengangkatan ke Atas

Pengangkatan ke atas atau *upward continuation* merupakan proses transformasi data medan potensial dari suatu bidang datar ke bidang datar lainnya yang lebih tinggi. Pada pengolahan data geomagnetik, proses ini dapat berfungsi sebagai filter tapis rendah, yaitu untuk menghilangkan suatu mereduksi efek magnetik lokal yang berasal dari berbagai sumber benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi yang tidak terkait dengan survei. Proses pengangkatan tidak boleh terlalu tinggi, karena ini dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang menjadi target survei magnetik ini. Untuk menginterpretasi anomali medan magnetik yang menjadi target survei, maka dilakukan koreksi efek regional, yang bertujuan untuk menghilangkan efek anomali magnetik regional dari data anomali medan magnetik hasil pengukuran.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperoleh anomali regional adalah pengangkatan ke atas hingga pada ketinggian-ketinggian tertentu, dimana peta kontur anomali yang dihasilkan sudah cenderung tetap dan tidak mengalami perubahan pola lagi ketika dilakukan pengangkatan yang lebih tinggi.

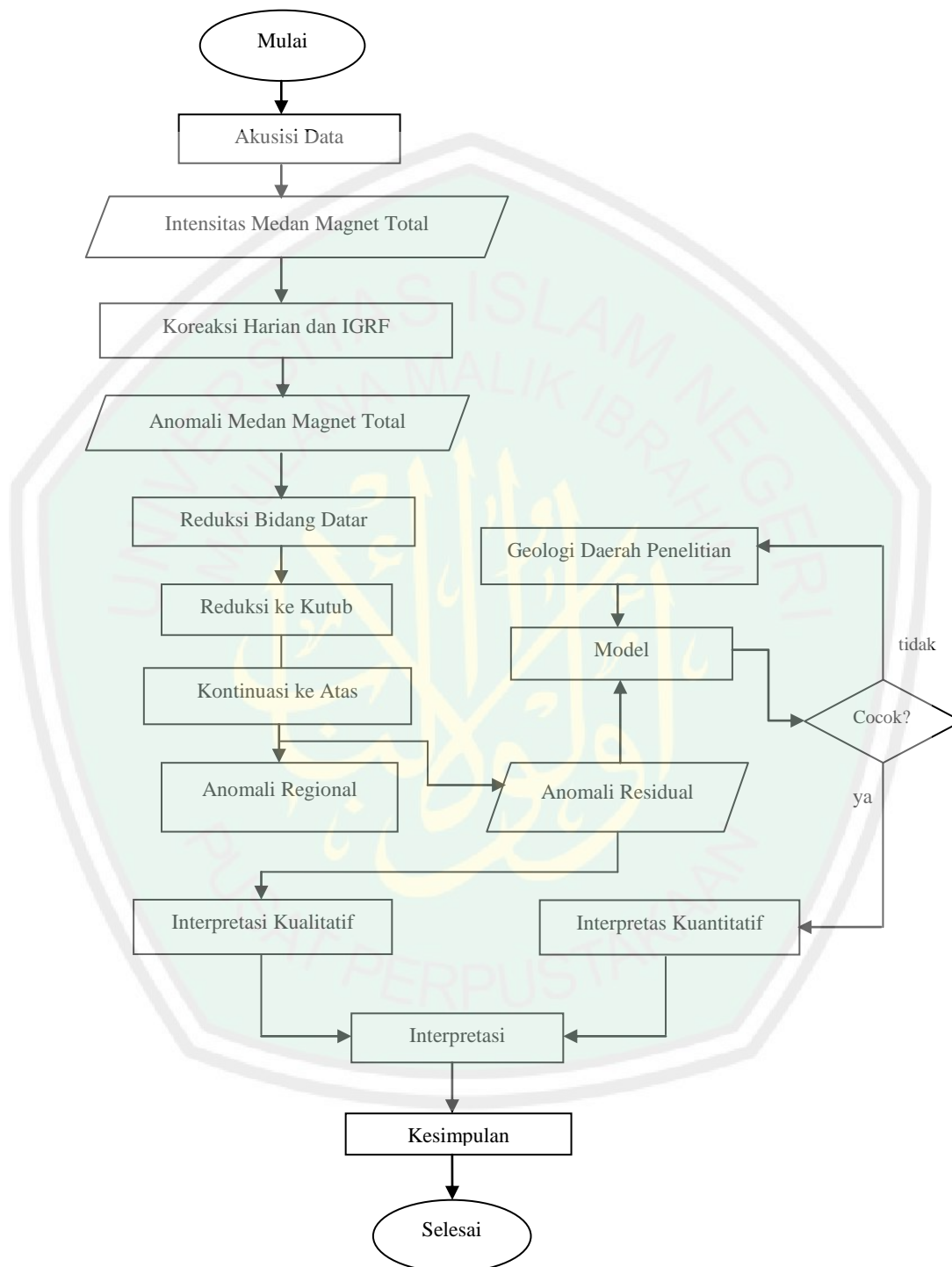
3.3.6 Interpretasi Data Geomagnetik

Secara umum interpretasi data geomagnetik terbagi menjadi dua, yaitu interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada pola kontur anomali medan magnetik yang bersumber dari distribusi benda-benda termagnetisasi atau struktur geologi bawah permukaan bumi. Selanjutnya pola

anomali medan magnetik yang dihasilkan ditafsirkan berdasarkan informasi geologi setempat dalam bentuk distribusi benda magnetik atau struktur geologi, yang dijadikan dasar pendugaan terhadap keadaan geologi yang sebenarnya.

Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui pemodelan matematis. Untuk melakukan interpretasi kuantitatif, ada beberapa cara dimana antara satu dengan lainnya mungkin berbeda, tergantung dari bentuk anomali yang diperoleh, sasaran yang dicapai dan ketelitian hasil pengukuran. Beberapa pemodelan yang biasa digunakan yaitu pemodelan dua setengah dimensi dan pemodelan tiga dimensi.

3.4 Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

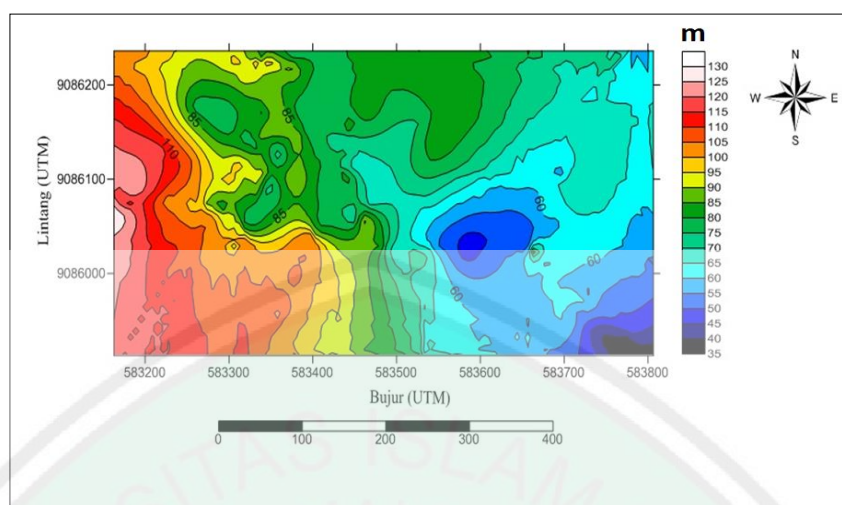
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Akusisi Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode geomagnetik dengan menggunakan alat *proton processing magnetometer* (PPM) dimana pada setiap titik pengukuran diberikan perlakuan sebanyak 5 kali pengambilan data yang mana dari data tersebut akan dipilih salah satunya, data yang dipilih merupakan data nilai yang sering muncul atau data yang dipilih merupakan rata-rata dari nilai data. Data yang diperoleh merupakan data medan magnet bumi (nT) sebanyak 309 titik pengambilan data dengan jarak 10-20 meter tergantung pada lokasi pengambilan titik dengan luas area sekitar 320m x 640m. Selain itu diambil juga data berupa koordinat titik data, waktu pengambilan data dan ketinggian titik data.

4.2 Pengolahan Data

Awal dari pengolahan data dimulai dengan dengan megkonversi koordinat lapangan yang didapatkan ketika akusisi data yang berbentuk *Decimal Degree* kedalam bentuk UTM (*Universal Transfer Mercator*) agar mempermudah pembacaan pada *software* Surfer 11 dan juga untuk pengolahan selanjutnya.



Gambar 4.1 Kontur Elevasi atau Ketinggian Daerah Penelitian

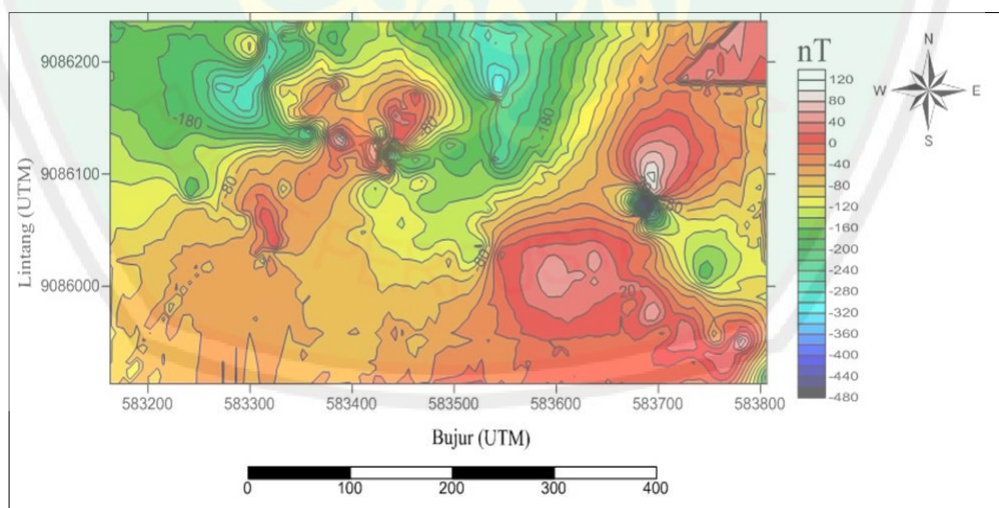
Pada gambar 4.1 menunjukkan kontur elevasi atau ketinggian daerah penelitian dengan nilai *decimal degree* yang telah diubah menjadi nilai UTM (*Universal Transfer Mercator*). Kontur diatas menunjukkan adanya daerah tinggi dan rendah atau lembah dan bukit pada daerah penelitian. Dari kontur diatas, daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu daerah dataran tinggi daerah datar dan daerah dataran rendah. Daerah dataran tinggi ditunjukkan oleh warna merah sampai dengan warna putih dengan nilai sekitar 110m dpl-130 m dpl, daerah datar ditunjukkan oleh warna hijau sampai dengan warna oranye dengan nilai sekitar 70m dpl-105m dpl dan daerah dataran rendah ditunjukkan oleh warna biru tua sampai dengan warna biru muda dengan nilai sekitar 35m dpl-65m dpl.

Pengolahan data selanjutnya adalah koreksi harian dan koreksi IGRF. Data yang didapatkan di lapangan adalah data yang masih terpengaruhi dari luar maupun dalam bumi data tersebut sebagai medan magnet total (H) meliputi

medan magnet utama bumi, medan magnet luar bumi, dan medan magnet lokal bumi.

Kita melakukan koreksi harian di karenakan pengaruh medan magnet luar, seperti pengaruh permukaan, dari waktu ke waktu dan tempat ke tempat, utamanya disebabkan oleh variasi radiasi matahari dalam satu hari pada daerah penelitian. Koreksi ini diapatkan dengan cara mengurangi nilai inensitas medan magnet pada titik *base station*. Dimana titik *base station* itu sendiri terletak diluar area penelitian.

Koreksi selanjutnya yaitu koreksi IGRF digunakan untuk menghilangkan pengaruh dari medan magnet bumi. Nilai IGRF diperbaharui setiap lima tahun sekali dan nilai tersebut bias didapatkan dengan cara *online* di www.geomag.bgs.ac.uk. Nilai IGRF yang digunakan ialah pada tahun 2017.



Gambar 4.2 Kontur Anomali Medan Magnet Total

Gambar 4.2 menunjukkan kontur anomali medan magnet total, yang mana kontur tersebut telah di koreksi harian dan IGRF. Kontur anomali diatas

menunjukkan nilai yang relatif kecil berkisar -480 nT sampai 120 nT daerah pada kontur anomali. Nilai tersebut menunjukkan sifat kemagnetan batuan kemungkinan bersifat diamagnetik.

Pada peta geologi daerah penelitian, daerah termasuk dalam formasi Mandalika yang terdiri dari breksi gunung api, lava dan tuf bersisipan dengan batupasir dan batulanau. Dan dapat disimpulkan memang daerah penelitian di dominasi oleh batuan diamagnetik. Nilai dalam kontur anomali medan magnet daerah penelitian berbeda-beda dan dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu, oranye sampai dengan putih berkisar -100 nT sampai 120 nT, hijau muda sampai dengan kuning berkisar -300 nT sampai -120 nT, dan hitam sampai dengan biru muda berkisar -480 nT sampai -320 nT.

4.3 Interpretasi Kualitatif

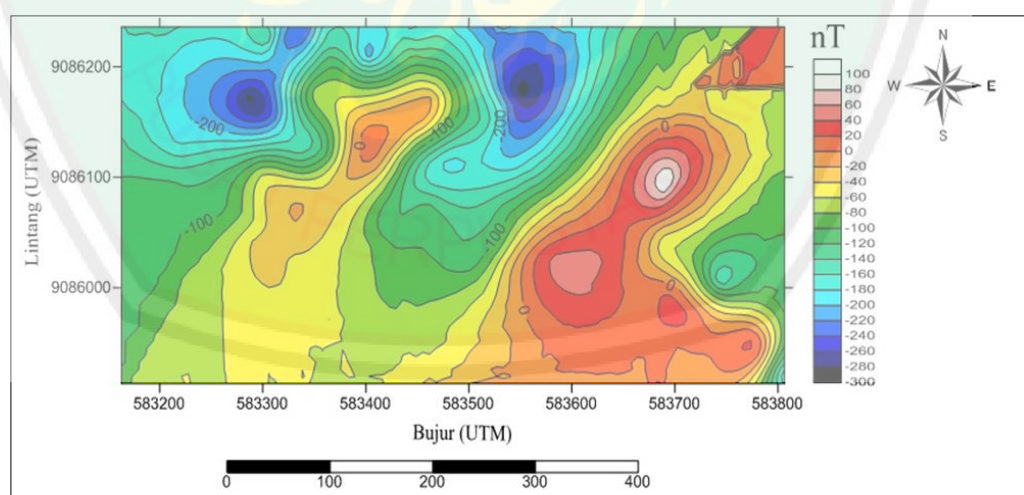
Ada dua jenis interpretasi dalam metode geomagnetik, yang pertama yaitu interpretasi kualitatif yang kedua adalah interpretasi kuantitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada pola-pola kontur yang bersumber atau diakibatkan oleh benda-benda bawah permukaan yang termagnetisasi, dengan kata lain interpretasi kualitatif merupakan analisis dari pola-pola kontur anomali. Pada penelitian kali ini yang di interpretasi kualitatif merupakan hasil dari nilai koreksi harian dan koreksi IGRF.

4.3.1 Reduksi Bidang Datar

Setelah melakukan koreksi harian dan IGRF anomali yang didapatkan masih terpengaruh oleh keadaan topografi daerah penelitian, secara matematis

ini akan menyebabkan kesalahan pada pada tahap berikutnya. Ketika pengukuran magnetik pada ketinggian yang berbeda akan dihasilkan medan magnet yang berbeda pula makadari itu proyeksi ke bidang datar diperlukan. Selain itu proyeksi bidang datar juga diperlukan dikarenakan titik-titik pengambilan data tidak teratur. Menurut Damney, proyeksi ke bidang datar dilakukan karena anomali masih terletak pada titik-titik pengukuran yang tidak teratur. Untuk mempermudah interpretasi maka data tersebut harus dibawa ke bidang datar dengan grid yang teratur. Metode yang digunakan dalam pengangkatan kebidang datar adalah metode sumber ekuivalen titik massa.

Cara penentuan kedalaman bidang titik ekuivalen titik massa dengan cara *trial and error* dan ketika sudah mendapatkan pola kontur yang cukup mirip dan nilai anomali yang mengecil dari nilai anomali aslinya maka akan digunakan dalam proses selanjutnya.

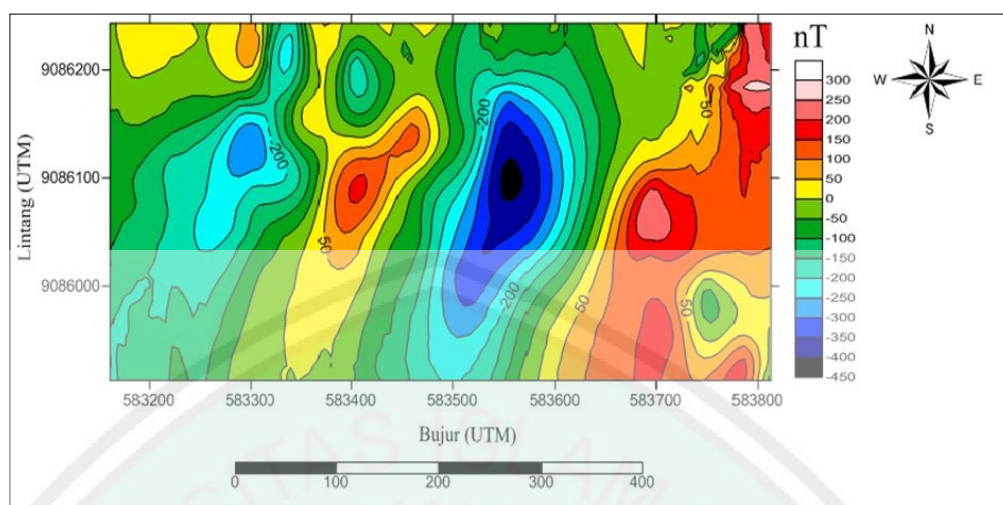


Gambar 4.3 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total setelah Reduksi ke Bidang Datar dengan Masukan Ketinggian 86m dan Kedalaman 26m

Gambar 4.3 merupakan hasil reduksi bidang datar dengan masukan ketinggian 86m dan kedalaman 26m. Pada hasil reduksi bidang datar menunjukkan nilai anomali yang mengecil atau lebih rendah dari nilai anomali medan magnet sebelum di reduksi bidang datar. Nilai anomali sekitar 100 nT sampai -300 nT. Nilai tersebut lebih kecil dari nilai anomali sebelum direduksi ke bidang datar dikarenakan anomali magnetik hasil transformasi bidang datar relative konvergen daripada sebelum di transformasi (Sehah dkk, 2014). Pada gambar kontur anomali, nilai anomali tinggi berkisar 100 nT sampai dengan 0 nT ditunjukkan oleh warna putih sampai dengan warna merah, nilai anomali sedang berkisar antara 0 nT sampai dengan -180 nT ditunjukkan oleh warna oranye sampai dengan warna hijau muda, nilai anomali rendah berkisar -200 nT sampai -300 nT ditunjukkan oleh warna biru muda sampai dengan warna hitam.

4.3.2 Reduksi ke Kutub

Hasil dari reduksi ke bidang datar kemudian di reduksi ke kutub dengan menggunakan *software* MagPick. Reduksi ke kutub merupakan salah satu filter pengolahan data magnetik untuk menghilangkan sudut inklinasi magnetik karena adanya sifat dipole anomali magnetik yang menyulitkan interpretasi data lapangan yang secara umum berpola asimetrik. Reduksi ke kutub dilakukan dengan cara membawa posisi benda ke kutub utara. Proses ini akan mengubah parameter medan magnet bumi pada daerah penelitian. Proses tersebut dilakukan dengan cara membuat sudut inklinasi 90° dan deklinasi 0° , dengan mengubah sudut inklinasi dan deklinasi akan mentransformasikan medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnetik.



Gambar 4.4 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total Hasil Reduksi ke Kutub

Gambar 4.4 menunjukkan kontur anomali hasil dari reduksi ke kutub dari hasil tersebut menunjukkan hasil yang berbeda sebelum direduksi ke kutub, nilai anomali setelah di reduksi ke kutub lebih tinggi dibandingkan dengan sebelum di reduksi ke kutub dikarenakan terjadinya penguatan nilai kemagnetan.

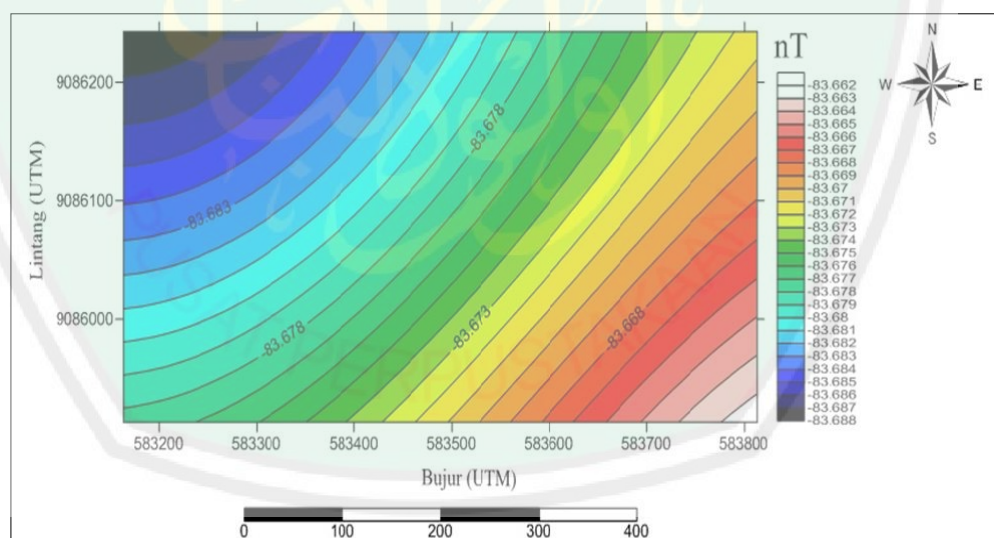
Gambar 4.4 menunjukkan nilai anomali tinggi berkisar 330 nT sampai 150 nT ditunjukkan oleh warna putih sampai dengan warna merah, anomali sedang berkisar 100 nT sampai dengan -200 nT ditunjukkan oleh warna oranye sampai dengan warna hijau muda, dan anomali rendah berkisar -250 nT sampai dengan -450 nT ditunjukkan oleh warna biru muda sampai dengan warna hitam.

4.3.3 Kontinuasi ke Atas

Dengan didapatkannya hasil anomali medan magnet total merupakan anomali gabungan dari anomali regional dan anomali lokal. Kontinuasi keatas diperlukan untuk memisahkan anomali regional dan anomali lokal dengan tujuan didapatkannya anomali regional untuk memfilter anomali regional yang

lebih halus dan benda-benda yang bersifat agar dapat terlihat benda-benda yang menyebabkan terbentuknya anomali tersebut.

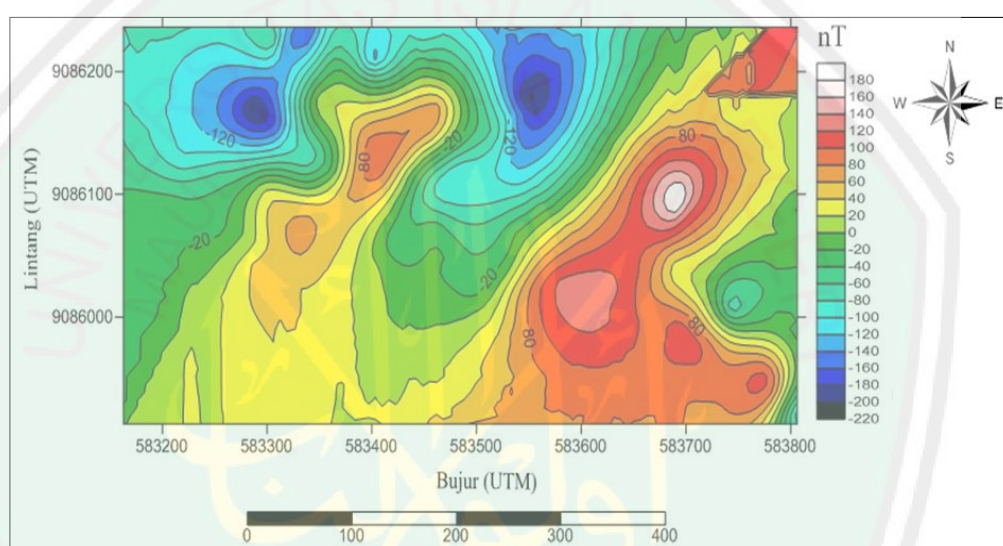
Proses kontinuitas dilakukan menggunakan menggunakan *software* MagPick. Proses kontinuitas dilakukan dengan cara seolah-olah menghitung data dalam ketinggian tersebut. Ketika melakukan kontinuitas tidak boleh terlalu tinggi dikarenakan dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang menjadi target survei. Pada penelitian ini proses kontinuitas dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error*. dengan cara ini diharapkan dapat menekan *noise-noise* frekuensi tinggi atau benda-benda magnet yang letaknya dekat dengan permukaan yang tergabung dengan anomali yang diperoleh.



Gambar 4.5 Peta Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuitas ke Atas pada Ketinggian 1810m dpl.

Gambar 4.5 menunjukkan anomali regional hasil kontinuitas ke atas pada ketinggian 1810m dpl dengan nilai berkisar -83.662 nT sampai -83.688 nT.

anomali tinggi berkisar -83.662 nT sampai -83.669 nT ditunjukkan oleh warna putih sampai dengan warna merah, anomali sedang berkisar -83.67 nT sampai dengan -83.679 nT ditunjukkan oleh warna oranye sampai dengan warna hijau muda, anomali rendah berkisar -83.68 nT sampai -83.688 nT ditunjukkan oleh warna biru muda sampai dengan warna hitam.



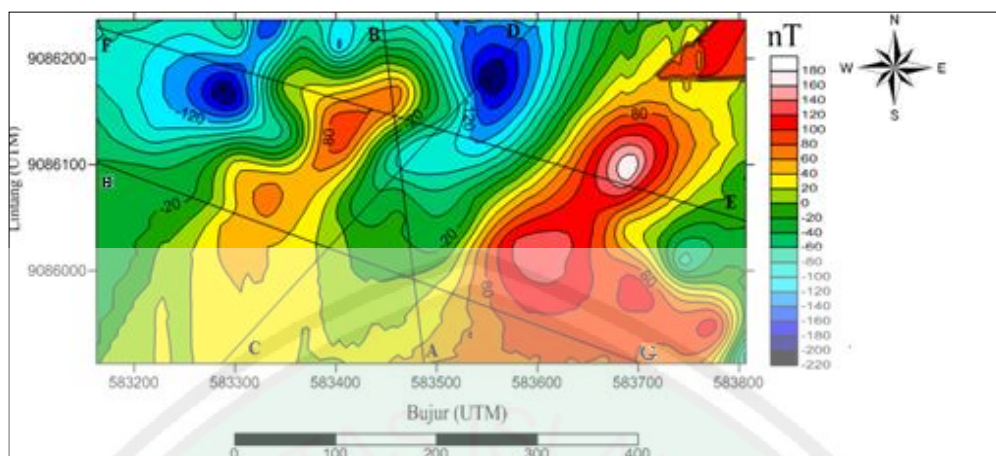
Gambar 4.6 Peta Kontur Anomali Lokal Hasil Kontinuasi ke Atas Pada Ketinggian 1810m dpl.

Gambar 4.6 menunjukkan kontur anomali lokal hasil kontinuasi ke atas pada ketinggian 1810m dpl dengan nilai berkisar 180 nT sampai -220 nT. Anomali tinggi berkisar 180 nT sampai 100 nT ditunjukkan oleh warna putih sampai dengan warna merah, anomali sedang berkisar 80 nT sampai dengan -80 nT ditunjukkan oleh warna oranye sampai dengan warna hijau muda, anomali rendah berkisar -100 nT sampai -220 nT ditunjukkan oleh warna biru muda sampai dengan warna hitam.

Pada nilai anomali positif diatas berkisar antara 0 nT sampai 180 nT di tafsirkan sebagai batuan dengan sifat magnetik ditempati oleh breksi gunung api dan lava sedangkan nilai anomali negatif 0 nT sampai dengan -220 nT ditafsirkan sebagai sisipan batupasir, dan batulanau. Sesuai dengan peta geologi daerah penelitian yang mana pada peta geologi tersebut menyatakan bahwa kondisi geologi daerah penelitian berupa breksi gunung api, lava, tuf, bersisipan batupasir dan batulanau.

4.4 Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif dalam metode magnetik yaitu penggambaran struktur bawah permukaan tanah berdasarkan geologi daerah penelitian, Pengukuran data geomagnetik. Interpretasi kuantitatif dilakukan menggunakan *software* Mag2dc. Dalam *software* Mag2dc ada 2 bentuk anomali yang diamati yaitu garis putus-putus sebagai anomali yang pengamatan dan garis bersambung sebagai anomali perhitungan. Pemodelan menggunakan *software* Mag2dc mempunyai masukan berupa nilai IGRF, inklinasi dan deklinasi. Metode yang digunakan dalam Mag2dc adalah metode *trial and error* dengan prinsip inversi yaitu pencocokan kurva perhitungan dengan kurva pengamatan. Semakin mirip kurva perhitungan dan kurva pengamatan maka nilai *misfit* yang akan didapatkan juga akan semakin kecil.

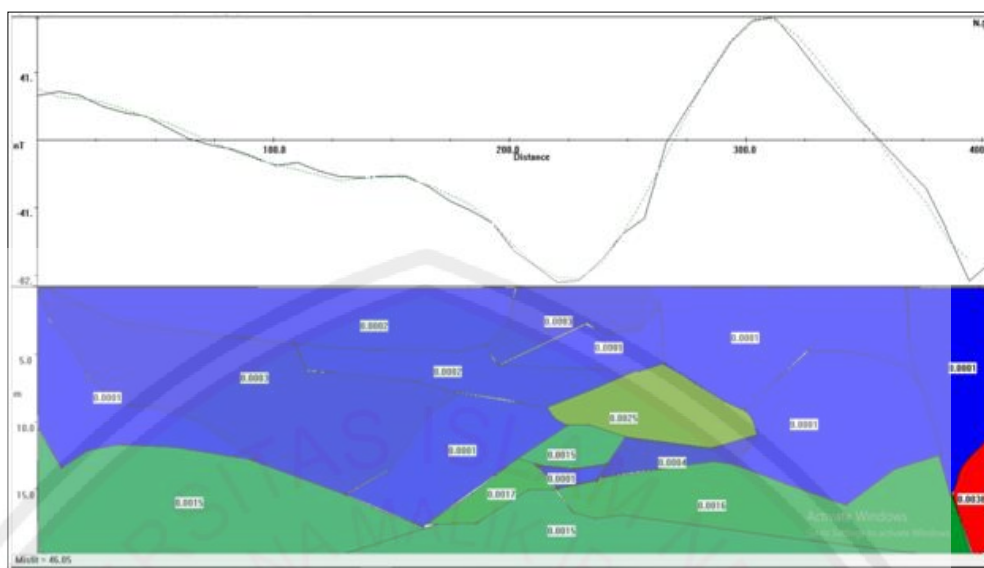


Gambar 4.7 Irisan Kontur Anomali Lokal Lintasan A-B, Lintasan C-D, Lintasan E-F, dan Lintasan G-H.

Gambar 4.7 merupakan kontur anomali lokal dengan sudut deklinasi 1.001° dan inklinasi -33.160° dan nilai IGRF sebesar 45100. menunjukkan Irisan Kontur Anomali Lokal Lintasan A-B, Lintasan C-D, Lintasan E-F, dan Lintasan G-H.

4.4.1 Lintasan A-B



Pada lintasan A-B menyayat klosur positif dan negatif dari selatan tenggara menuju utara barat laut. Klosur positif dan negatif berselang-seling dengan panjang total lintasan 326 meter pada titik 8.268652° LS 111.7583° BT sampai 8.26576° LS 111.758° BT. Pada lintasan A-B terdapat singkapan batubara pada titik 8.266456° LS 111.7579 BT sampai 8.267803° LS 111.7581 BT kurang lebih sepanjang 132 meter.




Gambar 4.8 Model Bawah Permukaan Lintasan A-B

Gambar 4.8 merupakan peta model bawah permukaan pada lintasan A-B dengan *misfit* berkisar 46.05 yang terdiri dari sumbu Y positif yang merupakan nilai kurva pengamatan, sumbu Y negatif yang merupakan kedalaman dari permukaan yang akan di amati dengan maksimal kedalaman 20 meter dan sumbu X merupakan jarak atau panjang lintasan. Tabel dibawah ini merupakan tabel dari gambar 4.8 berdasarkan pada fakta lapangan, geologi daerah penelitian dan nilai suseptibilitas.

4.1 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ada pada lintasan A-B



Body	Suseptibilitas (SI)	Kedalaman (m)	Interpretasi Jenis Batuan
	0.0001-0.0004	0-17	Batubara, batupasir, batulanau.
	0.0015-0.0017	5-20	Andesit, batupasir, batulanau.

	0.0038	12-20	Andesit yang bercampur dengan batu pasir.
---	--------	-------	---

Pada pemodelan lintasan A-B didapatkan informasi bahwa batuan yang terdapat di daerah penelitian. Pada lapisan berwarna biru dengan nilai suseptibilitas 0.0001-0.0004 (satuan SI) dengan kedalaman berkisar 0-17 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai batubara, batupasir dan batulanau. Diduga pada lapisan dengan nilai suseptibilitas 0.0002 (satuan SI) didominasi oleh batubara. Pada lapisan yang berwarna hijau dengan nilai suseptibilitas 0.0015-0.0017 (Satuan SI) dengan kedalaman berkisar 5-20 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai andesit, batupasir, batulanau. Pada lapisan yang berwarna merah dengan nilai suseptibilitas 0.0038 (Satuan SI) dengan kedalaman berkisar 12-20 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai andesit yang bercampur dengan pasir.

4.4.2 Lintasan C-D

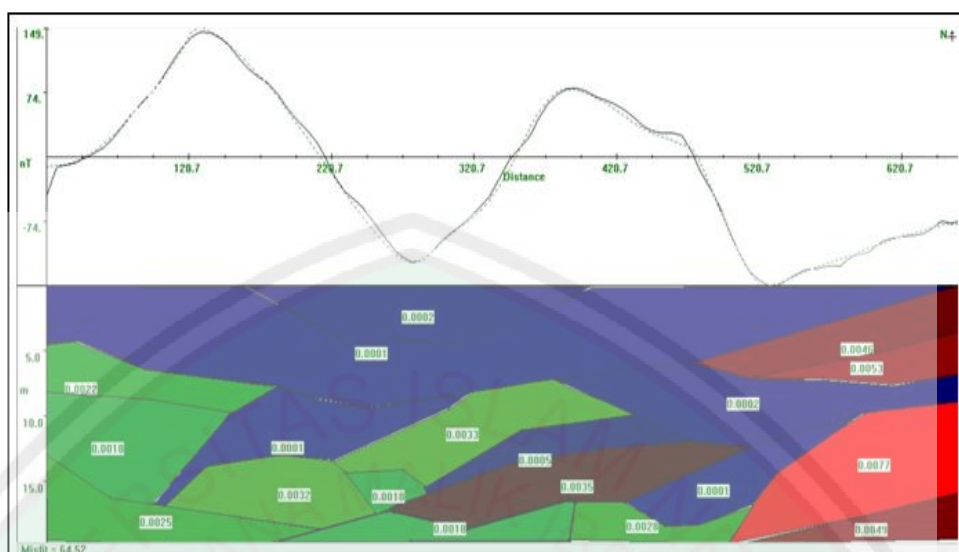
Pada lintasan C-D menyayat klosur positif dan negatif dari barat daya menuju timur laut. Klosur positif dan negatif berselang-seling dengan panjang total lintasan 450 meter pada titik 8.268662° LS 111.7566° BT sampai 8.265771° LS 111.7594° BT

	0.0015-0.0021	6-20	Andesit, batupasir, batulanau.
	0.0038-0.0040	2-20	Andesit yang bercampur dengan pasir.

Pada pemodelan lintasan C-D didapatkan informasi bahwa batuan yang terdapat di daerah penelitian. Pada lapisan berwarna biru dengan nilai suseptibilitas 0.0001-0.0006 (satuan SI) dengan kedalaman berkisar 0-15 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai batubara, batupasir dan batulanau. Diduga pada lapisan dengan nilai suseptibilitas 0.0002 (satuan SI) didominasi oleh batubara. Pada lapisan yang berwarna hijau dengan nilai suseptibilitas 0.0015-0.0021 (Satuan SI) dengan kedalaman berkisar 6-20 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai andesit, batupasir, batulanau. Pada lapisan yang berwarna merah dengan nilai suseptibilitas 0.0038-0.0040 (Satuan SI) dengan kedalaman berkisar 2-20 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai andesit yang bercampur dengan pasir.

4.4.3 Lintasan E-F

Pada lintasan E-F menyayat klosur positif dan negatif dari timur tenggara menuju barat laut. Klosur positif dan negatif berselang-seling dengan panjang total lintasan 667 meter pada titik 8.267412° LS 111.7612° BT sampai 8.265792° LS 111.7554° BT. Pada lintasan E-F terdapat singkapan batubara pada titik 8.266246° LS 111.7565 BT sampai 8.266456° LS 111.7579 BT kurang lebih sepanjang 182 meter.




Gambar 4.10 Model Bawah Permukaan Lintasan E-F

Gambar 4.10 merupakan peta model bawah permukaan pada lintasan E-F dengan *misfit* berkisar 64.52 yang terdiri dari sumbu Y positif yang merupakan nilai kurva pengamatan, sumbu Y negatif yang merupakan kedalaman dari permukaan yang akan di amati dengan maksimal kedalaman 20 meter dan sumbu X merupakan jarak atau panjang lintasan. Tabel dibawah ini merupakan tabel dari gambar 4.10 berdasarkan pada fakta lapangan, geologi daerah penelitian dan nilai suseptibilitas.

4.3 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ada pada lintasan E-F

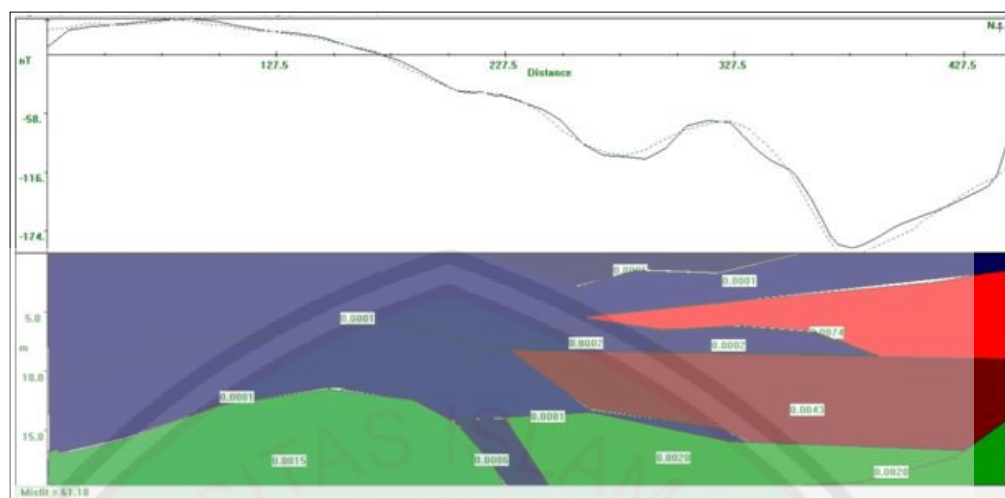
Body	Suseptibilitas (SI)	Kedalaman (m)	Interpretasi Jenis Batuan
	0.0001-0.0005	0-18	Batubara, batupasir, batulanau.
	0.0018-0.0028	4-20	Andesit, batupasir, batulanau.

	0.0037-0.0077	0-20	Andesit yang bercampur dengan pasir.
---	---------------	------	--------------------------------------

Pada pemodelan lintasan E-F didapatkan informasi bahwa batuan yang terdapat di daerah penelitian. Pada lapisan berwarna biru dengan nilai suseptibilitas 0.0001-0.0005 (satuan SI) dengan kedalaman berkisar 0-18 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai batubara, batupasir dan batulanau. Diduga pada lapisan dengan nilai suseptibilitas 0.0002 (satuan SI) didominasi oleh batubara. Pada lapisan yang berwarna hijau dengan nilai suseptibilitas 0.0018-0.0028 (Satuan SI) dengan kedalaman berkisar 4-20 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai andesit, batupasir, batulanau. Pada lapisan yang berwarna merah dengan nilai suseptibilitas 0.0037-0.0077 (Satuan SI) dengan kedalaman berkisar 0-20 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai andesit yang bercampur dengan pasir.

4.4.4 Lintasan G-H



Pada lintasan E-F menyayat klosur positif dan negatif dari timur tenggara menuju barat laut. Klosur positif dan negatif berselang-seling dengan panjang total lintasan 571 meter pada titik 8.268662° LS 111.7602° BT sampai 8.26694° LS 111.7554° BT.




Gambar 4.11 Model Bawah Permukaan Lintasan G-H

Gambar 4.11 merupakan peta model bawah permukaan pada lintasan G-H dengan *misfit* berkisar 61.18 yang terdiri dari sumbu Y positif yang merupakan nilai kurva pengamatan, sumbu Y negatif yang merupakan kedalaman dari permukaan yang akan di amati dengan maksimal kedalaman 20 meter dan sumbu X merupakan jarak atau panjang lintasan. Tabel dibawah ini merupakan tabel dari gambar 4.11 berdasarkan pada fakta lapangan, geologi daerah penelitian dan nilai suseptibilitas.

4.4 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ada pada lintasan G-H

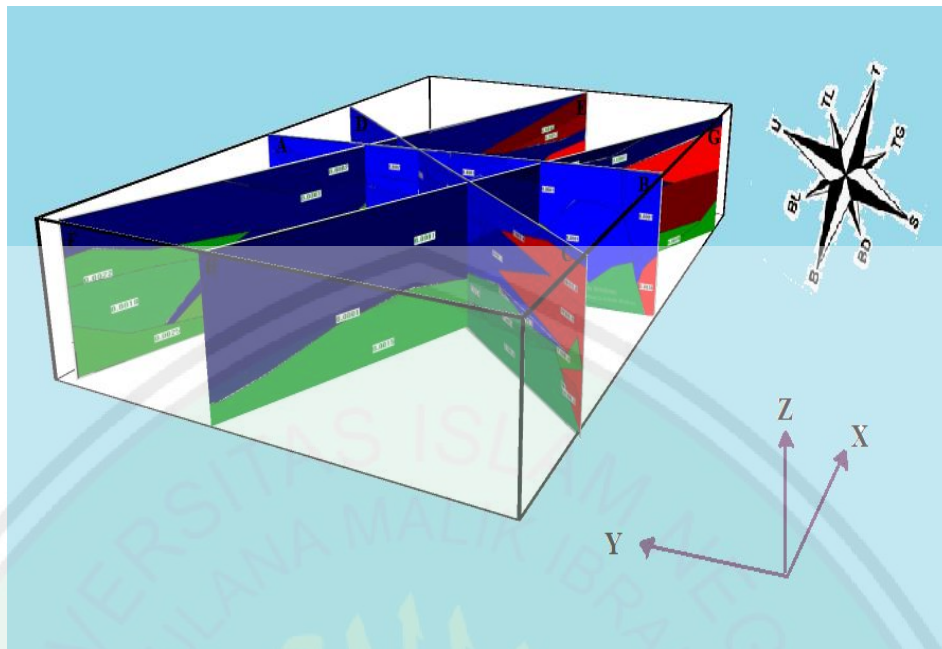
Body	Suseptibilitas (SI)	Kedalaman (m)	Interpretasi Jenis Batuan
	0.0001-0.0006	0-20	Batubara, batupasir, batulanau.
	0.0015-0.0020	11-20	Andesit, batupasir, batulanau.

	0.0043-0.0074	2-16	Andesit yang bercampur dengan pasir
---	---------------	------	-------------------------------------

Pada pemodelan lintasan G-H didapatkan informasi bahwa batuan yang terdapat di daerah penelitian. Pada lapisan berwarna biru dengan nilai suseptibilitas 0.0001-0.0004 (satuan SI) dengan kedalaman berkisar 0-20 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai batubara, batupasir dan batulanau. Diduga pada lapisan dengan nilai suseptibilitas 0.0002 (satuan SI) didominasi oleh batubara. Pada lapisan yang berwarna hijau dengan nilai suseptibilitas 0.0015-0.0017 (Satuan SI) dengan kedalaman berkisar 11-20 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai andesit, batupasir, batulanau. Pada lapisan yang berwarna merah dengan nilai suseptibilitas 0.0038 (Satuan SI) dengan kedalaman berkisar 2-16 meter, dengan nilai suseptibilitas tersebut diduga sebagai andesit yang bercampur dengan pasir.

4.5 Pemodelan 3D Lintasan A-B, C-D, E-F, G-H

Model 3D dibawah ini merupakan gabungan dari lintasan A-B, C-D, E-F, G-H. dengan menggabungkan lintasan-lintasan dapat dilihat dengan jelas struktur batuan bawah permukaan daerah penelitian.



4.12 Gambar Pemodelan 3D Lintasan A-B, C-D, E-F, G-H

Pada gambar 4.2 merupakan Pemodelan 3D Lintasan A-B, C-D, E-F, dan G-H dengan sumbu X sebagai bujur, sumbu Y sebagai lintang dan sumbu Z sebagai maksimal kedalaman. Pada pemodelan memberikan informasi sebaran yang lebih jelas dengan maksimal kedalaman 20 meter. Gambar pemodelan 3D diatas merupakan hasil dari penggabungan lintasan Lintasan A-B, C-D, E-F, dan G-H. Terdapat perbedaan warna ketika digabungkan yang disebabkan oleh bedanya skala nilai pada lintasan Lintasan A-B, C-D, E-F, G-H. Pada lintasan E-F dan G-H skala nilainya lebih tinggi daripada lintasan A-B dan C-D, hal inilah yang menyebabkan perbedaan warna ketika melakukan penggabungan lintasan. Dari hasil pemodelan 3D dapat diambil kesimpulan bahwa kemungkinan dibawah permukaan tanah secara umum tersusun dari adanya batubara, batupasir batulanau dan andesit. Daerah penelitian merupakan daerah pengendapan dari darat ke laut.

4.6 Pembahasan

Dalam buku geologi daerah Tulungagung menjelaskan bahwa daerah penelitian masuk pada tataan stratigrafi formasi mandalika. Batupasir dan batulanau sebagian besar mengalami perubahan sehingga berwarna kehijauan, dan kedua batu ini saling berselang seling. Kemungkinan selain batupasir dan batulanau juga tercampur oleh batubara mengingat pada fakta lapangan singkapan batubara yang berada diatas permukaan dan pada beberapa bagian daerah penelitian terdapat batu bara yang tercampur dan terselang-seling oleh batupasir dan batulanau. Menurut Sudarsono batubara merupakan bahan bakar organik yang berasal dari batuan sedimen yang terbentuk dari sisa-sisa bermacam-macam tumbuhan purba, Pembentukan batubara melalui beberapa tahap *peatification* dan *coalification*. *Peatification* merupakan proses penghancuran atau pembusukan yang sempurna yang merupakan proses oksidasi yang disebabkan oleh adanya oksigen dan aktifitas bakteri atau jasad renik lainnya. Selanjutnya adalah *coalification* yang dikontrol oleh kenaikan temperature, tekanan dan waktu. Pengaruh temperatur dan tekanan dipercayai sebagai faktor yang sangat dominan, karena sering ditemukan lapisan batubara *high-rank* (antrasit) yang berdekatan dengan intrusi batuan beku sehingga terjadi kontak metamorfosis. Kenaikan peringkat batubara juga dapat disebabkan karena bertambahnya kedalaman. Sementara bila tekanan makin tinggi, maka proses pembatubaraan makin cepat, terutama di daerah lipatan dan patahan.

Pada hasil penelitian uji EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) batubara pada daerah penelitian merupakan batubara muda yang ditunjukkan oleh

rendahnya nilai karbon yang didapat pada hasil uji tersebut. Batubara menyebar dan hampir ada pada setiap titik potongan daerah penelitian akan tetapi batubara pada daerah penelitian merupakan batubara muda, bukan merupakan batubara *high-rank* atau antrasit. Dari hasil penelitian juga dapat diketahui bahwa walaupun batubara pada daerah penelitian menyebar di hampir semua titik potongan daerah penelitian tetapi batubara tersebut memiliki ketebalan yang cukup tipis. Berdasarkan dari mutu batubara dan juga ketebalan batubara yang didapatkan pada area penelitian untuk sekarang ini batubara tersebut tidak memiliki nilai ekonomis yang cukup jika kita memanfaatkan sumberdaya batubara pada daerah penelitian.

Andesit yang terdapat dalam penelitian ini kemungkinan berukuran 3-30 cm, menyudut membundar tanggung, kemas tertutup terpilah sangat buruk dan bermassa dasar batupasir tufan kasar. Sebagian besar batumannya terubah dan terkersikkan, sehingga berwarna kehijauan tebalnya beragam dari 5 sampai lebih dari 10 m. pada fenomena geologis kecamatan besuki, jenis batuan beku di kawasan kecamatan Besuki adalah andesit dan tersebar pada beberapa tempat. Pada hasil penelitian oleh Nayoan dkk (2017) dalam jurnal Analisis potensi dan sumberdaya dan kebencanaan geologi yang menyatakan bahwa area sayatan *Tomm* terdapat potensi sumber daya batuan andesit. Pada daerah penelitian ditemukan andesit yang tersingkap dan ditambang oleh warga sekitar.

4.7 Integrasi Penelitian dengan al-Quran

Sejak ribuan tahun silam telah terdapat jutaan hektar hutan yang menempati area yang sangat luas di muka bumi. Hutan itu lalu terbenam didalam bumi karena gempa bumi dan mengalami proses geologis didalam bumi berupa

pengeringan, pemanasan, dan tekanan yang sangat ekstrim. Proses itu mengubahnya menjadi batubara yang keras dan warnanya berubah dari hijau menjadi hitam (Thayyarah, 2013).

Allah berfirman,

وَالَّذِي ۡ أَخْرَجَ الْمَرْعَىٰ { ٤ } فَجَعَلَهُ ۡ غُثَاۡءً ۡ أَحْوَىٰ { ٥ }

“... yang menumbuhkan rumput-rumputan, lalu dijadikan-Nya rumput-rumputan itu kering kehitam-hitaman.” (Q.S. Al-A’laa (87): 4-5)

Allah menerangkan bahwa Dialah yang menciptakan dan menyempurnakan penciptaan segala makhluk. Allah pula yang menciptakan sesuatu menurut bentuk dan ukuran yang tepat dan seimbang. Disamping itu, Dia menetapkan ketentuan-ketentuan dan hukum-hukum yang berlaku bagi tiap-tiap makhluk-Nya, sehingga dapat hidup berkembang biak, dan menjaga hidupnya masing-masing.

Allah-lah yang menumbuhkan rumput-rumputan yang hijau dan segar untuk makanan binatang dan ternak dan kemudian dijadikan-Nya kering dengan warna kehitam-hitaman. Allah-lah yang menumbuhkan rumput-rumputan dan mengubahnya menjadi kering, bukanlah patung-patung yang disembah oleh orang kafir (Kementrian Agama RI, 2010).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian, pengolahan data serta pemodelan menggunakan metode geomagnetik dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan analisa kualitatif sebaran batubara menerus pada daerah penelitian diperkirakan pada anomali dengan nilai rendah berkisar 20 nT sampai dengan -220 nT.
2. Berdasarkan pada analisa kuantitatif terdapat 3 lapisan (*body*) yaitu: lapisan pertama berwarna biru berupa batubara, batupasir dan batulanau. Lapisan kedua berwarna hijau berupa andesit, batupasir, batulanau. Lapisan ketiga berwarna merah berupa andesit yang bercampur dengan batupasir. Keberadaan batubara teridentifikasi mulai dari kedalaman 0 meter hingga 15 meter.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode yang lain seperti metode elektromagnetik dan diharapkan juga untuk memperluas daerah penelitian agar dapat mengetahui sebaran batubara lebih luas lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- al-Quran al Karim. 2009. *Al-Quran dan terjemahnya*. Jakarta: Departemen Agama.
- Baisa, Ilyas Ghozy. 2007. *Pendugaan Struktur Waduk Magma Kompleks Arjuna Welirang Berdasarkan Anomaly Magnetic*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Bemmelen, R. W. Van . 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol IA, Martinus Nijhof, The Hague
- Blakely, Richard J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. Newyork: Cambridge University Press.
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exploration Geophysics of The Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Diessel, C.F.K. 1986. *On The Colleration of Coal Facies and Depositional Environments; In Preceedings of The Twelfth Symposium on Advances in The Study of Sydney Basin*, Hal 19-22. Newcastle: Department of Geology Newcastle University.
- Diessel, C.F.K. 1992. *Coal Bearing Depositional Systems*, Springer-Verlag, Berlin.
- Fredric, M.C., Moore, T.A, Lin, M.S.W., Dan Langford, R.P,. 1995. *Constraints On Coal Formation I Southeas Kalimantan Indonesia*. Proceeding 6th New Zealand Coal Conference, Hal 137-149.
- Grant, F. S., dan West, Gordon Fox. 1965. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. New York: McGraw-Hill.
- <https://lampukecil.com>. Diakses pada bulan April 2017.
- <https://www.uky.edu/KGS/coal/images/peatcoal.gif.com>. Diakses pada bulan April 2017.
- Hunt C.P., Moskowitz B.M., dan Banerje S.K..1995. *Magnetic Properties of rock and Mineral: A Handbook of Physical Constants*. Minnesota: The American Geophysical Union.

- Hutton, A. And Jones, B., 1995. *Short Course on The Coal Exploration*. Manpower Development Centre For Mines, Bandung.
- Indratmoko P, Nurwidyanto M, Yulianto, T. 2009. *Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY Dengan Metode Magnetik*. Jurnal Fisika FMIPA UNDIP Semarang; 12 (4):153-160.
- Kementrian Agama RI.2010. 2010. *Al- Qur'an dan Tafsirnya Jilid IX*. Jakarta: Lentera Abadi.
- Kementrian Agama RI.2010. 2010. *Al- Qur'an dan Tafsirnya Jilid X*. Jakarta: Lentera Abadi.
- Khoir, Ahmad sibahul. 2018. *Tafsir Sains Tentang Penciptaan Api Dari Pohon Hijau*. Skripsi. Semarang: Universitas Islam Negri Walisongo.
- Kurniati, Asih, Kharisma N., Aulia. 2008. *Buku Panduan Workshop Geofisika*. Malang: Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.
- Milsom, John. 2003. *Field Geophysics Third Edition*. London: John Wiley & Sons Ltd.
- Munadi, Suprajitno. 2003. *Instrumentasi Geofisika*. Depok: Program Study Geofisika Jurusan Fisika Fmipa Universitas Indonesia.
- Nahrowi, T. Y., Suratman, Namida & S. Hidayat. 1978. *Geologi Pegunungan Selatan Jawa Timur*. Dit, Geologi Bandung.
- Nayoan, Arthur Gemas Pradhana, Sammuell, Evan Reystephen, Dan Kurniadi, Fiqih. 2017. *Analisa Potensi Sumber Daya Dan Kebencanaan Geologi Desa Besuki, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur*. Jurnal Teknik Geologi.
- Reynold, J. M., 1997. *An Introduction an Applied and Enviromental Geophysics*. New York: John Wiley & Sons.
- Robinson E.S. 1988. *Basic Exploration Geophysics*. New York: John Wiley & Sons.
- Rosid S. *Geomagnetic Method Lecture Note. Physic Departement*. Depok; FMIPA UI. 2008.

- Samodra, H. dan S. Gafoer. 1990. *Laporan Geologi Lembar Pacitan, Jawa, skala 1:100.000*. Bandung: Pusat penelitian dan Pengembangan Geologi. (Laporan terbuka).
- Santoso, Djoko. 2002. *Diktat Kuliah TG-424 Eksplorasi Energi Panas Bumi*. Jurusan Teknik Geologi. Bandung: ITB.
- Sarkowi, Muh. 2010. *Buku Ajar Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung: Universitas Lampung.
- Sehah, Raharjo, Sukmaji Anom., Chandra, Adi. 2014. *Esitmasi Kedalaman Bitumen Batubara di Desa Banjar Kecamatan Salem Kabupaten Brebes Berdasarkan Anomali Magnetik*. Jurnal aplikasi fisika volume 4 no. 2.
- Serway, Raymond A, And Jewett, John W., 2010. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi 6*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Sharma, P. V., 1997. *Enviromental And Engineering Geophysics*, Cambridge University Press.
- Siahaan, Barita. 2009. *Penentuan Struktur Pada Zona Hidrokarbon Daerah "X" Menggunakan Metode Magnetik*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Srijatno. 1980. *Diktat Kuliah Geofisika Terapan*. Bandung: Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung.
- Sudarsono, A. 2003. *Pengantar Preparasi Dan Pencucian Batubara*. Bandung: ITB.
- Sukandarumidi. 1996. *Batubara Dan Gambut*. Yogyakarta: Gadjamada University Press.
- Sukandarumidi. 2006. *Batubara Dan Manfaatnya*. Yogyakarta: Gadjamada University Press.
- Sutarno. 2003. *Sumber Daya Energi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Telford, W, M, Geldart L,P,. And Sherrif, R,E., Andkeys, D,A,. 1982. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Telford, W.N. Geldard, L.P., dan Sherrif, R.E., and Keys, D.A., 1979, *Applied Geophysics*. New Yourk: Cambridge University Press.
- Thayyarah, Nadiyah. 2013. *Nuku Pintar Sains Dalam Al-QURAN*. Jakarta: Zaman.

Tippler, Paul A., 1996 *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ke 3 Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

Untung, Mohamad. 2001. *Seri Geofisika Dasar-Dasar Magnet Dan Gayaberat Serta Beberapa Penerapannya*. Jakarta: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.

Zaghlul An Najjar. 2007. *Tafsir al Ayat al Kauniyyah Fi al Qur'an al Karim Juz 3*. Maktabah Syuruq al Dauliyah, Kairo-Mesir.





LAMPIRAN

LAMPIRAN

1. PENGOLAHAN DATA HARI PERTAMA

STASIUN	T	X	Y	h(m)	Pembacaan PPM	KOREKSI DIURNAL	IGRF	H TOTAL
base station	28200			31	45343.92		45100	
1	30840	583218.0871	9086128.959	118	44905.64	-21.558327	45100	-172.801673
2	31020	583221.1314	9086119.74	115	44922.44	-23.02821293	45100	-154.5317871
3	31200	583230.2941	9086113.58	113	44923	-24.49809886	45100	-152.5019011
4	31320	583236.406	9086107.426	111	44926.52	-25.47802281	45100	-148.0019772
5	31440	583245.6211	9086128.907	106	44929.8	-26.45794677	45100	-143.7420532
6	31500	583251.7162	9086119.682	107	44942.16	-26.94790875	45100	-130.8920913
7	31620	583257.7698	9086082.816	103	44932.16	-27.9278327	45100	-139.9121673
8	31800	583263.8758	9086073.591	105	44945.96	-29.39771863	45100	-124.6422814
9	31920	583269.9709	9086064.366	102	44967.76	-30.37764259	45100	-101.8623574
10	32040	583276.0828	9086058.212	104	45009.68	-31.35756654	45100	-58.96243346
11	32100	583279.1219	9086052.064	104	44989.76	-31.84752852	45100	-78.39247148
12	32460	583285.2279	9086042.838	101	45008.04	-34.78730038	45100	-57.17269962
13	32580	583312.756	9086039.715	105	45053.28	-35.76722433	45100	-10.95277567
14	32700	583303.57	9086033.59	102	45026.4	-36.74714829	45100	-36.85285171
15	32760	583312.7268	9086024.359	103	44944.6	-37.23711027	45100	-118.1628897
16	33240	583318.8446	9086021.276	105	45062.48	-41.15680608	45100	3.636806084
17	33300	583328.0247	9086024.33	101	44983.92	-41.64676806	45100	-74.43323194
18	33360	583324.9804	9086033.549	104	44987.04	-42.13673004	45100	-70.82326996
19	33600	583315.8178	9086039.709	103	45067	-44.09657795	45100	11.09657795
20	33720	583309.7117	9086048.934	102	45005.92	-45.0765019	45100	-49.0034981
21	33900	583300.5549	9086058.165	100	45003.24	-46.54638783	45100	-50.21361217

22	34140	583291.3864	9086061.254	94	44956.72	-48.50623574	45100	-94.77376426
23	34260	583282.207	9086064.342	96	44958.36	-49.4861597	45100	-92.1538403
24	34380	583269.9825	9086070.508	95	44953.08	-50.46608365	45100	-96.45391635
25	34500	583257.7581	9086076.674	97	44952.76	-51.4460076	45100	-95.7939924
26	34800	583251.6346	9086076.685	98	44927.84	-53.89581749	45100	-118.2641825
27	34860	583239.4101	9086082.851	104	44854.2	-54.38577947	45100	-191.4142205
28	35040	583227.1682	9086079.803	103	44950.8	-55.8556654	45100	-93.3443346
29	35100	583217.9939	9086079.82	106	44932.52	-56.34562738	45100	-111.1343726
30	35160	583181.2798	9086076.819	110	44930.04	-56.83558935	45100	-113.1244106
31	35280	583199.6284	9086076.784	114	44933.12	-57.81551331	45100	-109.0644867
32	35400	583190.4425	9086070.659	118	44924.6	-58.79543726	45100	-116.6045627
33	35580	583181.2623	9086067.605	121	44924.64	-60.26532319	45100	-115.0946768
34	35880	583172.0712	9086064.551	126	44935.16	-62.71513308	45100	-102.1248669
35	36000	583162.9144	9086073.782	125	44924.12	-63.69505703	45100	-112.184943
36	36120	583169.0385	9086079.913	115	44930.04	-64.67498099	45100	-105.285019
37	36240	583181.2915	9086082.961	123	44917.24	-65.65490494	45100	-117.1050951
38	36300	583190.4716	9086086.015	122	44918	-66.14486692	45100	-115.8551331
39	36420	583199.6517	9086089.069	120	44919.28	-67.12479087	45100	-113.5952091
40	36540	583211.8878	9086089.046	115	44925.88	-68.10471483	45100	-106.0152852
41	36600	583217.9997	9086082.892	110	44934.88	-68.59467681	45100	-96.52532319
42	36780	583230.23	9086079.797	105	44940.76	-70.06456274	45100	-89.17543726
43	36840	583242.4544	9086073.632	103	44937.76	-70.55452471	45100	-91.68547529
44	36900	583251.6229	9086070.543	101	44948.68	-71.04448669	45100	-80.27551331
45	36960	583257.7464	9086070.531	95	44950	-71.53444867	45100	-78.46555133
46	37140	583273.0501	9086073.573	89	44956.36	-73.0043346	45100	-70.6356654
47	37200	583288.348	9086073.544	83	44974.36	-73.49429658	45100	-52.14570342

48	37260	583291.3981	9086067.396	84	44992.88	-73.98425856	45100	-33.13574144
49	37500	583297.4932	9086058.171	89	44915.32	-75.94410646	45100	-108.7358935
50	37800	583303.605	9086052.017	86	44995.6	-78.39391635	45100	-26.00608365
51	37920	583312.7618	9086042.786	89	44989.36	-79.3738403	45100	-31.2661597
52	38100	583324.9863	9086036.62	93	45060.36	-80.84372624	45100	41.20372624
53	38280	583306.615	9086030.513	89	45018.9	-82.31361217	45100	1.213612167
54	38400	583331.139	9086051.965	79	44964.4	-83.29353612	45100	-52.30646388
55	38580	583318.9029	9086051.988	79	45046.04	-84.76342205	45100	30.80342205
56	38700	583312.8027	9086064.284	82	45035.2	-85.74334601	45100	20.94334601
57	38760	583306.6966	9086073.51	85	44990.2	-86.23330798	45100	-23.56669202
58	38820	583306.72	9086085.794	90	44998	-86.72326996	45100	-15.27673004
59	38880	583303.6809	9086091.942	93	44956.76	-87.21323194	45100	-56.02676806
60	38940	583300.6366	9086101.162	100	44956.6	-87.70319392	45100	-55.69680608
61	39000	583297.5923	9086110.381	90	44942.8	-88.19315589	45100	-69.00684411
62	39900	583309.8342	9086113.429	100	44942.4	-95.54258555	45100	-62.05741445
63	39960	583312.8785	9086104.21	90	44934.64	-96.03254753	45100	-69.32745247
64	40020	583322.0353	9086094.979	88	44948	-96.52250951	45100	-55.47749049
65	40080	583325.0854	9086088.831	86	44959.44	-97.01247148	45100	-43.54752852
66	40200	583337.3099	9086082.665	79	44945.8	-97.99239544	45100	-56.20760456
67	40260	583343.4451	9086088.796	74	44965.576	-98.48235741	45100	-35.94164259
68	40380	583349.5751	9086097.998	74	44960.6	-99.46228137	45100	-39.93771863
69	40440	583358.7663	9086101.051	82	44983.16	-99.95224335	45100	-16.88775665
70	40500	583358.7838	9086110.265	81	44944.8	-100.4422053	45100	-54.75779468
71	40560	583361.8521	9086119.473	76	44928.4	-100.9321673	45100	-70.6678327
72	40680	583358.813	9086125.621	72	44858.96	-101.9120913	45100	-139.1279087
73	41880	583371.0783	9086140.954	84	44874.76	-111.7113308	45100	-113.5286692

74	41940	583361.9104	9086150.185	88	44950.2	-112.2012928	45100	-37.59870722
75	42000	583353.2729	9086156.344	90	44977.76	-112.6912548	45100	-9.548745247
76	42120	583349.7268	9086177.848	88	44901.28	-113.6711787	45100	-85.04882129
77	42240	583346.6644	9086171.712	85	44896.16	-114.6511027	45100	-89.18889734
78	42300	583346.6469	9086162.498	86	44868.82	-115.1410646	45100	-116.0389354
79	42420	583343.5734	9086156.362	86	44927.2	-116.1209886	45100	-56.67901141
80	42480	583337.4265	9086144.089	87	44858.72	-116.6109506	45100	-124.6690494
81	42600	583340.465	9086131.798	85	44800.48	-117.5908745	45100	-181.9291255
82	42720	583334.3239	9086122.596	88	44904.44	-118.5707985	45100	-76.98920152
83	42900	583334.3064	9086113.383	88	44919	-120.0406844	45100	-60.95931559
84	43080	583340.4183	9086107.229	92	44928.96	-121.5105703	45100	-49.52942966
85	43140	583334.2773	9086098.027	92	44929.12	-122.0005323	45100	-48.87946768
86	43920	583334.2539	9086085.742	88	44850.64	-128.370038	45100	-120.989962
87	44040	583340.535	9086168.652	78	44851.76	-129.349962	45100	-118.890038
88	44100	583331.3723	9086174.812	82	44896.6	-129.839924	45100	-73.56007605
89	44160	583319.1479	9086180.978	83	44824.76	-130.3298859	45100	-144.9101141
90	44220	583313.0302	9086184.061	83	44693.8	-130.8198479	45100	-275.3801521
91	44340	583309.9859	9086193.28	84	44682.44	-131.7997719	45100	-285.7602281
92	44400	583300.829	9086202.511	86	44827.32	-132.2897338	45100	-140.3902662
93	44580	583303.9083	9086211.719	89	44878.12	-133.7596198	45100	-88.12038023
94	44640	583303.9316	9086224.003	96	44858	-134.2495817	45100	-107.7504183
95	44700	583313.106	9086223.986	96	44793.4	-134.7395437	45100	-171.8604563
96	44760	583303.9375	9086227.075	96	44787.4	-135.2295057	45100	-177.3704943
97	44820	583331.4657	9086223.951	99	44793.4	-135.7194677	45100	-170.8805323
98	44880	583343.7018	9086223.928	97	44781.88	-136.2094297	45100	-181.9105703
99	44940	583352.8761	9086223.91	95	44813.28	-136.6993916	45100	-150.0206084

100	45000	583349.8085	9086220.845	97	44754.4	-137.1893536	45100	-208.4106464
101	45600	583374.2918	9086220.798	92	44774.4	-142.0889734	45100	-183.5110266
102	46020	583380.3927	9086214.645	89	44777.72	-145.5187072	45100	-176.7612928
103	46080	583392.6346	9086217.692	83	44812	-146.0086692	45100	-141.9913308
104	46200	583401.8083	9086211.533	79	44807.4	-146.9885932	45100	-145.6114068
105	46260	583395.6731	9086205.402	80	44791.4	-147.4785551	45100	-161.1214449
106	46320	583386.5104	9086211.562	84	44772.6	-147.9685171	45100	-179.4314829
107	46440	583383.4661	9086220.781	83	44760.6	-148.9484411	45100	-190.4515589
108	46560	583374.3093	9086230.012	78	44779.8	-149.928365	45100	-170.271635
109	46560	583365.1239	9086230.029	84	44806	-149.928365	45100	-144.071635
110	46740	583355.9554	9086233.118	84	44840.36	-151.398251	45100	-108.241749
111	46800	583343.7251	9086236.213	84	44654.72	-151.8882129	45100	-293.3917871
112	46860	583337.5841	9086227.011	84	44749.12	-152.3781749	45100	-198.5018251
113	47040	583325.3479	9086227.034	88	44695.2	-153.8480608	45100	-250.9519392
114	47100	583316.1561	9086217.838	91	44681.68	-154.3380228	45100	-263.9819772
115	47220	583316.1328	9086205.553	92	44680.4	-155.3179468	45100	-264.2820532
116	47280	583328.4097	9086227.028	91	44699.4	-155.8079087	45100	-244.7920913
117	47340	583340.6167	9086211.649	90	44725.28	-156.2978707	45100	-218.4221293
118	47400	583349.7969	9086214.703	89	44725.84	-156.7878327	45100	-217.3721673
119	47580	583358.9705	9086208.543	88	44759.6	-158.2577186	45100	-182.1422814
120	47640	583365.0831	9086208.531	86	44815	-158.7476806	45100	-126.2523194
121	47700	583371.1833	9086196.235	83	44842.84	-159.2376426	45100	-97.92235741
122	47760	583380.3401	9086187.004	82	44813.88	-159.7276046	45100	-126.3923954
123	51600	583383.3903	9086180.856	77	44945.7	-191.0851711	45100	36.7851711
124	51780	583389.4853	9086171.631	76	44806.96	-192.555057	45100	-100.484943
125	51900	583383.326	9086147.073	88	44849.8	-193.534981	45100	-56.66501901

126	52020	583377.1791	9086134.8	87	44922.56	-194.5149049	45100	17.07490494
127	52140	583383.291	9086128.646	85	44954.4	-195.4948289	45100	49.8948289
128	52200	583383.2735	9086119.432	86	44884.64	-195.9847909	45100	-19.37520913
129	52260	583380.1884	9086107.153	90	44892.6	-196.4747529	45100	-10.92524715
130	52320	583377.1091	9086097.945	90	44853.68	-196.9647148	45100	-49.35528517
131	52380	583386.3119	9086107.141	87	44906.8	-197.4546768	45100	4.254676806
132	52500	583392.4362	9086113.272	84	44848	-198.4346008	45100	-53.56539924
133	52620	583389.4094	9086131.705	85	45021.88	-199.4145247	45100	121.2945247
134	52740	583389.4211	9086137.847	84	44917.32	-200.3944487	45100	17.71444867
135	52800	583389.4444	9086150.132	80	44861	-200.8844106	45100	-38.11558935
136	52860	583398.6239	9086147.044	77	44860.64	-201.3743726	45100	-37.98562738
137	52980	583398.6006	9086134.759	80	44873.8	-202.3542966	45100	-23.84570342
138	53100	583404.6956	9086125.534	79	44894.32	-203.3342205	45100	-2.345779468
139	53100	583407.7399	9086116.314	81	44849.4	-203.3342205	45100	-47.26577947
140	53160	583410.79	9086110.166	79	44889.36	-203.8241825	45100	-6.81581749
141	53220	583423.0202	9086107.072	77	44909.8	-204.3141445	45100	14.11414449
142	53340	583426.0937	9086113.208	78	44938.6	-205.2940684	45100	43.89406844
143	53400	583426.1171	9086125.493	77	45012.44	-205.7840304	45100	118.2240304
144	53580	583435.3089	9086134.689	74	44871.32	-207.2539163	45100	-21.42608365
145	54180	583438.3941	9086146.968	74	44877.8	-212.1535361	45100	-10.04646388
146	54300	583441.4675	9086153.104	82	44945.56	-213.1334601	45100	58.69346008
147	54420	583450.6535	9086159.229	80	44842.8	-214.113384	45100	-43.08661597
148	54480	583450.6711	9086168.443	79	44869.4	-214.603346	45100	-15.99665399
149	54600	583456.7771	9086159.218	78	44869.4	-215.58327	45100	-15.01673004
150	54720	583462.913	9086171.491	84	44917.8	-216.5631939	45100	34.36319392
151	54900	583465.9923	9086180.699	82	44786.76	-218.0330798	45100	-95.20692015

152	55080	583456.7537	9086146.933	77	44909.36	-219.5029658	45100	28.86296578
153	55200	583450.6185	9086140.802	71	44891.48	-220.4828897	45100	11.96288973
154	55260	583447.5392	9086131.595	71	44892.48	-220.9728517	45100	13.45285171
155	55320	583444.4657	9086125.458	75	44893.96	-221.4628137	45100	15.42281369
156	55440	583438.359	9086128.541	77	44861	-222.4427376	45100	-16.55726236
157	55560	583435.2563	9086107.048	81	44911.2	-223.4226616	45100	34.6226616
158	55740	583432.1829	9086100.912	79	44875	-224.8925475	45100	-0.107452471
159	55800	583426.082	9086107.066	78	44836	-225.3825095	45100	-38.61749049
base station	59760			31	45086.2	-257.72	45100	

2. PENGOLAHAN DATA HARI KEDUA

STASIUN	T	X	Y	h (m)	Pembacaan PPM	KOREKSI DIURNAL	IGRF	H TOTAL
base station	28560				45315.12		45100	
1	30540	583441.4149	9086125.464	74	44909.98	-0.142835821	45100	-189.8771642
2	30660	583435.2797	9086119.333	74	44742.7	-0.151492537	45100	-357.1485075
3	30720	583435.2622	9086110.12	74	44854.56	-0.155820896	45100	-245.2841791
4	30840	583429.1964	9086134.701	72	44925.92	-0.164477612	45100	-173.9155224
5	31020	583426.0587	9086094.781	75	44962.68	-0.177462687	45100	-137.1425373
6	31080	583416.8558	9086085.585	76	44956.04	-0.181791045	45100	-143.778209
7	31140	583416.8383	9086076.372	78	44963.44	-0.186119403	45100	-136.3738806
8	31200	583413.77	9086067.164	79	44995	-0.190447761	45100	-104.8095522
9	31380	583407.6289	9086057.962	78	45046.2	-0.203432836	45100	-53.59656716
10	31500	583407.6114	9086048.748	81	44993.36	-0.212089552	45100	-106.4279104
11	31620	583401.4814	9086039.546	91	45007.36	-0.220746269	45100	-92.41925373
12	31680	583398.4196	9086039.552	105	45017.52	-0.225074627	45100	-82.25492537
13	31860	583404.5204	9086033.398	101	45033.24	-0.238059701	45100	-66.5219403
14	32400	583444.419	9086100.889	81	44971.32	-0.277014925	45100	-128.4029851
15	32460	583441.3448	9086088.61	79	44971.96	-0.281343284	45100	-127.7586567
16	32520	583435.1979	9086076.337	77	45001.16	-0.285671642	45100	-98.55432836
17	32580	583435.1862	9086070.194	75	44980.84	-0.29	45100	-118.87
18	32700	583429.0562	9086060.992	77	44989.36	-0.298656716	45100	-110.3413433
19	32880	583450.4607	9086057.88	71	44972.6	-0.311641791	45100	-127.0883582
20	32940	583450.4783	9086067.094	74	44988.48	-0.315970149	45100	-111.2040299
21	33120	583459.6701	9086076.29	75	44973.16	-0.328955224	45100	-126.5110448
22	33240	583468.8554	9086076.273	66	44934.2	-0.33761194	45100	-165.4623881

23	33300	583468.8554	9086076.273	67	44987.12	-0.341940299	45100	-112.5380597
24	33420	583465.8287	9086094.705	69	45015.96	-0.350597015	45100	-83.68940299
25	33540	583459.7227	9086103.931	68	44917.68	-0.359253731	45100	-181.9607463
26	33660	583450.5717	9086116.233	65	44915.84	-0.367910448	45100	-183.7920896
27	33780	583462.802	9086113.138	70	44883.76	-0.376567164	45100	-215.8634328
28	33900	583475.0381	9086113.115	68	44913.16	-0.385223881	45100	-186.4547761
29	34020	583484.2293	9086116.169	69	44953.56	-0.393880597	45100	-146.0461194
30	34140	583487.2917	9086122.305	72	44903.28	-0.402537313	45100	-196.3174627
31	34440	583496.4888	9086128.43	72	44883.98	-0.424179104	45100	-215.5958209
32	33360	583496.5063	9086137.644	72	44964.56	-0.346268657	45100	-135.0937313
33	34680	583508.7541	9086143.763	72	44960.44	-0.441492537	45100	-139.1185075
34	34800	583514.8784	9086149.894	74	44944.92	-0.450149254	45100	-154.6298507
35	34920	583524.0695	9086152.947	75	44922.08	-0.45880597	45100	-177.461194
36	35100	583530.1996	9086162.149	75	44929.08	-0.471791045	45100	-170.448209
37	35220	583539.3908	9086165.203	79	44923.84	-0.480447761	45100	-175.6795522
38	35400	583542.4533	9086171.34	80	44767.24	-0.493432836	45100	-332.2665672
39	35520	583545.5326	9086180.547	84	44769.76	-0.502089552	45100	-329.7379104
40	35640	583551.6445	9086174.393	85	44859.6	-0.510746269	45100	-239.8892537
41	35760	583542.4416	9086165.197	82	44855.4	-0.519402985	45100	-244.080597
42	35880	583542.4241	9086155.984	82	44868.36	-0.528059701	45100	-231.1119403
43	36000	583542.3948	9086140.628	83	44875.12	-0.536716418	45100	-224.3432836
44	36060	583539.2914	9086112.993	79	44845.56	-0.541044776	45100	-253.8989552
45	36120	583536.253	9086125.283	80	44906.56	-0.545373134	45100	-192.8946269
46	36240	583533.1679	9086113.004	79	44938.76	-0.554029851	45100	-160.6859701
47	36420	583536.2121	9086103.785	76	44929.06	-0.567014925	45100	-170.3729851
48	36480	583536.1887	9086091.5	72	44953.96	-0.571343284	45100	-145.4686567

49	36660	583533.1094	9086082.293	70	44959.32	-0.584328358	45100	-140.0956716
50	36780	583536.1595	9086076.144	69	45008.72	-0.592985075	45100	-90.68701493
51	37020	583533.0801	9086066.937	63	44951.84	-0.610298507	45100	-147.5497015
52	37140	583530.0008	9086057.729	64	45038.84	-0.618955224	45100	-60.54104478
53	37440	583529.9774	9086045.444	62	45012.96	-0.640597015	45100	-86.39940299
54	37500	583526.8981	9086036.236	60	44953.4	-0.644925373	45100	-145.9550746
55	38700	583539.1159	9086020.857	70	45082.24	-0.731492537	45100	-17.02850746
56	38760	583529.9306	9086020.875	71	45038.96	-0.735820896	45100	-60.3041791
57	38820	583517.7004	9086023.969	72	44967	-0.740149254	45100	-132.2598507
58	38880	583505.4585	9086020.921	65	44984.68	-0.744477612	45100	-114.5755224
59	38940	583496.29	9086024.01	68	45032.88	-0.74880597	45100	-66.37119403
60	39060	583487.1105	9086027.099	73	44992.24	-0.757462687	45100	-107.0025373
61	39180	583481.0039	9086030.181	86	44999.84	-0.766119403	45100	-99.3938806
62	39240	583474.892	9086036.335	84	44971.2	-0.770447761	45100	-128.0295522
63	39360	583468.7911	9086042.489	87	44959.44	-0.779104478	45100	-139.7808955
64	39420	583465.7469	9086051.709	91	44997.76	-0.783432836	45100	-101.4565672
65	39480	583459.635	9086057.863	91	44994.7	-0.787761194	45100	-104.5122388
66	40500	583364.943	9086134.823	79	44934.76	-0.861343284	45100	-164.3786567
67	40560	583355.7745	9086137.911	79	44828.52	-0.865671642	45100	-270.6143284
68	40620	583349.6451	9086134.852	79	44883.76	-0.87	45100	-215.37
69	40740	583334.3473	9086134.881	77	44893.8	-0.878656716	45100	-205.3213433
70	40800	583322.1228	9086141.047	78	44892.52	-0.882985075	45100	-206.5970149
71	40860	583316.0278	9086150.272	78	44898.12	-0.887313433	45100	-200.9926866
72	40920	583312.9718	9086153.349	87	44881.88	-0.891641791	45100	-217.2283582
73	41280	583303.8033	9086156.437	76	44842.128	-0.91761194	45100	-256.9543881
74	41340	583294.6331	9086164.44	76	44815.28	-0.921940299	45100	-283.7980597

75	41460	583285.4728	9086171.828	76	44841.6	-0.930597015	45100	-257.469403
76	41520	583279.9835	9086181.052	79	44839.88	-0.934925373	45100	-259.1850746
77	41580	583267.1271	9086179.234	78	44827.36	-0.939253731	45100	-271.7007463
78	41640	583259.7886	9086177.405	78	44883	-0.94358209	45100	-216.0564179
79	45360	583547.6864	9086027.598	55	45141.72	-1.211940299	45100	42.9319403
80	45420	583556.8682	9086025.737	55	45087.24	-1.216268657	45100	-11.54373134
81	45480	583566.046	9086027.563	52	45120.84	-1.220597015	45100	22.06059701
82	45540	583577.0631	9086029.384	49	45132.16	-1.224925373	45100	33.38492537
83	45600	583584.4021	9086025.685	45	45118.24	-1.229253731	45100	19.46925373
84	45660	583593.5659	9086020.139	49	45164.28	-1.23358209	45100	65.51358209
85	45660	583606.4187	9086020.115	52	45140.32	-1.23358209	45100	41.55358209
86	45720	583617.4393	9086023.779	51	45128.36	-1.237910448	45100	29.59791045
87	45780	583626.6136	9086023.762	55	45124.92	-1.242238806	45100	26.16223881
88	45900	583635.7914	9086025.587	53	45157.28	-1.250895522	45100	58.53089552
89	45960	583643.1375	9086025.573	55	45139.76	-1.255223881	45100	41.01522388
90	46020	583655.9903	9086025.548	53	45115.84	-1.259552239	45100	17.09955224
91	46080	583657.8362	9086034.758	53	45106.32	-1.263880597	45100	7.583880597
92	46200	583670.6996	9086040.262	59	45101.04	-1.272537313	45100	2.312537313
93	46200	583676.2169	9086045.78	55	45059.56	-1.272537313	45100	-39.16746269
94	46320	583685.4053	9086053.133	56	44950.8	-1.28119403	45100	-147.918806
95	46440	583681.7553	9086062.354	63	45091.04	-1.289850746	45100	-7.670149254
96	46500	583687.2797	9086071.557	62	45216.68	-1.294179104	45100	117.9741791
97	46560	583696.4716	9086080.753	64	45169.92	-1.298507463	45100	71.21850746
98	46620	583701.9889	9086086.27	69	45162.28	-1.302835821	45100	63.58283582
99	46680	583702.0065	9086095.484	67	45147.36	-1.307164179	45100	48.66716418
100	46740	583705.7026	9086104.69	66	45154.9	-1.311492537	45100	56.21149254

101	46860	583696.5173	9086104.708	57	45193.16	-1.320149254	45100	94.48014925
102	46920	583692.8357	9086097.344	66	45221.28	-1.324477612	45100	122.6044776
103	46980	583689.1471	9086086.295	61	45148.8	-1.32880597	45100	50.12880597
104	47220	583689.0592	9086040.227	62	45070	-1.346119403	45100	-28.6538806
105	47460	583690.8734	9086032.853	62	45096.52	-1.363432836	45100	-2.116567164
106	47580	583689.0205	9086019.957	61	45072.88	-1.372089552	45100	-25.74791045
107	47640	583683.4926	9086008.911	60	45099.44	-1.37641791	45100	0.81641791
108	47760	583677.9718	9086001.551	61	45129.2	-1.385074627	45100	30.58507463
109	47880	583672.458	9085997.876	59	45131.56	-1.393731343	45100	32.95373134
110	48060	583674.2616	9085984.974	60	45080.12	-1.406716418	45100	-18.47328358
111	48120	583683.4575	9085990.484	62	45102.76	-1.411044776	45100	4.171044776
112	48240	583690.8031	9085995.998	64	45133.64	-1.419701493	45100	35.05970149
113	48540	583701.8307	9086003.348	64	45072.24	-1.441343284	45100	-26.31865672
114	48660	583700.02	9086012.565	65	45051	-1.45	45100	-47.55
115	48720	583707.341	9086005.181	61	45062.68	-1.454328358	45100	-35.86567164
116	48840	583701.8202	9085997.82	59	45095.36	-1.462985075	45100	-3.177014925
117	49080	583694.4711	9085990.463	58	45127.28	-1.480298507	45100	28.76029851
118	49140	583694.4535	9085981.25	61	45155.36	-1.484626866	45100	56.84462687
119	49260	583692.6001	9085973.882	60	45168.2	-1.493283582	45100	69.69328358
120	49320	583701.7815	9085977.55	62	45139.76	-1.49761194	45100	41.25761194
121	49380	583712.795	9085977.529	61	45094.88	-1.501940299	45100	-3.618059701
122	49440	583721.9733	9085973.826	62	45113.52	-1.506268657	45100	15.02626866
123	49560	583729.2908	9085964.599	58	45130.48	-1.514925373	45100	31.99492537
124	49620	583729.2802	9085959.071	55	45135.84	-1.519253731	45100	37.35925373
125	49680	583718.2667	9085959.092	53	45125.34	-1.52358209	45100	26.86358209
126	49740	583710.9281	9085957.263	57	45077.82	-1.527910448	45100	-20.65208955

127	49920	583699.911	9085955.441	60	45064.32	-1.540895522	45100	-34.13910448
128	50040	583703.5645	9085948.063	60	45108.48	-1.549552239	45100	10.02955224
129	50100	583710.9105	9085948.049	57	45127.28	-1.553880597	45100	28.8338806
130	51840	583663.3219	9086023.692	79	45116.32	-1.679402985	45100	17.99940299
131	51900	583676.1571	9086014.454	59	45075.48	-1.683731343	45100	-22.83626866
132	51960	583725.6514	9085979.347	53	45070.28	-1.688059701	45100	-28.0319403
133	52140	583733.008	9085984.862	56	45075.44	-1.701044776	45100	-22.85895522
134	52200	583738.5324	9085994.065	56	45048	-1.705373134	45100	-50.29462687
135	52260	583744.0638	9086006.953	59	44917.92	-1.709701493	45100	-180.3702985
136	52320	583756.8071	9085955.333	52	45004.32	-1.714029851	45100	-93.96597015
137	52620	583766.0029	9085960.843	50	45109.08	-1.735671642	45100	10.81567164
138	52740	583773.3309	9085957.144	50	45076.84	-1.744328358	45100	-21.41567164
139	52800	583780.6629	9085949.759	49	45214.76	-1.748656716	45100	116.5086567
140	52860	583780.6453	9085940.545	49	45102.8	-1.752985075	45100	4.552985075
141	52980	583775.1209	9085931.342	38	45116.36	-1.761641791	45100	18.12164179
142	53100	583764.0933	9085923.993	38	45133.72	-1.770298507	45100	35.49029851
143	53220	583806.3047	9085922.069	39	44905.04	-1.778955224	45100	-193.1810448
144	53280	583749.4228	9085929.549	38	45102.84	-1.783283582	45100	4.623283582
145	53760	583738.3776	9085912.985	46	45062.36	-1.817910448	45100	-35.82208955
146	53820	583734.7166	9085922.206	45	45095.04	-1.822238806	45100	-3.137761194
147	53940	583732.906	9085931.423	45	45062.76	-1.830895522	45100	-35.40910448
148	56400	583732.9236	9085940.637	44	45120.48	-2.008358209	45100	22.48835821
149	56460	583749.4439	9085940.605	42	45135.12	-2.012686567	45100	37.13268657
150	56940	583767.789	9085938.727	44	45128.8	-2.047313433	45100	30.84731343
151	60720				45131.56			



**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 : SulfiHudayaMughtar
NIM : 13640005
Fakultas/ Jurusan : SainsdanTeknologi/ Fisika
JudulSkripsi : PenerapanMetodeGeomagnetikuntukIdentifikasiSebaran
Batubara Daerah
KlatakKecamatanBesukiKabupatenTulungagung
Pembimbing I : Irjan, M.Si
Pembimbing II : UmayyatusSyarifah, M. A

NO	TANGGAL	MATERI	TANDA TANGAN
1	20April 2017	Konsultasi Bab I, dan II	
2	01 Mei 2017	Konsultasi Bab III	
3	01November 2017	KonsultasiPegolahan Data	
4	05 Sepember 2018	KonsultasiPembahasan Bab IV	
5	19Oktober 2018	KonsultasiKajian Al-Quran, Bab I, II dan IV	
6	02 November 2018	Konsultasi Bab IV dan V	
7	02 November 2018	Konsultasikajian agama danAcc	
8	07 Desember 2018	Konsultasisemua Bab, AbstrakdanAcc	

Malang, 07 November 2018
Mengetahui,
KetuaJurusanFisika

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