



**INTERPRETASI DATA MAGNETIK UNTUK
MENGETAHUI POLA SEBARAN BATUAN FOSFAT
DI SEKITAR GUA LOWO TAMBAKROMO
KABUPATEN PATI**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Oleh

Kristian Dwi Wahyuni

4211411048

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2015

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 18 September 2015



Kristian Dwi Wahyuni

4211411048

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Interpretasi Data Magnetik Untuk Mengetahui Pola Sebaran Batuan Fosfat
Di Sekitar Gua Lowo Tambakromo Kabupaten Pati

disusun oleh

Kristian Dwi Wahyuni

4211411048

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada
tanggal

Panitia:

Ketua

Sekretaris



Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
NIP. 196310121988031001

Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP. 196306101989011002

Ketua Penguji

Dr. Agus Yulianto, M.Si.
NIP. 196607051990031002

Anggota Penguji/
Pembimbing I

Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP. 196505181991021001

Anggota Penguji/
Pembimbing II

Dr. Ian Yulianti, S.Si. M. Eng
NIP. 197707012005012001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

Semua yang kamu lakukan hari ini akan menentukan bagaimana kamu dimasa depan, buatlah masa depan mu berterimakasih dengan apa yang kamu lakukan hari ini (Penulis).

Semua orang tidak perlu menjadi malu karena pernah berbuat kesalahan, selama ia menjadi lebih bijaksana daripada sebelumnya (Alexander Pope).

Musuh yang paling berbahaya di atas dunia ini adalah penakut dan bimbang.

Teman yang paling setia, hanyalah keberanian dan keyakinan yang teguh

(Andrew Jackson).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Persembahan

Bapak Sundoyo, Ibu Sri Murtini, Mas Muchtar Wahyudi, Kharisma, Mba Ida beserta dedek Zafira.

Sahabat dan teman seperjuangan (Dika, Tyas, Ima, Noni, Dewi, Astrid, Uzi dan Azka).

Para penghuni Kost (Ayu L, Ayu R, Anies, Dwi, Nurul, Yani).

Pasukan Fisika murni 2011 dan KSGF Unnes.
Almamaterku.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “*Interpretasi Data Magnetik Untuk Identifikasi Fosfat Di Sekitar Gua Lowo Tambakromo Kabupaten Pati*”. Skripsi ini disusun dalam rangka menyelesaikan studi strata satu untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

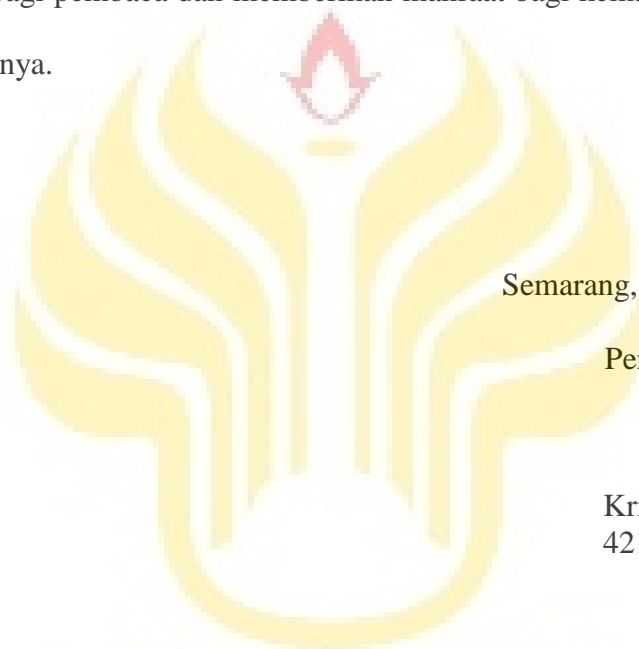
Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan berhasil tanpa bimbingan, motivasi dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kesempatan untuk menempuh studi di UNNES.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin melakukan penelitian.
3. Ketua Jurusan Fisika dan ketua Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kemudahan administrasi.
4. Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. dan Dr.Ian Yulianti, S.Si. M. Eng, Dosen Pembimbing Skripsi penulis yang dengan kesabaran telah banyak memberikan bimbingan, nasehat, saran dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Dr. Agus Yulianto, M.Si. selaku Dosen Penguji atas saran dan masukan yang diberikan dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Segenap Bapak dan Ibu Dosen, kepala laboratorium, teknisi laboratorium, dan staf Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
7. Bapak Sundoyo, Ibu Sri Murtini dan Dek Kharisma tercinta yang telah memberikan doa, dukungan, dan kesempatan bagi penulis untuk menuntut ilmu.
8. Mas Muchtar Wahyudi, Mba Ida dan Dedek Zafira yang selalu memberikan semangat, keceriaan dan motivasi.
9. Sahabat-sahabat penulis yang telah memberikan motivasi (Ima, Noni, Dewi, Azka, Uzy, Dika, Dewi, Astrid, Widi, Retno, Rifki, Naufal, Rafi, Elly, Rendra, Taufik).
10. Teman-teman Fisika angkatan 2011, terima kasih atas kerja sama dan kebersamaanya selama 4 tahun ini, semoga kekeluargaan ini tetap terjaga selamanya.
11. KSGF UNNES yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi dan memberikan motivasi (Mas Pradana, Mas Syaiful, Mas Farid).
12. Keluarga besar Kost Mutiara (Anis, Nurul, Yani, Dwi, Ela, Inggrit, Bitu, Yuti, Rizkia) dan Kost Pak Hendra yang telah banyak memberikan dukungan dan semangatnya.
13. Bapak Suko, Ibu Jamasri, Irfan dan Almira yang telah memberikan izin, bantuan dan dukungannya untuk penyelesaian penelitian ini.

14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, semoga Allah SWT membalas kebaikan Saudara dengan hal yang lebih baik.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna dengan banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan memberikan manfaat bagi kemajuan penelitian dan riset selanjutnya.



Semarang, 19 September 2015

Penulis

Kristian Dwi Wahyuni
4211411048

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ABSTRAK

Wahyuni, K. D. 2015. *Interpretasi Data Magnetik Untuk Mengetahui Pola Sebaran Batuan Fosfat Di Sekitar Gua Lowo, Tambakromo Kabupaten Pati*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. dan Pembimbing II, Dr. Ian Yulianti, S.Si. M. Eng.

Kata kunci: metode magnetik, suseptibilitas magnetik, batuan fosfat, Pati

Abstrak. Kelangkaan fosfat yang sejak tahun 2006 terjadi adalah penyebab melonjaknya harga pupuk. Akibatnya banyak kegiatan eksplorasi fosfat yang dilakukan di sekitar Gua Lowo yang justru merusak ekosistem gua. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pola sebaran deposit fosfat yang berada di luar gua agar ekosistem gua tetap terjaga. Pengambilan data dilakukan di daerah yang berada di sekitar Gua Lowo dengan luasan $200 \text{ m} \times 150 \text{ m}$ dan terdiri dari 183 titik. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Proton Precession Magnetometer* (PPM), *Global Positioning System* (GPS), dan kompas geologi. Pengolahan data dimulai dengan koreksi variasi harian & IGRF untuk mendapatkan anomali medan magnet total. Setelah mendapat nilai anomali medan magnet total, data kemudian diolah dengan reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas untuk memisahkan anomali lokal dan regional pada ketinggian 8 m dengan bantuan *software Magpick*. Hasil interpretasi kualitatif menunjukkan adanya anomali magnetik di sebelah barat yang membentang dari arah utara ke selatan sebesar -75 nT hingga -150 nT . Pemodelan dengan *software Mag2dc* digunakan untuk interpretasi kuantitatif. Model geologi yang dihasilkan terdiri dari tiga lapisan batuan. Lapisan batuan pertama diperkirakan sebagai endapan kalsit dengan nilai suseptibilitas -0.01 dalam satuan SI, lapisan kedua diduga sebagai deposit fosfat dengan nilai suseptibilitas 0.30 dalam satuan SI dan lapisan ketiga diperkirakan sebagai lempung dengan nilai suseptibilitas 0.20 dalam satuan SI. Terdapat dua pola sebaran dugaan deposit fosfat, yang pertama bentuknya memusat berada di kedalaman 2.5 m hingga 5 m dan yang kedua memanjang di kedalaman 3 m hingga 12 m .

ABSTRACT

Wahyuni, K. D. 2015. *Interpretasi Data Magnetik Untuk Mengetahui Pola Sebaran Batuan Fosfat Di Sekitar Gua Lowo, Tambakromo Kabupaten Pati*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. dan Pembimbing II, Dr. Ian Yulianti, S.Si. M. Eng.

Keyword: method of magnetic, magnetic susceptibility, rock phosphate, Pati

Abstract. Scarcity of phosphate since 2006 occurred was the cause of the soaring price of fertilizer. As a result many phosphate exploration activities conducted around the Cave Lowo which would damage the ecosystem of the cave. Therefore, research needs to be done to find out the pattern of the distribution of phosphate deposits located outside the cave so that the ecosystem of the cave awake . Data was collected in an area around the Cave Lowo with an area of 200 m × 150 m and consists of 183 points. Measurements were made using Proton Precession Magnetometer (PPM), Global Positioning System (GPS), and geological compass. Data processing begins with a daily variation correction & IGRF to obtain the total magnetic field anomalies. After obtaining the value of the total magnetic field anomalies, the data is then processed with the reduction to the pole and continuation up to separate local and regional anomalies at a height of 8 m with the help of software Magpick. The results of the qualitative interpretation of magnetic anomalies indicate in the West that extended from the North to the South of 75 nT until nT-150. Mag2dc modeling software used for quantitative interpretation. The resulting geological model consists of three layers of rock. The first rock layer is estimated as calcite deposits with a value of -0.01 susceptibility in SI units, the second alleged rock phosphate deposits with a value of suseptibilitas 0.30 in SI units, and the third layer of clay with a value estimated sebgai 0.20 susceptibility in SI units. There are two patterns of spread of the alleged deposits of phosphate, the first of its form concentrates was at a depth of 2.5 m to 3 m and the second extends the depth of 3 m to 12 m.

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5

1.5	Manfaat Penelitian	5
1.6	Sistematika Skripsi	6
BAB II LANDASAN TEORI		7
2.1	Geologi Daerah Penelitian	7
2.2	Batuan Fosfat	11
2.2.1	Definisi Fosfat	11
2.2.2	Deposit Dan Penyebaran Fosfat di Indonesia.....	14
2.3	Teori Dasar Metode Magnetik.....	15
2.3.1	Gaya Magnetik.....	15
2.3.2	Kuat Medan Magnet	16
2.3.3	Momen Magnetik.....	16
2.3.4	Intensitas Magnetik.....	16
2.3.5	Induksi Magnetik	17
2.3.6	Kemagnetan Bumi	17
2.3.7	Komponen Medan Magnet	18
2.4	IGRF	21
2.5	Suseptibilitas Batuan	23
2.6	Metode Magnetik.....	28

2.6.1 Konsep Metode Magnetik.....	28
2.6.2 Koreksi Data Magnetik.....	29
BAB III METODE PENELITIAN.....	34
3.1 Tahapan Awal.....	35
3.1.1 Studi Literatur.....	35
3.1.2 Survei Lokasi.....	36
3.1.3 Surat Izin Penelitian.....	36
3.1.4 Persiapan Alat.....	36
3.2 Tahapan Pelaksanaan.....	36
3.2.1 Desain Survei.....	36
3.2.2 Pengukuran Lapangan.....	37
3.2.3 Peralatan Yang Digunakan.....	38
3.2.4 Langkah Pengambilan Data.....	40
3.2.5 Pengukuran Lapangan.....	37
3.3 Tahapan Akhir.....	41
3.3.1 Pengolahan Data.....	41
3.3.2 Interpretasi Data.....	42

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Intensitas Medan Magnet Total	44
4.2 Anomali Medan Magnet Total.....	46
4.3 Kontinuasi Ke Atas.....	48
4.4 Reduksi Ke Kutub	50
4.5 Analisis Deposit Fosfat.....	52
4.5.1 Interpretasi Kualitatif.....	52
4.5.2 Interpretasi Kuantitatif.....	54
BAB V PENUTUP	59
5.1 Simpulan	59
5.1 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	63



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Deposit Fosfat Alam di Indonesia	14
Tabel 2. Nilai suseptibilitas Magnetik Batuan	27
Tabel 3. Form Untuk Mencatat Hasil Pengukuran	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Rembang Jawa	9
Gambar 2.2 Peta Geologi Daerah Penelitian	10
Gambar 2.3 Lokasi Gua Lowo	10
Gambar 2.4 Elemen Magnetik Bumi	19
Gambar 2.5 Garis Gaya Magnet	20
Gambar 2.6 Anomali Magnetik Sebelum dan sesudah Reduksi	30
Gambar 2.7 Kontinuasi ke Atas Dari Permukaan Horisontal	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3.2 Desain Survei	37
Gambar 3.3 <i>Proton Pcession Magnetometers</i>	39
Gambar 3.4 GPS map 60 CSx	39
Gambar 4.1 Titik Pengukuran Di Daerah Penelitian	44
Gambar 4.2 Peta Kontur Intensitas Medan Magnetik	45
Gambar 4.3 Peta Kontur Anomali Magnetik Total	47
Gambar 4.4 Peta Kontur Anomali Lokal	48
Gambar 4.5 Peta Kontur Anomali Regional	49
Gambar 4.6 Peta Kontur Reduksi Ke Kutub	51
Gambar 4.7 Peta Kontur Anomali Magnetik Setelah Di <i>Overlay</i>	53
Gambar 4.8 Sayatan AA' Pada Kontur	55
Gambar 4.9 Kurva Bentuk Anomali Hasil Pemodelan	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Penelitian..... 63

Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian 72

Surat Keputusan Dosen Pembimbing

Surat Ijin Penelitian

Surat Tugas Panitia Ujian Sarjan



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Sejak tahun 2006 petani sering terganggu akibat kelangkaan pupuk, sehingga mengakibatkan melonjaknya harga pupuk. Salah satu penyebabnya adalah kurang tersedianya bahan baku utama yaitu fosfat. Fosfat merupakan bahan baku utama pupuk jenis SP-36 dan NPK. Fosfat adalah sumber utama unsur Kalium dan Nitrogen yang tidak dapat larut dalam air, tetapi dapat diolah untuk memperoleh produk fosfat dengan menambahkan asam. Fosfat disamping bahan baku pupuk super fosfat (SP-36) juga dapat digunakan bahan pupuk alam. Di Indonesia jumlah cadangan fosfat yang telah diselidiki adalah 2,5 juta ton endapan guano (kadar P_2O_5 sebesar 0,17% hingga 43%) (Rauf & Utama, 2009: 1-8).

Fosfat termasuk bahan galian golongan C atau disebut juga bahan galian industri. Bahan galian golongan C merupakan bahan galian yang tidak termasuk dalam bahan galian A dan B. Golongan A yaitu bahan galian golongan strategis bagi pertahanan/keamanan negara atau perekonomian negara. Sedangkan bahan galian B yaitu bahan galian yang dapat menjamin hajat hidup orang banyak (UU No.11, 1967). Berdasarkan hasil penelitian Potensi Bahan Galian Golongan C di Kabupaten Pati Jawa Tengah, sebagaimana dikutip oleh Rauf & Utama (2009:1)

cadangan fosfat banyak ditemukan di pegunungan sebelah selatan Pati, tepatnya di tiga kecamatan yaitu : Kecamatan Sukolilo, Kecamatan Kayen dan Kecamatan Tambakromo. Salah satu tempat yang pernah dijadikan sebagai tambang fosfat yaitu di sekitar Gua Lowo yang terletak di Kecamatan Tambakromo. Gua yang dihuni oleh ribuan kelelawar ini mengandung banyak cadangan fosfat, terbukti dengan adanya kegiatan penambangan yang telah dilakukan oleh warga sekitar. Penambangan fosfat di Gua Lowo memang tidak terkendali sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan di daerah ini, seperti habitat kelelawar yang terganggu sehingga ekosistem di daerah ini menjadi rusak. Selain itu kegiatan penambangan ini menyebabkan kerusakan gua yang cukup parah. Akibatnya, kepala desa melarang adanya kegiatan penambangan fosfat dan ditutup pada akhir tahun 2010. Menurut kepala desa setempat kegiatan penambangan tetap bisa dilakukan namun harus menjaga lingkungan.

Endapan fosfat yang ditemukan di Gua Lowo diduga adalah fosfat guano, yang terbentuk dari tumpukan kotoran (*sekresi*) burung atau kelelawar yang larut oleh air hujan atau air tanah dan meresap ke dalam tubuh batugamping, bereaksi dengan kalsit untuk membentuk *hidroksil fluorapatit* atau $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F})$ dalam rekahan atau menyusup diantara perlapisan batugamping, maupun terendapkan di dasar batugamping. Batu gamping merupakan batuan fosfat yang sebagian besar tersusun oleh mineral kalsium karbonat (CaCO_3). Nilai kemagnetan batuan (*suseptibilitas*) dari semua jenis batuan akan berbeda, bergantung atas ketidakhomogenan kimiawi, pengendapan dan atau kristalisasi dan kondisi post-formasinya. Sifat kemagnetan batuan tidak sepenuhnya

ditentukan oleh tipe litologi batuanya, tetapi dari unsur mineralnya. Fosfat termasuk dalam mineral diamagnetik karena memiliki nilai suseptibilitas yang rendah sesuai dengan daerahnya. Fosfat merupakan mineral yang tidak dapat berdiri sendiri karena akan bercampur dengan mineral lain yang terkandung pada batuan tertentu, dalam penelitian ini batugamping. Batu gamping merupakan salah satu jenis batuan sedimen, suseptibilitas dari batuan sedimen meningkat sesuai dengan kandungan lempungnya (*clay*) sehingga akan berbeda dengan batuan beku. Sifat dari berbagai jenis batuan dapat diketahui dengan melihat nilai suseptibilitasnya. Metode magnetik didasarkan pada pengukuran variasi kecil intensitas medan magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi batuan termagnetisasi di bawah permukaan bumi.

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk eksplorasi pendahuluan minyak bumi, panasbumi dan batuan mineral. Selain itu juga digunakan untuk menyelidiki kondisi permukaan bumi dan memetakan keberadaan zona mineralisasi maupun identifikasi batuan dengan memanfaatkan sifat kemagnetan batuan yang diindikasikan oleh kerentanan magnet batuan. Menurut Hiskiawan (n.d: 1), penelitian magnetisasi bumi secara ilmiah pertama kali dilakukan oleh Bhattacharyya (1964). Bhattacharyya adalah orang yang pertama kali melihat bahwa medan magnet bumi ekuivalen dengan arah utara-selatan sumbu rotasi bumi. Penemuan Bhattacharyya kemudian diperdalam oleh Rao (1981) untuk melokalisir endapan bijih besi dengan mengukur variasi magnet di permukaan bumi yang kemudian menjadi pionir bagi pengukuran magnetisasi bumi (*geomagnet*).

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis memandang perlu dilakukan penelitian tentang sebaran fosfat yang ada di sekitar Gua Lowo untuk selanjutnya dijadikan sumber informasi bagi masyarakat sekitar agar kegiatan eksplorasi dapat dikendalikan dan tidak merusak alam. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi tersebut adalah metode magnetik, karena respon anomali magnetik lebih efektif untuk menentukan jenis dari batuan tertentu.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pola sebaran fosfat yang berada di sekitar Gua Lowo, Desa Larangan Kecamatan Tambakromo Kabupaten Pati dengan data anomali medan magnetnya.
2. Berapa kedalaman dari cadangan atau deposit fosfat yang dapat dimanfaatkan oleh warga di daerah tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Lokasi penelitian adalah di sekitar Gua Lowo yang terletak di Desa Larangan Kecamatan Tambakromo Kabupaten Pati.
2. Indikator yang diteliti adalah pola sebaran fosfat berdasarkan data anomali medan magnetik.
3. Pengambilan data medan magnet total dengan menggunakan satu set PPM (Proton Precision Magnetometer).

4. Pengolahan data dilakukan dengan *software Magpick* untuk menentukan pola persebaran deposit fosfat dan *software Mag2dc* untuk mengetahui kedalaman dari deposit fosfatnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pola sebaran fosfat di sekitar Gua Lowo Desa Larangan Kecamatan Tambakromo Kabupaten Pati.
2. Mengetahui kedalaman deposit fosfat di sekitar Gua Lowo Desa Larangan Kecamatan Tambakromo Kabupaten Pati.
3. Mengetahui lokasi deposit fosfat yang berada di sekitar Gua Lowo Desa Larangan Kecamatan Tambakromo Kabupaten Pati.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai pengetahuan bagi masyarakat sekitar mengenai posisi dan pola deposit fosfat berada sehingga tidak merusak alam dalam kegiatan eksplorasi.
2. Sebagai sumber informasi bagi peneliti untuk dijadikan referensi dalam penelitian lebih lanjut.

1.6 Sistematika Skripsi

Sistematika penulisan skripsi disusun guna mempermudah pemahaman tentang struktur dan isi skripsi. Penulisan skripsi dibagi menjadi lima bab, yaitu:

Bab I Pendahuluan terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka, adalah dasar-dasar teori dari literatur ilmiah yang menjadi acuan yang digunakan di dalam penulisan penelitian meliputi geologi daerah penelitian, batuan fosfat dan teori dasar metode magnetik

Bab III Metodologi Penelitian, terdiri dari uraian lokasi penelitian, alat yang digunakan, akuisisi data, pengolahan data, dan interpretasi.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, merupakan uraian yang menjelaskan analisis data pengamatan dalam pengolahan data dan pembahasan hasil penelitian.

Bab V Kesimpulan dan Saran, berisikan kesimpulan dari hasil pengukuran dalam penelitian dan rekomendasi terkait penelitian yang dilaksanakan.

BAB 2

LANDASAN TEORI

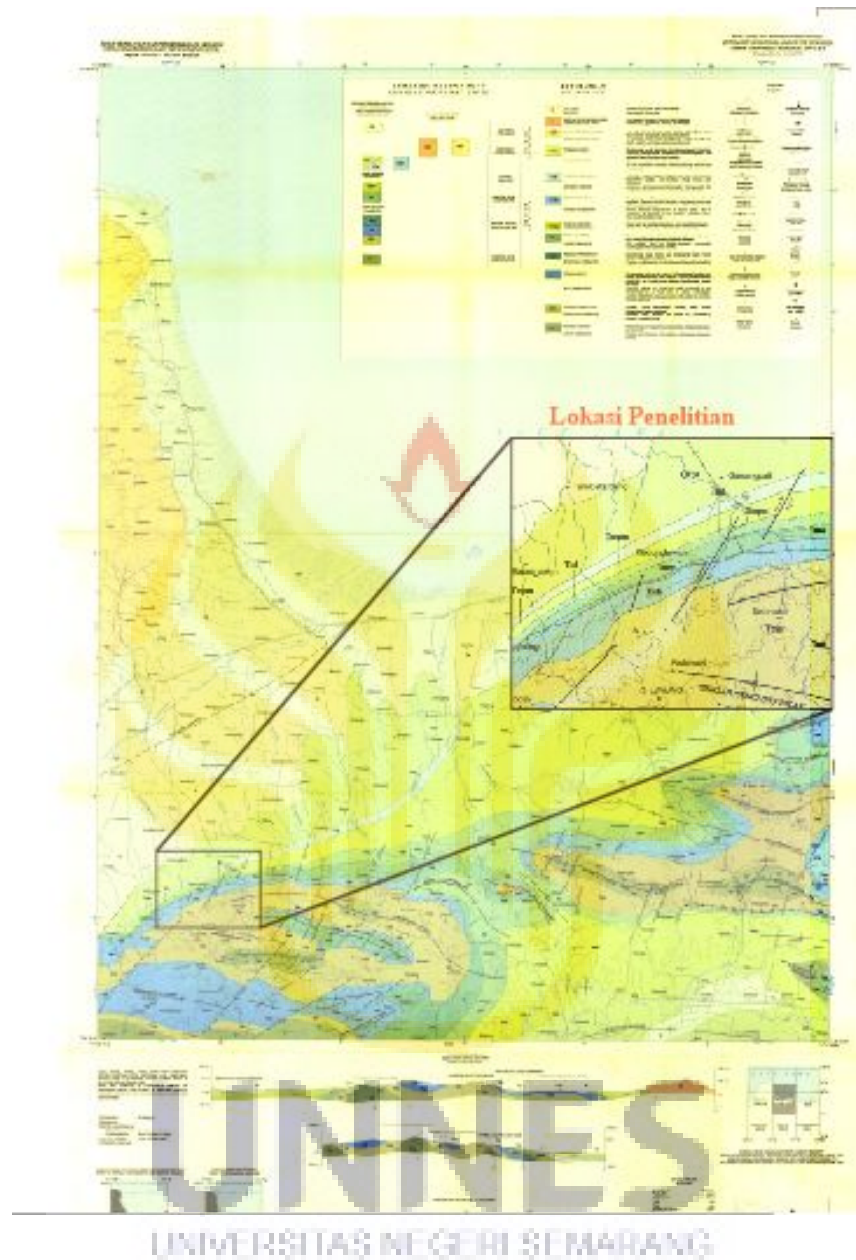
2.1 Geologi Daerah Penelitian

Bila dilihat dari peta administrasi Kecamatan Tambakromo, Gua Lowo terletak di Desa Larangan, Kecamatan Tambakromo, Kabupaten Pati Jawa Tengah. Gua yang berjarak sekitar 50 m dari jalan raya dan memiliki permukaan yang tidak rata dan mempunyai dua buah pintu masuk yang dapat dilewati. Pintu yang pertama berada di sebelah utara gua yang memiliki panjang lorong sekitar 200 m sedangkan pintu kedua berada di sebelah barat dan berhadapan langsung dengan mulut jurang, sebenarnya kedua pintu ini bisa saling berhubungan. Di sepanjang pintu masuk yang pertama telah dilakukan penambangan liar fosfat, hal ini terlihat dari permukaan lantai dari gua sudah tidak terbentuk secara alami karena telah dieksplorasi sehingga yang terlihat hanya lubang-lubang bekasnya saja. Kemudian *speleothem* pada gua ini belum terbentuk secara sempurna karena proses karstifikasinya tidak massif sehingga jarang ditemukan ornamen. *Speleothem* adalah suatu bentukan dasar yang terbentuk akibat pertumbuhan mineral hasil pelarutan batu gamping pada atap, dinding ataupun lantai gua (Gillieson, 1996) . Sedangkan di pintu masuk yang kedua masih belum begitu nampak adanya penambangan.

Daerah penelitian merupakan daerah yang berada dalam barisan Pegunungan Kars di Pati. Daerah kars identik dengan lahan yang selama ini

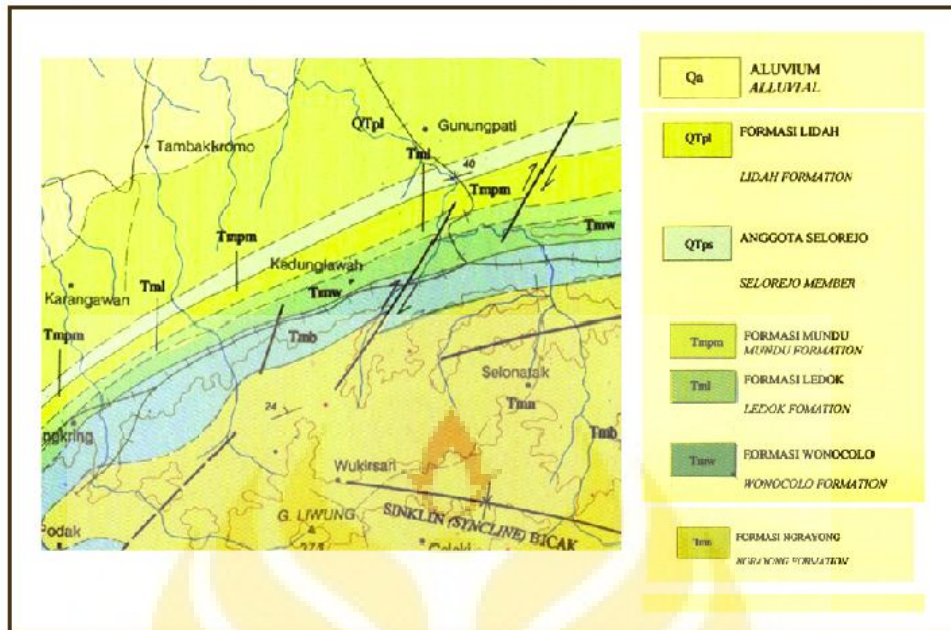
dianggap kering, gersang, tandus, kurang subur dan kekurangan air. Daerah kars dipengaruhi oleh struktur geologi berupa pengkekan (*joint*) karena umumnya kars terbentuk pada daerah berbatuan karbonat yaitu gamping, dolomit atau gypsum (Hiskiawan n.d).

Kecamatan Tambakromo terdiri dari tujuh formasi dan lapisan batuan yang berbeda sehingga memiliki struktur tanah yang berbeda di setiap desanya. Formasi batuanya terdiri dari *QTpl*, *Tml*, *Tmpm*, *Tmw*, *Tmn*, *Tmb* dan *QTps*. *QTpl* merupakan suatu lapisan yang terdiri dari batu lempung abu-abu kehitaman bersisipan batu pasir bermoluska dan termasuk dalam formasi lidah, *Tml* terdiri dari batu lempung abu-abu, napal dan batu gamping (*kalkarenit*) berlapis tipis kadang-kadang mengandung batu pasir glaukonit dan termasuk dalam formasi ledok, *Tmpm* adalah lapisan yang terdiri dari napal masif, abu-abu keputihan, kaya akan forami nitera plangton masuk dalam formasi mundu, *Tmw* terdiri dari batu lempung dengan sisipan tipis batu gamping bagian bawah dicirikan oleh batu pasir glaukonit termasuk dalam formasi wonocolo. *Tmn* adalah lapisan dengan batu pasir, serpih, batu lempung, batu lanau dengan sisipan batu gamping, batu bara dan lignit dan termasuk dalam formasi ngrayong. *Tmb* tersusun dari batu gamping abu-abu kadang berlapis tipis, bagian bawah dicirikan oleh banyak *Cycloclypeous Annulatus (Martin)* dan *Lepidocyclina*, di bagian tengah terdapat sisipan tipis napal dan disebut sebagai formasi bulu. *QTps* terdiri dari perselingan batu gamping dan batu pasir kaya akan fosil rombakan *foramanifera plangton* dan termasuk dalam formasi selorejo (Kadar & Sudijono, 1993). Ketujuh lapisan tersebut sesuai dengan gambar 2.1 berikut ini.

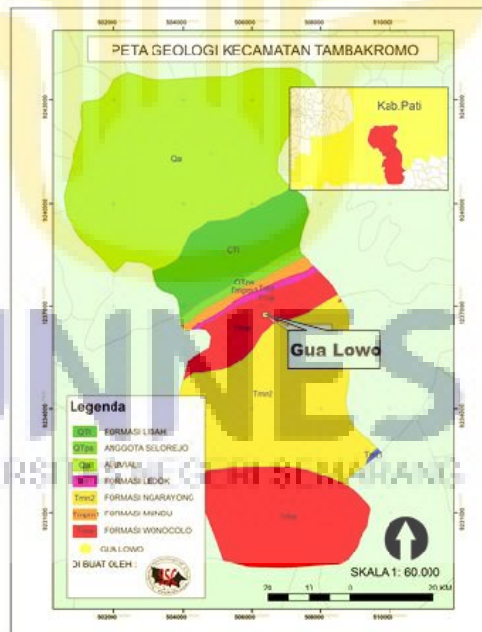


Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Rembang Jawa (Kadar & Sudijono, 1993)

Gambar 2.2 dibawah ini merupakan kondisi geologi dan perbesaran dari lokasi penelitian yang berada di desa Larangan Kecamatan Tambakromo Kabupaten Pati. Sedangkan gambar 2.3 merupakan lokasi dari Gua Lowo yang berada dalam formasi wonocolo.



Gambar 2.2 Peta geologi daerah penelitian



Gambar 2.3 Lokasi Gua Lowo (sumber: SSC 2013)
<https://sscnusantara.wordpress.com>

2.2 Batuan Fosfat

2.2.1 Definisi Fosfat

Menurut Gary *et al.*, sebagaimana dikutip oleh Kasno *et al.*, (2005: 1) Definisi fosfat alam menurut American Geological Institute adalah batuan sedimen yang tersusun terutama oleh mineral fosfat. Fosfat adalah unsur dalam suatu batuan beku (apatit) atau sedimen dengan kandungan fosfor ekonomis. Biasanya kandungan fosfor dinyatakan sebagai *bone phosphate of lime (BPL)* atau *triphosphate of lime (TPL)*, atau berdasarkan kandungan P_2O_5 . Fosfat apatit termasuk fosfat primer karena gugusan oksida fosfatnya terdapat dalam mineral apatit ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) yang terbentuk selama proses pembekuan magma (Nabeel *et al.*, 2013: 2).

Efektifitas batuan fosfat tergantung pada beberapa faktor, yaitu faktor batuannya sendiri, faktor kondisi tanah, jenis tanaman, dan pengaturan pemupukan. Faktor batuan disebabkan oleh genesa dari berbagai batuan dan mineral pembawa fosfat, antara lain endapan fosfat sedimen, magmatik, metamorfik, fosfat biogenik dan endapan fosfat karena pelapukan. Masing-masing jenis endapan fosfat dicirikan oleh sifat mineralogi, kimia dan struktur yang berbeda, sehingga kecepatan reaksi batuan terhadap tanah juga berbeda.

Fosfat merupakan satu-satunya bahan galian (di luar air) yang mempunyai siklus. Unsur fosfor di alam diserap oleh makhluk hidup, senyawa fosfat pada jaringan makhluk hidup yang telah mati terurai, kemudian terakumulasi dan terendapkan di lautan. Fosfat dikategorikan menjadi tiga jenis berdasarkan proses terjadinya yaitu (Adiningsih *et al.*, 1997) :

1. Fosfat primer.

Fosfat primer terbentuk dari pembekuan magma pada intrusi hidrotermal yang terkadang berasosiasi dengan batuan beku yang mengandung mineral fosfat apatit. Terutama fluorapatit $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$ dalam keadaan murni mengandung 42% P_2O_5 dan 3,8 % F_2 .

2. Fosfat sedimen.

Fosfat sedimen merupakan endapan fosfat sedimen yang terendapkan di laut dalam. Endapan laut terbentuk dari hasil penguraian berbagai kehidupan yang ada di laut, atau akibat erosi mineral-mineral yang mengandung fosfat oleh aliran sungai yang kemudian dibawa kelaut dan masuk ke dalam urat-urat batu gamping. Akibat adanya peristiwa geologi, endapan akan terangkat dan membentuk daratan.

3. Fosfat guano.

Fosfat guano merupakan hasil akumulasi sekresi hewan-hewan darat, burung pemakan ikan dan kelelawar yang terlarut dan bereaksi dengan batu gamping karena pengaruh air hujan dan air tanah (Adiningsih et al., 1997).

Endapan fosfat yang ditemukan di Indonesia adalah fosfat guano, yang terbentuk dari tumpukan sekresi (kotoran) burung atau kelelawar yang larut oleh air (hujan) atau air tanah dan meresap ke dalam tubuh batugamping, bereaksi dengan kalsit untuk membentuk hidroksil fluorapatit atau $Ca_5(PO_4)_3(OH,F)$ dalam rekahan atau menyusup diantara perlapisan batugamping, maupun terendapkan di dasar batugamping (Rifai H, 2010). Fresh guano terdiri dari 3 macam, yaitu guano kelelawar pemakan buah, guano kelelawar pemakan serangga dan guano dari kotoran burung (Hutchison, 1950). Sisa pencernaan kelelawar atau burung lain

sebagai pembentuk endapan guano tersusun atas nitrogen (N), karbon (C), fosfat (PO_4) dan urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$). Mineral sisa pencernaan kelelawar dan kalsit bukan merupakan mineral magnetik, namun setelah terendap bertahun-tahun dan dilakukan penelitian sifat magnetik ditemukan mineral magnetik. Umumnya terdapat secara terbatas dalam gua-gua gamping, terutama di Pegunungan Selatan Jawa, Gresik, Cepu dan Pati, serta di Pulau Madura. Pada umumnya endapan ini kurang bernilai komersial karena hanya merupakan urat-urat memanjang yang tidak menerus, dengan ketebalan beberapa cm sampai 20 cm, walaupun pada beberapa lokasi dapat mencapai 35 m. Akan tetapi endapan jenis ini termasuk batuan fosfat yang cukup reaktif, sehingga dapat sangat berguna untuk memenuhi kebutuhan lokal, atau dikembangkan dalam skala kecil.

Deposit guano yang paling besar terdapat di Chili dan Peru sebesar ratusan ribu ton yang berasal dari guano hasil ekskresi burung. Tebal lapisan deposit di Peru mencapai 45 m. Untuk jumlah yang kecil banyak ditemukan di Venezuela, Ecuador, Brazil, Madagaskar dan Pulau Seychelles. Deposit guano dari ekskresi kelelawar antara lain terdapat di Taiwan, Thailand, Philipina, Malaysia, Indonesia, Jamaika dan Anguila. Kandungan guano umumnya 15% N, 10-12% P_2O_5 sebagai bentuk yang mudah larut dan 2% K_2O . Diperkirakan fosfat alam di Pulau Jawa terjadi dengan proses semacam ini, tetapi gua asli sebagai tempat asli sebagai tempat kelelawar menimbun ekskresinya telah hilang akibat erosi dan pelapukan sehingga tinggal deposit fosfatnya saja Kasno *et al.*, (2005: 8).

2.2.2 Deposit Dan Penyebaran Fosfat Di Indonesia

Deposit fosfat di Indonesia pada umumnya ditemukan di daerah pegunungan karang, batu gamping atau dolomitik yang merupakan deposit gua Kasno *et al.*, (2005: 8). Fosfat tersebar di Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara dan Irian Jaya. Menurut data yang dikumpulkan sampai tahun 1958 diperkirakan 663 ribu ton, sekitar 76% terdapat di Pulau Jawa sekitar 23% terdapat di Sumatera Barat seperti pada tabel 1. Hasil Survei Explorasi tahun 1968-1985 oleh Direktorat Geologi dan Mineral, Departemen Pertambangan telah ditemukan cadangan fosfat alam yang diperkirakan sebesar 895 ribu ton yang terbesar di Pulau Jawa (66%), Sumatera Barat (17%), Kalimantan (8%), Sulawesi (5%), dan sekitar 4% tersebar di Papua, Aceh, Sumatera Utara, dan Nusa Tenggara. Perkiraan cadangan deposit fosfat alam tersebar terdapat di Jawa Timur yaitu di Tuban, Lamongan, Gresik dan Madura sekitar 313 ribu ton Kasno *et al.*, (2005: 10-11).

Tabel 1 Deposit fosfat alam di Indonesia (Sumber: Kasno *et al.*, (2005: 11))

No	Provinsi	Jml. Lokasi	Perkiraan Deposit (ton)	Kadar P ₂ O ₅ (%)
1.	Aceh	5	1800	5,9
2.	Sumatera Utara	1	304	29,3
3.	Sumatera Barat	16	152000	t.d
4.	Jawa Barat	77	169640	9,3-43,4
5.	Jawa Tengah	104	228175	10,1-35,1
6.	Jawa Timur	75	105639	< 40,3
7.	Nusa Tenggara	2	3000	1,3-27,2
8.	Irian Jaya	2	2500	15,0-31,5

Ket: t.d = tidak ditetapkan

Deposit gua atau batu kapur terdapat pada daerah yang terpencar dan belum ditemukan deposit dalam jumlah yang cukup, kecuali untuk diusahakan dalam skala kecil. Dari tabel diketahui bahwa wilayah Jawa Tengah memiliki paling banyak tempat yang mengandung fosfat alam, salah satu tempat yang berpotensi adalah di Pati. Berdasarkan dari keadaan geologi beberapa daerah yang cukup potensial diduga terdapat sekitar 1 atau 2 juta ton deposit fosfat seperti di Ciamis, Pati, daerah antara Lamongan dan Tuban, serta di Hulu Mahakam, Kalimantan Timur. Pada daerah deposit fosfat yang telah diketahui diduga terdapat pula deposit fosfat dari endapan laut yang biasanya cukup homogen dan dalam jumlah yang besar (Kasno *et al.*, 2005: 11).

3.3 Teori Dasar Metode Magnetik

3.3.1 Gaya Magnetik

Dasar dari metode magnetik adalah gaya Coulomb yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Telford, 1990: 63):

$$F = \frac{p_1 p_2}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (\text{dyne}) \quad (1)$$

Dimana: F = gaya Coulomb dalam Newton

$p_1 p_2$ = kuat kutub magnet dalam ampere meter

r = jarak kedua kutub (meter)

μ_0 = permeabilitas medium ($4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$)

\vec{r} = vektor satuan dengan arah dari $p_1 p_2$

3.3.2 Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnet adalah besarnya medan magnet pada suatu titik dalam ruang yang timbul sebagai akibat kutub p yang berada sejauh r dari titik tersebut.

Kuat medan H didefinisikan sebagai gaya pada satu satuan kutub:

$$H = \frac{F}{p_2} = \frac{p_1}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (2)$$

Satuan H dalam SI adalah weber/m atau tesla (1 Tesla = 10^9 gamma).

2.3.3 Momen Magnetik

Bila dua kutub magnet yang berlawanan mempunyai kuat kutub magnet $+p$ dan $-p$, keduanya terletak dalam jarak l , maka momen magnetiknya dapat ditulis sebagai :

$$\vec{M} = lp\vec{r} \quad (3)$$

Dengan \vec{M} merupakan vektor dalam arah vektor satuan \vec{r} yang keluar dari kutub negatif menuju kutub positif.

2.3.4 Intensitas Magnetik

Suatu benda magnet yang terletak di dalam medan magnet luar menjadi termagnetisasi karena induksi. Intensitas magnetisasi berbanding lurus dengan kuat medan dan arahnya searah dengan medannya. Intensitas magnetisasi didefinisikan sebagai momen magnet per satuan volum, yaitu :

$$I = \frac{M}{V} \quad (4)$$

Secara praktis magnetisasi akibat induksi akan meluruskan dipole-dipole material magnet sehingga sering disebut sebagai polarisasi magnet. Bila besarnya konstan dan arahnya sama maka material tersebut termagnetisasi secara seragam.

2.3.5 Induksi Magnetik

Suatu bahan magnetik yang diletakkan dalam medan luar H akan menghasilkan medan tersendiri M yang meningkatkan nilai total medan magnetik induksi B bahan tersebut. Medan magnet induksi dirumuskan sesuai persamaan

$$B = H + M = \mu_0(1 + k)H \quad (5)$$

Satuan B dalam cgs adalah gauss sedangkan dalam geofisika eksplorasi dipakai satuan gamma dan dalam SI dalam tesla (T) atau nanotesla (nT). Medan magnetik yang terukur oleh magnetometer di permukaan bumi adalah medan magnet induksi termasuk efek magnetisasi yang diberikan oleh persamaan (5).

Sehingga B sebanding dengan H , dengan μ dan disebut sebagai permeabilitas relatif dari suatu benda magnetik. Dalam ruang hampa dimana tidak ada materi termagnetisasi, sehingga $k = 0$, $\mu = \mu_0$ dan disebut permeabilitas ruang hampa yaitu sebesar $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am (Griffiths, 1999: 274).

2.3.6 Kemagnetan Bumi

Medan magnet bumi secara sederhana dapat digambarkan sebagai medan magnet yang ditimbulkan oleh batang magnet raksasa yang terletak di dalam inti bumi, namun tidak berimpit dengan garis utara-selatan geografis bumi. Sedangkan kuat medan magnet sebagian besar berasal dari dalam bumi sendiri (98%) atau medan magnet dalam (*internal field*), sedangkan sisanya (2%) ditimbulkan oleh

induksi magnetik batuan di kerak bumi maupun luar angkasa. Beberapa alasan sehingga bumi memiliki medan magnetik diantaranya adalah:

1. Kecepatan rotasi bumi yang tinggi.
2. Proses konveksi mantel dengan inti luar bumi (bersifat kental)
3. Inti dalam (padat) yang konduktif, kandungan yang kaya besi.

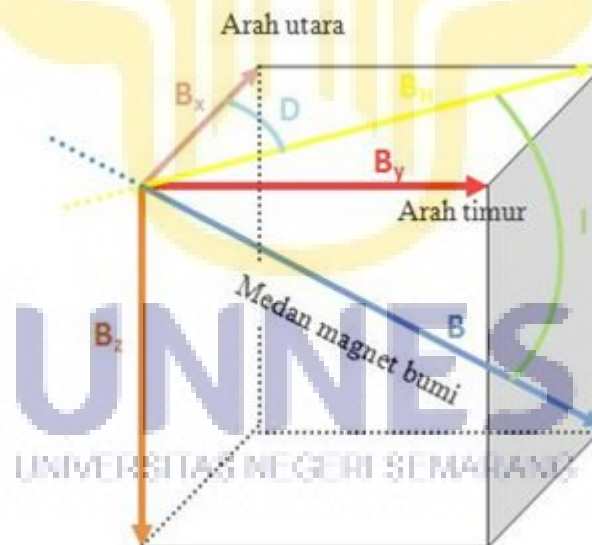
Sumber medan magnet bumi secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu: (1) medan magnet utama bumi (*main field*), (2) medan magnet luar (*external field*) dan (3) medan magnet anomali (*anomaly field*). Medan magnet utama bersumber dari dalam bumi sendiri. Medan magnet luar bersumber dari luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Sedangkan medan magnet anomali dihasilkan oleh benda magnetik yang telah terinduksi oleh medan magnet utama bumi, sehingga benda tersebut memiliki medan magnet sendiri dan ikut mempengaruhi besar medan magnet total hasil pengukuran. Variasi medan magnetik yang terukur di permukaan merupakan tujuan dari survei medan magnet anomali (Nuha *et al.*, 2014).

2.3.7 Komponen-Komponen Medan Magnet Bumi

Menurut Nurdyanto *et al.* (2011), medan magnet bumi terkarakterisasi oleh parameter fisis disebut juga elemen atau komponen medan magnet bumi, yang dapat diukur yaitu meliputi arah dan intensitas kemagnetannya. Komponen medan magnet bumi tersebut mempunyai tiga arah utama yaitu komponen pada arah utara, komponen pada arah timur dan komponen pada arah vertikal ke bawah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 . Pada koordinat kartesian tiga

komponen tersebut dinyatakan sebagai B_x , B_y , dan B_z . Elemen-elemen lain adalah:

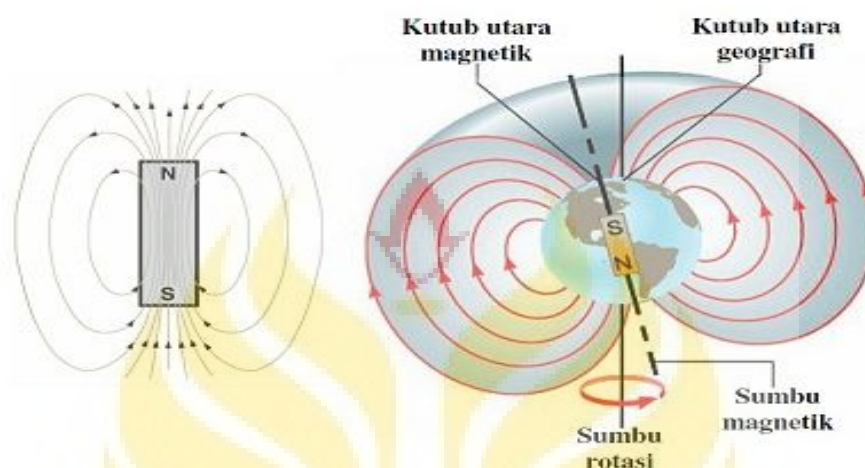
- Deklinasi (D)*, yaitu sudut antara utara magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur.
- Inklinasi (I)*, yaitu sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah.
- Intensitas Horizontal (B_H)*, yaitu besar dari medan magnetik total pada bidang horizontal.
- Medan magnetik bumi (B)*, yaitu besar dari vektor medan magnetik total.



Gambar 2.4 Elemen Magnetik Bumi (Nurdiyanto, *et al.*, 2011).

Deklinasi disebut juga variasi harian kompas dan inklinsi disebut sudut dip. Bidang vertikal yang berimpit dengan arah dari medan magnet disebut meridian magnetik. Bumi dapat digambarkan sebagai sebuah magnet besar dengan kutub utara menunjuk selatan (itu sebabnya jarum pada titik-titik kompas

menunjuk arah utara karena tertarik oleh kutub magnet dengan tanda berlawanan). Bidang bumi pada suatu titik tertentu di bumi adalah vektor, dalam hal ini memiliki orientasi yang diutamakan (arah) dan amplitudo (intensitas).



Gambar 2.5 Garis-garis gaya magnet antar kutub magnet
(<http://nalinsumarlin.blogspot.com>).

Gambar 2.5 garis gaya magnet di sekitar magnet, makin dekat ke magnet terutama kutub-kutub magnet, garis gaya magnet semakin rapat. Ini berarti kekuatan magnet pada setiap titik pada dan di sekitar magnet tidaklah sama. Ini juga berarti bahwa pengaruh gaya tolak atau gaya tarik kutub magnet pada titik titik sekeliling kutub magnet tidak sama besarnya, makin jauh dari kutub magnet makin berkurang pengaruh gaya itu. Besar gaya tolak atau gaya tarik kutub magnet berbanding terbalik dengan jarak kuadrat dari kutub yang bersangkutan. Pada gambar 2.5 tampak bahwa di dekat kutub-kutub magnet, garis-garis medannya rapat, sedangkan jauh dari kutub-kutub magnet, garis-garis medannya renggang. Hal ini menunjukkan bahwa medan magnetik yang paling kuat terdapat di kutub-kutub magnet batang.

2.4 The International Geomagnetic Reference Field (IGRF)

IGRF singkatan dari *The International Geomagnetic Reference Field* yang merupakan deskripsi matematis medan magnet utama bumi yang digunakan secara luas dalam studi tentang kerak bumi, ionosfer, dan magnetosfer. Nilai IGRF berupa nilai intensitas magnetik utama bumi yang merupakan hasil kesepakatan lembaga-lembaga internasional geomagnetik. Nilai IGRF direvisi setiap lima tahun oleh badan IAGA (*International Association of Geomagnetism and Aeronomy*), Nilai IGRF merupakan penggabungan data observasi geomagnetik dan perhitungan berdasarkan formulasi Gauss pada koefisien harmonik sferis untuk kasus potensial magnetostatik. Formula Gauss dinyatakan sebagai :

$$V(r, \varphi, \theta) = a \sum_{l=1}^L \sum_{m=0}^l \left(\frac{a}{r}\right)^{l+1} (g_l^m \cos m\varphi + h_l^m \sin m\varphi) P_l^m(\cos \theta) \quad (6)$$

r = jarak dari pusat bumi

L = tingkat maksimum ekspansi

φ = bujur timur

θ = colatitude (sudut kutub)

g_l^m dan h_l^m = koefisien Gauss

$P_l^m(\cos \theta)$ = normalisasi Schmidt dalam fungsi Legendre pada derajat l dan tetapan m .

V = nilai koreksi IGRF

Data nilai koreksi IGRF bisa diperoleh dari situs *National Geophysical Data Center (NDGC)* untuk data geomagnetik. Data yang dihasilkan dari persamaan (6) merupakan data real time karena dapat disesuaikan dengan daerah (regional)nya sesuai dengan waktu pengukuran yang berlangsung sehingga

bernilai lebih akurat. Parameter yang diperlukan untuk memperoleh nilai referensi IGRF antara lain nilai lintang dan bujur daerah pengukuran, ketinggian, serta tanggal bulan dan tahun pengukuran.

Koreksi nilai IGRF terhadap data medan magnetik hasil pengukuran dilakukan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet utama bumi, dimana medan magnet IGRF adalah referensi medan magnet di suatu tempat. Medan magnet bumi terdiri dari 3 bagian :

1. Medan magnet utama (*main field*)

Medan magnet utama dapat didefinisikan sebagai medan rata-rata hasil pengukuran dalam jangka waktu yang cukup lama mencakup daerah dengan luas lebih dari 10^6 km^2 .

2. Medan magnet luar (*external field*)

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

3. Medan magnet anomali

Medan magnet anomali sering juga disebut medan magnet lokal (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti magnetit (Fe_3S_5), *titanomagnetite* (Fe_2TiO_4) dan lain-lain yang berada di kerak bumi.

Dalam survei dengan metode magnetik, yang menjadi tujuan dari pengukuran adalah variasi medan magnetik yang terukur di permukaan (anomali magnetik). Secara garis besar anomali medan magnetik disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnetik induksi. Medan magnet remanen mempunyai peranan yang besar terhadap magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetiknya serta berkaitan dengan peristiwa kemagnetan sebelumnya sehingga sangat rumit untuk diamati. Anomali yang diperoleh dari survei merupakan hasil gabungan medan magnetik remanen dan induksi, bila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksi maka anomalnya bertambah besar. Demikian pula sebaliknya. Dalam survei magnetik, efek medan remanen akan diabaikan apabila anomali medan magnetik kurang dari 25% medan magnet utama bumi (Telford et al., 1990), sehingga dalam pengukuran medan magnet berlaku persamaan berikut ini

$$\bar{H}_T = \bar{H}_M + \bar{H}_L + \bar{H}_A \quad (7)$$

Dimana \bar{H}_T adalah medan magnet total bumi, \bar{H}_M adalah medan magnet utama bumi, \bar{H}_L adalah medan magnet luar dan \bar{H}_A adalah medan magnet anomali.

2.5 Suseptibilitas Batuan

Suatu benda atau material yang diletakkan pada medan magnet luar (H), maka intensitas magnetik (I) akan berbanding lurus dengan kuat medan luar yang menginduksinya. Jadi suseptibilitas dapat diasumsikan sebagai kemampuan suatu benda atau material untuk terinduksi oleh magnet luar, yang didefinisikan sebagai berikut :

$$k = \frac{I}{H} \text{ atau } I = kH \quad (8)$$

Dari persamaan (9) di atas, suseptibilitas merupakan besaran yang menyatakan kemampuan suatu batuan atau mineral dalam memberikan respon terhadap medan magnet luar. Kemampuan suatu benda untuk terinduksi tergantung pada batuan atau mineral yang menyusunnya.

Harga suseptibilitas (k) sangat penting di dalam pencarian benda anomali karena sifat magnetiknya untuk setiap jenis mineral dan batuan yang berbeda antara satu dengan lainnya. Nilai (k) pada batuan semakin besar jika dalam batuan tersebut semakin banyak dijumpai mineral-mineral bersifat magnetik. Batuan dan material penyusun litologi bumi dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan nilai suseptibilitas (k), yaitu ;

1. Diamagnetik

Sifat diamagnetik dimiliki oleh semua bahan, meskipun sifat ini sangat lemah (Hunt, 1991). Semua benda memiliki sifat diamagnetik disebabkan karena adanya interaksi medan magnet yang terjadi dan pergerakan elektron mengelilingi inti. Dalam batuan diamagnetik atom-atom pembentuk batuan mempunyai kulit elektron berpasangan dan mempunyai putaran yang berlawanan dalam tiap pasangan. Jika mendapat medan magnet dari luar orbit, elektron tersebut akan berpresesi yang menghasilkan medan magnet lemah yang melawan medan magnet luar. Bahan diamagnetik mempunyai suseptibilitas (k) negatif besar dan positif kecil dan suseptibilitas (k) tidak tergantung dari pada medan magnet luar. Contoh: bismuth, grafit, gipsum, marmer, kuarsa, kalsit, fosfat dan garam.

2. Paramagnetik

Di dalam paramagnetik terdapat kulit elektron terluar yang belum jenuh yakni ada elektron yang putarannya tidak berpasangan dan mengarah pada arah putaran yang sama. Jika terdapat medan magnetik luar, putaran tersebut berpresesi menghasilkan medan magnet yang mengarah searah dengan medan tersebut sehingga memperkuatnya. Contoh : Piroksen, Olivin, Garnet, Biotit, Amfibolit.

3. Ferromagnetik

Di dalam bahan ferromagnetik terdapat banyak kulit elektron yang hanya diisi oleh suatu elektron sehingga mudah terinduksi oleh medan luar. Keadaan ini diperkuat lagi oleh adanya k kelompok-kelompok bahan berputaran searah yang membentuk dipole-dipole magnet (domain) mempunyai arah sama, apalagi jika didalam medan magnet luar. Contoh: besi, nikel, kobal, terbium, dysprosium, dan neodmium. Bahan ferromagnetik dibagi menjadi dua yaitu;

a. Antiferromagnetik

Pada bahan antiferromagnetik, akan menghasilkan dipole magnetik yang saling berlawanan arah sehingga momen magnetik secara keseluruhan sangat kecil. Bahan antiferromagnetik yang mengalami cacat kristal akan mengalami medan magnet kecil dan suseptibilitasnya seperti pada bahan paramagnetik suseptibilitas k seperti paramagnetik, tetapi harganya naik sampai dengan titik curie kemudian turun lagi menurut hukum *curie-weiss*. Contoh: hematit (Fe_2O_3).

b. Ferrimagnetik

Pada bahan ferrimagnetik, jumlah dipole pada masing-masing arah tidak sama sehingga masih mempunyai resultan magnetisasi cukup besar. Suseptibilitasnya tinggi dan tergantung temperatur. Contoh: magnetit (Fe_3O_4),

ilmenit (FeTiO_3), pirhotit (FeS), hematit (Fe_2O_3), ferrite (NiOFe_2O_3), yttrium ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$).

Dari segi kuantitas, kelimpahan mineral magnetik pada batuan dan tanah sangat kecil. Umumnya, kuantitas mineral magnetik hanya sekitar 0,1% dari massa total batuan atau tanah. Namun demikian, sifat magnetik batuan terkadang cukup rumit karena batuan atau tanah dapat mempunyai beberapa jenis mineral magnetik secara sekaligus. Kerumitan akan bertambah karena sifat dari suatu mineral magnetik juga dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran dari bulir-bulir (*grains*) mineral tersebut, aspek bentuk dan ukuran bulir disebut dengan istilah *granulometri*. Misalnya, bentuk mineral magnetik akan berpengaruh terhadap medan demagnetisasi pada mineral tersebut. Singkat kata, bulir berbentuk lonjong akan mempunyai sifat- sifat yang berbeda dengan bulir berbentuk bola (Bijaksana, 2002).

Suseptibilitas adalah parameter paling pokok yang dimiliki batuan dalam kajian magnetik. Respon magnetik batuan dan mineral dapat ditentukan oleh suseptibilitas material magnetik yang terkandung di dalamnya. Untuk mineral fosfat belum bisa ditentukan secara pasti karena setiap mineral fosfat akan memiliki nilai yang berbeda jika diambil dari tempat yang berbeda pula. Sebagai acuan maka dapat menggunakan nilai suseptibilitas dari batu gamping atau *limestone* dan mineral kalsit karena batuan gamping yang berada di lokasi penelitian tersusun dari mineral kalsit, fosfat dan mineral lainnya. Adapun nilai suseptibilitas dari beberapa material ditunjukkan dalam Tabel 2 berikut ini (Telford et al., 1990).

Tabel 2 Nilai Suseptibilitas Magnetik Berbagai Jenis Batuan (*Telford et al., 1990*).

Jenis	Suseptibilitas ($\times 10^3$) SI	
	Rentang	Rata-rata
Sedimen		
Dolomit	0 - 0.9	0.1
Limestone	0 - 3	0.3
Sandstone	0 - 20	0.4
Shale	0.01 - 15	0.6
Rata-rata 48 batuan sedimen	0 - 18	0.9
Metamorf		
Amphibolite		0.7
Sekis	0.3 - 3	1.4
Filit		1.5
Gneiss	0.1 - 25	
Kuarsa		4
Serpentinit	3 - 17	
Slate	0 - 35	6
Rata-rata 61 batuan metamorf	0 - 70	4.2
Batuan Beku		
Granit	0 - 50	2.5
Rhiolit	0.2 - 35	
Dolorit	1 - 35	17
Augite-syenite	30 - 40	
Olivin-diabas		25
Diabas	1 - 160	55
Porphiri	0.3 - 200	60
Gabbro	1 - 90	70
Basalt	0.2 - 175	70
Diorit	0.6 - 120	85
Pyroxenite		125
Peridotite	90 - 200	150
Andesit		160
Rata-rata batuan beku asam	0 - 80	8
Rata-rata batuan beku basa	0.5 - 97	25
Mineral		
Graphite		0.1
Kuarsa		-0.01
Batu garam		-0.01
Anhydrite, gypsum		-0.01
Kalsit	(-0.001) - (-0.01)	
Coal		0.02
Lempung		0.2
Chalcopyrite		0.4

2.6 Metode Magnetik

2.6.1 Konsep Metode Magnetik

Metode magnetik adalah suatu metode geofisika yang mengukur intensitas medan magnet total di suatu tempat. Analisis anomali medan magnet digunakan untuk menginterpretasi suseptibilitas struktur geologi yang menonjol pada daerah penelitian (Kahfi & Yulianto, 2008: 130). 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 diidentifikasi 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. Suseptibilitas magnet batuan adalah harga magnet suatu batuan terhadap pengaruh magnet, yang pada berkaitan dengan kandungan mineral dan oksida besi. Semakin besar kandungan mineral magnetik di dalam batuan maka akan semakin besar harga suseptibilitasnya. Metode ini sangat cocok untuk pendugaan struktur geologi bawah permukaan dengan tidak mengabaikan faktor kontrol adanya kenampakan geologi di permukaan dan kegiatan gunung api. Metode magnetik sering digunakan dalam eksplorasi minyak bumi, panas bumi, dan batuan mineral serta pencaian benda-benda arkeologi.

2.6.2 Koreksi Data Magnetik

Untuk memperoleh nilai anomali medan magnetik yang diinginkan, maka dilakukan koreksi terhadap data medan magnetik total hasil pengukuran pada

setiap titik lokasi atau stasiun pengukuran, yang mencakup koreksi harian, IGRF, kontinuitas ke atas dan juga reduksi ke kutub.

1. Koreksi Variasi Harian

Koreksi variasi harian (*diurnal correction*) merupakan penyimpangan nilai medan magnetik bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari. Koreksi variasi harian dilakukan dengan menambahkan atau mengurangi besar data variasi harian. Jika variasi harian bernilai positif maka dilakukan operasi pengurangan, dan jika bernilai negatif maka dilakukan operasi penjumlahan (Kahfi & Yulianto, 2008). Waktu yang dimaksudkan harus mengacu atau sesuai dengan waktu pengukuran data medan magnetik di setiap titik lokasi (stasiun pengukuran) yang akan dikoreksi dapat dituliskan dalam persamaan di bawah ini

$$\Delta H = H_{total} \pm \Delta H_{harian} \quad (9)$$

2. Koreksi IGRF

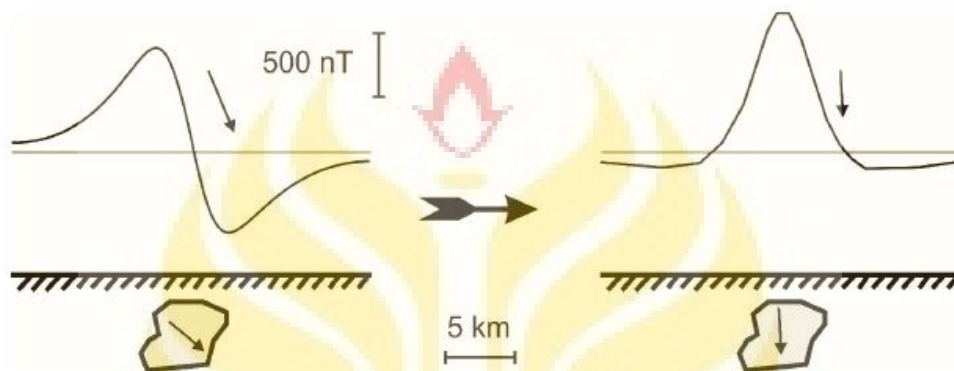
Data hasil pengukuran medan magnetik pada dasarnya adalah kontribusi dari tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar dan medan anomali. Nilai medan magnetik utama adalah nilai IGRF. Jika nilai medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi harian, maka kontribusi medan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

$$\Delta H = H_{total} \pm \Delta H_{harian} \pm H_0 \quad (10)$$

Dimana $H_0 = \text{IGRF}$

3. Reduksi ke Kutub (Reduction To The Pole)

Reduksi dilakukan dengan cara mengubah sudut inklinasi dan deklinasi menjadi 90^0 dan 0^0 .



Gambar 2.6 Anomali magnetik dan anomali hasil reduksi ke kutub (Blakely, 1995).

Baranov dan Naudy (1964) telah mengembangkan metode transformasi ke kutub untuk menyederhanakan interpretasi data medan magnetik pada daerah-daerah berlintang rendah dan menengah. Metode reduksi ke kutub dapat mengurangi salah satu tahap yang rumit dari interpretasi, dimana anomali medan magnetik langsung menunjukkan posisi bendanya. Formulasi reduksi ke kutub dimulai dari tinjauan hubungan antara medan potensial dengan distribusi sumber penyebab anomali. Anomali total medan magnetik adalah :

$$\Delta \vec{T} = -C_m \hat{F} \cdot \nabla_P \int_R \vec{M} \cdot \nabla_Q \frac{1}{r} dv \quad (11)$$

Lambang \vec{F} adalah vektor satuan dalam arah medan regional. Bentuk lain dari persamaan tersebut untuk anomali medan total adalah :

$$\vec{T}(P) = C_m \nabla_P \int_R \frac{\vec{M}(Q)}{r^3} \cdot [3(\hat{F} \cdot \hat{r})\hat{r} - \hat{F}] dv \quad (12)$$

Persamaan diatas dapat ditulis dalam formulasi yang lebih umum sebagai hubungan antara medan potensial (\bar{f}) dengan distribusi material sumber (s) :

$$(\bar{H})(P) = \int_R s(Q)\Psi(P, Q)dv \quad (13)$$

Fungsi $(\bar{H})(P)$ adalah medan potensial atau anomali total medan magnetik pada P , sedangkan $s(Q)$ kuantitas fisis magnetisasi pada Q dan $\Psi(P, Q)$ suatu fungsi Green berupa anomali total medan magnetik dipole tunggal yang bergantung pada geometris tempat titik observasi P dan titik distribusi sumber Q . Proses transformasi reduksi ke kutub dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal.

Operasi reduksi ke kutub memperlihatkan anomali dipole (positif dan negatif) yang akan ditransformasikan menjadi anomali monopole (positif) . Mengubah nilai inklinasi sebenarnya menjadi ke arah vertikal, transformasi ini menyederhanakan peta medan-total dan secara relatif pengoperasiannya mudah dilakukan di lintang magnetik tinggi. Reduksi ke kutub dapat dilakukan menggunakan software *magpick* karena dalam software ini mampu memetakan pola persebaran dari target yang diinginkan. Menurut Suyanto (2012), reduksi ke kutub bertujuan agar anomali medan magnet maksimum terletak tepat di atas tubuh benda penyebab anomali (anomali bersifat *monopole*).

4. Kontinuasi ke Atas (Upward Continuation)

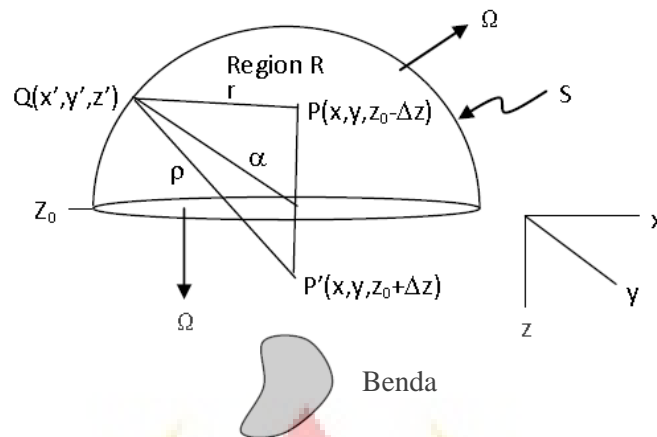
Kontinuasi ke atas (Upward continuation) merupakan cara untuk menghilangkan anomali lokal. Penentuan ketinggian kontinuasi dilakukan dengan

cara *trial and errors* dengan melihat kecenderungan pola kontur hasil kontinuitas. Prinsip dari kontinuitas ke atas adalah bahwa suatu medan potensial dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut. Kontinuitas ke atas dilakukan dengan mentransformasi medan potensial yang diukur di permukaan tertentu ke medan potensial pada permukaan lainnya yang lebih jauh dari sumber.

Konsep dasar kontinuitas ke atas berasal dari identitas ketiga teorema Green. Teorema ini menjelaskan bahwa apabila suatu fungsi U adalah harmonik, kontinu dan mempunyai turunan yang kontinu di sepanjang daerah R maka nilai H pada suatu titik P di dalam daerah R dapat dinyatakan (Blakely, 1995):

$$H(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - H \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (14)$$

Dengan S menunjukkan permukaan daerah R , n adalah arah normal ke luar dan r adalah jarak dari titik P ke suatu titik pada permukaan S . Persamaan (15) menggambarkan secara dasar prinsip dari kontinuitas ke atas, di mana suatu medan potensial dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut.



Gambar 2.7 Kontinuasi ke atas dari permukaan horisontal (Blakely, 1995)

Dengan menggunakan sistem koordinat kartesian, dengan sumbu z berarah ke bawah, maka suatu medan potensial diukur pada permukaan $z = z_0$ dan medan yang diinginkan terletak pada suatu titik $P(x, y, z_0 - \Delta z)$ yang berada di atas permukaan tersebut, dimana $\Delta z > 0$. Permukaan S mengandung kedua level permukaan ditambah sebuah *hemisphere* (belahan bumi) dengan radius α , sebagaimana digambarkan pada gambar 2.7. Sumber anomali berada pada z_0 . Apabila α menjadi besar, maka integrasi pada persamaan kontinuitas di seluruh *hemisphere* menjadi kecil, dengan demikian, jika α mendekati tak terhingga maka persamaan (14) menjadi :

$$H_{(x,y,z_0-\Delta z)} = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial H(x,y,z_0)}{\partial z} - H(x,y,z_0) \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \right) dx dy \quad (15)$$

$$r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z_0 - \Delta z - z')^2} \text{ dan } \Delta z > 0$$

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di sekitar Gua Lowo Desa Larangan, Kecamatan Tambakromo, Kabupaten Pati dengan menggunakan metode magnetik dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Terdapat dua pola sebaran dugaan deposit fosfat, deposit fosfat pertama memiliki pola yang menggerombol dengan radius ± 10 m pada koordinat UTM X 506299 hingga 506309 dan dugaan deposit fosfat kedua memiliki pola sebaran memanjang ± 40 m dimulai di koordinat UTM X 506319 hingga 506359.
2. Kedalaman perkiraan deposit fosfat berada pada rentang 2 m sampai dengan 14 m, dugaan deposit fosfat 1 berada pada kedalaman 2.5 m sampai dengan 5m sedangkan dugaan deposit fosfat kedua berada pada kedalaman 3m hingga 12m dengan nilai suseptibilitas 0.30 dalam satuan SI.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengukuran nilai suseptibilitas batuan dengan alat *suceptibility meter* untuk mendapatkan nilai suseptibilitas pasti dari batuan fosfat.
2. Lokasi penelitian diperluas untuk mendapatkan deposit-deposit yang tersebar di sekitar daerah penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih S., Sri Rochhayati, Moersidi & A. Kasno. 1997. Prospek Penggunaan Pupuk Fosfat Alam untuk Meningkatkan Budidaya Pertanian Tanaman Pangan di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Penggunaan Pupuk P-alam. Mendorong Pembangunan Pertanian Indonesia yang Kompetitif*. Jakarta : Departemen Pertanian.
- Baranov & Naudy, H. 1964. *Numerical Calculation of The Formula of Reduction to The Magnetic Pole*. *Geophysics* 53, 1592-1600.
- Bhattacharyya B. K. 1964. Magnetic Anomalies Due To Prism-Shaped Bodies with Arbitrary Magnetization : *Geophysics*, 29(5) : 17-53.
- Bijaksana, S. 2002. Analisa Mineral Magnetik Dalam Masalah Lingkungan. Bandung : *Jurnal Geofisika*, 1: 19-27
- Blakely R.J. 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. Cambridge Univ. Press Cambridge.
- Dinas Pertambangan Jawa Tengah. 1992. *Potensi Bahan Galian Golongan C Di Kabupaten Pati*. Proyek Pemetaan Bahan Galian Golongan C Propinsi Dati I Jawa Tengah. Semarang.
- Gary M., R. McAfee Jr., & C.L. Walf. 1974. *Glossary of Geology*. Amer. Geolo.Ins: Washington DC.
- Gillieson D. 1996. *Caves Process*. Development Management. Blackwell Publisher.
- Griffith D&Reed College. 1999. *Introduction to Electrodynamics (3rd ed)*. United States of America : Upper Saddle River New Jersey.
- Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia. 2012. *Geophysical Field Camp 2012*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia. 2014. *Buku Panduan Geophysical Fieldtrip 2014*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hiskiawan, P . _____. Pemetaan Mineral Konduktif Dengan Metode Geomagnetik di Kars Puger Kabupaten Jember. *Hibah Penelitian*. Jember : Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember.
- Hunt, C.P. 1991. *Handbook From the Environmental Magnetism workshop*. Minneapolis : University of Minnesota.

- Hutchison, G, E. 1950. Surveyd of Contemporary Knowledge of Biogeochemistry. *Bulletin of the American Museum of Natural History* : New York.
- Kadar D. & Sudijono. 1993. *Peta Geologi Bersistem Indonesia Lembar Rembang 1509-1 & 4 Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Indonesia.
- Kahfi R.A.& Tony Yulianto. 2008. Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Emas Dengan Menggunakan Metode Magnetik Di Papandayan Garut Jawa Barat. *Berkala Fisika*,11(4): 127-135. Tersedia di <http://ejournal.undip.ac.id> diakses [20-02-2015].
- Kasno A., S.Rochayati & B. Hendro Prasetyo. 2005. *Deposit, Penyebaran, dan Karakteristik Fosfat Alam*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara.
- Nabeel F., D.D Warnama, & A.S Bahri. 2013. Analisa Sebaran Fosfat dengan Menggunakan Metoda Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger Studi Kasus Saronggi, Madura. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(1): 9-14. Tersedia di <http://download.portalgaruda.org/> [diakses 17-11-2014].
- Nuha ABA., M.U.T. Yulianto, & U. Harmoko. 2014. Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Sumber Air Panas Diwak-Derekan Berdasarkan Data Magnetik. *Youngster Physics Journal*, 129-134. Tersedia di <http://download.portalgaruda.org/> [diakses 19-02-2015].
- Nurdiyanto, B., Harsa H., & Ahadi S. 2011. *Modul Teori dan Pengolahan Metode Magnetik Sebagai Prekursor Gempabumi*. Puslitbang BMKG.
- N Garnetsya D Rusli, Hamdi, Fatni M. 2014. Kaitan Komposisi Unsur Dasar Penyusun Mineral Magnetik Dengan Nilai Suseptibilitas Magnetik Guano Dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur. *Pillar of Physics*, (2): 49-56.
- Pusat Sumber Daya Geologi. 2008. Deposit Batu Fosfat di Indonesia. *Peta Potensi Sumber Daya Geologi Seluruh Kabupaten*. Bandung.
- Rauf M. & W. Utama. 2009. Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Menentukan Cadangan Fosfat : Studi Kasus Sukolilo, Pati Jawa Tengah. *Semnas Pascasarjana IX. Surabaya : Institut Tehnologi Sepuluh Nopember*. Tersedia di <https://kaisnet.files.wordpress.com/2010/11/mohamad-rauf.pdf>[diakses 17-11-2014].
- Rao A. D., Ram Babu H.V., & Sankor Narayan P.V. 1981. Interpretation of Magnetic Anomalies Due to Dikes : The Complex Gradient Method. *Geophys*, 46 : 1572-1578.
- Rifai, H. 2010. Konsistensi Sifat Magnetik Guano dari Dua Gua Kelelawar di Kabupaten 50 Kota, Sumatera Barat. Padang : Universitas Negeri Padang.

- Santosa, B. J. 2013. Magnetic Method Interpretation to Determine Subsurface Structure Around Kelud Volcano. *Indian Journal of Applied Research* 3(5): 328-331.
- Suyanto, Imam. 2012. Pemodelan Bawah Permukaan Gunung Merapi Dari Analisis Data Magnetik Dengan Menggunakan Software Geosoft. *Laporan Penelitian*. Yogyakarta : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada.
- Telford W.M., L. P. Geldart, R. E. Sheriff & A. Keys. 1996. *Applied Geophysics*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Ulinna'mah, L.I. 2011. Identifikasi Struktur Geologi Menggunakan Metode Magnetik Di Daerah Prospek Emas Desa Tutugan Kabupaten Banyumas. *Skripsi*. Purwokerto: Fakultas Sains dan Teknik Universitas Jenderal Soedirman. Tersedia di www.akademia.edu/8647228/skripsi_magnetik [diakses 4-2-2015].

