

**IDENTIFIKASI KANTONG LUMPUR MINYAK (*OIL SLUDGE*)
MENGUNAKAN METODE GEOMAGNET
(Studi Kasus : Desa Sekarkurung, Kecamatan Kebomas, Kabupaten Gresik)**

SKRIPSI

Oleh :
TIARA ARUM DWI NUR A.
NIM. 16640046



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**IDENTIFIKASI KANTONG LUMPUR MINYAK (*OIL SLUDGE*)
MENGUNAKAN METODE GEOMAGNET
(Studi Kasus : Desa Sekarkurung, Kecamatan Kebomas, Kabupaten Gresik)**

SKRIPSI

Diajukan Kepada :

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

Oleh :

**TIARA ARUM DWI NUR A.
NIM. 16640046**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

IDENTIFIKASI KANTONG LUMPUR MINYAK (*OIL SLUDGE*)
MENGUNAKAN METODE GEOMAGNET
(Studi Kasus : Desa Sekarkurung Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik)

SKRIPSI

Oleh:

Tiara Arum Dwi Nur A.
NIM. 16640046

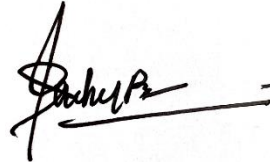
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal, 30 April 2021

Pembimbing I



Irjan, M.Si
NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II



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

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



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

HALAMAN PENGESAHAN




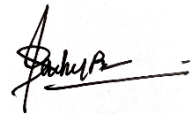
IDENTIFIKASI KANTONG LUMPUR MINYAK (*OIL SLUDGE*)
MENGUNAKAN METODE GEOMAGNET
(Studi Kasus : Desa Sekarkurung Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik)

SKRIPSI

Oleh:

Tiara Arum Dwi Nur A.
NIM. 16640046

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 08 Juni 2021

Penguji Utama	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	<u>Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Sekretaris Penguji	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



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

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tiara Arum Dwi Nur Amalina

NIM : 16640046

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Identifikasi Kantong Lumpur Minyak (*Oil Sludge*)
Menggunakan Metode Geomagnet (Studi Kasus : Desa
Sekarkurung, Kecamatan Kebomas, Kabupaten Gresik)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelirian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang telah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang di kutip dalam naskah dan disebabkan dalam sumber kutipan dan daftar Pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan serta menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Malang, 08 Juni 2021

Yang membuat pernyataan,



Tiara Arum Dwi Nur A.
NIM. 16640046

MOTTO

Tidak ada hal yang tidak mungkin
Semua akan selesai pada waktunya

Ridho allah terletak pada ridho kedua orang tua
Dan Do'a orang tua adalah do'a yang paling mujarab

HALAMAN PERSEMBAHAN

- Tuhan yang maha ESA
- Nabi Muhammad SAW
- Ayah Saiful Ma'arif dan Bunda Umi Mahsunah H
- Saudara Faiq Fakhri M. dan Saudari Ghaita Tazkiyah
- Keluarga besar Bapak Usman
- Bapak Irjan, M.Si
- Admin Fisika
- Seluruh teman seperjuangan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. skripsi yang telah penulis susun ini berjudul “Identifikasi Kantong Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) Menggunakan Metode Geomagnet (Studi Kasus : Desa Sekarkurung, Kecamatan Kebomas, Kabupaten Gresik)”.

Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang dan penuh dengan ilmu pengetahuan yang luar biasa saat ini. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan penulisan proposal skripsi ini.

Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang .
3. Drs. Abdul Basid, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan, M.Si selaku Dosen Pembimbing Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
5. Segenap Dosen Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing, dan memberikan pengarahan selama perkuliahan.
6. Bunda dan Ayah yang selalu mendo'akan dan selalu memberi semangat untuk putrinya dalam segala hal.
7. Seseorang yang selalu saya repotkan selama di malang
8. Teman-teman Angkatan 2016 dan seluruh keluarga geofisika 2012, 2013, 2014, 2015, dan 2016 yang telah membantu dan memberikan pengarahan dalam menyusun proposal skripsi.

9. Serta semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung demi kesuksesan dalam penulisan Skripsi.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka dengan nikmat yang berlipat ganda baik di dunia maupun di akhirat kelak amin. Penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulisan dan semua pihak yang membaca laporan ini, dalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 08 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Lumpur Vulkanik (<i>Mud Volcano</i>)	6
2.2 Pengertian Gunung Lumpur	7
2.3 Proses Terbentuknya Gunung Lumpur	8
2.4 Klasifikasi Gunung Lumpur	11
2.5 Persebaran Gunung Lumpur	12
2.6 Faktor Penyebab Keluarnya Lumpur	14
2.7 Geologi Daerah Penelitian	15
2.7.1 Stratigrafi	16
2.7.2 Struktur Geologi	17
2.8 Metode Geomagnet	18
2.9 Teori Dasar Geomagnet	19
2.9.1 Gaya Magnet	19
2.9.2 Kuat Medan Magnet	19
2.9.3 Momen Magnet	20
2.9.4 Intensitas Kemagnetan	20
2.9.5 Suseptibilitas Kemagnetan	21
2.9.6 Induksi Magnetik	25
2.9.7 Medan Magnet Bumi	26
2.9.8 Koreksi-koreksi Data Geomagnet	32
2.9.9 Transformasi Medan	34
2.9.10 <i>Proton Precisoon Magnetometer</i>	37
2.10 Intergrasi Al-Qur'an	38
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	40
3.2 Peralatan Penelitian	40

3.3	Data Penelitian	41
3.4	Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	41
3.4.1	Metode Pengambilan Data.....	41
3.4.2	Metode Pengolahan Data	42
3.4.3	Koreksi-koreksi Data Magnetik.....	43
3.4.4	Transformasi Medan	44
3.4.5	Interpretasi Data.....	45
3.5	Diagram Alir	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Anomali Medan Magnet	49
4.2	Topografi.....	51
4.3	Interpretasi Data Magnetik	52
4.3.1	Reduksi Bidang Datar	52
4.3.2	Kontinuasi Ke Atas	54
4.3.3	Reduksi Ke Kutub (RTP).....	56
4.4	Hasil dan Pembahasan	58
4.4.1	Penampang <i>Slice</i> A-A'	59
4.4.2	Penampang <i>Slice</i> B-B'	60
4.4.3	Penampang <i>Slice</i> C-C'	62
4.4.4	Penampang 3 Dimensi (3D).....	63
4.5	Kajian A-Qur'an	66
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	68
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		
DAFTAR LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fase Pembentukan <i>Mud Diapir</i> Dan <i>Volcano</i>	10
Gambar 2.2	Gunung Lumpur Yang Terdapat Di Pulau Jawa Bagian Timur Dan Madura.....	14
Gambar 2.3	Peta Geologi Regional Gresik	16
Gambar 2.4	Pengaruh Inklinasi Benda.....	28
Gambar 2.5	Elemen Medan Magnet Bumi : (F) Adalah Total Intenitas, (H) Adalah <i>Horisontal Intenitas</i> , (X) Adalah <i>North Component</i> , (Y) Adalah <i>Easth Component</i> , (Z) Adalah <i>Vertical Component</i> , (I) Adalah Inklinasi Geomagnetik, (D) Adalah Deklinasi Geomagnetik	29
Gambar 2.6	Anomali Magnetik Dari Batuan Atau Benda Anomali Bawah Permukaan Bumi	32
Gambar 2.7	Ilustrasi Kontinuasi Ke Atas	35
Gambar 2.8	Sebuah Anomali Magnetik Sebelum Dan Setelah Reduksi Ke Kutub.....	36
Gambar 2.9	Diagram Kotak dari PPM.....	37
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian	40
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 4.1	Tampilan Nilai IGRF (www.ngdc.noaa.gov/geomag)	50
Gambar 4.2	Anomali Medan Magnet Total	51
Gambar 4.3	Kontur Topografi Daerah Penelitian	52
Gambar 4.4	Kontur Reduksi Bidang Datar	53
Gambar 4.5	Kontur Anomali Regional Pada Ketinggian 900 meter	55
Gambar 4.6	Kontur Anomali Lokal Pada Ketinggian 900 meter	56
Gambar 4.7	Kontur Anomali Lokal Setelah di Reduksi Ke Kutub	57
Gambar 4.8	Profil <i>Slice</i> Kontur Anomali Medan Magnet Lokal	58
Gambar 4.9	Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan <i>Slice A-A'</i>	59
Gambar 4.10	Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan <i>Slice B-B'</i>	61
Gambar 4.11	Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan <i>Slice C-C'</i>	62
Gambar 4.12	Hasil Pemodelan <i>Slice</i> 3D	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Batuan Dan Mineral	24
---	----

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Data Hasil Penelitian Magnetik
- Lampiran 2 : Gambar Peta Geologi Daerah Penelitian
- Lampiran 3 : Gambar Pengambilan Data
- Lampiran 4 : Bukti Konsultasi

ABSTRAK

Amalina, Tiara Arum. 2021. Identifikasi Kantong Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) Menggunakan Metode Geomagnet (Studi Kasus Semburan Lumpur Desa Sekarkurung Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik). Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing : (1) Irjan, M.Si (2) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci : Metode Magnetik, Kantong Lumpur, Anomali medan magnet total, Suseptibilitas

Penelitian geofisika dengan metode geomagnet yang telah dilakukan di desa Sekarkurung kecamatan Kebomas kabupaten Gresik menggunakan alat *Proton Procession Magnetometer* (PPM). Akuisisi data geomagnet yang telah dilakukan dengan luas 700x400 meter ini memperoleh 122 titik pengukuran dengan jarak antar *ring* 30 meter. Berdasarkan hasil interpretasi nilai anomali medan magnet lokal yang bervariasi mulai dari -22 nT sampai 12 nT. Berdasarkan hasil interpretasi pemodelan 2D bawah permukaan diperoleh 4 jenis *body* atau lapisan. Jenis-jenis lapisannya yaitu : batugamping dengan nilai suseptibilitas 0.000002 cgs emu, batugamping terumbu dengan nilai suseptibilitas 0.00005 cgs emu, batugamping kapuran dengan nilai suseptibilitas 0.000026 cgs emu, dan batugamping dengan nilai suseptibilitan 0.000025 cgs emu serta kantong lumpur minyak (*oil sludge*) yang berada pada kedalaman ± 50 meter.

ABSTRACT

Amalina, Tiara Arum. 2021. Identification of Oil Sludge Pouch Using Geomagnetic Method (Case Study of Mudflow in Sekarkurung Village, Kebomas District, Gresik Regency). Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang.

Advisors: (1) Irjan, M.Si (2) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Keywords : Magnetic Method, Mud Volcano, Total magnetic field anomaly, Susceptibility

Geophysical research using the geomagnetic method has been carried out in Sekarkurung village, Kebomas district, Gresik district using a Proton Precession Magnetometer (PPM). Geomagnetic data acquisition that has been carried out with an area of 700x400 meters has obtained 122 measurement points with a distance between rings of 30 meters. Based on the interpretation of local magnetic field anomaly values that vary from -22 nT to 12 nT. Based on the interpretation of the 2D subsurface modeling, there are 4 types of bodies or layers. The types of layers are: topsoil with a susceptibility value of 0.000002 cgs emu, reef limestone with a susceptibility value of 0.00005 cgs emu, limestone-chalt with a susceptibility value of 0.000026 cgs emu, and limestone with a susceptibility value of 0.000025 cgs emu and oil sludge pouch located at a depth of ± 50 meters.

المستخلص

أمالنا، تيارا أروم. 2021. تعرف جيوب زيت الحمأة باستخدام الطريقة المغناطيسية الأرضية (دراسة حالة تدفق الطين في قرية سيكاركورونج ، منطقة كييوماس، مدينة جرسيك). البحث. قسم الفيزياء، كلية العلوم و التكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج.
المشرف: (1) عرجان الماجستير و (2) أحمد أبطاخي الماجستير

الكلمات المفتاحية : الطريقة المغناطيسية الأرضية، جيوب الزيت، مجموع شذوذ المجال المغناطيسي، القابلية.

تم إجراء البحوث الجيوفيزيائية باستخدام الطريقة المغناطيسية الأرضية في قرية سيكاركورونج ، منطقة كييوماس، مدينة جرسيك باستخدام مقياس مغناطيسي بروتوني. حصل الحصول على البيانات المغناطيسية الأرضية التي تم تنفيذها على مساحة 400×700 متر على 122 نقطة قياس بمسافة بين الحلقات 30 مترًا. بناء على تفسير قيم شذوذ المجال المغناطيسي المحلي ، والتي تختلف من - 22 nT إلى 12 nT. بناء على تفسير النمذجة تحت السطحية ثنائية الأبعاد ، هناك 4 أنواع من الأجسام أو الطبقات. أنواع الطبقات هي: الحجر الجيري بقيمة القابلية 0.000020 cgs emu ، و الحجر الجيري المرجاني بقيمة القابلية 0.000005 cgs emu ، و الحجر الجيري الطباشيري بقيمة القابلية 0.000026 cgs emu ، و الحجر الجيري بقيمة القابلية 0.000025 cgs emu وجيوب من حمأة الزيت على عمق ± 50 مترا.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semburan lumpur (*Mud volcano*) dan rembesan minyak dan gas bumi (*oil and gas seepage*) dapat muncul setiap waktu di permukaan bumi pada kawasan geologi yang struktur batuan dan tanahnya rentan terbentuk zona lemah seperti patahan dan rekahan. Munculnya semburan lumpur sesuai dinamika alam juga dapat dipicu oleh aktivitas manusia.

Adanya semburan lumpur tersebut biasanya menandakan kehadiran Gunung lumpur (*Mud volcano*). Gunung lumpur merupakan perwujudan suatu formasi batuan berbutir pasir hingga lempung yang mempunyai densitas kecil yang mengalami perubahan akibat adanya tekanan aktivitas tektonik yang menyebabkan formasi tersebut tidak terkonsolidasi karena sifatnya yang lentur. Sebagai lapisan yang tertekan, lapisan tersebut akan bergerak mencari kesetimbangan dan mengalami pencairan, sehingga mudah bergerak melalui zona lemah seperti patahan dan rekahan, dan dapat naik muncul ke permukaan (Awang, 2008). Gunung lumpur banyak muncul di sepanjang zona depresi. Sedimen yang tidak terkompaksi sempurna akibat proses tektonik yang terus berlangsung maupun pembebanan lapisan di atasnya dapat menyebabkan munculnya bentukan mud diaper. Permeabilitas batuan yang rendah menjadi penghalang fluida formasi yang tersimpan dalam pori batuan mencapai keseimbangan hidrostatik, hingga terjadi *over pressure*. Jika kondisi bawah permukaan terganggu, lumpur beserta fluida dan gas dapat berpotensi naik ke permukaan melalui patahan atau rekahan. Adanya

rembesan berupa lumpur dan gas yang muncul ke permukaan, biasanya menandakan kehadiran *mud volcano* (Mazzini, 2007).

Gunung lumpur (*Mud volcano*) dihasilkan oleh adanya aliran fluida secara vertikal dan semburan lumpur, umumnya terjadi pada cekungan-cekungan sedimentasi di seluruh dunia. *Mud volcano* terbentuk karena natural gas yang naik ke permukaan ketika menemukan konduit (sesar mendatar yang tegak) dan membawa lumpur (*mud*) yang punya densitas lebih ringan dari sedimen di sekitarnya. Lumpur, gas, batuan, belerang dan garam (di wilayah kering) serta air akan diletuskan di permukaan membentuk kerucut seperti gunung.

Untuk mengetahui kantong lumpur minyak dan gas di lokasi tersebut perlu dilakukan identifikasi struktur bawah permukaan. Salah satu metode geofisika yang tepat untuk digunakan adalah metode geomagnet. Metode geomagnet adalah salah satu metode geofisika yang memanfaatkan kemagnetan bumi dalam penggunaannya untuk mengetahui struktur bawah permukaan dan kedalamannya. Metode ini bekerja pada perbedaan magnetisasi suatu batuan yang di induksi oleh medan magnet bumi. Data pengamatan magnetik lebih menunjukkan sifat residual yang kompleks, sehingga metode ini memiliki variasi terhadap waktu yang lebih besar. Metode magnetik sering digunakan dalam eksplorasi minyak bumi, panas bumi, dan batuan mineral.

Dengan adanya fenomena alam tersebut, perlu dilakukan penelitian terhadap semburan lumpur di Desa Sekarkurung Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik yang bertujuan untuk mengetahui struktur bawah permukaan di area penelitian. Sebagaimana firman Allah dalam surah Al – A’la ayat 4-5 :

وَالَّذِي أَخْرَجَ الْمَرْعَىٰ (4) فَجَعَلَهُ غُثَاءً أَحْوَىٰ (5)

Artinya : “*dan Yang menumbuhkan rerumputan,(4) lalu dijadikan-Nya (rumput-rumput) itu kering kehitam-hitaman (5) (Q.S Al – A’la 87: 4-5).*”

Dalam Tafsir Ibnu Katsir, Allah menjelaskan bahwa substansi organik dalam hal ini *al-mar’a* ketika mati dijadikan Allah bercampur menjadi suatu cairan yang mengalir dan berwarna hitam gelap (*ahwaa*), yang kita kenal dengan sebutan minyak bumi. Adapun empat sifat minyak bumi yang diketahui dalam surah Al – A’la yaitu: berasal dari bahan organik dan mengalami proses pembusukan, mengalir dengan sangat deras seperti banjir, berwarna gelap kehitam-hitaman akibat menumpukan yang lama, dan terbentuk di periode bumi awal.

Metode geomagnet memiliki kelebihan, dimana proses pengukuran yang relative lebih muda dan sederhana. Harapannya dengan menggunakan metode geomagnet, potensi sebaran kantong lumpur dan litologi bawah permukaan dapat diketahui, sehingga nantinya dapat di asumsikan struktur mana yang berpotensi menjadi jebakan minyak dan gas.

Metode magnetik pernah digunakan oleh Menshov (2015), untuk mengidentifikasi jebakan minyak di ladang minyak dan gas Orchovychu, Carpathian Foredeep, Ukraina bagian Barat. Dari penelitian tersebut diketahui keberadaan jebakan minyak dan gas ditunjukkan dengan nilai anomali lokal 6 -8 nT dengan lebar sekitar 4 Km. Dari kontur anomali lokal tersebut menggambarkan secara spesifik tentang struktur jebakan minyak dan gas (perangkap hidrokarbon) yang terdapat di bawah permukaan pada lokasi penelitian. Guzman (2010), juga telah melakukan penelitian menggunakan metode magnetic di Sembilan sumur minyak di daerah prospektif di timur Venezuela.

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukannya penelitian guna mengetahui kantong lumpur minyak (*Oil Sludge*) di area penelitian dan mengetahui struktur bawah permukaan area penelitian. Diharapkan hasil penelitian ini nantinya dapat bermanfaat bagi masyarakat luas khususnya warga Sekarkurung dan turut berperan dalam menyelesaikan permasalahan energi di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana posisi kantong lumpur minyak (*Oil Sludge*) di area penelitian menggunakan metode geomagnet?
2. Bagaimana struktur dan litologi bawah permukaan di area penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui posisi kantong lumpur minyak (*Oil Sludge*) di area penelitian menggunakan metode geomagnet.
2. Mengetahui struktur dan litologi bawah permukaan di area penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat menambah wawasan mengenai keberadaan kantong lumpur minyak (*Oil Sludge*) menggunakan metode geomagnet.
2. Sebagai informasi kepada masyarakat Desa Sekarkurung untuk mengetahui adanya potensi kantong lumpur minyak (*Oil Sludge*) di sekitar area penelitian.

1.5 Batasan Masalah

1. Lokasi penelitian berada di Desa Sekarkurung Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik, dengan luas area sekitar 700 x 400 m² pada koordinat 7° 10'. 77"S dan 112° 37'. 59"E.

2. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode geomagnet.
3. Software yang digunakan yaitu: *Excel Ms, Magpick, Surfer13, Oasis Montaj*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lumpur Vulkanik (*Mud Volcano*)

Banyak ahli geologi yang menganalogikan semburan lumpur panas adalah gejala alam yang disebut gunung lumpur/*mud volcano* yang banyak tersebar di Indonesia (khususnya di Indonesia Timur dikenal dengan istilah *poton*), bahkan di Jawa Timur Utara banyak ditemukan, seperti Bleduk Kuwu dekat Purwodadi, gunung anyar dekat Surabaya bahkan di Selatan kali porong, yang masa lalu menyemburkan lumpur tetapi sekarang sudah mati (Koesoemadinata, 2006).

Definisi dari *mud volcano* adalah suatu sumber api lumpur yang berbentuk suatu kerucut tanah liat dan lumpur berukuran kecil, yang pada umumnya kurang dari 1-2 m tingginya. Gunungapi lumpur kecil ini berbentuk dari campuran air panas dan sedimen halus (tanah liat dan lumpur) dimana terdapat aliran perlahan dari suatu lubang seperti suatu arus lahar cair, atau menyembur ke udara seperti suatu air mancur lahar yang melepaskan air mendidih dan gas vulkanik. Tanah liat lumpur dan lumpur yang secara khas berasal dari gas batuan vulkanik padat dan panas yang terlepas dari magma yang dalam di bawah memutar air bawah tanah menjadi suatu campuran panas dan asam yang secara kimiawi merubah batuan vulkanik menjadi fraksi lumpur dan tanah liat. Menurut Rubiandini (2006) Sumber air lumpur berasal dari lapisan atau diapir bersifat plastis dan lapisan serpih lumpur yang tidak kompak (*overpressure*). Gunung lumpur juga berkait erat dengan adanya retakan atau kekar atau sesar atau lipatan. Gunung lumpur salah satu petunjuk penting adanya tubuh diapir lumpur dan tubuh serpih yang tidak kompak yang berasal dari dalam bumi. Gunung lumpur biasanya berbentuk kerucut kecil dan bersifat sementara sangat

mudah berubah bila kena hujan. Gunung lumpur di daratan terbentuk di dua tempat yaitu di daerah gunungapi aktif dan di daerah cekungan minyak gas bumi. Di daerah gunungapi aktif terutama yang mengeluarkan gas, lumpur menuju kepermukaan bumi melewati lapisan sedimen halus (lempung/serpih) ini menyebabkan erupsi kecil membentuk kerucut berukuran kecil dengan tinggi tidak lebih dari 2 meter.

Mobile clay adalah seperti tanah lempung yang sering dilihat di permukaan bumi dengan wujud sangat liat. Namun ketika kondisi dinamis karena mengalir maka percampuran dengan air bawah tanah menjadikan lempung ini seperti bubur. Lumpur vulkanik ini bisa melalui *crack* (patahan) yang sudah ada dapat juga melalui pinggiran sumur dengan membentuk *crack/fracture* yang baru. Keduanya akan menyebabkan kejadian yang sama yaitu keluarnya lumpur (Koesoemadinata, 2006).

2.2 Pengertian Gunung Lumpur

Gunung lumpur merupakan perwujudan suatu formasi batuan berbutir pasir hingga lempung yang mempunyai densitas kecil yang mengalami perubahan akibat adanya tekanan aktivitas tektonik yang menyebabkan formasi tersebut tidak terkonsolidasi karena sifatnya yang lentur. Sebagai lapisan yang tertekan, lapisan tersebut akan bergerak mencari kesetimbangan dan mengalami pencairan, sehingga mudah bergerak melalui zona lemah seperti patahan dan rekahan, dan dapat naik muncul ke permukaan (Awang, 2008).

Gunung lumpur banyak muncul di sepanjang zona depresi. Sedimen yang tidak terkompaksi sempurna akibat proses tektonik yang terus berlangsung maupun pembebanan lapisan di atasnya dapat menyebabkan munculnya bentukan *mud diaper*. Permeabilitas batuan yang rendah menjadi penghalang fluida formasi yang

tersimpan dalam pori batuan mencapai keseimbangan hidrostatik, hingga terjadi *over pressure*. Jika kondisi bawah permukaan terganggu, lumpur beserta fluida dan gas dapat berpotensi naik ke permukaan melalui patahan atau rekahan. Adanya rembesan berupa lumpur dan gas yang muncul ke permukaan, biasanya menandakan kehadiran *mud volcano* (Mazzini, 2007).

Gunung lumpur atau *mud volcano* adalah istilah generik yang umum digunakan untuk menggambarkan struktur yang memancarkan air, lumpur, atau hidrokarbon. Daerah panas bumi yang sering ditemui memiliki struktur kecil disebut gunung lumpur yang terbentuk oleh air panas dan uap. Struktur kecil (<5m) terbentuk selama faksi cair juga disebut gunung lumpur (Milkov, 2000).

Gunung lumpur merupakan perwujudan suatu formasi batuan berbutir pasir hingga lempung yang mempunyai densitas kecil yang mengalami perubahan akibat adanya tekanan aktivitas tektonik yang menyebabkan formasi tersebut tidak terkonsolidasi karena sifatnya yang lentur. Sebagai lapisan tertekan, lapisan tersebut akan bergerak mencari kesetimbangan dan mengalami pencairan, sehingga mudah bergerak melalui zona lemah seperti patahan dan rekahan, dan dapat naik muncul ke permukaan (Setiadi, 2016).

Mengacu batasan gunungapi dari Macdonald (1972), maka gunungapi lumpur (*mud volcano*) adalah tempat, lubang atau bukaan dari mana bahan lumpur keluar dari dalam bumi ke permukaan, dan endapan lumpur yang terakumulasi di sekeliling lubang itu membentuk bukit kecil.

2.3 Proses Terbentuknya Gunung Lumpur

Beberapa ahli sains percaya bahwa gunung lumpur adalah bencana yang tidak natural tetapi akibat dari pengeboran, Namun, beberapa ahli geologi percaya bahwa

gunung lumpur merupakan peristiwa yang natural yang disebabkan oleh adanya gempa, dimana gempa tersebut terjadi sebelum erupsi. Selain masih menjadi perdebatan asal mula terbentuknya gunung lumpur, tapi gunung lumpur ini memiliki dampak sosial dan lingkungan. Produksi lumpur yang tidak mungkin berhenti dapat terjadi peninggian dataran, sehingga dapat membentuk gunung. Selanjutnya jika gunung lumpur memproduksi berlebih maka dapat berpotensi bahaya karena dapat menenggelamkan pemukiman yang ada di sekitar gunung lumpur (Krisnayanti, 2014).

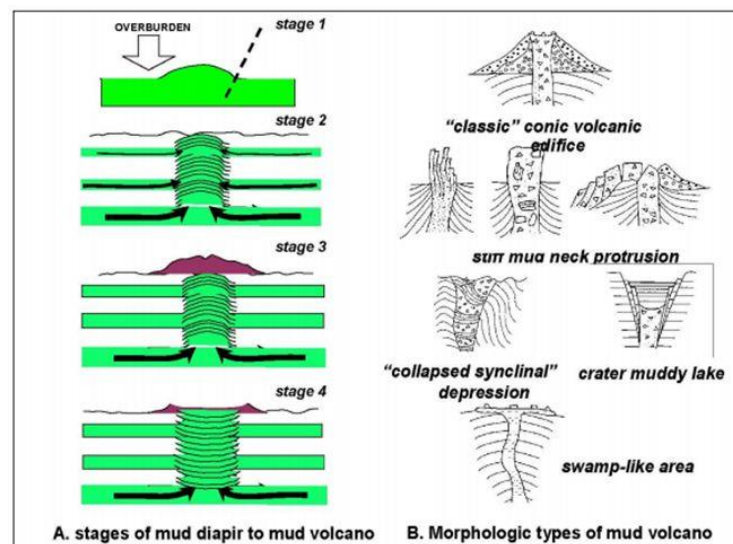
Mud volcano terbentuk karena natural gas yang naik ke permukaan ketika menemukan konduit (sesar mendatar yang tegak) dan membawa lumpur (*mud*) yang mempunyai densitas lebih ringan daripada sedimen di sekitarnya. Wilayah sesar mendatar aktif merupakan zona lemah tempat fluida bertekanan tinggi mencari jalan untuk mencapai kesetimbangan membentuk *mud volcano* (Mazzini, 2007).

Gunung lumpur terbentuk karena melepaskan gas alami yang naik ke permukaan ketika menemukan konduit (sesar mendatar yang tegak) dan membawa lumpur (*mud*) yang memiliki densitas yang lebih ringan dari sedimen disekitarnya. Lumpur, gas, batuan, belerang, dan garam serta air akan diletuskan di permukaan membentuk kerucut seperti gunung. Proses sedimentasinya serupa *mud* diapir dalam skala rendah dikelilingi paket sedimen berdensitas tinggi. Gerakan tektonik berpengaruh, juga sedimen yang diendapkan secara cepat. Wilayah sesar mendatar aktif merupakan lahan subur gunung lumpur.

Terjadinya gunung lumpur biasanya berasosiasi dengan suatu keadaan geologi yang lapisan sedimennya belum terkompaksikan, mempunyai tekanan

tinggi dan mengakibatkan timbulnya diapir dari serpih ataupun penusukan oleh serpih. Gejala tersebut juga sering berasosiasi dengan daerah yang disebut *over pressured area*, yaitu daerah tekanan tinggi yang tekanan serpihnya lebih besar daripada tekanan hidrostatik, dengan demikian dapat menimbulkan kesulitan pemboran (Satyana, 2003).

Hubungan erat antara lumpur diapir dan gunung lumpur dapat dilihat pada tahap pembentukan diapir ke gunung diapir (Satyana, 2008) :



Gambar 2.1. Fase Pembentukan *Mud Diapir* Dan *Volcano* (Satyana, 2008).

Tahap pertama merupakan fase pertumbuhan deformasi awal *shale* pada zona lemah. Tahap kedua adalah perpindahan *shale* ke atas mendekati permukaan (fase diapirik *shale*) tahap ketiga semburan *shale* ke permukaan (fase gunung lumpur). Tahap keempat merupakan proses akhir dari aliran *shale* disebabkan penurunan tekanan bawah permukaan yang ditunjukkan oleh penurunan parsial di bawah gunung lumpur (Satyana, 2008).

2.4 Klasifikasi Gunung Lumpur

Keistimewaan dari pembentukan *host* dan evolusi gunung lumpur bisa secara umum menjelaskan keanekaragaman pada morfologi dan aktivitas dari gunung lumpur. Beberapa skema klasifikasi yang telah berkembang dengan menggunakan pendekatan dan kriteria yang berbeda, bentuk dan ukuran susunan gunung lumpur serta hubungan gunung lumpur dengan struktur geologi lokal patahan dan tipe dari lipatan (Dimitrov, 2001).

Secara umum, gunung lumpur diklasifikasikan menjadi 2 jenis utama yaitu: gunung lumpur yang berasosiasi dengan gunungapi dan gunung lumpur yang tidak terhubung dengan gunungapi. Gunung lumpur tipe pertama dicirikan keberadaannya berdekatan dengan gunungapi aktif. Umumnya gunung lumpur ini bersuhu tinggi, mengeluarkan uap air dalam jumlah besar, dan tidak hadirnya gas hidrokarbon. Contohnya gunung lumpur ini adalah solfatara atau fumarol dan geyser yang dihasilkan oleh aktivitas vulkanik. Gunung lumpur tipe yang kedua adalah gunung lumpur yang tidak ada kaitannya dengan gunungapi dengan kata lain gunung ini meletus secara independen tanpa terkait dengan gunungapi. Gunung lumpur ini dicirikan dengan air letusan yang bersuhu relatif rendah/dingin dan mengandung material hidrokarbon (dalam bentuk gas). Tipe gunung lumpur ini merupakan gunung lumpur yang sesungguhnya (Graue, 2000).

Percobaan untuk mengklasifikasikan gunung lumpur ini berdasarkan karakter semburan dengan memperhatikan ekspresi permukaan, telah dilakukan oleh Kalinko (1964). Ia membedakan menjadi 3 kelas gunung lumpur diantaranya :

1. Tipe *Lokbatan*

Tipe gunung lumpur ini dengan bentuk kerucut.

2. Tipe *Chikistylar*

Gunung Lumpur ini dengan bentuk sangat rendah dengan tonjolan atau kubah rata (*flat domes*), dimana menyatu dengan bidang di sekelilingnya atau membentuk depresi pipih (*plateshape depressions*) yang diisi air.

3. Tipe *Schugin*

Dicirikan oleh suatu bentuk yang bervariasi , tetapi yang umum dari gunung lumpur tipe ini membentuk kawah komposit (*crater*).

Menurut Yusinov (2004) ada empat macam gunung lumpur (*mud volcano*) yang dipelajarinya di Azerbaijan yg dikelompokkan oleh *State Oil Company of Azerbaijan Republic*: Pertama tipe *Explosive* yang dicirikan dengan semburan lumpur dan gas yang sangat kuat dan secara seketika terbakar. Sedangkan tipe yang kedua adalah *Effusive* yang dicirikan dengan keluarnya lumpur seketika dalam jumlah yang besar namun tidak ada gas yang terbakar. Tipe yang ketiga adalah *Effusive* yang dicirikan aliran lumpur yang viskositasnya encer tanpa mengeluarkan gas dalam jumlah yang banyak. Sedangkan tipe yang terakhir adalah tipe *Extrusive* yang dicirikan aliran lumpur yang lambat dengan kandungan viskositas yang encer dengan kandungan gas yang sangat sedikit. Dari ke empat tipe di atas, tipe pertama dan kedua ini sangat berbahaya. Tipe lain tidak terlalu berbahaya bahkan mungkin bisa diprediksi. Akan tetapi harus dipelajari dahulu struktur geologi di bawah permukaan sebelum ditentukan tipe dari semburan lumpur tersebut.

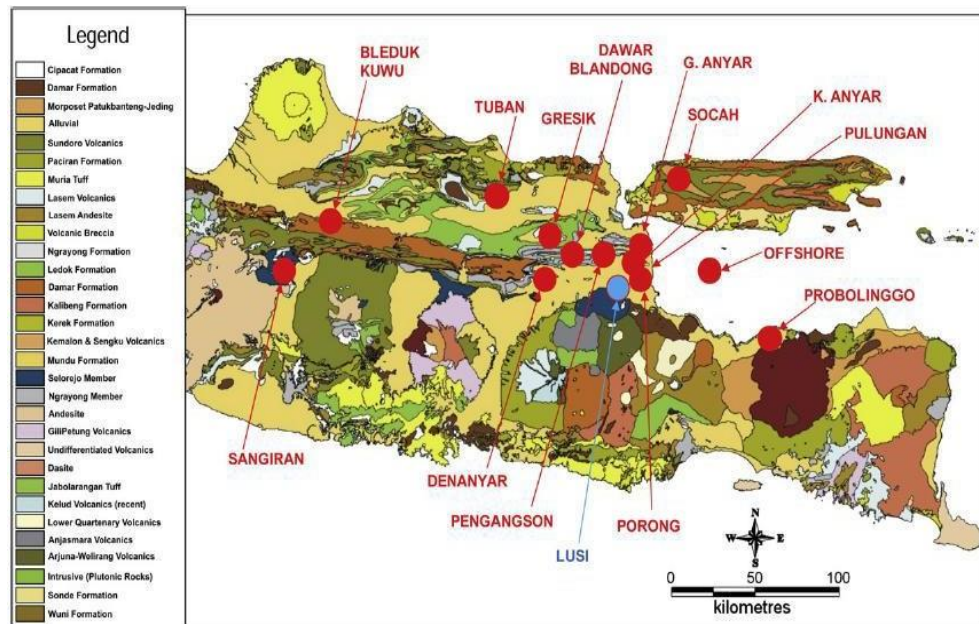
2.5 Persebaran Gunung Lumpur

Menurut Van Bemmelen (1949) sejarah geologi daerah Jawa Timur Utara dimulai jutaan tahun lalu yang dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian selatan (gunungapi aktif), tengah (cekungan laut transgresi) dan bagian utara

pengunungan. Bagian tengah terjadi pembentukan karang dan pengendapan sedimen klastik yang bersumber dari utara. Bersamaan dengan itu terjadi aktivitas tektonik dan ledakan gunung yang mendadak dan besar berlangsung terus menerus. Karena sifat ledakan gunung berapi ini, maka sedimen yang tertutup oleh endapan hasil ledakan ini tidak mengalami pemadatan (berupa lumpur dan air).

Di Pulau Jawa terdapat 14 *mud volcano*, dan 12 diantaranya terdapat di Jawa Timur dengan lima titik tersebar di sekitar patahan Watu Kosek. *Mud volcano* yang berada di patahan Watu Kosek adalah Lumpur Sidoarjo, Porong, Pulungan, Kalang Anyar, Gunung Anyar, dan Socah. Dari lima titik *mud volcano* yang terdapat di patahan Watu Kosek, yang berpotensi bencana adalah Lumpur Sidoarjo dan *mud volcano* Gunung Anyar Surabaya. *Mud volcano* tersebut dikatakan memiliki potensi bencana karena terletak pada pemukiman padat penduduk. Untuk mengetahui kemungkinan potensi bencananya, diperlukan karakterisasi patahan Watu Kosek dan *mud volcano* Gunung Anyar Surabaya (Zaenudin, 2010).

Gunung–gunung lumpur yang terdapat di Jawa bagian timur tersebut adalah Bledug Kuwu (Grobogan), Sangiran (Sragen), Wringin Anom (perbatasan Gersik–Mojokerto), Kalang Anyar dan Pulungan (Sedati, Sidoarjo), Gunung Anyar (Surabaya), dan Geger (Bangkalan, Madura) dan banyak lainnya. Dari semua gunung lumpur tersebut yang masih aktif mengeluarkan lumpur yang cukup besar sampai saat ini hanya Bledug Kuwu yang terdapat di Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Gunung Lumpur Kalang Anyar, Gunung Anyar, dan Geger juga masih mengeluarkan air dan lumpur walaupun dalam volume kecil seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Gunung lumpur lainnya hanya mengeluarkan gas bercampur air seperti yang terlihat di Sangiran dan Pulungan (Istadi, 2009).



Gambar 2.2 Gunung Lumpur yang Terdapat di Pulau Jawa Bagian Timur dan Madura (Istadi, 2009).

2.6 Faktor Penyebab Keluarnya Lumpur

Ada pula yang menyebutkan bahwa pemicu gunung lumpur adalah akibat gaya dari dalam perut bumi (endogenik). Gunung lumpur sebenarnya identik dengan diapir lumpur/garam. Gunung lumpur merupakan intrusi massa yang relatif *mobile* (bergerak/berpindah) terhadap strata (lapisan/tingkatan) disekitarnya yang mengakibatkan adanya daya tamping (*buoyancy*) dan perbedaan tekanan berlebihan (*oversaturated*) dan ketika massa yang mengintrusi sampai di permukaan, maka fenomena inilah yang dikenal dengan *Mud volcano* (Wiranata, 2018).

Faktor Penyebab Keluarnya lumpur Ada dua faktor yang menyebabkan terjadinya semburan lumpur tersebut yaitu (Dimitrov, 2001) :

1. Faktor alam

Munculnya lumpur panas di dunia selalu dikaitkan dengan adanya gunung lumpur (*mud vulcano*). Komposisi gunung lumpur ini terdiri atas semua

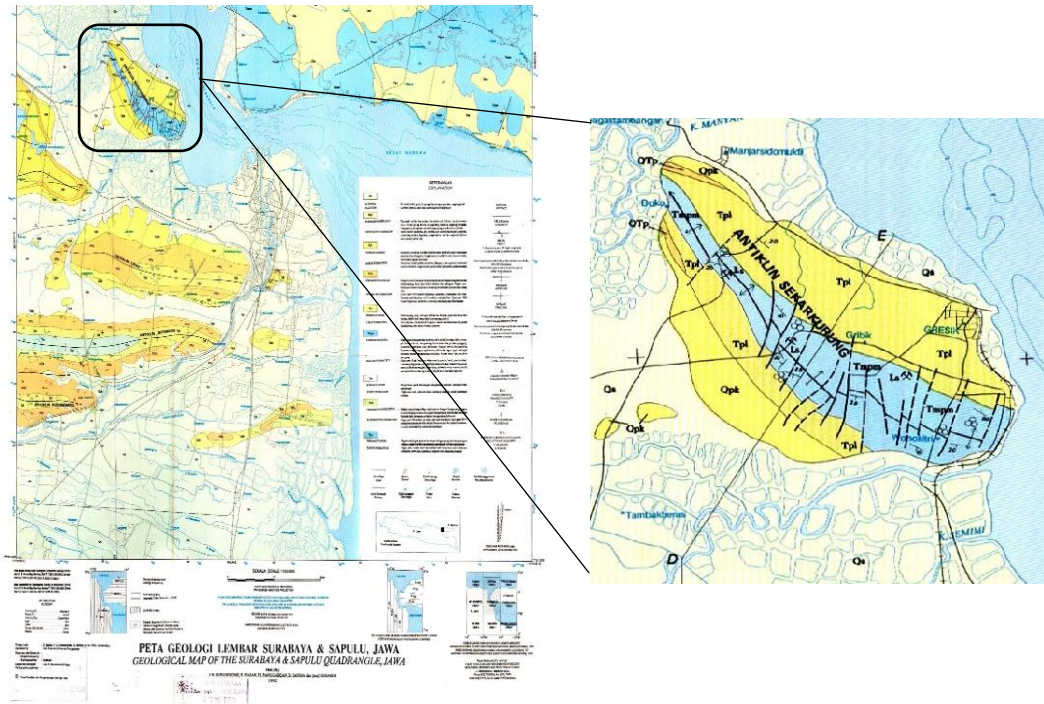
material yang dikeluarkan perut bumi baik berupa masa padat, plastis, cair, dan gas. Munculnya gunung lumpur ini dipicu adanya bubur lumpur yang bercampur dengan kantong– kantong gas (metana) yang mengalami kelebihan tekanan terkubur di bawah permukaan yang berusaha keluar ke permukaan bumi. konduit untuk keluarnya lumpur tersebut berupa bukaan atau rekahan terbentuk akibat proses tektonik atau pembentukan patahan atau struktur antiklin.

2. Kegiatan manusia

Kegiatan manusia (*man made activity*), terjadi semburan lumpur panas yang diakibatkan oleh adanya aktivitas atau kegiatan manusia contohnya pemasangan *ring* dan pengeboran minyak bumi, seperti yang terjadi di Sidoarjo.

2.7 Geologi Daerah Penelitian

Ditinjau dari peta geologi regional, Gresik termasuk ke dalam lembar geologi lembar Surabaya-Sapulu.



Gambar 2.3 Peta Geologi Regional Gresik (Sukardi, 1992).

2.7.1 Stratigrafi

Daerah penelitian ini terletak di Desa Sekarkurung Kec. Kebomas Kab. Gresik yang masuk ke dalam peta geologi lembar Surabaya-Sapulu dimana pada wilayah regional tersebut terdapat struktur antiklin Sekarkurung. Pada Gambar 2.3 terlihat ada banyak struktur patahan yang berarah Tenggara-Barat Laut.

Stratigrafi daerah penelitian terdiri dari yang paling tua adalah batuan tertua di Lajur Kendeng yang tersingkap adalah Formasi Sonde yang berumur Pliosen. Formasi ini tertindih selaras oleh Formasi Lidah yang berumur Pliosen-Plistosen, dan ini pada gilirannya tertindih selaras oleh Formasi Pucang. Formasi terakhir itu tertindih selaras oleh Formasi Kabuh yang di duga berumur Plistosen. Batuan tertua Lajur Rembang- Madura yang tersingkap adalah Formasi Tawun yang berumur Miosen Awal- Tengah. Dii atasnya terdapat Formasi Wtukoceng yang berumur Miosen Tengah, tetapi setempat formasi itu menjemari dengan

Formasi Tawun. Selaras di atas Formasi Watukoceng terdapat Formasi Madura, di atasnya lagi menindih tak selaras Formasi Pamekasan yang berumur Plistosen (Sukardi, 1992).

2.7.2 Struktur Geologi

Gresik termasuk ke dalam Cekungan Kendeng yang merupakan *Zona Central Depression* Pulau Jawa akibat tumbukan lempeng Eurasia dengan lempeng Indo-Australia, sehingga banyak terdapat patahan yang masih aktif. Di dalam rangkaian Zona Kendeng terdapat sesar geser dengan arah barat daya – timur laut, yaitu sesar Watukosek. Sesar Watukosek berada pada stratigrafi Mandala Kendeng, berarah timur laut – barat daya yang melewati Pulungan – Sidoarjo dan Bangkalan, Madura (Bemmelen, 1949). Adanya kelurusan sebaran *mud volcano* menunjukkan tektonik berupa kelurusan struktur sesar permukaan dan bawah permukaan, sebagai hasil reaktivasi sesar pada zona cekungan Kendeng. Geologi daerah Gresik merupakan bagian dari Peta Geologi lembar Surabaya-Sapulu.

Struktur pada daerah penelitian adalah antiklin Sekarkurung dan dua sesar mendatar diperkirakan, yaitu sesar Giri dan sesar Sidomoro. Berdasarkan klasifikasi Dunham (1962) dan Embry and Klovan (1971), daerah penelitian dibagi ke dalam enam litofasies yaitu; *Framestone*, *Foraminifera Planktic Packstone*, *Foraminifera Planktic Wackestone*, *Mollusca Packstone*, *Mollusca Wackestone*, dan *Mudstone*. Berdasarkan Pomar (2004) daerah penelitian termasuk ke dalam *barrief reef* dibagi ke dalam empat fasies pengendapan yaitu, *reef core*, *outer back reef lagoon dengan zona low energy*, *inner back reef lagoon* dan *open shelf high energy*.

2.8 Metode Geomagnet

Metode geomagnet merupakan metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik. Variasi ini disebabkan oleh adanya variasi distribusi batuan termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Selain itu variasi medan magnetik bisa disebabkan oleh adanya perubahan struktur geologi setempat. Metode magnetik merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk eksplorasi berdasarkan perubahan besaran medan magnet akibat adanya variasi kemagnetan dari formasi batuan bumi. Metode magnetik ditunjukkan oleh pengukuran intensitas dari medan magnet bumi, metode ini didasarkan pada sifat kemagnetan (kerentanan magnet) batuan, yaitu kandungan magnetiknya sehingga efektifitas metode ini bergantung kepada kontras magnetik di bawah permukaan (Telford, 1990).

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). Metode geomagnet dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi besar bawah permukaan seperti sesar, lipatan intrusi batuan beku atau kubah garam dan reservoir geothermal. Dalam eksplorasi geofisika lingkungan metode magnetik hanya akan memberikan gambaran secara umum (Reynolds, 1997). Menurut Burger (1992), mengemukakan bahwa metode magnetik dapat digunakan untuk mengetahui kedalaman dan struktur bawah permukaan, dan pengukuran dapat diperoleh dengan mudah untuk studi lokal dan regional. Menurut Menshov (2015), metode geomagnet juga digunakan untuk mengidentifikasi jebakan minyak yang bisa diketahui berdasarkan nilai magnetik.

2.9 Teori Dasar Geomagnet

2.9.1 Gaya Magnet

Menurut Sheriff (1989) menyatakan bahwa gaya magnetik berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara dua muatan magnetik, yang persamaannya mirip seperti hukum gaya gravitasi Newton. Hukum Coulomb juga menyatakan bahwa gaya magnetik berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara dua muatan magnetik, yang persamaannya mirip seperti hukum gaya gravitasi Newton.

Gaya magnet adalah suatu gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara kutub-kutub magnet yang terpisah sejauh r dan menimbulkan gaya magnet sebesar F . dasar dari metode geomagnet adalah gaya Columb (Telford, 1990), antara dua kutub magnetik m_1 dan m_2 (emu) yang berjarak r (m) yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana :

\vec{F} = Gaya magnetik (dalam cgs-emu = *dyne*).

$m_1 m_2$ = Kutub magnet.

μ_0 = Permeabilitas magnetik

r = Jarak antara kedua kutub magnet (m).

\hat{r} = Vektor satuan berarah dari m_1 ke m_2 .

2.9.2 Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnetik (\vec{H}) ialah besarnya medan magnet pada suatu titik dalam ruangan yang timbul sebagai akibat adanya kuat kutub yang berada sejauh r

dari titik m tersebut. Kuat medan magnet (\vec{H}) didefinisikan sebagai gaya persatuan kuat kutub magnet (Hunt, 1995) :

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{m_2} = \frac{m_1}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (\text{oersted}) \quad (2.2)$$

dengan \vec{r} adalah jarak titik pengukuran dari m . \vec{H} mempunyai satuan A/m dalam SI sedangkan dalam cgs \vec{H} mempunyai satuan oersted.

2.9.3 Momen Magnet

Momen magnetik didefinisikan sebagai dua buah kutub magnet yang berlawanan arah dan secara alami selalu berpasangan yang disebut dipole dengan kutub positif ($+m$) dan kutub negatif ($-m$) yang dipisahkan jarak (l) (Burger, 1992), yang di rumuskan sebagai berikut (Perdana dkk, 2013):

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

Dimana \vec{M} merupakan vektor pada arah vektor \hat{r} berarah dari kutub negatif menuju kutub positif. Sebagai momen magnet dalam satuan SI adalah ampere.meter² (A.m²).

2.9.4 Intensitas Kemagnetan

Sejumlah benda-benda magnet dapat dipandang sebagai sekumpulan benda magnetik. Apabila benda magnetik tersebut diletakkan dalam medan magnet luar, benda tersebut menjadi termagnetisasi karena induksi. Dengan demikian intensitas kemagnetan I adalah tingkat kemampuan menyearahkan momen-momen magnetik dalam medan magnet luar (Telford, 1990), atau didefinisikan sebagai momen magnet persatuan volume:

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

satuan magnetisasi dalam cgs adalah gauss atau emu.cm^{-3} dan dalam SI adalah A.m^{-1}

2.9.5 Suseptibilitas Kemagnetan

Kemampuan untuk dimagnetisasinya suatu benda magnetik, di tentukan oleh nilai suseptibilitas kemagnetan atau k yang dituliskan sebagai (Telford, 1990):

$$k = \frac{I}{H} \quad (2.5)$$

Dimana:

k = Suseptibilitas (ST)

I = Magnetisasi (T)

H = Medan magnet luar (T)

Besaran yang tidak berdimensi ini merupakan parameter dasar yang dipergunakan dalam metode geomagnet. Harga k pada batuan semakin besar apabila dalam batuan tersebut semakin banyak dijumpai mineral-mineral magnet yang bersifat magnetik (Burger, 1992).

Di dalam penyelidikan magnet besarnya intensitas magnet suatu batuan ditentukan juga oleh faktor kerentanan (suseptibilitas) magnet k dari batuan tersebut, yaitu kemampuan dari suatu batuan dalam menerima sifat magnet dari medan magnet bumi. Kerentanan magnet k suatu batuan sebanding dengan konsentrasi kelompok mineral magnetik di dalam batuan tersebut. Dengan kata lain batuan yang sedikit atau sama sekali tidak mengandung mineral magnetik, akan mempunyai intensitas magnet yang kecil, sehingga untuk batuan yang telah mengalami ubahan (alterasi) atau pelapukan, intensitasnya akan rendah (Telford, 1990).

Nilai dari suseptibilitas berbeda dengan nilai yang diberikan oleh permeabilitas. Hubungan antara permeabilitas dan suseptibilitas dapat dilihat dari persamaan berikut ;

$$\mu = 1 + 4\pi k \quad (2.6)$$

dengan μ adalah permeabilitas batuan, sedangkan k adalah suseptibilitas batuan. Berdasarkan nilai suseptibilitas (k) tersebut, maka diklasifikasikan beberapa material yang memiliki sifat magnetik. Hal tersebut didasarkan pada bagaimana material itu bereaksi terhadap medan magnet luar (Telford, 1990).

Berdasarkan kemagnetannya batuan diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Batuan diamagnetik.

Batuan yang atom-atom pembentuk batumannya memiliki elektron yang telah jenuh, yaitu tiap elektron berpasangan dan mempunyai spin berlawanan dalam setiap pasangan. Contohnya yaitu: batuan kuarsa, marmer, *graphite*, *rock salt*, dan *anhydrite* atau *gypsum* (Telford, 1990).

2. Batuan paramagnetik.

Batuan yang memiliki nilai suseptibilitas yang positif dan kecil. Paramagnetik muncul dalam bahan yang atom-atomnya memiliki momen magnetik yang permanen yang berinteraksi satu sama lain secara sangat lemah. Contohnya yaitu: *Olivine*, *pyroxene*, *amphibole*, dan *biotite* (Telford, 1990).

3. Batuan ferromagnetik.

Batuan yang di dalamnya terdapat banyak kulit elektron yang hanya diisi oleh satu elektron sehingga mudah terinduksi oleh medan magnet luar. Memiliki nilai suseptibilitas yang positif dan sangat tinggi. Dalam bahan ini sejumlah

kecil medan magnet luar menyebabkan derajat penyearahan yang tinggi pada momen dipol magnetik atomnya. Momen magnet ini dapat bertahan sekalipun medan pemagnetannya telah hilang. Daerah ruang tempat momen dipol magnetik disearahkan ini disebut daerah magnetik. Pada temperatur di atas suhu kritis yang disebut titik *curie*, gerak termal acak sudah cukup besar sudah cukup besar untuk merusak keteraturan momen magnetik. Dan bahan ferromagnetik berubah menjadi paramagnetik.

Ferromagnetik dibagi menjadi dua yaitu :

a. Antiferromagnetik

Pada bahan antiferromagnetik domain-domain dihasilkan oleh 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, tetapi harganya naik sampai dengan titik *Curie* kemudian turun lagi menurut hukum Curie-Weiss.

Contoh: Hematit

b. Ferrimagnetik

Pada bahan ferrimagnetik domain-domain saling antipartikel dan jumlah dipole pada masing-masing arah tidak sama sehingga masih mempunyai resultan magnetisasi cukup besar, suseptibilitasnya tinggi dan tergantung pada temperatur. Contoh : Magnetit, Ilmenit, Pirhotit (FeS), Ferrit, Yttrium.

Berdasarkan proses terjadinya ferrimagnetik terdapat dua macam magnet :

1. Magnet induksi bergantung pada nilai suseptibilitas yang menyebabkan anomali pada medan magnet bumi.
2. Magnet permanen bergantung pada sejarah pembentukan batuan (Jensen, 1991).

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Batuan Dan Mineral (Telford, 1990):

Jenis batuan	Suseptibilitas $\times 10^3$ (SI)	
	Range	Rata
Batuan Sedimen		
Dolomit	0 – 0.9	0.1
Batu Gamping	0 – 3	0.3
Batu Pasir	0 – 20	0.4
Serpilh	0.01 – 15	1.6
Batu Metamorf		
Amphibolite		0.7
Schist	0.3 – 3	1.4
Phyllite		1.5
Gneiss	0.1 – 25	
Quartzite		4
Serpentine	3 – 17	
Batu Beku		
Granit	0 – 50	2.5
Riolit	0.2 – 35	
Dolorit	1 – 35	17

Diabase	1 – 160	55
Peridotit	90 – 200	150
Andesit		160
Mineral-Mineral		
Kuarsa		-0.01
Batubara		0.02
Lempung		0.2
Magnetik	1.2 – 0.00192	6000

2.9.6 Induksi Magnetik

Dalam melakukan pengukuran, medan magnetik yang terukur oleh magnetometer adalah medan magnet induksi termasuk efek magnetisasinya dengan mengabaikan efek medan magnet remanen (sementara). Persamaan rumus induksi medan magnet dapat dituliskan sebagai berikut (Qomariyah, 2011):

$$B = \mu_0(H + M) = \mu_0(1 + k)H \quad (2.7)$$

Dimana:

B = induksi medan magnet (T)

M = magnetisasi (Wb/m³)

H = medan magnet luar

k = Suseptibilitas

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ adalah Permeabilitas magnetik pada ruang hampa

Benda magnet dapat dipandang sebagai sekumpulan dari sejumlah momen-momen magnetik. Bila benda magnetik tersebut diletakkan dalam suatu medan luar, maka benda tersebut akan terinduksi dan menjadi termagnetisasi.

2.9.7 Medan Magnet Bumi

Asal mula medan magnetik bumi hingga sejauh ini belum dapat dipahami secara tuntas, tetapi keberadaanya didasari oleh pemikiran bahwa arus listrik yang menimbulkan medan magnetik bumi ditimbulkan oleh dua hal yang saling bersinergi yaitu efek-efek konveksi dan rotasi dari cairan metalik yang terdiri dari besi dan nikel yang berada antara inti bagian luar dan mantel bagian dalam bumi. Mekanisme ini dinamakan dengan efek dinamo (Zulaikha, 2007).

Medan magnet utama bumi secara teoritis disebabkan oleh sumber dalam bumi, magnetisasi permanen oleh aliran arus listrik atau arus listrik yang keluar dan masuk bumi. Beberapa teori menganggap inti bumi tersusun oleh besi dan nikel, 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 thermal beserta alirannya. Kombinasi gerak dan arus tersebut disebabkan terjadinya medan magnet (Telford, 1990).

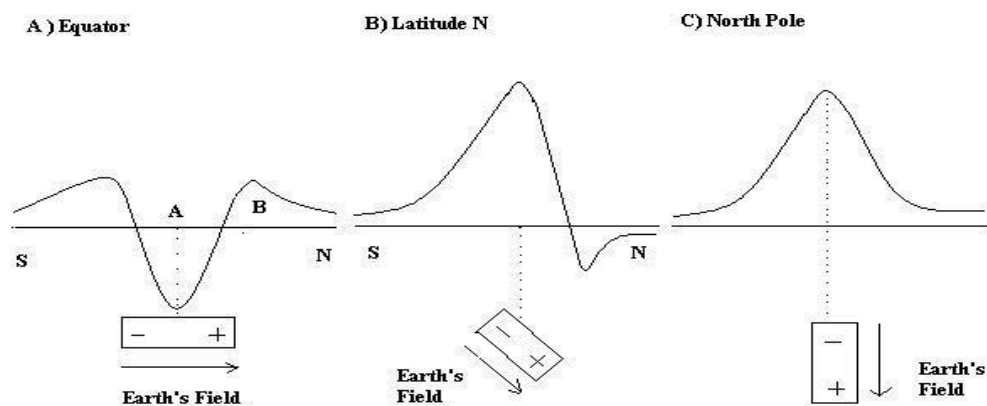
Medan magnet bumi adalah salah satu besaran vektor yang mempunyai besaran (*magnitude*) dan arah, besaran ini dapat diuraikan menjadi komponen-komponennya. Medan magnet utama timbul karena adanya arus listrik yang mengalir berputar di dalam inti luar yang membentang dari jari-jari 1.300 km hingga 1.500 km. Medan utama ini tidak konstan terhadap waktu dan perubahannya relatif lamban. 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 (Telford, 1990).

Medan magnet bumi merupakan suatu besaran vektor, maka besaran ini dapat diuraikan menjadi komponen-komponennya. William Gilbert menganggap bahwa bumi adalah sebuah magnet yang diketahui adanya Inklinasi (I), Deklinasi, (D), medan magnet tegak (*vertical magnetic field*) (Z), medan magnet datar (*horizontal magnetic field*) (H) dan medan magnet total (*total magnetic field*) (T). Medan magnet tersebut disebut unsur magnet (*magnetic elements*) (Untung, 2001).

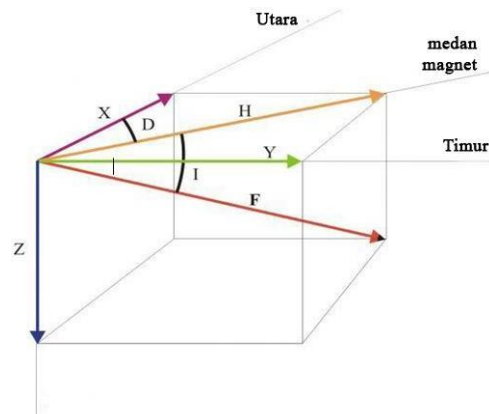
Medan magnet bumi terkarakterisasi oleh elemen medan magnet bumi, yang berakibat arah dan intensitas kemagnetannya. Elemen tersebut meliputi (Siahaan, 2009) :

- a. Deklinasi (D), yaitu sudut antara utara magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur.
- b. Inklinasi (I), yaitu sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah. Anomali magnetik yang dihasilkan masih dipengaruhi oleh arah inklinasi medan bumi pada daerah penyelidikan sehingga maksimum profil anomali tidak berhubungan langsung dengan posisi sumber benda penyebab anomali (Gambar 2.4). Inklinasi benda magnet bumi pada daerah survei yang berada di sekitar khatulistiwa merupakan kebalikan dari daerah kutub, dimana pada sekitar khatulistiwa posisi sumber berhubungan dengan minimum profil anomali. Untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik maka dilakukan filter reduksi ekuator (Blakely, 1995).



Gambar 2.4 Pengaruh Inklinasi Benda (Siahaan, 2009).

- c. Intensitas Horizontal (H), yaitu besar dari medan magnetik total pada bidang horizontal.
- d. Medan Magnetik Total (T), yaitu besar dari vektor medan magnetik total.
- Elemen yang menggambarkan arah medan magnetik adalah deklinasi D (sudut antara magnetik utara dan utara geografis) dan inklinasi I (sudut antara bidang horizontal dan vektor medan total), yang diukur dalam derajat. Intensitas medan magnetik total F digambarkan dengan komponen horisontal H, komponen vertikal Z dan komponen horizontal kearah utara X dan kearah timur Y. Intensitas medan magnetik bumi secara kasar antara (25.000-65.000) nT. Indonesia yang wilayahnya terletak di utara ekuator mempunyai intensitas (40.000) nT, sedangkan untuk Indonesia yang wilayahnya terletak di selatan ekuator mempunyai intensitas \pm (45.000) nT (Waskito, 2017).



Gambar 2.5 Elemen Medan Magnet Bumi: (F) adalah Total Intensitas, (H) adalah Horizontal Intensitas, (X) adalah North Component, (Y) adalah East Component, (Z) adalah Vertical Component, (I) adalah Inklinasi Geomagnet, (D) adalah Deklinasi Geomagnet (Reynold, 1997).

Sumber medan magnet bumi secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu medan magnet utama bumi (*main field*) medan luar (*external field*), dan medan anomali (*anomali field*):

1. Medan Magnet Utama (*main field*)

Secara teoritis medan magnet utama bumi disebabkan oleh sumber dari dalam dan luar bumi. Medan magnet dari dalam bumi diduga dibangkitkan oleh perputaran aliran arus dalam inti bagian luar bumi yang bersifat cair dan konduktif (Sharma, 1997). Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu, maka untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi, dibuat standart nilai yang disebut Internasional Geomagnetics Reference Field (IGRF). Nilai medan magnet utama ditentukan berdasarkan kesepakatan internasional di bawah pengawasan *Internasional Association of Geomagnetic and Astronomy* (IAGA). IGRF diperbarui setiap 5 tahun sekali dan diperoleh dari hasil rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km² yang dilakukan dalam waktu satu tahun (Telford, 1990).

2. Medan Magnet Luar (*external field*)

Medan magnet bumi juga dipengaruhi oleh medan luar. Medan ini bersumber dari luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat. Beberapa sumber medan luar antara lain (Telford, 1990):

- a. Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun.
- b. Variasi harian (*diurnal variation*) dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai jangkauan 30 nT.
- c. Variasi harian (*diurnal variation*) 25 jam yang berhubungan dengan pasangan surut bulan dan mempunyai jangkauan 2 nT.
- d. Badai magnet (*magnetic storm*) yang bersifat acak dan mempunyai jangkauan sampai dengan 1000 nT.

3. Anomali Medan Magnet

Menurut Telford (1990) anomali ini terjadi di dekat permukaan kerak bumi dan merupakan penyebab perubahan dalam medan magnet utama, yang biasanya jauh lebih kecil dari pada medan utama serta relatif konstan terhadap waktu dan tempat. Perubahan ini dapat dihubungkan dengan perubahan kandungan mineral magnetik batuan-batuan dekat permukaan. Kadang-kadang anomali ini cukup besar, hingga besar medan magnet menjadi lebih besar dua kali lipat dari pada medan utama local.

Medan magnet anomali sering juga disebut medan magnet lokal (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti magnetite (Fe_3O_4), titanomagnetite (Fe_2TiO_4) dan lain-lain yang berada di kerak bumi. Potensial dan medan dari anomali magnetik biasanya didefinisikan sebagai potensial dan medan yang hanya dibangkitkan oleh benda termagnetisasi.

Anomali medan magnet dihasilkan oleh benda magnetik yang telah terinduksi oleh medan magnet utama bumi, sehingga benda tersebut memiliki medan magnet sendiri dan ikut mempengaruhi besarnya medan magnet total hasil pengukuran. Variasi medan magnetik yang terukur dipermukaan merupakan target dari survei magnetik (anomali magnetik). Besarnya anomali magnetik berkisar ratusan sampai dengan ribuan nano-tesla, tetapi ada juga yang lebih besar dari 100.000 nT yang berupa endapan magnetik. Secara garis besar anomali ini disebabkan oleh medan magnetik renaman dan medan magnet induksi. Medan magnet renaman mempunyai peranan yang sangat besar pada magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetnya serta sangat rumit diamati karena berkaitan dengan peristiwa kemagnetan yang dialami sebelumnya. Sisa kemagnetan ini disebut dengan *Normal Residual Magnetism* yang merupakan akibat magnetisasi medan utama. Dalam survei magnetik, adanya anomali magnetik menyebabkan perubahan medan magnet total bumi dan dapat dituliskan sebagai berikut (Telford, 1990) :

$$H_A = H_T - H_0 \pm H_L \quad (2.8)$$

Dimana :

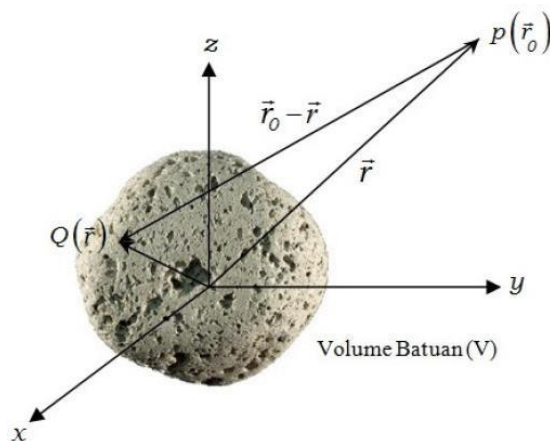
H_A = Medan anomali magnetik (nT)

H_T = Medan magnet total bumi (nT)

H_0 = Medan magnet utama bumi (nT)

H_L = Medan magnet luar bumi (nT)

Setiap benda magnetik yang terpendam di bawah permukaan (batuan atau mineral) yang menjadi target penelitian dapat dipandang sebagai anomali magnetik. Menurut Telford. (1990), suatu volum benda yang terdiri atas berbagai bahan magnetik dapat dianggap sebagai dipol magnetik (Gambar 2.6). Magnetisasi yang terjadi pada benda atau batuan tersebut tergantung dari rekam jejaknya selama berada di dalam medan magnetik utama bumi, atau dengan kata lain tergantung dari besar induksi magnetik yang diterimanya dari medan magnetik utama bumi.



Gambar 2.6 Anomali Magnetik Dari Batuan Atau Benda Anomali Bawah Permukaan Bumi (Telford, 1990).

2.9.8 Koreksi-koreksi Data Geomagnet

A. Koreksi Harian (*Diurnal Correction*)

Koreksi Diurnal adalah penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dan efek sinar matahari

dalam satu hari. Koreksi harian adalah koreksi yang dilakukan terhadap data magnetik terukur untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar atau variasi harian. koreksi diurnal ini dihitung dengan menggunakan persamaan (Untung, 2001):

$$\Delta H_{\text{harian}} = \left(\frac{t_n - t_{\text{awal}}}{t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}}} \right) (H_{\text{akhir}} - H_{\text{awal}}) \quad (2.9)$$

Dimana :

- H_{harian} = Nilai medan magnet harian
- t_n = Waktu data ke-n
- t_{awal} = Waktu data awal
- t_{akhir} = Waktu data akhir
- H_{awal} = Intensitas medan magnet awal
- H_{akhir} = Intensitas medan magnet akhir

Koreksi harian atau variasi harian sebagian besar bersumber dari medan magnet luar yang dihasilkan dari perputaran arus listrik di dalam lapisan ionsfer. Ion-ion yang dihasilkan dari lapisan udara yang terionisasi oleh matahari akan menjadi ion-ion magnet ketika ada listrik di ionsfer (Rosid, 2008).

B. Koreksi IGRF (*The International Geomagnetic Reference Field*)

Koreksi IGRF adalah koreksi yang dilakukan terhadap data medan magnet terukur untuk menghilangkan pengaruh medan utama magnet bumi. Dalam hal ini sudah tersedia peta magnetik dan koreksi didasarkan atas koordinat titik pengukuran masing-masing (Geomagnet, 1990).

Nilai IGRF ini yang akan digunakan dalam pengolahan terhadap koreksi IGRF, dimana nilai koreksi IGRF ini dapat dihitung dengan persamaan (Telford, 1990) :

$$\Delta H = H_{Diurnal} - H_{IGRF} \quad (2.10)$$

$$H_{Diurnal} = H_{total} \pm V_{Diurnal} \quad (2.11)$$

Dimana :

ΔH = Anomali medan magnet total

$H_{Diurnal}$ = Kuat medan magnet diurnal

H_{IGRF} = Medan magnet utama bumi (IGRF)

H_{total} = Kuat medan magnet terukur

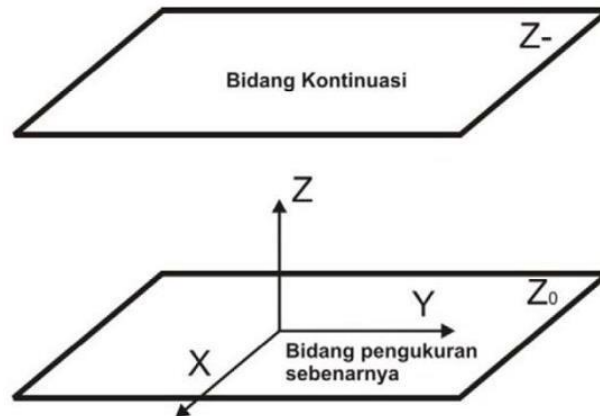
$V_{Diurnal}$ = Variasi diurnal

2.9.9 Transformasi Medan

A. Kontinuitas Ke Atas (*Upward Continuation*)

Kontinuasi keatas merupakan proses medan potensial magnetik suatu data yang terukur di atas permukaan yang lebih tinggi. Kontinuitas ini digunakan untuk memisahkan anomali lokal terhadap anomali regional. Anomali regional berasosiasi dengan kondisi geologi umum yang dominan di daerah pengukuran, di cirikan dengan anomali frekuensi rendah. Sedangkan anomali lokal, atau sering juga disebut sebagai anomali sisa, mengandung kondisi geologi setempat yang telah terdeviasi dari kondisi regionalnya yang biasanya terdapat pada kedalaman yang dangkal (Musyafak dan Bagus, 2007).

Suatu proses perubahan data medan potensial yang diukur pada suatu bidang permukaan, menjadi data seolah-olah diukur pada bidang permukaan lebih ke atas disebut kontinuitas ke atas. Kontinuitas ke atas juga merupakan salah satu koreksi yang sering digunakan karena dapat mengurangi efek dari sumber anomali dangkal, yang diilustrasikan pada Gambar 2.7 (Blakely, 1995).

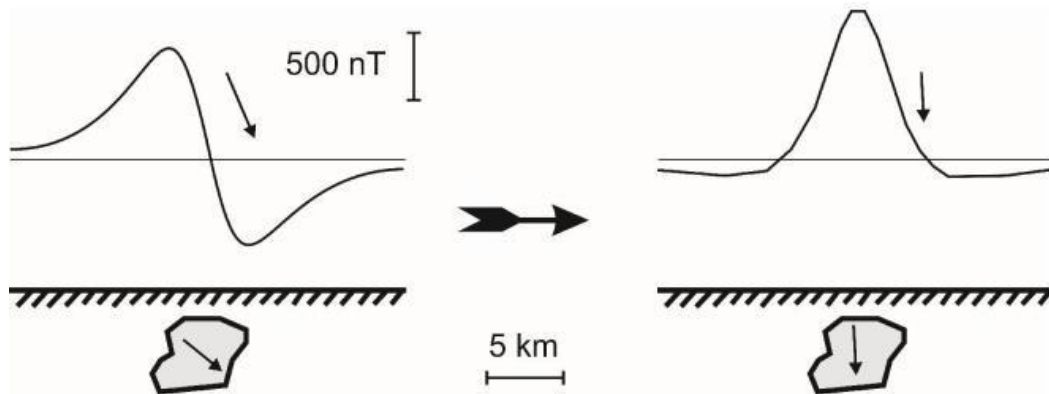


Gambar 2.7 Ilustrasi Kontinuasi Ke Atas (Telford, 1990)

B. Reduksi Ke Kutub (*Reduction to Pole*)

Reduksi ke kutub merupakan teknik pengolahan data yang intensitas magnet total menginduksi medan magnet yang memiliki inklinasi 90° . Reduksi ke kutub mengasumsikan bahwa batuan yang ada pada daerah survei adalah magnetisasi paralel terhadap medan magnet yang ada di bumi (Rusdiasari, 2010).

Proses yang dilakukan untuk menghilangkan gangguan dalam objek magnetik (dua kutub) atau dikenal dengan gangguan kutub, yang akan di transformasikan menjadi (satu kutub). Reduksi ke kutub adalah salah satu filter pengolahan data magnetik untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik. Filter tersebut diperlukan karena sifat dipole anomali magnetik menyulitkan interpretasi data lapangan yang umumnya masih berpola asimetrik (Blakely, 1995).



Gambar 2.8 Sebuah Anomali Magnetik Sebelum Dan Setelah Reduksi Ke Kutub (Blackely, 1995)

Reduksi ke kutub mengubah anomali dipole (positif dan negatif) menjadi anomali monopole (positif atau negatif) sehingga koreksi ini mempermudah untuk menginterpretasi data magnetik. Reduksi ke kutub mengasumsikan bahwa batuan yang ada pada daerah survei adalah magnetisasi paralel terhadap medan magnet yang ada di bumi. Adapun yang mendasari dilakukannya filter ini adalah adanya perbedaan nilai inklinasi dan deklinasi dari setiap daerah, sehingga filter ini mencoba untuk mentransformasikan medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnetik (Baranov dan Naudy, 1964).

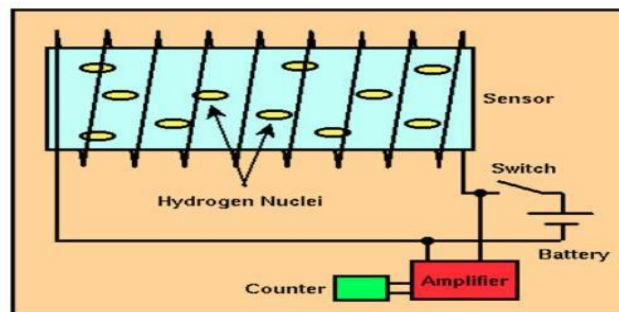
C. Reduksi Bidang Datar

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 approximaion*), dimana setiap teknik mempunyai kelebihan dan kekurangan (Blakely, 1995).

2.9.10 Proton Procession Magnetometer

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



Gambar 2.9 Diagram Kotak dari PPM (Mazzini, 2007).

Cara kerja dari *Proton Procession Magnetometer* dapat dijelaskan pada gambar 2.9. Di dalam tabung yang dililitkan kumparan dimasuki cairan yang mengandung banyak proton. Proton-proton ini mempunyai 2 macam gerakan yang tidak beraturan. Gerakan tersebut adalah gerakan spin (berputar pada porosnya) dan gerak precesi (gerak gasing yang berputar). Apabila tegangan polarisasi diaktifkan maka timbul medan magnet \vec{H}_1 yang kuat disekeliling tabung. Hal ini mengakibatkan gerak proton-proton tadi menjadi lebih teratur. Gerak precesi proton pada keadaan ini mengikuti aturan sedemikian rupa sehingga dipenuhi hubungan (Munadi, 2001):

$$\omega_1 = \gamma \vec{H}_1 \quad (2.12)$$

Dimana :

ω_1 = Kecepatan sudut gerak precesi proton.

γ = Rasio giromagnetik dari proton (sebesar $2,6752 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$).

\vec{H}_1 = Kuat medan magnet yang dibandingkan oleh tegangan polarisasi

Beberapa saat kemudian tegangan polarisasi diputus, sehingga di sekitar botol tak ada lagi medan magnet polarisasi sehingga hal ini akan mempengaruhi gerak precesi proton-proton tadi. Akibat tidak adanya medan magnet polarisasi tadi proton-proton berprecesi di bawah pengaruh medan magnet lain yakni medan magnet bumi. Dalam keadaan ini dipenuhi hubungan :

$$\omega_2 = \gamma \vec{H}_2 \quad (2.13)$$

Dimana :

ω_2 = Kecepatan sudut gerak precesi proton.

γ = Rasio giromagnetik dari proton

\vec{H}_2 = Kuat medan magnet yang mempengaruhi

Dengan mengukur ω_2 , maka kuat medan magnet bumi (\vec{H}_2) akan diketahui (Munadi, 2001).

Dalam melakukan survei magnetik dilapangan, dianjurkan untuk membawa dua alat magnetometer. Dalam hal ini bertujuan untuk mengukur variasi harian akibat pengaruh medan magnet luar bumi, dan untuk mengukur nilai magnetik di setiap titik lintasan-lintasan yang telah ditentukan (Santoso, 2002).

2.10 Integrasi Al-Qur'an

Medan magnet bumi bersumber dari dalam inti bumi yang ditimbulkan oleh batang magnet raksasa. Bumi dapat diibaratkan sebagai magnet raksasa yang memiliki gaya magnet dan kutub magnet yang disebut kutub utara bumi. Hal ini

yang menjadikan medan magnet tolak ukur dalam penelitian menggunakan metode geomagnetic Petunjuk untuk melakukan eksplorasi telah dijelaskan Allah SWT dalam Al-Qur'an surat Al-Anbiya ayat 32 sebagaimana berikut :

وَجَعَلْنَا السَّمَاءَ سَقْفًا مَّحْفُوظًا وَهُمْ عَنْ آيَاتِهَا مُعْرَضُونَ

“Dan Kami menjadikan langit sebagai atap yang terpelihara, namun mereka tetap berpaling dari tanda-tanda (kebesaran Allah) itu (matahari, bulan, angin, awan, dan lain-lain).” (QS. Al-Anbiya': 32)

Menurut para saintis, ayat ini menegaskan bahwa langit adalah atap yang terpelihara. Sebagaimana layaknya sebuah atap, langit berfungsi untuk melindungi segala sesuatu yang ada di bawahnya, termasuk manusia. Demikianlah, langit telah berperan sebagai atap pelindung bagi makhluk di muka bumi. Atap langit ini akan terus terpelihara selama bumi ini ada, karena lapisan-lapisan pelindung ini terkait dengan struktur inti bumi. Sabuk Van Allen (sebutan dari sebuah pelindung bumi) dihasilkan dari interaksi medan magnet yang dihasilkan oleh inti bumi. Inti bumi banyak mengandung logam-logam magnetik, seperti besi dan nikel. Nukleusnya sendiri terdiri dari dua bagian, inti dalamnya padat dan inti luarnya cair. Kedua lapisan ini masing-masing berputar seiring dengan rotasi bumi. Perputaran ini menimbulkan efek magnetik pada logam-logam dalam struktur bumi yang pada gilirannya membentuk medan magnetik. Sabuk Van Allen merupakan perpanjangan dari medan magnet ini yang terbentang sampai lapisan atmosfer terluar.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian yang berjudul “Identifikasi Kantong Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) Menggunakan Metode Geomagnet” yang dilaksanakan di Desa Sekarkurung Kec. Kebomas Kab. Gresik pada koordinat $7^{\circ} 10'.77''S$ sampai $112^{\circ} 37'.59'' E$ dengan luas area pada daerah penelitian yaitu 700 meter x 400 meter, yang bertujuan untuk mengetahui posisi kantong lumpur minyak (*Oil Sludge*) di area penelitian.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Magnetometer, jenis magnetometer yang digunakan adalah jenis *Proton Precession Magnetometer* (PPM)
2. GPS, untuk penentuan posisi titik/stasiun pengukuran secara presisi
3. Alat pengukur waktu
4. Peta Geologi

5. Baterai 13.5 Volt DC
6. Kompas
7. Alat tulis
8. Perangkat komputer untuk pengolahan data dan *software* (*Excel Ms., Magpick, Surfer13, Oasis Montaj*).

3.3 Data Penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Koordinat Lintang dan Bujur.
2. Waktu Pengambilan data (hari, jam, dan tanggal).
3. Ketinggian titik ukur.
4. Pembacaan magnetometer (intensitas medan magnet total).

Data koordinat lintang dan bujur, waktu pengambilan data, ketinggian titik ukur terbaca melalui GPS yang digunakan pada waktu di lapangan, pembacaan magnetometer harus dikonversi ke gauss meter.

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Metode Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode *lopping*. Maksud dari metode *lopping* ini adalah pengukuran yang dimulai dari titik awal dan berakhir di titik yang sama. Titik acuan ini disebut dengan *base station*. Hal ini dilakukan karena untuk mendapatkan nilai medan magnet luar yang nantinya digunakan untuk koreksi harian (*diurnal correction*). Koreksi harian (*diurnal correcton*) merupakan penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dalam satu hari, sedangkan

proses pengukuran menggunakan metode magnetik ini tidak selesai dalam satu waktu.

Penentuan titik akuisi data ini dilakukan dengan merakukan *tracking* di lapangan untuk mencari koordinat semburan dan melakukan pembagian spasi antar titik-titik berupa *ring* dengan jarak antar spasi 30 meter menggunakan *software* aplikasi *google earth*.

3.4.2 Metode Pengolahan Data

Dalam proses pengolahan data dilakukan beberapa tahapan yang meliputi koreksi data, transformasi medan, analisis data yang diperoleh di lapangan. Data yang diperoleh dari lapangan belum berupa data yang menunjukkan nilai anomali medan magnetik melainkan masih berupa data mentah atau data primer dari hasil pengukuran di lapangan dimana masih terdapat pengaruh dari dalam dan luar bumi. Oleh karenanya dibutuhkan suatu koreksi terhadap data lapangan tersebut dengan tujuan untuk mendapatkan nilai anomali magnetik yang sudah tidak dipengaruhi oleh nilai magnetik dari dalam dan luar bumi tersebut.

Proses pengolahan data yang pertama yaitu nilai intensitas medan magnet total yang masih dipengaruhi oleh efek dari dalam dan luar bumi. Efek-efet tersebut harus dihilangkan dengan koreksi data. Koreksi yang pertama yaitu koreksi harian (*diurnal correction*) untuk menghilangkan efek medan magnet luar. Koreksi yang kedua yaitu koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) untuk menghilangkan efek medan magnet utama.

Proses pengolahan data yang kedua yaitu transformasi medan yang meliputi reduksi bidang datar, kontinuasi ke atas, dan reduksi ke kutub. Proses reduksi bidang datar bertujuan untuk menghilangkan bidang yang tidak rata akibat variasi

ketinggian di area penelitian menjadi bidang horizontal. Selanjutnya dilakukan proses kontinuitas ke atas yang bertujuan untuk menghilangkan efek anomali lokal dengan mengangkat suatu bidang datar ke bidang datar lainnya yang lebih tinggi. Selanjutnya proses reduksi ke kutub yang bertujuan untuk mentransformasikan medan magnet di area penelitian menjadi medan magnet di kutub utara magnetik. Beberapa tahapan yang dilakukan pada saat melakukan proses pengolahan data yaitu koreksi data magnetik yang meliputi koreksi harian (*diurnal correction*) dan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*), transformasi medan yang meliputi reduksi bidang datar, kontinuitas ke atas, dan reduksi ke kutub.

3.4.3 Koreksi-koreksi Data Magnetik

a. Koreksi Harian

Koreksi harian (*Diurnal Correction*) berfungsi untuk menghilangkan efek nilai medan magnet luar yang disebabkan oleh efek eksternal pada saat melakukan pengukuran medan magnetik di setiap titik lokasi pengambilan data. Apabila nilai variasi harian negatif, maka koreksi dilakukan dengan cara menambahkan nilai variasi harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi, dan apabila nilai variasi harian positif, maka koreksinya dilakukan dengan cara mengurangi nilai variasi harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi. Dari hasil koreksi harian tersebut menghasilkan nilai intensitas medan magnet yang berasal dari dalam bumi.

b. Koreksi IGRF (*International Geomagnetik Reference Field*)

Koreksi IGRF (*International Geomagnetik Reference Field*) digunakan untuk menghilangkan efek nilai medan magnet utama. Koreksi nilai IGRF dilakukan

karena target survei geomagnet adalah anomali medan magnet lokal. Koreksi IGRF dapat dilakukan dengan menggunakan kalkulasi dari NOAA yang dapat diakses secara *online* di alamat website www.ngdc.noaa.gov/geomag. Nilai IGRF ini diupdate setiap lima tahun sekali. Untuk mendapatkan nilai IGRF pada web, harus menginput data posisi lintang dan bujur titik akuisi, data ketinggian, tanggal, bulan, dan tahun pengukuran yang sedang dilakukan. *Output* yang didapatkan dari NOAA berupa deklinasi, inklinasi, intensitas horizontal, nilai medan magnetik pada komponen dan nilai anomali medan magnetik total.

Pengambilan data magnetik bertujuan untuk mengamati besaran medan magnetik total (H) bumi pada titik tertentu. Dari data yang diperoleh akan didapatkan benda magnet terinduksi dimana nilai medan magnet (H) tersebut harus dikurangi oleh nilai medan magnet yang menginduksi sehingga akan menghasilkan nilai medan magnet yang disebut anomali medan magnet (ΔH).

3.4.4 Transformasi Medan

a. Reduksi Bidang Datar

Data anomali yang diperoleh masih terletak mengikuti bidang topografi, sehingga akan menyebabkan kesalahan pada saat melakukan interpretasi. Oleh karena itu data anomali tersebut harus ditransformasi pada suatu bidang dengan ketinggian yang sama. Kesalahan yang mungkin timbul jika dilakukan interpretasi pada bidang yang tidak rata, disebabkan oleh ketidak teraturan ketinggian data pengukuran.

Suatu metode yang dapat dipergunakan untuk membawa data medan potensial hasil penelitian yang masih terdistribusi dibidang yang tidak horizontal

(misalnya bidang topografi) ke bidang horizontal adalah melalui pendekatan deret Taylor.

b. Kontinuasi ke Atas

Pengangkatan keatas 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 atau mengurangi 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 mengurangi anomali magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang menjadi target survei magnetik ini.

c. Reduksi ke Kutub

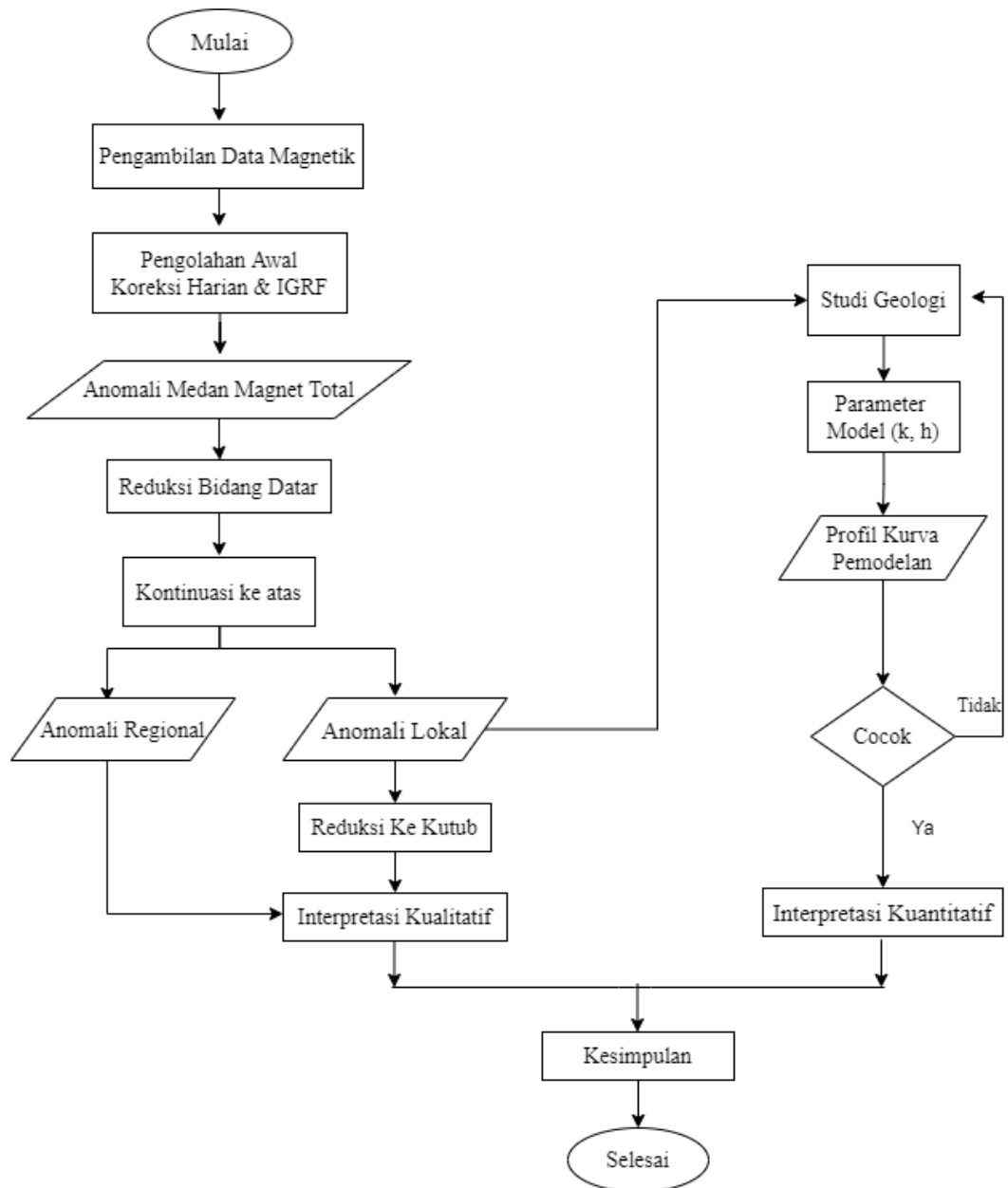
Reduction to Pole (RTP) atau reduksi ke kutub merupakan salah satu transformasi yang digunakan dalam proses interpretasi data geomagnetik. Adapun yang mendasarkan dilakukannya transformasi ini adalah karena adanya perbedaan nilai inklinasi dan deklinasi dari setiap daerah, sehingga transformasi ini mencoba untuk mentransformasikan medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnetik. Proses reduksi ke kutub dilakukan menggunakan *software MagPick*.

3.4.5 Interpretasi Data

Analisa dan interpretasi dilakukan dengan dua cara yaitu interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Untuk interpretasi kualitatif yaitu dengan membaca peta kontur yang telah dilakukan transformasi yaitu analisis sinyal yang memberikan

kesimpulan secara kualitatif. Gambaran-gambaran yang cenderung aneh (anomali) dapat segera diduga bahwa pasti ada penyebabnya yang dapat berupa bola, lingkaran dan semacamnya. Sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan cara mencocokkan kurva anomali di lapangan dan kurva model yang telah dibuat dengan perangkat *Software Oasis Montaj*. Tujuannya untuk memberi gambaran secara matematis, geometri benda penyebab anomali berdasarkan nilai suseptibilitas dan kedalamannya.

3.5 Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode geomagnet adalah salah satu metode eksplorasi geofisika yang didasarkan pada variasi intensitas medan magnet di permukaan bumi yang disebabkan adanya benda yang termagnetisasi di permukaan bumi. Data hasil penelitian yang di dapat yaitu medan magnet total bumi yang terdiri dari medan magnet bumi yang dihasilkan oleh sifat-sifat bumi (medan magnet utama), medan magnet luar yang bersumber dari luar bumi, dan medan magnet yang dihasilkan karena ketidakhomogenan di kerak bumi atau disebut dengan anomali medan magnet. Tahapan dari eksplorasi geomagnet adalah akuisisi data, pengolahan data, dan interpretasi data.

Penelitian yang dilakukan ini tentang Identifikasi Kantung Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) Menggunakan metode Geomagnet. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Proton Precession Magnetometer* (PPM), dimana proses ini akan menghasilkan nilai intensitas medan magnet. *Field magnetometer* melakukan pembacaan sebanyak 3 kali di setiap lokasi titik pengukuran, dari data yang didapatkan kemudian dipilih nilai rata-rata dari nilai data untuk mengurangi tingkat kesalahan (*error*) pada saat pengambilan data, hal ini dilakukan agar memperoleh nilai intensitas medan magnet yang presisi. Data yang diperoleh dari proses akuisisi data berupa nilai intensitas medan magnet total (nT) sebanyak 122 titik dengan jarak antar titik 30 meter dan luas area penelitian 700 meter x 400 meter. Data koordinat lintang, bujur, ketinggian titik ukur, dan waktu pengukuran didapat melalui GPS yang dicatat di setiap titik pengukuran.

Pengolahan data geomagnet dilakukan untuk mengidentifikasi kantong lumpur dan mengetahui litologi di bawah permukaan yang dapat dilihat dari perubahan nilai intensitas medan magnet pada lokasi penelitian. Data pengukuran yang didapat dilapangan merupakan data intensitas medan magnet total, yang terdiri dari tiga komponen yaitu : medan magnet utama yang bersumber dari dalam bumi (inti bumi), medan magnet luar yang bersumber dari luar bumi berupa pergerakan benda angkasa, dan anomali medan magnet total yang berasal dari batuan atau benda magnetik yang berada di kerak bumi. Dari data tersebut dilakukan proses pengolahan data dengan melakukan beberapa koreksi dan transformasi pada data anomali medan magnet total. Koreksi- koreksi yang dilakukan yaitu: koreksi harian (*Diurnal Correction*) dan koreksi IGRF (*IGRF Correction*) untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet total. Selanjutnya transformasi pada data anomali medan magnet total yaitu: reduksi bidang datar, kontinuasi ke atas (*upward Continuation*), reduksi ke kutub (*Reduction to Pole*).

4.1 Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet adalah suatu nilai dari medan magnet pada titik pengukuran dilapangan yang dihasilkan oleh batuan atau benda yang bersifat magnetik yang berada di kerak bumi yang menjadi target dari penelitian tersebut. Untuk memperoleh anomali medan magnet harus dilakukan koreksi-koreksi pada nilai intensitas medan magnet total yang masih terpengaruh oleh medan magnet utama bumi, dan medan magnet luar bumi.

Koreksi yang pertama adalah koreksi harian (*Diurnal Correction*) yang berfungsi untuk menghilangkan efek nilai medan magnet luar yang disebabkan adanya perbedaan waktu pengukuran dan efek radiasi sinar matahari dalam satu

hari. Caranya dengan mengurangi nilai intensitas medan magnet total pada titik pengukuran dengan nilai intensitas medan magnet di *base station*. Maka akan dihasilkan nilai Medan magnet yang hanya berasal dari dalam bumi.

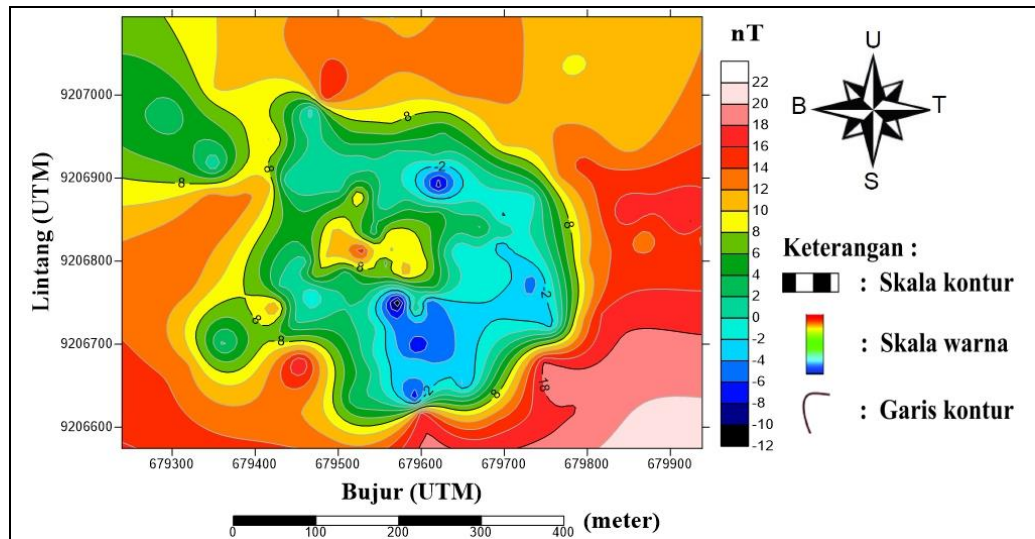
Koreksi yang kedua adalah koreksi IGRF (*IGRF Correction*) yang berfungsi untuk menghilangkan efek medan magnet utama yang bersumber dari dalam bumi. Nilai IGRF akan berbeda-beda pada setiap daerah. Nilai IGRF akan diperbarui setiap lima tahun sekali dan dapat diakses secara online melalui website www.ngdc.noaa.gov/geomag, maka akan muncul kalkulator IGRF yang berisi nilai inklinasi, deklinasi, *total field* seperti pada gambar 4.1 di bawah ini:

The screenshot shows the 'Calculate Magnetic Field' interface. It includes input fields for Latitude (7.171538), Longitude (112.627530), and Elevation (46 Meters). The model selected is IGRF (1590-2024). The start date is 2020-11-11 and the end date is 2020-11-12. A 'Magnetic Field' window displays the following data:

Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2020-11-11	0.8399°	-30.6065°	38,307.4 nT	38,303.3 nT	561.5 nT	-22,660.8 nT	44,508.0 nT
Change/year	-0.0485°/yr	0.0918°/yr	37.1 nT/yr	37.6 nT/yr	-31.9 nT/yr	60.9 nT/yr	0.9 nT/yr

Gambar 4.1 Tampilan Nilai IGRF
(www.ngdc.noaa.gov/geomag)

Setelah dilakukan beberapa koreksi, maka akan mendapatkan nilai anomali medan magnet total yang selanjutnya diproses pada *software Surfer 13* dan menghasilkan peta kontur anomali medan magnet seperti pada gambar 4.2 di bawah ini:

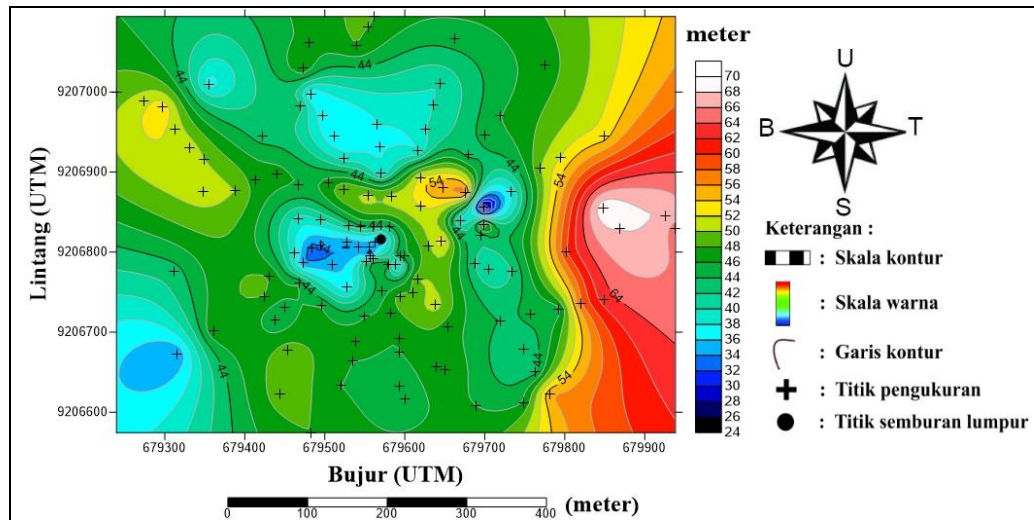


Gambar 4.2 Anomali Medan Magnet Total

Pada Gambar 4.2 merupakan gambar anomali medan magnet total dari hasil koreksi harian dan koreksi IGRF. Berdasarkan hasil peta kontur tersebut dapat diketahui nilai anomali medan magnet total dari hasil penelitian yang berkisar antara -12 nT sampai 22 nT. Untuk nilai anomali rendah antara -12 nT sampai -2 nT yang ditunjukkan dengan warna hitam sampai warna biru. Untuk nilai anomali sedang antara 0 nT sampai 10 nT yang ditunjukkan dengan warna hijau tua sampai kuning. Nilai anomali tinggi antara 12 nT sampai 22 nT yang ditunjukkan dengan warna orange sampai warna putih.

4.2 Topografi

Topografi adalah gambaran tentang suatu ketinggian pada titik tertentu yang dinyatakan dalam satuan meter di atas permukaan laut (mdpl). Dengan adanya nilai ketinggian pada pengukuran dilapangan maka dapat dibuat peta kontur topografi yang akan menggambarkan topografi di daerah penelitian.



Gambar 4.3 Kontur Topografi Daerah Penelitian

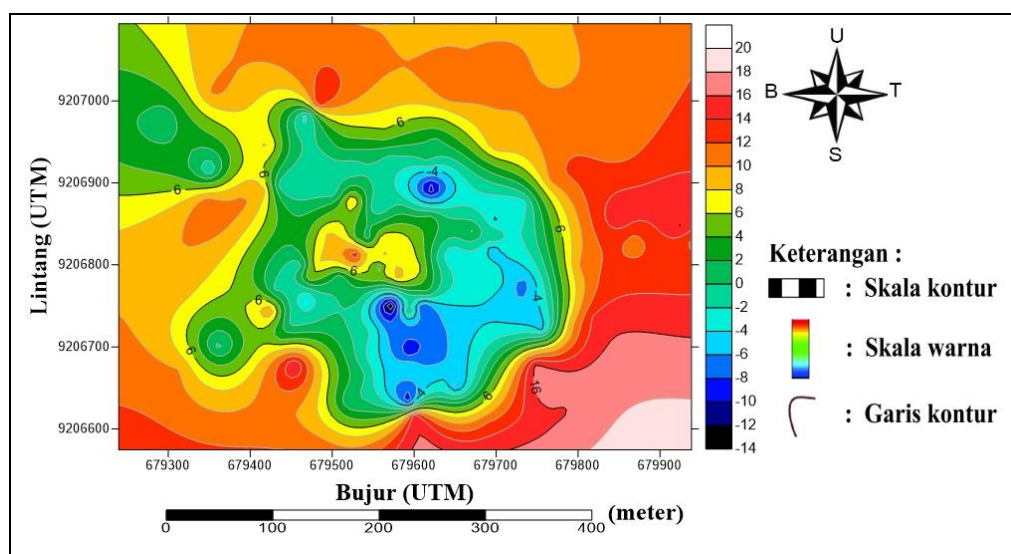
Pada Gambar 4.3 menunjukkan peta kontur daerah penelitian dengan ketinggian yang berbeda-beda. Kontur dengan warna merah sampai putih menunjukkan ketinggian tertinggi dengan nilai 58 meter sampai 70 meter, kontur dengan warna hijau tua sampai orange menunjukkan ketinggian sedang dengan nilai 44 meter sampai 56 meter, dan kontur dengan warna hitam sampai hijau mudah menunjukkan ketinggian terendah dengan nilai 24 meter sampai 42 meter.

4.3 Interpretasi Data Magnetik

4.3.1 Reduksi Bidang Datar

Proses reduksi bidang datar pada eksplorasi metode geomagnet ini dapat dilakukan ataupun diabaikan. Proses ini dilakukan apabila nilai anomali medan magnet total berada pada ketinggian (elevasi) yang tidak rata akibat adanya distorsi data pada nilai anomali medan magnet total. Sedangkan proses reduksi bidang datar dapat diabaikan apabila data anomali medan magnet total dari hasil pengukuran di lapangan berada pada ketinggian yang sama atau rata.

Proses transformasi reduksi bidang datar ini bertujuan untuk mereduksi efek distorsi data akibat adanya variasi ketinggian pada nilai anomali medan magnet total yang dilakukan dengan cara data dengan ketinggian yang tidak rata dibawa ke ketinggian yang sama (bidang datar) melalui pendekatan deret Taylor (*Taylor Series Approximation*) menggunakan *software Matlab* dengan inputan data anomali medan magnet total.



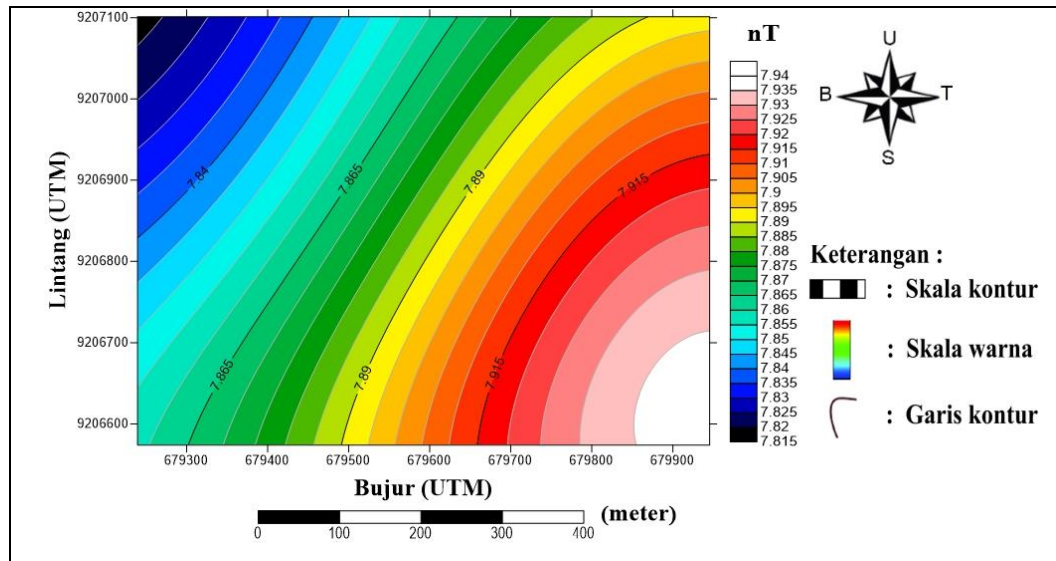
Gambar 4.4 Kontur Reduksi Bidang Datar

Gambar 4.4 merupakan hasil reduksi bidang datar pada ketinggian rata-rata pada topografi 46.5 meter. Nilai anomali medan magnet total setelah direduksi ke bidang datar berkisar antara -14 nT sampai dengan 20 nT. Untuk anomali rendah berwarna hitam sampai warna hijau muda dengan nilai berkisar antara -14 nT sampai dengan 0 nT, untuk anomali sedang berwarna hijau tua sampai warna orange dengan nilai berkisar antara 2 nT sampai dengan 10 nT, dan untuk anomali tinggi berwarna merah sampai putih dengan nilai berkisar antara 12 nT sampai dengan 20 nT.

4.3.2 Kontinuasi Ke Atas

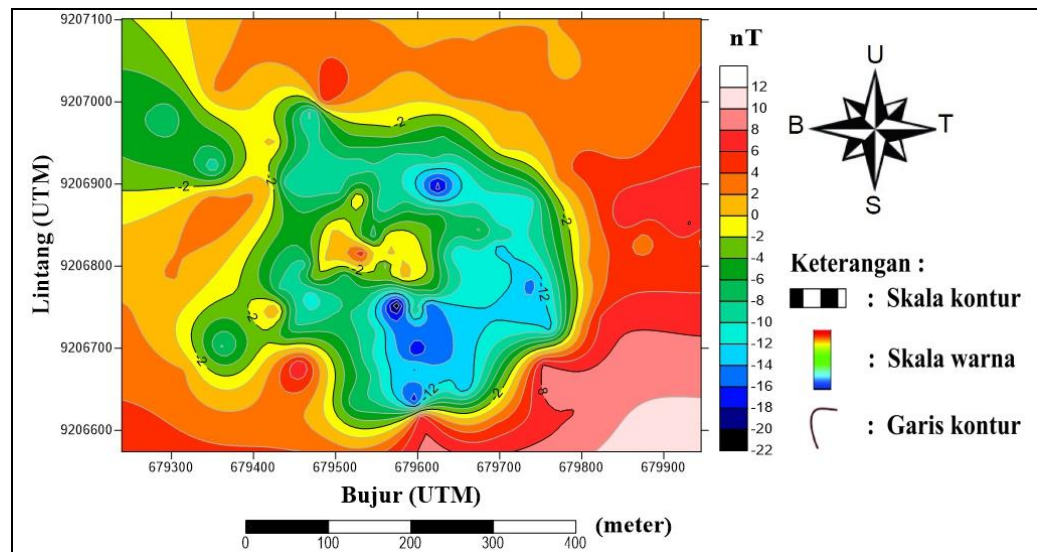
Proses kontinuasi ke atas (*Upward Continuation*) adalah proses yang dilakukan setelah proses reduksi bidang datar. Kontinuasi ke atas bertujuan untuk membawa data yang berada diketinggian semula ke tempat yang lebih tinggi dari permukaan topografi tempat penelitian, sehingga dapat menekan *noise-noise* yang disebabkan oleh benda-benda dipermukaan. Proses kontinuasi ke atas juga bertujuan untuk memisahkan anomali lokal dan anomali regional dengan tujuan untuk mengurangi anomali yang disebabkan oleh sumber yang lebih dangkal (efek residual) dan menampakkan anomali dari sumber yang lebih dalam (efek regional).

Proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan bantuan *software Magpick* dengan cara seolah-olah menghitung data dengan ketinggian tertentu. Dalam melakukan proses kontinuasi ke atas, penentuan nilai ketinggian disesuaikan tergantung efek yang ingin ditampilkan atau dihilangkan, sehingga tidak boleh terlalu tinggi tinggi agar tidak menghilangkan informasi dari objek yang menjadi target penelitian. Dalam penelitian ini, proses kontinuasi ke atas dilakukan pengangkatan dengan ketinggian 900 meter pada data anomali medan magnet total hasil dari proses reduksi bidang datar. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai anomali regional dan anomali lokal. Kontur anomali regional dan anomali lokal dapat dilihat pada gambat di bawah ini.



Gambar 4.5 Kontur Anomali Regional Pada Ketinggian 900 Meter

Gambar 4.5 menunjukkan hasil anomali regional dengan nilai yang berkisar antara 7.815 nT sampai dengan 7.94 nT, hal ini menunjukkan besar nilai anomali regional yang stabil dan ditandai dengan sudah tidak menunjukkan adanya klosur yang tertutup pada kontur anomali regional di atas. Kontur anomali lokal dapat diperoleh dari hasil pengurangan antara anomali medan magnet total hasil dari reduksi bidang datar dengan anomal regional yang diperoleh dari hasil kontinuasi ke atas. Hasil kontur anomali lokal dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah ini :



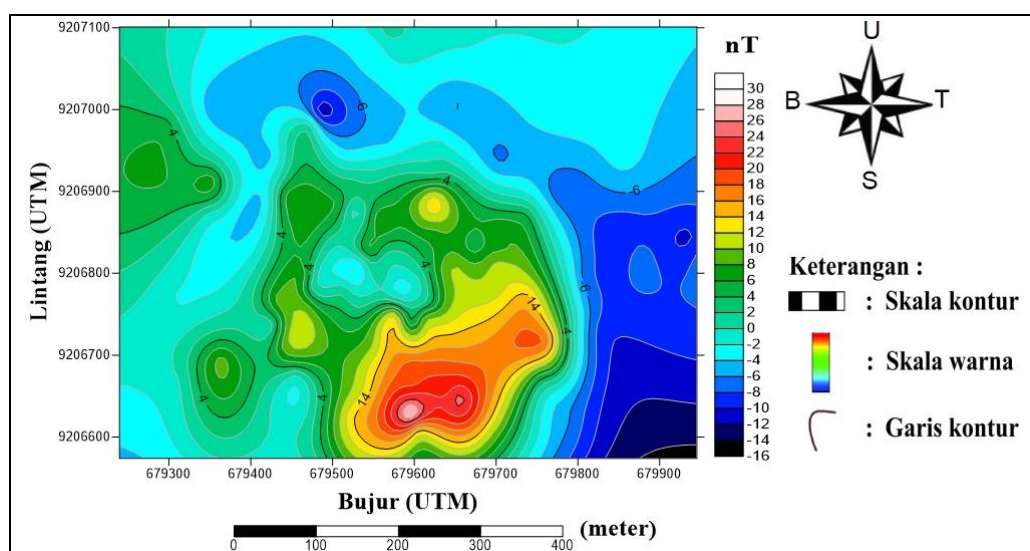
Gambar 4.6 Kontur Anomali Lokal Pada ketinggian 900 Meter

Gambar 4.6 menunjukkan nilai anomali lokal yang berkisar antara -22 nT sampai dengan 12 nT. Pola kontur anomali lokal di area penelitian terbagi menjadi tiga bagian yaitu : Anomali rendah, anomali sedang, anomali tinggi. Untuk anomali rendah ditunjukkan dengan warna hitam dengan nilai -22 nT sampai dengan warna biru muda dengan nilai -12 nT, untuk anomali sedang ditunjukkan dengan warna hijau dengan nilai -10nT sampai dengan warna kuning tua dengan nilai 0 nT, dan untuk anomali tinggi ditunjukkan dengan warna oranye dengan nilai 2 nT sampai dengan warna putih dengan nilai 12 nT. Dari pola kontur anomali medan magnet lokal menunjukkan bahwa litologi atau batuan di daerah penelitian memiliki ketidakseragaman (bervariasi). Hal ini ditunjukkan dengan tinggi atau rendahnya nilai anomali yang dipengaruhi oleh jenis batuan, posisi, kedalaman, dan nilai susceptibilitas batuan tersebut.

4.3.3 Reduksi Ke Kutub (RTP)

Reduksi ke kutub (*Reduction to Pole*) merupakan suatu proses transformasi untuk mengubah nilai anomali dalam bentuk *dipole* (yang bermuatan positif dan

negatif) seolah-olah menjadi anomali dalam bentuk *monopole* (bermuatan Positif). Proses transformasi reduksi ke kutub dilakukan menggunakan *software magpick* dengan cara mengubah arah medan magnet di tempat penelitian menjadi medan magnet di kutub utara magnet, dimana sudut inklinasi yang bernilai -30.60650° diubah menjadi 90° dan sudut deklinasi yang bernilai 0.83990° diubah menjadi 0° , sehingga seolah-olah pengukuran dilakukan di kutub utara. Kontur reduksi ke kutub dapat dilihat pada gambar di bawah:

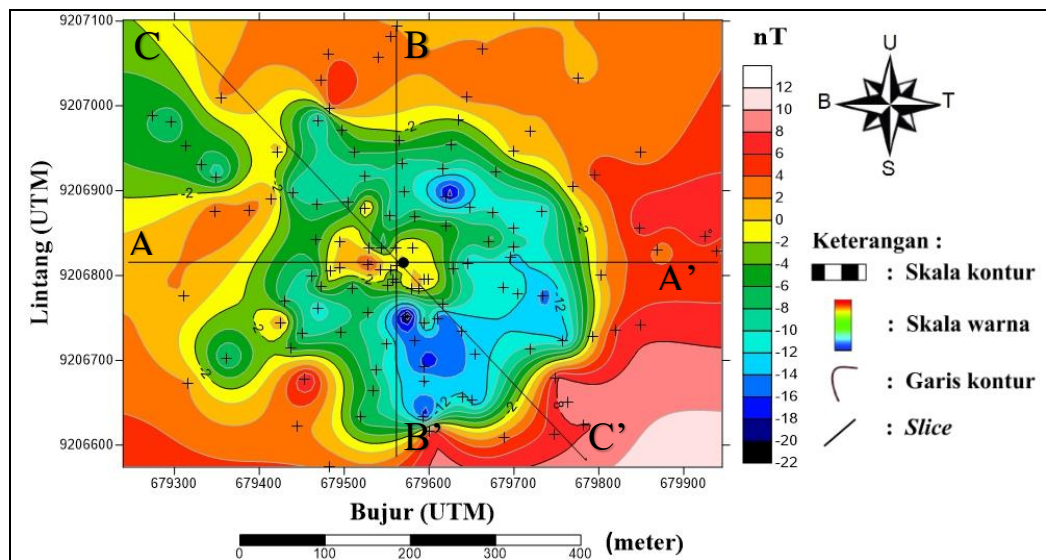


Gambar 4.7 Kontur Anomali Lokal Setelah di Reduksi Ke Kutub

Berdasarkan gambar 4.7 diketahui adanya perbedaan nilai anomali yang sangat signifikan jika dibandingkan dengan nilai anomali lokal sebelum di reduksi ke kutub, dimana setelah di reduksi ke kutub nilai anomali menjadi lebih tinggi. Hal ini dikarenakan setelah dilakukan reduksi ke kutub nilai kemagnetannya mengalami penguatan, yang ditunjukkan adanya pola klosur anomali tinggi yang bernilai 30nT dan pola klosur rendah yang bernilai -16nT. Dapat diasumsikan bahwa batuan penyebab anomali berada di bawah pola klosur tersebut. Pola klosur anomali rendah secara masif mengarah dari barat laut sampai tenggara.

4.4 Hasil dan Pembahasan

Proses interpretasi data secara kuantitatif dilakukan dengan tujuan untuk menentukan kedalaman dan menggambarkan litologi di bawah permukaan secara 2 dimensi (2D) dengan menganalisis kontur anomali lokal dari hasil beberapa *slice*. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menggunakan *software Oasis Montaj*, prinsip kerja dari proses pemodelan menggunakan *Forward Modeling* dengan menyamakan bentuk dari kurva anomali pengamatan yang berupa garis titik (-----) dengan kurva anomali model yang berupa garis tegas (—). Proses penyamaan model menghasilkan gambaran model dari struktur geologi di bawah permukaan. Proses penyamaan ini menggunakan metode *trial and error* dan pengerjaannya membutuhkan ketelitian untuk mendapatkan hasil *error* yang terkecil. Dalam penelitian ini dibuat tiga *slice* pada kontur anomali medan magnet lokal yaitu *slice* A-A', *slice* B-B', dan *slice* C-C yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



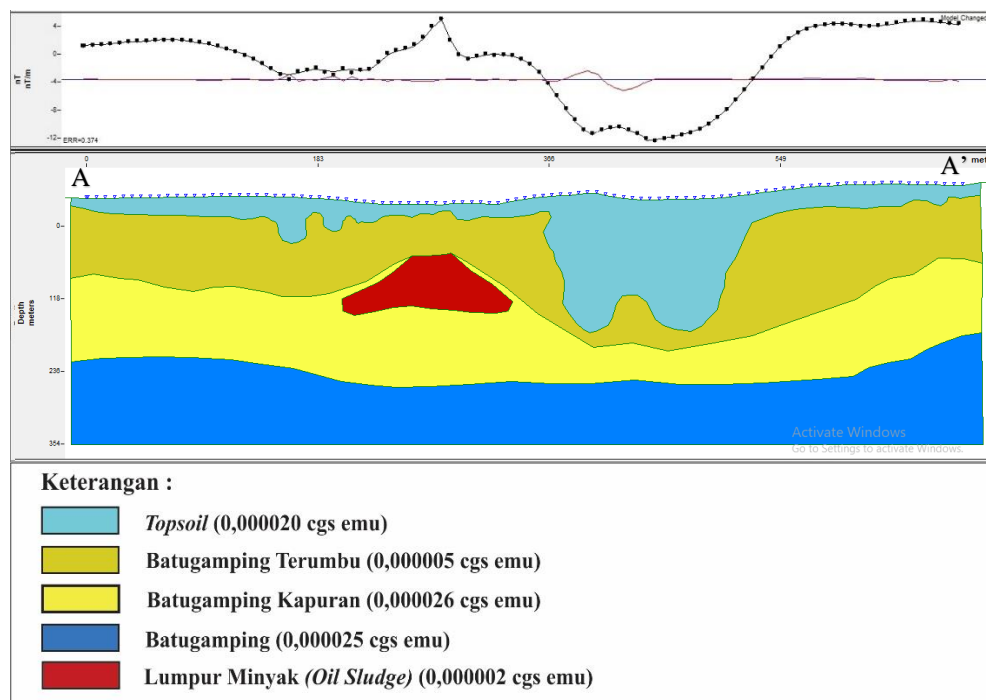
Gambar 4.8 Profil *Slice* Kontur Anomali Medan Magnet Lokal

Gambar 4.8 merupakan profil tiga buah *slice* pada kontur anomali medan magnet lokal. Hasil dari *slice* tersebut didapatkan data berupa jarak lintasan dan

nilai anomali. Data dari hasil *slice* tersebut digunakan sebagai parameter inputan pada *software Oasis Montaj* beserta data pendukung lainnya yaitu : data topografi, inklinasi dan deklinasi, dan nilai IGRF. Proses interpretasi data secara kuantitatif juga dilakukan dengan menganalisis penampang pola anomali lokal sepanjang *slice* yang telah dibuat dengan data pendukung berupa data geologi regional daerah penelitian, nilai susceptibilitas batuan, dan data pendukung lainnya.

4.4.1 Penampang *Slice A-A'*

Slice A-A' pada pemodelan 2D bawah permukaan memotong kontur pola anomali positif yang pada bagian tengah merupakan titik semburan minyak, dengan Panjang *slice* 694 meter. Hasil pemodelan 2D di bawah permukaan ditunjukkan pada gambar 4.9 :



Gambar 4.9 Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan *Slice A-A'*

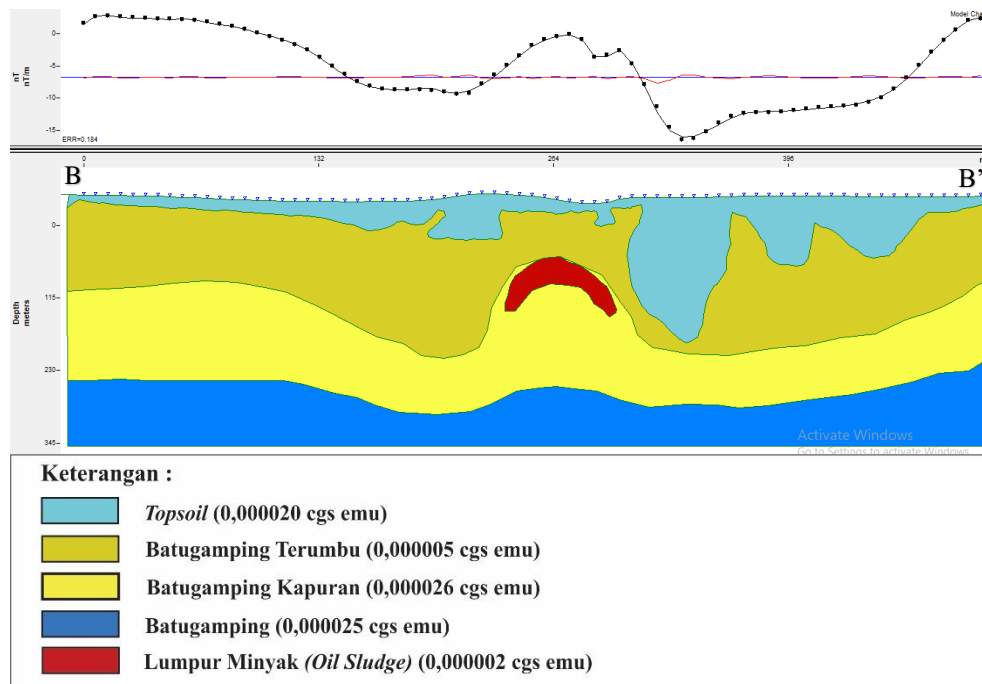
Berdasarkan gambar 4.9 dengan warna merah yang diduga sebagai kantong lumpur minyak (*oil sludge*) yang terletak pada koordinat $7^{\circ}10'22.56''\text{LS}$

dan $112^{\circ}37'34.26''$ BT dengan jarak dari arah barat 338 dan lebar kantong 137 meter pada kedalaman 50 meter. Hal ini juga sesuai dengan lembar geologi Surabaya-Sapuluh yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Berdasarkan gambar tersebut daerah penelitian ini berada pada antiklin sekarkurung.

Berdasarkan gambar 4.9 menunjukkan gambar model 2D bawah permukaan pada *slice* A-A' yang terdiri dari empat lapisan dengan nilai *error* 0.386. Pada lapisan pertama yang berwarna biru muda dengan nilai suseptibilitas 0.000002 cgs emu pada kedalaman ± 44 meter di atas permukaan sampai 130 meter di bawah permukaan dengan ketebalan lapisan yang bervariasi. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai *top soil*. Pada lapisan kedua yang berwarna putih kecoklatan dengan nilai suseptibilitas 0.000005 cgs emu pada kedalaman ± 11 meter di atas permukaan sampai 200 meter di bawah permukaan. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai batugamping terumbu. Pada lapisan ketiga yang berwarna putih kekuningan dengan nilai suseptibilitas 0.000026 cgs emu pada kedalaman $\pm 53 - 233$ meter. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai batugamping kapuran. Pada lapisan keempat yang berwarna biru dengan nilai suseptibilitas 0.000025 cgs emu pada kedalaman ± 218 meter - 350 meter. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai perselingan napal pasiran dengan batugamping (Sukardi, 1992).

4.4.2 Penampang *Slice* B-B'

Slice B-B' pada pemodelan 2D bawah permukaan memotong kontur pola anomali positif yang pada bagian tengah merupakan titik semburan minyak tersebut, dengan Panjang *slice* 507 meter. Hasil pemodelan 2D dapat dilihat pada gambar 4.10 di bawah ini:



Gambar 4.10 Hasil Pemodelan 2D Bawah Permukaan *Slice B-B'*

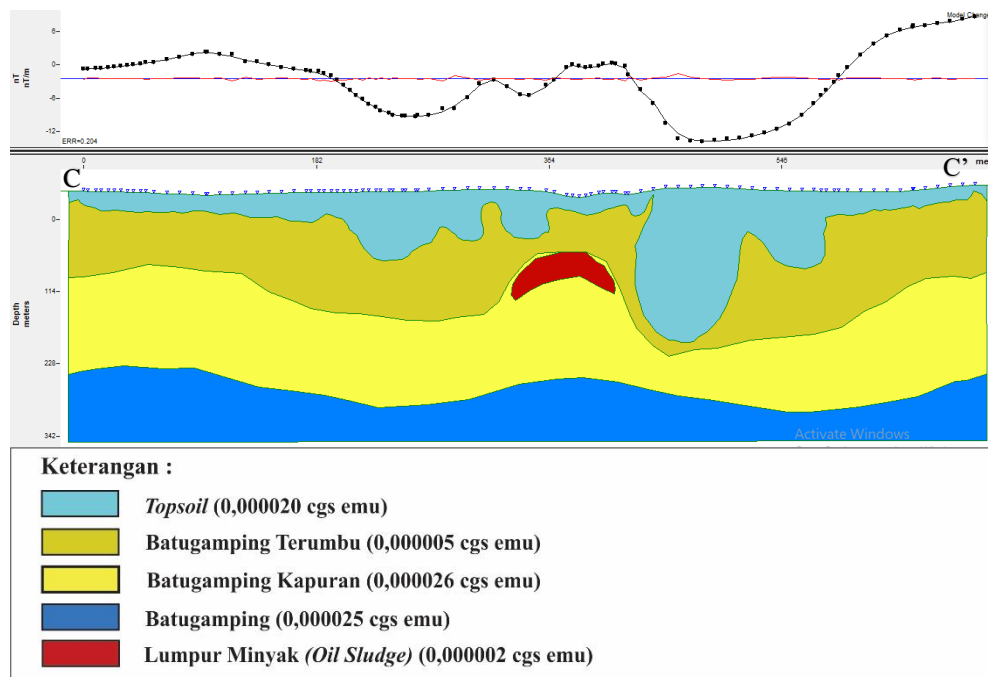
Berdasarkan gambar 4.10 dengan warna merah yang diduga sebagai kantong lumpur minyak (*oil sludge*) yang terletak pada koordinat $7^{\circ}10'22.56''$ LS dan $112^{\circ}37'34.26''$ BT dengan jarak dari arah utara 228 meter dan lebar kantong 82 meter pada kedalaman 50 meter. Hal ini juga sesuai dengan lembar geologi Surabaya-Sapuluh yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Berdasarkan gambar tersebut daerah penelitian ini berada pada antiklin sekarkuring.

Berdasarkan gambar 4.10 ditunjukkan bahwa gambar model 2D bawah permukaan pada *slice B-B'* terdiri dari empat lapisan dengan nilai *error* 0.184. Pada lapisan pertama yang berwarna biru muda dengan nilai suseptibilitas 0.000002 cgs emu pada kedalaman ± 47 meter di atas permukaan sampai 180 meter di bawah permukaan. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai *top soil* dengan melihat fakta yang berada di lapangan. Pada lapisan kedua yang berwarna putih kecokelatan dengan nilai suseptibilitas 0.000005 cgs emu pada kedalaman ± 18

meter di atas permukaan sampai 200 meter di bawah permukaan. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai batugamping terumbu. Pada lapisan ketiga yang berwarna putih kekuningan dengan nilai suseptibilitas 0.000026 cgs emu pada kedalaman \pm 58 meter – 253 meter di bawah permukaan. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai batugamping kapuran. Pada lapisan keempat yang berwarna biru dengan nilai suseptibilitas 0.000025 cgs emu pada kedalaman \pm 242 meter – 350 meter di bawah permukaan. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai perselingan napal pasiran dengan batugamping (Sukardi, 1992).

4.4.3 Penampang *Slice C-C'*

Slice C-C' pada pemodelan 2D bawah permukaan memotong kontur pola anomali positif yang pada bagian tengah merupakan titik semburan minyak tersebut, dengan Panjang *slice* 708 meter. Hasil pemodelan 2D dapat dilihat pada gambar 4.11 di bawah ini:



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

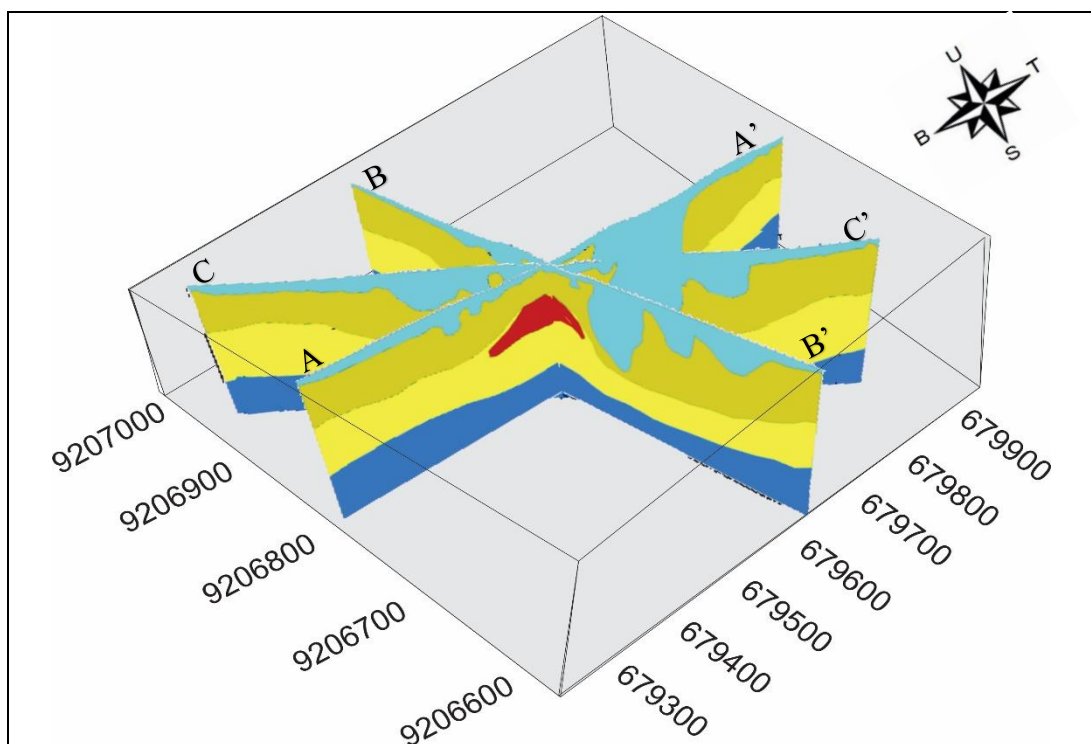
Berdasarkan gambar 4.11 dengan warna merah yang diduga sebagai kantong lumpur minyak (*oil sludge*) yang terletak pada koordinat $7^{\circ}10'22.56''\text{LS}$ dan $112^{\circ}37'34.26''\text{BT}$ dengan jarak dari arah barat laut 326 meter dan lebar kantong 95 meter pada kedalaman 50 meter. Hal ini juga sesuai dengan lembar geologi Surabaya-Sapuluh yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Berdasarkan gambar tersebut daerah penelitian ini berada pada antiklin sekarkurung.

Berdasarkan gambar 4.11 ditunjukkan bahwa gambar model 2D bawah permukaan pada *slice C-C'* terdiri dari empat lapisan dengan nilai *error* 0.204. Pada lapisan pertama yang berwarna biru muda dengan nilai suseptibilitas 0.000002 cgs emu pada kedalaman ± 45 meter di atas permukaan air laut sampai 189 meter di bawah permukaan. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai *top soil* dengan melihat fakta yang berada di lapangan. Pada lapisan kedua yang berwarna putih kecokelatan dengan nilai suseptibilitas 0.000005 cgs emu pada kedalaman ± 7 meter di atas permukaan sampai 208 meter di bawah permukaan. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai batugamping terumbu. Pada lapisan ketiga yang berwarna putih kekuningan dengan nilai suseptibilitas 0.000026 cgs emu pada kedalaman ± 50 meter – 251 meter di bawah permukaan. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai batugamping kapuran. Pada lapisan keempat yang berwarna biru dengan nilai suseptibilitas 0.000025 cgs emu pada kedalaman ± 232 meter – 350 meter di bawah permukaan. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai perselingan napal pasiran dengan batugamping (Sukardi, 1992)

4.4.4 Penampang 3 Dimensi (3D)

Penampang dengan model 3D (3 Dimensi) merupakan hasil gabungan dari beberapa model 2D (2 Dimensi) yaitu: *slice A-A'*, *slice B-B'*, dan *slice C-C'* yang

saling berpotongan satu sama lain dan kemudian digabungkan menjadi bentuk 3D (3Dimensi) dengan menggunakan *software Blender*. Tujuan dilakukan pemodelan secara 3D (3 Dimensi) adalah untuk melihat kesinambungan antara model 2D (2 Dimensi) dari setiap *slice* yang menggambarkan struktur batuan bawah permukaan pada daerah penelitian, sehingga dapat memudahkan interpretasi untuk mengetahui keberadaan dari target penelitian yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.12 Hasil Penampang *Slice* 3D

Pemodelan 3D (3Dimensi) memberikan gambaran secara nyata tentang struktur bawah permukaan yang dapat dilihat pada gambar 4.12. Pada gambar 4.12 dapat dilihat kesinambungan bentuk lapisan antar *slice* yang merupakan gabungan antara *slice* A-A', *slice* B-B', dan *slice* C-C'.

Berdasarkan gambar 4.12 dapat dilihat bahwa masing-masing *slice* memiliki 4 lapisan. Pada lapisan pertama yang berwarna biru muda dengan nilai

suseptibilitas 0.000002 cgs emu dan di interpretasikan sebagai *top soil* dengan melihat fakta yang berada di lapangan. Pada lapisan kedua yang berwarna putih kecokelatan dengan nilai suseptibilitas 0.000005 cgs emu. Lapisan ini di interpretasikan sebagai batugamping terumbu. Pada lapisan ketiga yang berwarna putih kekuningan dengan nilai suseptibilitas 0.000026 cgs emu dan di interpretasikan sebagai batugamping kapuran. Pada lapisan keempat yang berwarna biru dengan nilai suseptibilitas 0.000025 cgs emu dan diinterpretasikan sebagai perselingan napal pasiran dengan batugamping. Pada dugaan kantong lumpur minyak (*oil sludge*) yang terletak pada koordinat 7°10'22.56"LS dan 112°37'34.26BT dengan kedalaman kantong lumpur 50 meter.

Minyak bumi terbentuk dari pelapukan berbagai macam sisa-sisa organisme, seperti tumbuhan, hewan, dan jasad-jasad renik yang sudah tertimbun dalam dasar lautan bersama lumpur selama berjuta tahun yang lalu. Lumpur tersebut akan berubah menjadi berbagai batuan sedimen yang berpori, sedangkan sisa-sisa organisme akan bergerak ke tempat yang tekanannya rendah dan terkumpul pada sebuah daerah perangkap (*trap*), yaitu batuan kedap (*Impermeable*). Gas alam, minyak, dan air akan terakumulasi, pada bagian atas terdapat gas alam yang di bawahnya terdapat cairan minyak yang mengambang di atas air. Pada area kantong lumpur minyak (*oil sludge*) merupakan hasil dari aktivitas tektonik. Akibat adanya tekanan aktivitas tektonik lapisan yang tertekan, akan bergerak mencari kesetimbangan, sehingga cairan (gas, minyak dan air) mudah bergerak melalui zona lemah seperti patahan dan rekahan, dan dapat naik muncul ke permukaan.

Setiap *slice* tersusun atas tiga Formasi yaitu Formasi Lidah, Formasi Madura, dan Formasi watukoceng. Formasi yang pertama yaitu Formasi Lidah (Tpl), Formasi ini terdiri dari batulempung dan memiliki ketebalan ± 250 meter. Formasi yang kedua yaitu Formasi Madura (Tmpm), Formasi ini terdiri dari dua bagian yaitu: bagian atas yang berupa batugamping terumbu dan bagian bawah yang berupa batugamping kapuran. Formasi Madura ini bertumpang tindih dengan Formasi Lidah Formasi ketiga yaitu Formasi Watukoceng (Tmw), Formasi ini terdiri dari dua bagian yaitu: bagian atas yang berupa perselingan antara napal pasiran dengan batugamping, bagian bawah berupa batupasir kuarsa bersisipan batugamping, tetapi pada setiap *slice* hanya terlihat formasi Watukoceng bagian atas. Formasi Watukoceng ini memiliki ketebalan ± 600 meter.

4.5 Kajian Al-Qur'an

Al Quran adalah firman Allah SWT yang banyak mengandung pengetahuan. Isi kandungan al-Quran tidak hanya menjelaskan tentang muamalah manusia saja. Namun, dalam sejumlah ayatnya juga terdapat banyak kandungan ilmu pengetahuan yang bisa membuktikan kebenaran ilmiah yang baru bisa terungkap dengan teknologi pada abad ke-20. Hal ini sebagai bukti kebesaran Allah SWT dan sebagai petunjuk kepada manusia dalam memanfaatkan apa yang diciptakan-Nya dengan bijaksana dengan tidak lupa mensyukurinya.

Dilihat dari hasil penelitian tergambar beberapa lapisan batuan penyusun struktur bawah permukaan daerah penelitian. Macam-macam batuan tersebut meliputi batu gamping atau batu kapur yang mengandung air asin, lempung dan lain sebagainya. Sesuai dengan firman Allah SWT dalam Surat Fathir ayat 27:

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

“Tidakkah engkau melihat bahwa Allah menurunkan air dari langit lalu dengan air itu kami hasilkan buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. Dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat.” (Q.S. Fathir [35]:27).

Ayat ini melanjutkan uraian tentang bukti-bukti kuasa Allah SWT mengenai pergerakan lempeng tektonik. Kata (جُدَدٌ) juddad adalah bentuk jamak dari kata (جُدَّةٌ) juddah yakni jalan. Kata (بَيَضٌ) bidh adalah bentuk jamak dari kata (أَبْيَضٌ) abyadh yang berarti putih, kata (سُدٌ) sud adalah bentuk jamak dari kata (أَسَدٌ) aswad/hitam, dan kata (حُمْرٌ) humur adalah bentuk jamak dari kata (أَحْمَرٌ) ahmar (merah). Adapun kata (غَرَابِيبٌ) gharabib adalah bentuk jamak dari kata (غَرِيبٌ) ghirbib yaitu yang pekat (sangat) hitam.

Dalam surah fathir (35):27 pada lafadz yang artinya “ dan diantara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat”. Ayat tersebut menjelaskan tentang salah satu struktur lapisan dari ketujuh lapisan bumi. Lapisan-lapisan tersebut tersusun dengan membentuk seperti garis-garis. Struktur lapisan bumi yang membentuk garis-garis warna tersebut disebabkan karena adanya perbedaan materi-materi yang dikandung oleh bebatuan lapisan. Seperti hasil penelitian dimana warna biru, hijau, dan merah ini menunjukkan perlapisan batuan yang ada di bawah permukaan bumi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil interpretasi pengolahan data dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagaimana berikut :

1. Berdasarkan penampang *slice* A-A', *slice* B-B', dan *slice* C-C' menunjukkan bahwa kantong lumpur minyak (*oil sludge*) terletak pada koordinat 7°10'22.56"LS dan 112°37'34.26"BT pada kedalaman 50 meter.
2. Berdasarkan hasil *slice* model 2 dimensi dan informasi geologi, daerah penelitian ini terletak pada antiklin Sekarkurung dan terdapat empat lapisan. Dimana lapisan pertama tersusun atas lapisan penutup (*top soil*). Lapisan kedua tersusun atas batugamping terumbu. Lapisan ketiga tersusun atas batugamping kapuran. Dan lapisan keempat tersusun atas batugamping.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan metode geofisika yang lain dengan luasan area yg lebih luas guna mendukung hasil penelitian ini. Agar potensi sebaran lumpur minyak mentah yang terdapat di bawah permukaan pada sekitar area penelitian dapat di olah dan dimanfaatkan secara maksimal menjadi sumber daya alam, dengan mempertimbangkan peta geologi daerah penelitian (lembar geologi Surabaya-Sapulu)

DAFTAR PUSTAKA

- Awang, H. d. 2008. *Mud diapirs and mud volcanoes in depressions of Java to Madura. origins, natures, and implications to petroleum system*. Proceedings, Indonesian Petroleum Association, Thirty-second Annual Convention & Exhibition, May 2008.
- Baranov and Naudy, H. 1964. Numerical Calculation of The Formula of Reduction To The Magnetic Pole. *Geophysics* 53, 1592-1600.
- Bemmelen, Van R. W. 1949. *Geology of Indonesia*. V.1. A. Government Printing Office. Indonesia.
- Blakely, R. J. 1995. *Potensial Theory In Gravity And Magnetic Aplication*. New Jersey: Cambridge University Press.
- Burger, H. R. 1992. *Exploration Geophysic of the Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Departemen Agama RI. 1989. *Al-Quran Al-Karim*. Semarang: Toha Putera
- Dimitrov, L. W. 2001. *Mud Volcanoes The Most Important Pathway for Degassing Deeply Buried Sediments*. Mar: Geol (in press).
- Dunham, R. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: *Classification of Carbonate Rocks (Ed. W.E. Ham)*, . *Am. Assoc. Pet. Geol. Mem*, 1, 108–121.
- Embry, A. F., & Klovan, J. E. 1971. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, N.W.T. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology.*, 19 (4): 730–781. ISSN 0007-4802.
- Gauss. 1838. *Sumber Medan Magnet Bumi*.
- Geomagnet, T. 1990. *Survey Geomagnet*. Bandung: ITB.
- Graue, K. 2000. Mud Volcanoes In Deep Water Nigeria. *Marine And Petroleum Geology*, 17, 959-974.
- Guzmán Oswaldo, V. C.-Á. 2010. *Study Of Magnetic Contrasts Applied To Hydrocarbon Exploration In The Maturín Sub-Basin (Eastern Venezuela)*. *Stud. Geophys. Geod.*, 55 (2011), 359–376.

- Hunt, C. P. 1995. *Magnetic Properties of Rock and minerals*. In T. J. Ahrens, ed., *Rock Physics & Phase Relation, A Handbook of Physical Constants*. American Geophysical Union, Washington, pp. 189-204.
- Istadi, B. P. 2009. *Simulation On Growth and Potential Geohazard of East Java Mud Volcano Indonesia*. Marine & Petroleum Geology, Special Issue.
- Jensen, J. d. 1991. *Rare Earth Magnetism*. Oxford: Clarendon Press.
- Kalinko, M. 1964. *Mud Volcanoes, Reasons of Their Origin, Development and Fading*. VNIGRI, vol. 40, p. 30-54 (in Russian).
- Koesoemadinata, R. 2006. *Masalah Pembuangan Lumpur Lapindo Brantas*. www.rovicky.wordpress.com. Diakses tanggal 3 januari 2007.
- Krisnayanti, B. A. 2014. *Characteristics of Lusi mud volcano and its impacts on the Porong River*.
- Macdonald, G. 1972. *Volcanoes*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 510h.
- Mazzini, A. S.-S. 2007. *Triggering and dynamic evolution of LUSI mud volcano, Indonesia*. Earth Planet. Sci. Lett., Vol.261, h.375–388.
- Menshov Oleksandr, R. K. 2015. *Magnetic Mapping And Soil Magnetometry Of Hydrocarbon Prospective Areas In Western Ukraine*. Stud. Geophys. Geod., 59 (2015), 614-627.
- Milkov. 2000. *Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates*. Marine Geology, 167, 29-42.
- Milsom, J. 2003. *Field Geophysics, 3rd Edition*. England: John Willey and Sons Ltd.
- Munadi, S. 2001. *Instrumentasi Geofisika*. Depok: FMIPA Universitas Indonesia.
- Musyafak dan Bagus. 2007. *Interpretasi Metode Magnetik Untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan di Sekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri*. Tesis S2. ITS. Surabaya.
- Perdana, O. A., Daeng A. S., and Sutojo. 2013. *Application Geomagnetic Method To Identification Choromit Mineral's In Sukorejo Village, Kalidawir District, Tulungagung Regency*. *Journal Fisika*. Malang: Physici Departement, State Universty of Malang.

- Pomar, L. W. 2004. *Upper Miocene reef complex of the Lluçmajor area, Mallorca, Spain*, in Franseen, E., Esteban, M., Ward, W.C., and Rouchy, J.M., eds., *Models for Carbonate Stratigraphy from Miocene Reef Complexes of the Mediterranean regions*. SEPM, Concepts in Sedimentology and Paleontology, no. 5, p. 191–225.
- Putrohari, R. 2008. *Posisi kontroversi Patahan Watukosek*,. <http://rovicky.wordpress.com/2008> [Juli 2016].
- Qomariyah, N. 2011. *Analisis Zona Potensi Panas Bumi di Daerah Bittuarang, Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan Berdasarkan Anomali Magnetik-Pseudogravitasi*. Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Brawijaya, Malang .
- Reynolds, J. M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, England : Bookcraft (bath) Ltd.
- Risdiasari, F. 2010. *Analisis Zona Potensi Panas bumi Daerah Waesekat, Kabupaten Buru Selatan, Maluku Berdasarkan Data Magnetik*. Malang: Fakultas MIPA UB .
- Rosid, S. 2005. *Gravity Method in Exploration Geophysics*. Lecture Notes. Geophysics Program studi Department of Physics, University of Indonesia.
- Rubiandini, R. S. 2006. *Pembelajaran dari Erupsi Lumpur Di Sekitar Lokasi Sumur Banjarpanji*. Jakarta: Ikatan Ahli Geologi (IAGI).
- Santoso, D. 2002. *Diklat Kuliah TG-424 Eksplorasi Energi Panas Bumi*. Bandung: ITB.
- Satyana, A. H. 2003. *Oligo-Miocene Carbonates of Java: Tectonic Setting and Effects of Volcanism*. Jakarta: Proceedings of Joint Convention IAGI & HAGI.
- Satyana, A. H. 2008. *Mud Diapirs and Mud Volcanoes in Depressions of Java to Madura*. Origins, Natures, and Implications to Petroleum System, APA08-G-139, 1-34.
- Setiadi, I. D. 2016. *Investigation of Subsurface Geological Structure in Sidoarjo Mud Vulcano Affected Area Based on Geomagnetik Data Analysis*. Bandung: Jakarta Selatan.
- Sharma, P. 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. United Kingdom: Cambridge university Press.

- Sheriff, R. 1989. *Geophysical Methods*. New Jersey: University Of Houston, Englewood Cliffs.
- Siahaan, M. 2009. *Penentuan Struktur Pada Zona Hidrokarbon Daerah "X" Menggunakan Metode Magnetik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Sukardi. 1992. *Geologi Lembar Surabaya & Sepulu, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia .
- Telford, W. G. 1990. *Applied Geophysics*, . New Jersey: Cambridge University Press.
- Untung, M. 2001. *Dasar-Dasar Magnet Dan Gayaberat Serta Beberapa Penerapannya*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Waskito, R. G. 2017. *Pemisahan Anomali Lokal - Regional Pada Data Magnetik Lapangan Panas Bumi Z Menggunakan Metode Bidimensional Ensemble Empirical Mode Decomposition*. Thesis. Surabaya: ITS.
- Wiranata, Doni, A. I. 2018. Interpretasi Pola Sebaran Indikasi Mudvolcano Di Suryanata Samarinda Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, Volume 1 Nomor 2.
- Yusinov, M. 2004. *Thesis, Seismic Interpretation and Classification of Mud Volcanoes of The South Caspian Basin, Offshore*. Azerbaijan: Texaz A & M University.
- Zaennudin, A. B. 2010. *Fenomena Geologi Semburan Lumpur Sidoarjo*. Bandung: Badan Geologi Bandung.
- Zulaikah, S. 2007. *Kemagnetan Batuan dan Aplikasinya*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data Hasil Penelitian Magnetik

a. Hari Pertama (Rabu, 11 November 2020)

No	Titik	Koordinat Asli		Elevasi	Waktu		Waktu (s)	Average
		Lintang	Bujur		jam	Menit		
1	Base	7°10'32.04"	112°37'31.68	36	8	6	29160	44508.13
2	3	7°10'23.58"	112°37'34.86	34	8	13	29580	44517.6
6	7	7°10'23.22"	112°37'33.84	32	8	31	30660	44510.8
7	8	7°10'22.86"	112°37'33.36	34	8	34	30840	44517.07
8	25	7°10'22.68"	112°37'32.88	34	8	36	30960	44523.6
9	42	7°10'22.92"	112°37'31.44	33	8	40	31200	44517.6
10		7°10'22.8"	112°37'31.8	34	8	43	31380	44517.6
11	59	7°10'23.52"	112°37'31.08	34	8	47	31620	44515.53
12	41	7°10'23.58"	112°37'32.28	35	8	50	31800	44509.8
13	40	7°10'24.48"	112°37'32.88	36	8	52	31920	44509.9
14	43	7°10'21.78"	112°37'31.8	40	8	57	32220	44517.3
15	60	7°10'21.72"	112°37'30.9	39	9	0	32400	44512.2
16	59	7°10'23.1"	112°37'30.72	39	9	5	32700	44508.03
17	26	7°10'22.02"	112°37'32.94	42	9	10	33000	44512.63
18	27	7°10'22.02"	112°37'33.42	44	9	12	33120	44509.7
19	9	7°10'22.02"	112°37'33.96	44	9	15	33300	44516.47
20		7°10'22.02"	112°37'34.62	44	9	20	33600	44515.9
21	2	7°10'23.22"	112°37'35.22	45	9	27	34020	44516.53
22	1	7°10'23.22"	112°37'35.04	46	9	29	34140	44515.4
23	4	7°10'23.58"	112°37'34.56	45	9	33	34380	44516.8
24	5	7°10'23.34"	112°37'33.96	43	9	35	34500	44514.6
25	6	7°10'23.46"	112°37'33.66	43	9	37	34620	44514.7
26	50	7°10'21.24"	112°37'38.46	23	10	25	37500	44503.3
27	67	7°10'20.58"	112°37'39.54	38	10	30	37800	44504.5
28	33	7°10'21.78"	112°37'37.5	38	10	38	38280	44509.83
29	51	7°10'22.38"	112°37'38.34	42	10	43	38580	44502.27
30	35	7°10'23.52"	112°37'38.1	42	10	50	39000	44504.8
31	52	7°10'23.76"	112°37'38.64	40	10	52	39120	44503.7
32	69	7°10'23.82"	112°37'39.6	42	10	54	39240	44500.2
33	70	7°10'25.86"	112°37'39.12	44	11	0	39600	44505.23
34	104	7°10'27.00"	112°37'40.08	42	11	4	39840	44523.4
35	121	7°10'27.9"	112°37'40.56	43	11	7	40020	44524.67
36	86	7°10'25.56"	112°37'40.38	45	11	10	40200	44501.9
37	103	7°10'25.38"	112°37'41.52	45	11	12	40320	44516.4
38	102	7°10'23.04"	112°37'41.82	60	11	24	41040	44516.9
39	119	7°10'21.24"	112°37'43.32	68	11	30	41400	44522.0

40	132	7°10'22.08"	112°37'43.98	68	11	34	41640	44517.4
41	151	7°10'21.54"	112°37'45.84	68	11	38	41880	44522.5
42	152	7°10'22.08"	112°37'46.26	65	11	41	42060	44517.8
43	133	7°10'24.96"	112°37'43.38	63	11	48	42480	44521.1
44	120	7°10'25.14"	112°37'42.42	58	11	53	42780	44520.6
45	134	7°10'28.8"	112°37'41.16	56	12	1	43260	44521.6
46	54	7°10'26.1"	112°37'37.02	47	12	11	43860	44500.8
47	88	7°10'27.84"	112°37'36.9	48	12	14	44040	44498.7
48	71	7°10'27.72"	112°37'36.54	47	12	15	44100	44502.2
49	122	7°10'29.28"	112°37'38.16	46	12	20	44400	44517.4
50	135	7°10'29.16"	112°37'40.08	46	12	22	44520	44520.5
51	106	7°10'29.04"	112°37'35.28	45	12	27	44820	44521.3
52	89	7°10'28.5"	112°37'35.04	45	12	29	44940	44495.6
53	72	7°10'27.12"	112°37'35.04	46	12	31	45060	44501.7
54	55	7°10'26.58"	112°37'35.04	46	12	34	45240	44496.2
55	32	7°10'25.56"	112°37'34.68	47	12	37	45420	44497.83
56	21	7°10'24.9"	112°37'35.04	49	12	40	45600	44506.2
57	19	7°10'24.18"	112°37'35.76	50	13	38	49080	44505.9
58	48	7°10'20.46"	112°37'36.78	56	13	44	49440	44500.9
59	47	7°10'20.04"	112°37'35.88	53	13	50	49800	44492.17
60	49	7°10'20.64"	112°37'37.68	58	13	52	49920	44501.43
61	17	7°10'22.62"	112°37'36.72	54	13	53	49980	44500.1
62	36	7°10'25.2"	112°37'36.48	51	14	0	50400	44498.33
63	20	7°10'24.72"	112°37'35.58	48	14	3	50580	44494.57
64	22	7°10'24.66	112°37'34.32	45	14	7	50820	44489.2
65	39	7°10'25.68	112°37'33.6	46	14	10	51000	44501.47
66	56	7°10'26.7	112°37'33.24	47	14	13	51180	44501.87
67	73	7°10'27.48	112°37'33.12	46	14	15	51300	44504.5
68	90	7°10'28.5	112°37'32.64	46	14	17	51420	44503.9
69	107	7°10'30.42	112°37'31.44	48	14	20	51600	44515.2
70	108	7°10'28.86	112°37'30.18	49	14	30	52200	44513.4
71	91	7°10'27.06	112°37'30.48	49	14	32	52320	44519.87
72	74	7°10'26.28	112°37'27.48	48	14	45	53100	44502.2
73	57	7°10'25.26	112°37'31.86	46	14	53	53580	44503.4
74	75	7°10'25.32	112°37'30.36	45	15	0	54000	44501.8
75	92	7°10'25.86	112°37'29.94	44	15	3	54180	44504.9
76	76	7°10'24.06	112°37'29.7	48	15	6	54360	44502.3
77	93	7°10'24.9	112°37'29.52	48	15	8	54480	44512.9
78	58	7°10'24.36	112°37'30.96	46	15	13	54780	44498.8
79	16	7°10'22.8	112°37'36.18	49	15	20	55200	44501.9
80	15	7°10'21.96	112°37'38.46	52	15	27	55620	44502.2
81	31	7°10'21.18	112°37'35.88	52	15	30	55800	44505.3
82	30	7°10'20.82	112°37'34.68	51	15	35	56100	44503.3

83	29	7°10'20.76	112°37'33.72	51	15	37	56220	44499.87
84	62	7°10'19.26	112°37'32.76	39	15	44	56640	44500.8
85	63	7°10'18.78	112°37'34.2	38	15	51	57060	44501.6
86	64	7°10'18.96	112°37'35.76	38	16	0	57600	44501.9
87	65	7°10'18.06	112°37'36.06	40	16	5	57900	44503.4
88	66	7°10'19.08	112°37'37.8	43	16	11	58260	44503.7
89	79	7°10'18.36	112°37'32.34	36	16	15	58500	44504.1
90	96	7°10'17.52	112°37'31.86	37	16	19	58740	44505.8
91	97	7°10'16.68	112°37'31.38	36	16	25	59100	44514.83
92	46	7°10'19.86	112°37'34.26	38	16	28	59280	44499.8
93	80	7°10'17.88	112°37'34.08	38	16	32	59520	44506.6
94	82	7°10'17.1	112°37'36.36	40	16	35	59700	44507.9
95	99	7°10'16.2	112°37'36.66	40	16	40	60000	44512.8
96	83	7°10'18.3	112°37'38.46	45	16	44	60240	44513.7
97	100	7°10'17.52	112°37'39.12	46	16	47	60420	44510.4
98	101	7°10'19.62	112°37'40.74	50	16	52	60720	44511.9
99	118	7°10'19.2	112°37'41.58	52	16	58	61080	44513.1
100	Base	7°10'32.04	112°37'31.68	36	17	11	61860	44498.6

No	Titik	Koreksi		
		Diurnal	IGRF	Anomali Medan Magnet (nT)
1	Base	0	44508	0.133333
2	3	-0.12245	44508	9.75578
3	Lumpur	-0.29737	44508	9.69737
4		-0.34985	44508	10.18318
5		-0.38483	44508	9.218165
6	7	-0.43731	44508	3.270642
7	8	-0.48979	44508	9.556453
8	25	-0.52477	44508	16.12477
9	42	-0.59474	44508	10.22807
10		-0.64722	44508	10.21388
11	59	-0.71719	44508	8.25052
12	41	-0.76966	44508	2.53633
13	40	-0.80465	44508	2.704648
14	43	-0.89211	44508	10.22544
15	60	-0.94459	44508	5.144587
16	59	-1.03205	44508	1.065382
17	26	-1.11951	44508	5.752844
18	27	-1.1545	44508	2.887829
19	9	-1.20697	44508	9.673639
20		-1.29443	44508	9.194434
21	2	-1.41688	44508	9.950214

22	1	-1.45187	44508	8.851865
23	4	-1.52183	44508	10.35517
24	5	-1.55682	44508	8.190153
25	6	-1.5918	44508	8.258471
26	50	-2.43144	44508	-2.3019
27	67	-2.5189	44508	-0.9811
28	33	-2.65884	44508	4.492171
29	51	-2.7463	44508	-2.98703
30	35	-2.86875	44508	-0.29792
31	52	-2.90373	44508	-1.4296
32	69	-2.93872	44508	-4.86128
33	70	-3.04367	44508	0.277003
34	104	-3.11364	44508	18.51364
35	121	-3.16612	44508	19.83278
36	86	-3.21859	44508	-2.91474
37	103	-3.25358	44508	11.68691
38	102	-3.46349	44508	12.33015
39	119	-3.56844	44508	17.53511
40	132	-3.63841	44508	13.00508
41	151	-3.70838	44508	18.17505
42	152	-3.76086	44508	13.56086
43	133	-3.8833	44508	17.01664
44	120	-3.97076	44508	16.53743
45	134	-4.1107	44508	17.7107
46	54	-4.28563	44508	-2.88104
47	88	-4.3381	44508	-4.99523
48	71	-4.3556	44508	-1.4444
49	122	-4.44306	44508	13.87639
50	135	-4.47804	44508	16.94471
51	106	-4.5655	44508	17.83217
52	89	-4.60049	44508	-7.76618
53	72	-4.63547	44508	-1.63119
54	55	-4.68795	44508	-7.11205
55	32	-4.74043	44508	-5.42624
56	21	-4.79291	44508	3.026239
57	19	-6.15731	44508	4.023976
58	48	-5.91242	44508	-1.22092
59	47	-6.01737	44508	-9.81596
60	49	-6.05235	44508	-0.51431
61	17	-6.06985	44508	-1.83015
62	36	-6.19229	44508	-3.47437
63	20	-6.24477	44508	-7.18856
64	22	-6.31474	44508	-12.4853

65	39	-6.36722	44508	-0.16612
66	56	-6.41969	44508	0.286361
67	73	-6.45468	44508	2.988012
68	90	-6.48966	44508	2.389664
69	107	-6.54214	44508	13.70881
70	108	-6.71706	44508	12.11706
71	91	-6.75205	44508	18.61872
72	74	-6.97945	44508	1.146116
73	57	-7.11939	44508	2.486055
74	75	-7.24183	44508	1.075168
75	92	-7.29431	44508	4.227645
76	76	-7.34679	44508	1.646789
77	93	-7.38177	44508	12.24844
78	58	-7.46924	44508	-1.7641
79	16	-7.59168	44508	1.458349
80	15	-7.71413	44508	1.947462
81	31	-7.76661	44508	5.033272
82	30	-7.85407	44508	3.120734
83	29	-7.88905	44508	-0.24428
84	62	-8.0115	44508	0.811498
85	63	-8.13394	44508	1.700612
86	64	-8.29138	44508	2.191376
87	65	-8.37884	44508	3.778838
88	66	-8.48379	44508	4.217125
89	79	-8.55376	44508	4.687095
90	96	-8.62373	44508	6.390398
91	97	-8.72869	44508	15.56202
92	46	-8.78116	44508	0.547829
93	80	-8.85113	44508	7.417798
94	82	-8.90361	44508	8.770275
95	99	-8.99107	44508	13.75774
96	83	-9.06104	44508	14.76104
97	100	-9.11352	44508	11.51352
98	101	-9.20098	44508	13.06765
99	118	-9.30593	44508	14.40593
100	Base	0	44508	-9.4

Lampiran 3

Gambar Pengambilan Data







KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jln. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax.
(0341)572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Tiara Arum Dwi Nur Amalina
NIM : 16640046
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Fisika
Judul Skripsi : Identifikasi Kantung Lumpur Minyak (*Oil Sludge*)
Menggunakan Metode Geomagnet (Studi Kasus
Semburan Lumpur Desa Sekarkurung
Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik)
Pembimbing I : Irjan, M.Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M.Pd

No.	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1.	28 Januari 2020	Konsultasi Bab I dan ACC	
2.	17 Februari 2020	Konsultasi Bab I, II dan III	
3.	06 Maret 2020	Konsultasi Bab I, II, III dan ACC	
4.	30 November 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
5.	02 Desember 2020	Konsultasi RBD	
6.	05 Desember 2020	Konsultasi Upward Continuation	
7.	11 Desember 2020	Konsultasi Slice I	
8.	18 Desember 2020	Konsultasi Slice II	
9.	23 Desember 2020	Konsultasi Slice III	
10.	02 Maret 2021	Konsultasi Integrasi Al-Quran	
11.	15 April 2021	Konsultasi IV, V dan ACC	
12.	21 Juni 2021	Konsultasi Semua BAB, Abstrak, dan ACC	

Malang, 08 Juni 2021
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003