

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE GEOMAGNETIK
(Studi Kasus: Kubangan Lumpur di Wringinanom, Kabupaten Gresik)**

SKRIPSI

Oleh:
ARIANI TRI WAHYUNI
NIM. 220604110005



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE GEOMAGNETIK
(Studi Kasus: Kubangan Lumpur di Wringinanom, 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:
ARIANI TRI WAHYUNI
NIM. 220604110005**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

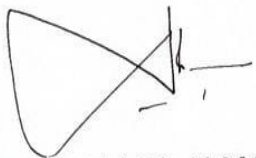
HALAMAN PERSETUJUAN
IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE GEOMAGNETIK
(Studi Kasus: Kubangan Lumpur di Wringinanom, Kabupaten Gresik)

SKRIPSI

Oleh:
Ariani Tri Wahyuni
NIM. 220604110005

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 23 Juni 2026

Pembimbing I


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

Pembimbing II


Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si.
NIP. 19860325 201903 2 009

Mengetahui
Ketua Program Studi

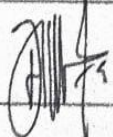

Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T.
NIP. 19740513 200312 1 001

HALAMAN PENGESAHAN
IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE GEOMAGNETIK
(Studi Kasus: Kubangan Lumpur di Wringinanom, Kabupaten Gresik)

SKRIPSI

Oleh:
Ariani Tri Wahyuni
NIM. 220604110005

Telah Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 29 Juni 2026

Penguji Utama :	<u>Irfan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji :	<u>Naqibatin Nadliriyah, M.Si</u> NIP. 19920221 201903 2 020	
Sekretaris Penguji :	<u>Drs. H. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650604 199003 1 003	
Anggota Penguji :	<u>Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si</u> NIP. 19860325 201903 2 009	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : ARIANI TRI WAHYUNI

NIM : 220604110005

Jurusan : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan
Metode Geomagnetik (Studi Kasus: Kubangan Lumpur di
Wringinanom, Kabupaten Gresik)

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

Malang, 25 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan


METERAI
TEMPEL
00BEAOX044507983
Ariani Tri Wahyuni
NIM. 220604110005

MOTTO

“Setiap langkah yang kuperjuangkan adalah untuk Ibu dan orang-orang terdekat”

“Dari kehilangan, aku belajar bertahan; dari waktu, aku menemukan hikmahnya”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

- Bapak Sukari tersayang. Terima kasih atas doa yang tidak pernah berhenti dipanjatkan oleh penulis. Terima kasih atas segala arahan dan nasihat yang telah Bapak berikan untuk meyakinkan penulis dikala tidak yakin dengan dirinya. Terima kasih atas jerih payah dan kerja keras yang tak pernah bisa penulis balas sepenuhnya.
- Ibu Sunartin yang telah berpulang, terima kasih atas segala pengorbanan dan kasih sayang yang tak pernah dapat terbalaskan. Terima kasih telah menjadi motivasi terbesar penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Meskipun raga telah berpisah, namun cintamu selalu hidup dan menguatkan setiap langkah penulis hingga di titik ini. Semoga apa yang penulis capai hari ini dapat menjadi salah satu bentuk kebahagiaan untuk Ibu di sana.
- Kakak dan kakak ipar penulis yakni, Mas Hendri dan Mba Niken. Terima kasih telah memberikan semangat, waktu, arahan, serta bantuan dari berbagai sisi. Terima kasih telah menjadi rumah kedua yang hangat, memberikan motivasi yang membangun, dan menjadi tempat bersandar ketika penulis lelah dengan keadaan. Terima kasih selalu hadir di garis depan untuk melindungi dan mendukung penulis. Semoga apa yang penulis capai dapat menjadi salah satu bentuk kebahagiaan bagi kalian.
- Seluruh keluarga besar yang telah memberikan nasihat, doa, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

- Seluruh pihak yang telah menemani perjalanan hidup penulis yang tak bisa penulis cantumkan satu per satu. Terima kasih atas ilmu, semangat, arahan, serta dukungan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- Untuk diri sendiri, Ariani Tri Wahyuni. Terima kasih telah bertahan sejauh ini. Terima kasih tetap melangkah meskipun harus disertai dengan tangis dan lelah, hingga akhirnya mampu menyelesaikan semuanya dengan baik. Terima kasih telah menjadi seseorang yang selalu mengusahakan untuk orang lain tapi tidak lupa mengusahakan untuk diri sendiri.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geomagnetik (Studi Kasus: Kubangan Lumpur di Wringinanom, Kabupaten Gresik)”. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh ilmu pengetahuan dan keimanan.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T., selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. H. Abdul Basid, M.Si dan Fikriyatul Azizah Su’ud, M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, ilmu, dan saran yang membangun dalam proses penyusunan skripsi.
5. Irjan, M. Si dan Naqiibatin Nadliriyah, M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan ilmu dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.

6. Prof. Dr. Drs. H. Mokhammad Tirono, M. Si selaku dosen wali yang telah membantu dan memberikan ilmunya.
7. Segenap dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu pengetahuan.
8. Bapak, Ibu, Kakak serta keluarga di rumah yang selalu memberi doa dan dukungan dari segala sisi.
9. Teman-teman angkatan 2022, khususnya peminatan Geofisika yang senantiasa memberi semangat dan dukungan kepada penulis.
10. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 25 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث.....	xviii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 7
2.1 Pengertian Gunung Lumpur	7
2.1.1 Proses Terbentuknya Gunung Lumpur	8
2.1.2 Faktor Penyebab Keluarnya Lumpur	10
2.1.3 Macam-Macam Gunung Lumpur	10
2.1.4 Sebaran Gunung Lumpur	11
2.2 Metode Geomagnetik	13
2.3 Teori Dasar Geomagnetik	13
2.3.1 Gaya Magnetik.....	13
2.3.2 Kuat Medan Magnetik	14
2.3.3 Momen Magnetik.....	14
2.3.4 Intensitas Kemagnetan.....	14
2.3.5 Induksi Medan Magnet	15
2.3.6 Suseptibilitas Kemagnetan.....	15
2.3.7 Medan Magnet Bumi	17
2.4 Pengolahan Data Geomagnetik	20
2.4.1 Koreksi Harian	20
2.4.2 Koreksi IGRF.....	20
2.5 Transformasi Medan.....	21
2.5.1 Reduksi Ke Kutub.....	21
2.5.2 Kontinuasi Ke Atas	21
2.5.3 Reduksi Bidang Datar	22
2.6 <i>Proton Precession Magnetometer</i>	23

2.7 Geologi Daerah Penelitian.....	24
2.7.1 Integrasi Al-Quran	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2 Data Penelitian	29
3.3 Peralatan Penelitian	30
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	30
3.4.1 Pengambilan Data	30
3.4.2 Pengolahan Data	31
3.4.3 Interpretasi Data.....	31
3.5 Diagram Alir.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Anomali Medan Magnet Total	34
4.2 Topografi	37
4.3 <i>Upward Continuation</i>	38
4.4 Reduksi Ke Kutub	40
4.5 Pemodelan 2D	42
4.5.1 Sayatan (<i>Slice</i>) A-A'	43
4.5.2 Sayatan (<i>slice</i>) B-B'	44
4.5.3 Sayatan (<i>slice</i>) C-C'	45
4.6 Integrasi Hasil Penelitian dengan Perspektif Keislaman.....	47
BAB V PENUTUP.....	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kubangan Lumpur Pada Lokasi Penelitian	2
Gambar 2.1 Mekanisme Kemunculan Semburan Lumpur.....	9
Gambar 2.2 Beberapa Gunung Lumpur yang Tersebar di Pulau Jawa	12
Gambar 2.3 Elemen Medan Magnet Bumi	18
Gambar 2.4 Ilustrasi Reduksi Ke Kutub	21
Gambar 2.5 Ilustrasi Kontinuasi Ke Atas	22
Gambar 2.6 <i>Proton Precession Magnetometer</i>	23
Gambar 2.7 Peta Geologi Regional Gresik	24
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 4.1 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total Pada Oasis Montaj.....	35
Gambar 4.2 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total Pada Surfer	36
Gambar 4.3 Peta Kontur Topografi.....	37
Gambar 4.4 Peta Kontur Anomali Regional	38
Gambar 4.5 Peta Kontur Anomali Residual.....	39
Gambar 4.6 Peta Anomali Residual Setelah di Reduksi Ke Kutub	41
Gambar 4.7 Sayatan AA', BB', dan CC'	42
Gambar 4.8 Pemodelan 2D Pada Sayatan A-A'	43
Gambar 4.9 Pemodelan 2D Pada Sayatan B-B'	44
Gambar 4.10 Pemodelan 2D Pada Sayatan C-C'	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Pada Batuan dan Mineral.....	16
Tabel 2.2 Keterangan Elemen Medan Magnet Bumi.....	18

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Koreksi Data Magnetik.....	56
Lampiran 2 Data untuk Software Magnetik.....	57
Lampiran 3 Dokumentasi Pengambilan Data Geomagnetik.....	58
Lampiran 4 Bukti Konsultasi	60

ABSTRAK

Wahyuni, Ariani Tri. 2026. **Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geomagnetik (Studi Kasus: Kubangan Lumpur di Wringinanom, Kabupaten Gresik)**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Drs. H. Abdul Basid, M.Si (II) Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si

Kata Kunci: Kubangan Lumpur, Metode Geomagnetik, Anomali Magnetik, Wringinanom

Indonesia dikenal memiliki kondisi geologi yang cukup kompleks karena posisinya berada di zona pertemuan antara tiga lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Salah satu fenomena geologi yang sering ditemukan di wilayah tektonik aktif adalah *mud volcano*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur bawah permukaan dan sebaran lumpur di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik. Metode geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika yang dilakukan untuk mengukur intensitas medan magnet yang terstruktur di permukaan bumi dengan luas sekitar 86.000 m². Metode pengambilan data dilakukan dengan metode *looping*, yaitu pengukuran yang dimulai dan diakhiri pada titik yang sama dengan *base station* sebagai acuan untuk memperoleh nilai medan magnet luar dan dimanfaatkan untuk proses koreksi harian diperoleh 56 data dengan jarak spasi 50 meter. Hasil dari penelitian ini, yakni peta kontur anomali dan pemodelan 2D. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu struktur bawah permukaan di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik memiliki 4 lapisan batuan diantaranya: lempung dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,00000011 SI hingga 0,00000503 SI pada kedalaman ± 0 m hingga 70 m dari atas permukaan, lempung pasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,0000015 SI hingga 0,0001 SI pada kedalaman ± 20 m hingga 120 m dari atas permukaan, batu pasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000001 SI hingga 0,000003 SI pada kedalaman ± 80 m hingga 180 m dari atas permukaan, dan kerakal berpasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000006 hingga 0,0000098 SI pada kedalaman ± 160 m hingga 230 m dari atas permukaan dengan variasi nilai suseptibilitas yang mencerminkan perbedaan kandungan mineral penyusun batuan. Sementara itu, hasil interpretasi kualitatif menunjukkan hasil bahwa sebaran lumpur berada pada zona dengan anomali rendah berkisar antara -169 nT hingga -50 nT. Nilai anomali negatif menunjukkan bahwa terjadi penyimpangan di bawah nilai referensi (IGRF).

ABSTRACT

Wahyuni, Ariani Tri. 2026. **Identification of Subsurface Structure Using Geomagnetic Method (A Case Study: Mud Volcano in Wringinanom, Gresik Regency).** Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Drs. H. Abdul Basid, M.Si (II) Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si

Keywords: Mud Volcano, Geomagnetic Method, Magnetic Anomalies, Wringinanom

Indonesia is known for its complex geological setting because it lies at the convergence of three major tectonic plates: the Eurasian, Indo-Australian, and Pacific Plates. One of the geological phenomena commonly found in tectonically active regions is a mud volcano. This research aims to reveal the subsurface structure and the distribution of mud deposits in Sumberwaru Village, Wringinanom District, Gresik Regency. The researcher applied the geomagnetic method, a geophysical method that measures the intensity of the Earth's magnetic field covering an area approximately 86,000 m². She collected data using the looping method, in which each survey began and ended at the same location with a base station serving as the reference point for measuring the external magnetic field and performing diurnal corrections. The researcher acquired 56 data with a spacing interval of 50 m. The research results generated magnetic anomaly contour maps and 2D subsurface models. The researcher concluded that the subsurface structure beneath Sumberwaru Village, Wringinanom District, Gresik Regency consists of four geological layers. The first layer comprises clay, with magnetic susceptibility values ranging from 0.00000011 SI to 0.00000503 SI, extending from the surface to a depth of approximately 70 m. The second layer consists of sandy clay, with susceptibility values ranging from 0.0000015 SI to 0.0001 SI at depths of approximately 20–120 m. The third layer comprises sandstone, with susceptibility values between 0.000001 SI and 0.000003 SI at depths of approximately 80–180 m. The fourth layer consists of sandy gravel, with susceptibility values ranging from 0.000006 SI to 0.0000098 SI at depths of approximately 160–230 m. These variations in magnetic susceptibility reflect differences in the mineral composition of the rock formations. Meanwhile, the qualitative interpretation further reveals that the distribution of mud deposits spreads within zones of low magnetic anomalies, ranging from -169 nT to -50 nT. These negative anomaly values indicate deviations below the reference (IGRF).

مستخلص البحث

واهيو، أرياني تري. 2026. تحديد البنية الجوفية باستخدام طريقة الجيوماجنيتيك (دراسة حالة: البرك الطينية في وارينجيانوم، مقاطعة غريسيك). بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (الأول) الحاج عبد بسيط، الماجستير (الثاني) فكرية العزيزة سعود، الماجستير

الكلمة الرئيسية: بركة الطين، طريقة الجيومغناطيسية، الشذوذ المغناطيسي، وارينغانوم

تُعرف إندونيسيا بامتلاكها ظروف جيولوجية معقدة إلى حد كبير بسبب موقعها في منطقة التقاء بين ثلاث صفائح تكتونية كبيرة، وهي صفيحة أوراسيا، وصفيحة الهند-أستراليا، وصفيحة المحيط الهادئ. ومن الظواهر الجيولوجية التي غالبًا ما تُلاحظ في مناطق الصفائح التكتونية النشطة هي البراكين الطينية. يهدف هذا البحث إلى معرفة بنية الطبقات تحت السطح وتوزيع الطين في قرية سومبروارو، منطقة وارينجيانوم، مقاطعة جريسيك. تُعد طريقة الجيومغناطيسية إحدى طرق الجيوفيزياء المستخدمة لقياس شدة المجال المغناطيسي المهيكل على سطح الأرض بمساحة تقارب 86,000 متر مربع. تم جمع البيانات باستخدام طريقة الحلقات، وهي القياسات التي تبدأ وتنتهي عند نفس النقطة مع استخدام المحطة الأساسية كمرجع للحصول على قيم المجال المغناطيسي الخارجي والاستفادة منها في عملية التصحيح اليومي، وتم الحصول على 56 بيانات بفواصل 50 مترًا. نتائج هذا البحث هي خريطة خطوط العيوب المغناطيسية ونموذج ثنائية الأبعاد (D2). الاستنتاج من هذا البحث هو أن البنية تحت السطحية في قرية سومبروارو، منطقة وارينجيانوم، مقاطعة جريسيك تتكون من أربع طبقات صخرية، وهي: الطين بقيمة القابلية للتمغنط تتراوح بين SI 0,00000011 إلى SI 0,00000503 على عمق $0 \pm$ م حتى 70 م من سطح الأرض، الطين الرملي بقيمة القابلية للتمغنط تتراوح بين SI 0,0000015 إلى SI 0,0001 على عمق $20 \pm$ م حتى 120 م من سطح الأرض، الحجر الرملي بقيمة القابلية للتمغنط تتراوح بين SI 0,000001 إلى SI 0,000003 على عمق $80 \pm$ م حتى 180 م من سطح الأرض، والحصي الرملي بقيمة القابلية للتمغنط تتراوح بين 0,000006 إلى SI 0,0000098 على عمق $160 \pm$ م حتى 230 م من سطح الأرض، مع تنوع في قيم القابلية للتمغنط يعكس اختلاف محتوى المعادن المكونة للصخور. وفي الوقت ذاته، أظهرت نتائج التفسير النوعي أن توزيع الطين يقع في منطقة ذات شذوذ منخفض يتراوح بين -169 nT إلى -50 nT. وتشير القيمة السالبة للشذوذ إلى... تشير القيم الشاذة السالبة إلى حدوث انحراف تحت القيمة المرجعية (IGRF).

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal memiliki kondisi geologi yang cukup kompleks karena posisinya berada di zona pertemuan antara tiga lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Interaksi antar lempeng tersebut menyebabkan munculnya berbagai fenomena geologi di berbagai wilayah Indonesia seperti gunung lumpur, gempa bumi, tsunami, dan fenomena lainnya (Suniyah & Rochayati, 2025).

Salah satu fenomena geologi yang sering ditemukan di wilayah tektonik aktif adalah *mud volcano*. Istilah geologisnya adalah gunung lumpur yang merujuk kepada fenomena ekstrusi massa lumpur ke permukaan. Penamaan ini didasarkan pada bentuk morfologi kerucut yang menyerupai gunung dan material yang dikeluarkan berupa lumpur (Burhannudinnur dkk., 2021). Umumnya gunung lumpur berkembang pada cekungan sedimen di berbagai belahan dunia yang berkaitan dengan proses migrasi fluida secara vertikal. Pembentukannya dipicu oleh naiknya natural gas menuju ke permukaan melalui jalur konduit yang mengangkut material lumpur dengan densitas yang lebih rendah dibandingkan sedimen di sekitarnya. Material yang dikeluarkan tidak hanya berupa lumpur, tetapi juga mencakup gas, belerang, garam, air, dan batuan. Pada wilayah kering, aktivitas ini sering menghasilkan endapan di permukaan yang membentuk struktur menyerupai kerucut, mirip dengan gunung api (Torrese, 2023).

Fenomena gunung lumpur sering ditemui di wilayah Indonesia, khususnya di Pulau Jawa dengan kemunculan pada beberapa lokasi seperti di Sangiran,

Bangkalan, Kesongo, dan Sidoarjo. Secara geologis, distribusi gunung lumpur di Pulau Jawa menunjukkan pola linier yang mengindikasikan adanya kendali struktur geologi regional. Keberadaan gunung lumpur di Pulau Jawa merupakan bagian dari suatu jalur gunung lumpur aktif, yang membentang dari Purwodadi, Cepu, Bojonegoro hingga Porong (Safitri dkk., 2024).

Aktivitas semburan lumpur (*mud volcano*) mulai teramati sejak Maret 2007 di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik yang hingga kini masih menunjukkan aktivitas. Kemunculan semburan lumpur tersebut diduga berkaitan dengan pengaruh struktur geologi regional seperti lipatan, sesar, patahan, maupun rekahan yang berperan sebagai jalur migrasi fluida serta memiliki energi cukup untuk mendorong material dari bawah permukaan menuju atas permukaan (Detiknews, 2007).

Seiring berjalannya waktu, aktivitas semburan ini berkembang menjadi genangan atau kubangan lumpur yang tersebar di area persawahan warga. Berdasarkan pengamatan di lapangan, lumpur yang dihasilkan cenderung bersifat dingin dan masih menunjukkan aktivitas berupa munculnya gelembung gas di permukaan.



Gambar 1.1 Kubangan Lumpur Pada Lokasi Penelitian

Secara regional, wilayah Gresik terletak di bagian utara Jawa Timur dan termasuk dalam Cekungan Jawa Timur utara. Namun, bagian selatan wilayahnya menunjukkan keterkaitan dengan Cekungan Kendeng yang merupakan salah satu zona sedimentasi utama di Pulau Jawa yang terbentuk sebagai hasil interaksi tektonik akibat tumbukan antar lempeng. Aktivitas konvergensi tersebut berperan dalam pembentukan struktur geologi kompleks dan ditandai oleh berkembangnya berbagai sesar sebagian di antaranya masih aktif hingga saat ini (Putra dkk., 2018).

Dalam tatanan struktur *Kendeng Zone* terdapat keberadaan sistem sesar Watukosek. Patahan ini melintasi beberapa wilayah termasuk Mojokerto, Gresik, hingga barat Pulau Madura. Keberadaan Sesar Watu Kosek juga berkaitan dengan perkembangan struktur sesar lainnya seperti sesar yang memanjang dari Banjar Panji hingga Kunjung (Putrohari, 2008).

Adanya fenomena tersebut mendorong dilakukannya penelitian pada kubangan lumpur di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik dengan tujuan untuk mengidentifikasi kondisi struktur bawah permukaan pada area penelitian. Pentingnya eksplorasi ini merupakan petunjuk yang sesuai dengan firman Allah SWT dalam Al-Qur'an Surah Al-Baqarah [1]:29 yang berbunyi:

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

Artinya: “Dialah (Allah) yang menciptakan segala yang ada di bumi untukmu, kemudian Dia menuju ke (penciptaan) langit, lalu Dia menyempurnakannya menjadi tujuh langit. Dia Maha Mengetahui segala sesuatu” (Q. S. Al-Baqarah [1]: 29).

Dalam Tafsir Kemenag (2018), ayat tersebut mengandung makna bahwa Allah telah menganugerahkan karunia yang besar kepada manusia dalam bentuk

penciptaan langit dan bumi untuk diambil manfaatnya agar manusia dapat menjaga kelangsungan hidupnya. Dalam konteks ini, eksplorasi seperti penelitian terhadap struktur bawah permukaan di area kubangan lumpur menjadi bentuk usaha manusia dalam memanfaatkan karunia tersebut.

Struktur bawah permukaan dapat diperkirakan menggunakan metode geofisika. Ada beberapa metode geofisika yang dapat digunakan seperti magnetik, geolistrik, *magnetotelluric*, mikrotremor, gravitasi, dan lainnya. Penelitian kali ini menggunakan metode geomagnetik yang biasanya dimanfaatkan untuk memperkirakan bagaimana struktur bawah permukaan dan kedalaman pada suatu daerah. Anomali magnetik akan muncul ketika adanya ketidakseragaman intensitas medan magnet yang terstruktur di permukaan karena nilai suseptibilitas pada tiap jenis batuan penyusun di wilayah tersebut berbeda-beda dan sensitif terhadap perubahan litologi maupun adanya struktur geologi seperti patahan atau lipatan yang diduga menjadi jalur keluarnya lumpur. Selain itu metode geomagnetik juga memiliki beberapa keunggulan, yaitu pengukuran yang relatif sederhana, mudah, cepat, dan murah (Salsabila dkk., 2025).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Setiadi, Darmawan, & Marjiyono (2016) yang berjudul “Pendugaan Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Terdampak Lumpur Sidoarjo (LUSI) Berdasarkan Analisis Data Geomagnet” telah berhasil dilakukan. Anomali yang didapatkan ada 3 yakni anomali tinggi (422 nT - 788 nT), anomali sedang (162 nT - 422 nT), dan anomali rendah (-84 nT - 162 nT).

Menurut penelitian Fatima et al. (2025) yang menggunakan metode magnetik dan gravitasi pada *mud volcano* Wringinanom dalam rangka mengetahui struktur bawah permukaan yang mengontrol munculnya *mud volcano*. Anomali yang

didapatkan berkisar antara -1044,1 nT hingga 692,3 nT dengan zona anomali rendah berkaitan dengan keberadaan lumpur serta dikontrol oleh struktur patahan. Banyak penelitian yang menerapkan metode geomagnetik telah terbukti efektif, baik untuk eksplorasi sumber daya mineral, hidrokarbon, panas bumi, maupun untuk keperluan pemantauan gunung api.

Permasalahan yang terjadi pada lokasi tersebut mendorong penulis untuk melakukan penelitian dengan judul “ Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geomagnetik (Studi Kasus: Kubangan Lumpur di Wringinanom, Kabupaten Gresik)”. Penulis berharap hasil penelitian ini bisa bermanfaat bagi peneliti maupun masyarakat luas terutama yang tinggal di sekitar lokasi penelitian dalam memahami keamanan di lingkungan sekitar area terdampak.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana struktur bawah permukaan di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik berdasarkan interpretasi data geomagnetik?
2. Bagaimana mengidentifikasi sebaran lumpur di area penelitian berdasarkan analisis data geomagnetik?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik berdasarkan interpretasi data geomagnetik.
2. Untuk mengetahui sebaran lumpur di area penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik.
2. Memberikan informasi mengenai sebaran lumpur di area penelitian.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik yang terletak pada koordinat $7^{\circ}22'49.06''$ LS dan $112^{\circ}30'38.56''$ BT sampai $7^{\circ}22'56.76''$ LS dan $112^{\circ}30'35.22''$ BT dengan luas area penelitian sekitar 86.000 m^2 .
2. Penelitian ini hanya menggunakan metode geomagnetik.
3. Beberapa software yang digunakan meliputi: *Excel*, *Surfer*, dan *Oasis Montaj*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Gunung Lumpur

Mud volcano adalah salah satu peristiwa geologi yang berkaitan dengan sistem sedimen bawah permukaan yang didominasi oleh material berbutir halus terutama lempung dengan densitas yang relatif rendah. Sedimen tersebut dapat mengalami perubahan sifat fisik akibat tekanan berlebih (*overpressure*) yang bisa disebabkan oleh aktivitas tektonik, kompaksi sedimen, maupun keberadaan fluida atau gas. Kondisi ini dapat menyebabkan sedimen menjadi tidak terkonsolidasi sehingga dapat bergerak dengan mudah melalui zona lemah dan dapat muncul ke atas permukaan. (Satyana dan Asnindar, 2008). Retakan yang dihasilkan dapat disebabkan oleh aktivitas gempa bumi secara alami atau aktivitas manusia seperti pengeboran (Burhannudin, 2019).

Fenomena gunung lumpur tetap masih menjadi misteri bagi para ahli geologi selama hampir dua abad. Gunung lumpur dapat ditemukan di berbagai lokasi di dunia, baik di daratan (*onshore*) maupun di laut (*offshore*). Meskipun kebanyakan berada di wilayah tektonik kompresi. Gunung lumpur bervariasi dalam hal bentuk dan ukuran, dengan diameter yang dapat mencapai puluhan kilometer dan ketinggian mencapai ratusan meter. Selain itu, gunung lumpur dapat menunjukkan keanekaragaman asal-usul fluida dan fase padat yang dikeluarkannya. Fluida berupa gas yang didominasi oleh metana bersama air dan lumpur diperkirakan mengalami mobilisasi dari kedalaman beberapa meter, tetapi dalam beberapa kasus dapat berasal dari kedalaman beberapa kilometer di bawah permukaan bumi sebelum akhirnya bermigrasi menuju ke atas permukaan (Kopf, 2002).

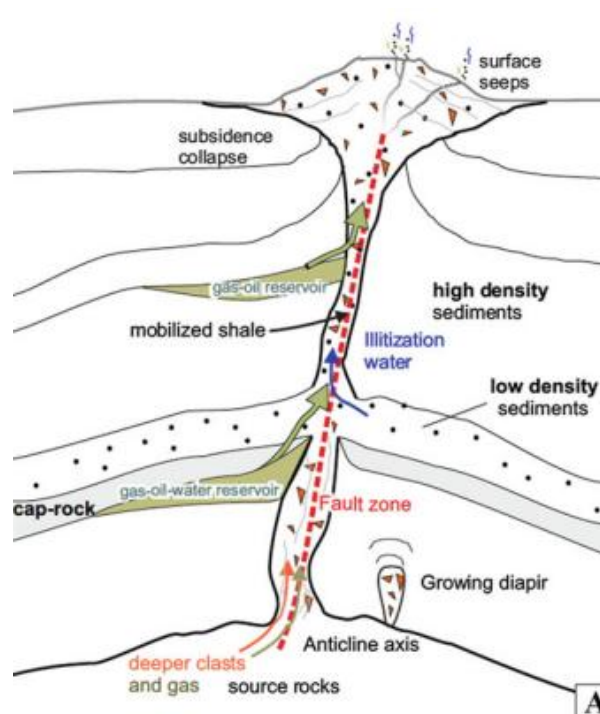
Fenomena gunung lumpur memiliki dampak yang signifikan pada sosial dan lingkungan area terdampak. Produksi lumpur yang terjadi secara terus-menerus atau berlebihan dapat menyebabkan peninggian daratan. Hal ini dapat menimbulkan bahaya karena berpotensi menenggelamkan pemukiman di sekitarnya (Krisnayanti & Agustawijaya, 2014).

2.1.1 Proses Terbentuknya Gunung Lumpur

Mud volcano adalah fenomena geologi yang ditandai dengan keluarnya material berupa lempung atau lumpur ke permukaan bumi yang secara morfologi membentuk struktur menyerupai kerucut dengan telaga pada bagian puncaknya. Proses ini umumnya disertai dengan keluarnya gas, air, serta sesekali minyak, yang terjadi di bawah tekanan tinggi dan menimbulkan ledakan. Dalam beberapa kasus, gas yang dilepaskan dapat terbakar seperti menyerupai aktivitas gunung api (Kosoemadinata, 1980).

Istilah gunung lumpur juga menggambarkan fenomena geologi berupa keluarnya campuran sedimen cair, partikel berukuran lempung, cairan, dan gas dari bawah permukaan bumi yang membentuk menyerupai kerucut seperti gunung. Material yang dilepaskan umumnya berupa lumpur kental yang terdiri dari partikel halus dengan campuran air dan hidrokarbon, dengan gas utama berupa metana yang bercampur dengan sejumlah kecil karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen (N). Gunung lumpur memiliki suhu yang bervariasi dari sangat dingin hingga panas tergantung pada hubungannya dengan aktivitas magma di kedalaman. Proses ini dapat terjadi secara bertahap, menyerupai aliran lava cair, atau terjadi secara *eksplosif* membentuk semburan lumpur, gas, dan air mendidih. Gunung lumpur umumnya berkembang di daerah dengan laju sedimentasi tinggi, aktivitas tektonik kompresi,

serta pembentukan hidrokarbon di kedalaman, seperti pada zona subduksi, baji akresi, sistem delta, wilayah hidrotermal aktif, sabuk konvergen, dan zona sesar atau antiklin yang berfungsi menjadi jalur keluarnya fluida dari lapisan dalam menuju ke permukaan bumi (Istadi et al., 2012).



Gambar 2.1 Mekanisme Kemunculan Semburan Lumpur
(Mazzini & Etiope, 2017)

Mud volcano merupakan salah satu hasil dari diapirisme lumpur, yakni suatu proses yang terjadi akibat tekanan berlebih (*overpressure*) pada sedimen yang kaya akan gas dan fluida. Tekanan ini mendorong lapisan lumpur plastis untuk naik sehingga menembus lapisan di atasnya. Ketika mud diapir mencapai permukaan laut, terbentuklah gunung lumpur. Oleh karena itu, *mud volcano* dianggap sebagai tahap lanjut dari pembentukan mud diapir (Ma et al., 2021).

2.1.2 Faktor Penyebab Keluarnya Lumpur

Keluarnya lumpur ke permukaan dapat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu (Kosoemadinata, 1980):

1. Faktor alam

Semburan lumpur adalah peristiwa geologi yang terjadi karena faktor alam meliputi kombinasi antara patahan yang menjadi jalur migrasi fluida, gempa bumi yang terjadi sebelum erupsi sebagai pemicu, kerentanan tanah-batuan, dan pembentukan diapir. Gempa bumi diketahui mampu memicu erupsi pada sistem panas bumi, hidrotermal, dan gunung lumpur, seperti yang telah dibuktikan oleh Maestrelli et al. (2017) dalam sebuah studi di Italia yang melaporkan adanya pemicu dinamis erupsi gunung lumpur selama rangkaian gempa bumi pada tahun 2016-2017.

2. Faktor manusia

Terjadinya semburan lumpur dapat diakibatkan oleh perbuatan manusia. Contohnya yakni pada saat dilakukannya aktivitas eksplorasi minyak bumi ataupun terjadinya kesalahan pada saat pemasangan dinding sumur pengeboran.

2.1.3 Macam-Macam Gunung Lumpur

Mud volcano dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu (Costa dan Wibowo, 2016):

1. Gunung lumpur yang berasosiasi dengan aktivitas vulkanik umumnya terjadi di dekat gunung berapi aktif dengan karakteristik suhunya tinggi, pelepasan uap air yang besar, serta adanya kandungan gas hidrokarbon.

2. Gunung lumpur yang tidak berasosiasi dengan aktivitas vulkanik umumnya terbentuk akibat tekanan fluida yang tinggi ditandai dengan suhu fluida yang rendah atau dingin seta ditemukannya kandungan hidrokarbon dalam bentuk gas

Berdasarkan klasifikasi umum yang dikemukakan oleh Kalinko (1964, dalam Dimitrov, 2003), terdapat tiga klasifikasi gunung lumpur di antaranya:

1. Tipe Lokbatan

Tipe ini memiliki aktivitas letusan yang kuat dan sering kali disertai penyalan gas yang dikeluarkan bersama lumpur. Periode aktivitasnya berlangsung secara singkat dan diikuti masa istirahat yang cukup lama.

2. Tipe *Chikishlyar*

Tipe *Chikishlyar* dicirikan oleh aktivitas yang tenang dengan kekuatan relatif lemah dan berlangsung secara kontinu. Gas yang dikeluarkan konstan dan hampir seragam jumlahnya. Ciri umum dari tipe ini adalah banyaknya lubang keluaran (vent) yang mengeluarkan sejumlah kecil dan air yang bercampur dengan gas.

3. Tipe *Schugin*

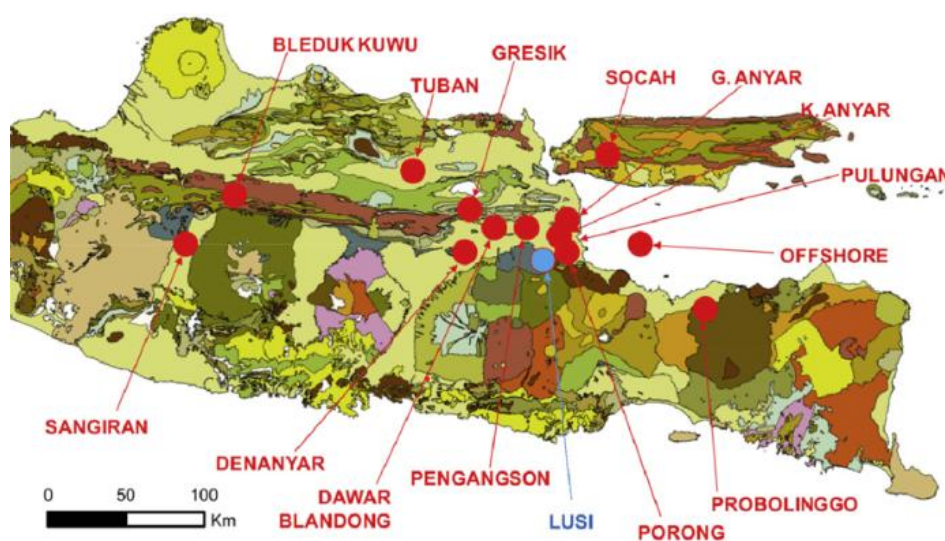
Tipe ini merupakan peralihan antara tipe Lokbatan dan *Chikishlyar*. Aktivitasnya lemah dan berlangsung lama, tetapi sesekali diselingi oleh letusan singkat. Tipe ini diperkirakan memiliki penyebaran paling luas di seluruh dunia.

2.1.4 Sebaran Gunung Lumpur

Di Pulau Jawa terdapat sekitar 14 gunung lumpur dengan 12 di antaranya berada di wilayah Jawa Timur. Ada 5 gunung lumpur yang tersebar di sekitar sistem

sesar Watukosek diantaranya Lumpur Sidoarjo (LUSI), Porong, Pulungan, Kalang Anyar, Gunung Anyar, dan Socah. Sistem sesar Watukosek berbentuk sesar geser dengan orientasi NW-SW yang berasal dari kompleks gunung api Arjuno-Welirang, memotong lokasi letusan aktif lusi yang menampilkan sistem sesar antitetik, dan meluas ke arah timur laut Jawa tempat gunung lumpur berada (Mascariello et al., 2018). Sesar antitetik merupakan sesar kecil atau sekunder yang arah kemiringan atau pergerakannya berlawanan dengan sesar utama dalam satu deformasi. Biasanya keberadaan gunung lumpur sering dikaitkan dengan fluida hidrokarbon maupun bencana alam. Gunung lumpur sering ditemukan pada Zona Kendeng dan Zona Rembang (Sholikha dan Santosa, 2016

Gunung lumpur lainnya yang terdapat di Jawa antara lain gunung lumpur Kesongo, Pengangson, Wringinanom, Gunung Anyar, Kalang Anyar, Sidoarjo, Pulungan, Bledug Kuwu dan masih banyak lainnya. Dari beberapa lokasi tersebut, selain lumpur Sidoarjo gunung lumpur Bledug Kuwu yang terletak di Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah hingga saat ini masih mengeluarkan lumpur dalam volume cukup besar dan telah dijadikan destinasi wisata (Istadi, 2009).



Gambar 2.2 Beberapa Gunung Lumpur yang Tersebar di Pulau Jawa (Istadi, 2009)

2.2 Metode Geomagnetik

Survei anomali magnetik dilakukan untuk mengidentifikasi variasi medan magnet bumi dalam bentuk anomali magnetik lokal. Besarnya anomali magnetik di suatu wilayah bergantung pada jenis dan sifat batuan penyusun di wilayah tersebut (Rohayati, 2019). Metode magnetik merupakan salah satu teknik dalam bidang geofisika, umumnya digunakan untuk tahap awal kegiatan eksplorasi sumber daya seperti mineral, hidrokarbon, panas bumi, serta untuk keperluan pemantauan aktivitas gunung api (Umamii, 2017). Metode magnetik memiliki tingkat akurasi yang baik serta didukung oleh proses pengukuran yang cukup sederhana, cepat, dan ekonomis. Material di bawah permukaan umumnya memiliki kandungan intensitas medan magnet yang berbeda sehingga dapat diukur sesuai dengan prinsip dasar metode magnetik, yaitu pengukuran variasi intensitas medan magnet di suatu wilayah. Anomali magnetik yang terukur selanjutnya dimanfaatkan untuk memperkirakan kondisi geologi di suatu wilayah (Sarkowi, 2010).

2.3 Teori Dasar Geomagnetik

2.3.1 Gaya Magnetik

Adanya dua kutub magnet yang berinteraksi pada jarak r dapat menyebabkan munculnya gaya magnet. Persamaan matematis gaya magnet ditulis sebagai berikut (Telford et al., 1990):

$$\vec{F} = \frac{1}{\mu_0} \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (2.1)$$

dimana:

$\vec{F}$ = Gaya Coulomb (N)

μ_0 = Konstanta permeabilitas magnetik (dalam ruang hampa =1)

$m_1 m_2$ = Kutub magnet (C)

r^2 = Jarak antara dua kutub (m)

$\hat{r}$ = Vektor satuan

2.3.2 Kuat Medan Magnetik

Definisi kuat medan magnet didasarkan pada gaya magnet yang bekerja terhadap setiap satuan muatan, sehingga dapat dituliskan persamaan matematisnya sebagai berikut (Sarkowi, 2010):

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

$\vec{H}$ merupakan kuat medan magnet terukur memiliki satuan SI (A/m).

2.3.3 Momen Magnetik

Persamaan matematis dari momen magnetik dapat ditulis (Sarkowi, 2010):

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

Momen magnetik dinyatakan dalam satuan gauss.cm³ atau emu pada sistem cgs dan dalam satuan A.m² pada sistem SI.

2.3.4 Intensitas Kemagnetan

Adanya medan magnet luar dapat menyebabkan benda yang tersusun atas material magnetik mengalami magnetisasi melalui proses induksi. Dalam medan magnet luar, intensitas medan magnet mencerminkan kemampuan suatu bahan untuk menyearahkan momen-momen magnetiknya. Persamaan matematis dari intensitas kemagnetan dapat ditulis: (Sarkowi, 2010)

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

2.3.5 Induksi Medan Magnet

Induksi medan magnet merupakan total medan magnet pada suatu bahan dapat dituliskan persamaan matematisnya sebagai berikut (Sarkowi, 2010):

$$\vec{B} = \vec{H} + \vec{H}' \quad (2.5)$$

Dalam sistem cgs $\vec{B}$ dapat dinyatakan dalam satuan gauss.

2.3.6 Suseptibilitas Kemagnetan

Sifat suatu bahan magnetik dalam merespon medan magnet luar hingga mengalami magnetisasi dinyatakan sebagai suseptibilitas kemagnetan (k) yang besarnya dipengaruhi oleh litologi batuan dan kandungan mineral pada suatu batuan, yang dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut (Sarkowi, 2010):

$$\vec{I} = k\vec{H} \quad (2.6)$$

Variasi nilai suseptibilitas tersebut juga dipengaruhi oleh permeabilitas, yaitu sifat material yang menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk dilalui oleh garis-garis fluks magnet. Hubungan antara suseptibilitas (k) dengan permeabilitas (μ) adalah (Wahidah dkk., 2021):

$$\mu = 1 + 4\pi k \quad (2.7)$$

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Pada Batuan dan Mineral (Telford et al., 1990)

Tipe Batuan/Mineral	Suseptibilitas $\times 10^9$ (SI)		Tipe Batuan/Mineral	Suseptibilitas $\times 10^9$ (SI)	
	Interval	Rata-rata		Interval	Rata-rata
Batuan sedimen			Pyroxenite		125
Dolomit	0 – 0.9	0.1	Peridotit	90 – 200	150
Batu kapur	0 – 3	0.3	Rata-rata batuan beku asam	0 – 80	8
Batu pasir	0 – 20	0.4	Rata-rata batuan beku basa	0.5 – 97	25
Batu serpih	0.01 – 15	0.6	Mineral		
Rata-rata batuan sedimen	0 – 18	0.9	Grafit		0.1
Batuan metamorf			Kuarsa		– 0.01
Amphibiolite		0.7	Batuan garam		– 0.01
Schist	0.3 – 3	1.4	Anhydrite, gipsum		– 0.01
Phyllite		1.5	Calcite	– 0.001 – 0.01	
Gneiss	0.1 – 25		Batu bara		0.02
Kuarsit		4	Lempung		0.2
Serpentine	3 – 17		Chalcopyrite		0.4
Slate	0 – 35	6	Sphalerite		0.7
Rata-rata batuan sedimen	0 – 70	4.2	Cassiterite		0.9
Batuan beku					
Granit	0 – 50	2.5	Siderite	1 – 4	
Riolit	0.2 – 35		Pyrite	0.05 – 35	1.5
Dolorit	1 – 35	17	Limonite		2.5
Augite-syenite	30 – 40		Arsenopyrite		3
Olivine-diabase		25	Hematite	0.5 – 35	6.5
Porphyry	0.3 – 200	60	Franklinite		430
Gabbro	1 – 90	70	Pyrrhotite	1 – 6000	1500
Basalt	0.2 – 175	70	Ilmenite	300 – 3500	1800
Diorit	0.6 – 120	85	Magnetit	1200 – 19200	6000

Secara umum perilaku magnetik pada suatu bahan berdasarkan suseptibilitas magnet dapat dibedakan menjadi 3 kelas yaitu (Wahidah dkk., 2021):

a. Diamagnetik

Material ini memiliki kerentanan rendah dan nilai suseptibilitasnya negatif. Magnetisasi ini berkembang dalam arah yang berlawanan dengan yang diterapkan pada bidang. Contohnya adalah grafit, marmer, kuarsa, dan garam.

b. Paramagnetisme

Material ini memiliki nilai suseptibilitas positif yang rendah. Contohnya pada batuan beku dan asam.

c. Ferromagnetik

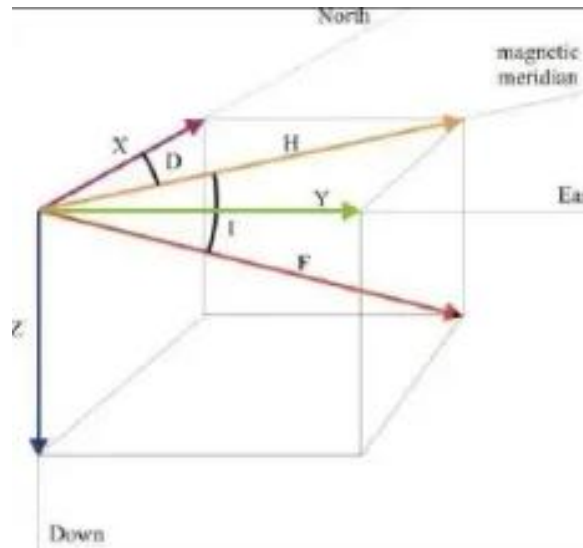
Material ini memiliki magnetisasi spontan yang sangat kuat, memiliki nilai suseptibilitas yang tinggi, serta dapat eksis tanpa adanya medan magnet eksternal. Beberapa bahan ferromagnetik adalah besi, nikel, kobalt, maupun pada berbagai batuan beku dan ultrabasa. Ada beberapa zat yang memiliki sifat magnetik mirip dengan ferromagnetik, yaitu antiferromagnetik dengan contohnya adalah hematit dan ferrimagnetik contohnya adalah pada magnetit, titanomagnetit, dan pirohitit. Hampir semua mineral magnetik di alam tergolong sebagai ferrimagnetik.

2.3.7 Medan Magnet Bumi

Menurut teori, medan magnet bumi berasal dari proses yang terjadi di bagian dalam bumi, khususnya pergerakan fluida konduktif di inti luar. Pergerakan material cair di inti luar akibat arus konveksi, perbedaan suhu, dan reaksi kimia menghasilkan arus listrik yang membentuk medan magnet bumi. (Telford et al., 1990).

Medan magnet bumi terdiri dari beberapa komponen karena termasuk ke dalam salah satu besaran vektor. Medan ini tidak bersifat konstan, tetapi berubah secara perlahan terhadap waktu (Telford et al., 1990). Analisis percobaan yang dilakukan oleh Johan Friedrich Gauss (1839) menunjukkan bahwa sebagian besar medan magnet bumi didominasi oleh sumber di dalam bumi (Indratmoko dkk., 2009).

Parameter fisis yang disebut sebagai medan magnet bumi digunakan untuk mengkarakterisasi medan magnet bumi mencakup pengukuran arah dan intensitas kemagnetan.



Gambar 2.3 Elemen Medan Magnet Bumi (Telford et al., 1990)

Tabel 2.2 Keterangan Elemen Medan Magnet Bumi (Telford et al.,1990)

Komponen	Keterangan
F	Intensitas total vektor medan magnet
H	Intensitas horizontal vektor medan magnet
Z	Komponen vertikal medan magnet yang bernilai positif ke arah bawah
X	Komponen utara medan magnet yang bernilai positif ke arah utara
Y	Komponen timur medan magnet yang bernilai positif ke arah timur
D	Deklinasi merupakan sudut antara utara geografis dan utara magnetik yang bernilai positif ke arah timur dari utara geografis
I	Inklinasi merupakan sudut yang diukur dari bidang horizontal ke vektor medan magnet dengan arah bawah bernilai positif

Medan magnet bumi terdiri dari tiga bagian, yaitu:

1. Medan magnet utama

Medan magnet utama adalah medan rata-rata yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan periode panjang meliputi wilayah yang luas, umumnya lebih dari 10^6 km^2 (Sarkowi, 2010). Secara teori, medan magnet utama bumi dibangkitkan

oleh pergerakan fluida konduktif di inti luar bumi yang bersifat cair dengan kontribusi sumber eksternal yang relatif kecil (Sharma, 1997). Suatu model standar disebut IGRF diperbarui setiap lima tahun sekali. Pada berbagai wilayah, nilai medan magnet utama bumi diseragamkan dengan menggunakan IGRF sebagai acuan. Nilai IGRF diperoleh melalui perhitungan rata-rata data pengukuran medan magnet pada wilayah yang luas, sekitar satu juta km² dan dalam periode waktu satu tahun (Telford et al., 1990). Di wilayah Indonesia, intensitas medan magnet berada pada kisaran 40.000 hingga 45.000 nT.

2. Medan magnet luar

Terbentuknya medan magnet luar berkaitan dengan proses ionisasi akibat radiasi ultraviolet matahari yang berasal dari luar bumi. Medan ini terbentuk akibat adanya arus listrik pada lapisan atmosfer yang terionisasi, sehingga perubahan medan magnet terhadap waktu berlangsung jauh lebih cepat. Variasi medan magnet luar dapat disebabkan oleh beberapa fenomena yaitu dinamika arus listrik dalam bumi, badai magnetik, aktivitas matahari yang memasuki atmosfer, dan pasang surut bulan (Telford et al., 1990):

3. Medan magnet anomali

Keberadaan batuan yang memiliki mineral magnetik di kerak bumi menyebabkan munculnya medan magnet anomali sebagai salah satu komponen medan magnet utama bumi. Material yang terinduksi oleh medan magnet utama akan menghasilkan medan magnetnya sendiri yang selanjutnya berkontribusi terhadap nilai medan magnet total yang terukur. Ada dua jenis magnetisasi yang mempengaruhi medan magnet anomali, yakni magnetisasi induksi dan magnetisasi remanen. Magnetisasi remanen berperan dalam merekam kondisi kemagnetan

batuan pada masa lalu sehingga besar dan arahnya bersifat kompleks serta sulit jika diamati secara langsung (Telford et al., 1990)

2.4 Pengolahan Data Geomagnetik

2.4.1 Koreksi Harian

Koreksi harian adalah suatu koreksi yang dilakukan pada variasi nilai medan magnet bumi karena pengaruh radiasi matahari dan perbedaan waktu pengamatan dalam satu hari. Koreksi ini dilakukan dengan menyesuaikan waktu pengukuran pada setiap titik data medan magnet agar efek dari variasi harian dapat diminimalkan. Koreksi harian dilakukan dengan menggunakan persamaan matematis (Santosa, 2012):

$$H_D = \frac{t_n - t_{aw}}{t_{ak} - t_{aw}} (H_{ak} - H_{aw}) \quad (2.9)$$

dimana:

t_n = Waktu pada titik n

t_{aw} = Waktu pada titik awal

t_{ak} = Waktu pada titik akhir

H_{ak} = Nilai medan magnet pada titik akhir

H_{aw} = Nilai medan magnet pada titik awal

2.4.2 Koreksi IGRF

Medan magnet utama bumi, medan magnet luar, dan medan magnet anomali masih terkandung dalam data hasil pengukuran magnetik. Nilai IGRF dapat di akses secara online melalui website <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag>. Dengan demikian nilai anomali magnetik dapat diperoleh setelah koreksi harian dan dapat ditulis persamaan matematisnya sebagai berikut (Santosa, 2012):

$$H_a = H_t \pm Diurnal - IGRF \quad (2.10)$$

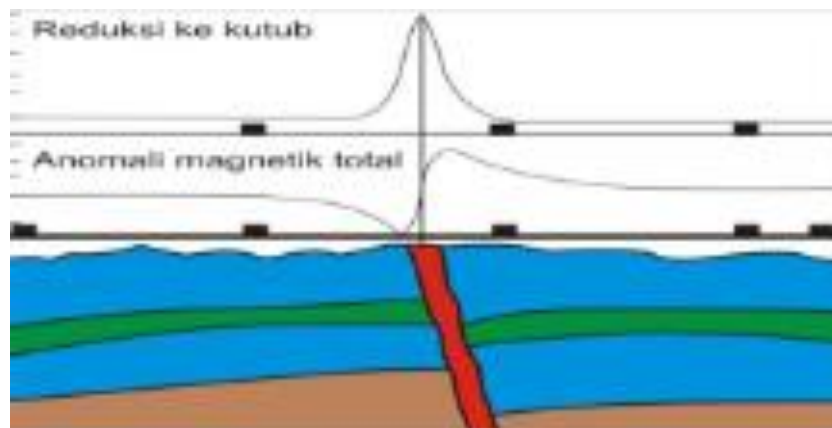
H_a = Anomali medan magnet

H_t = Total medan magnet bumi berdasarkan pembacaan alat

2.5 Transformasi Medan

2.5.1 Reduksi Ke Kutub

Pengaruh sudut inklinasi medan magnet bumi dapat diminimalkan melalui penerapan metode reduksi ke kutub sebagai salah satu teknik penyaringan atau filter data. Transformasi ini dirancang untuk memudahkan interpretasi data pada area lintang rendah dan menengah. Proses ini diperlukan karena karakteristik medan magnet dipol menyebabkan anomali yang teramati di permukaan umumnya bersifat asimetris sehingga menyulitkan dalam proses interpretasi. Dengan penerapan reduksi ke kutub, distribusi anomali magnetik akan ditransformasikan menjadi lebih simetris dan terpusat pada posisi sumbernya (Indratmoko dkk., 2009). Perubahan arah magnetisasi dan medan utama ke arah vertikal merupakan tahapan dalam transformasi ini (Yudianto dan Setyawan, 2014).



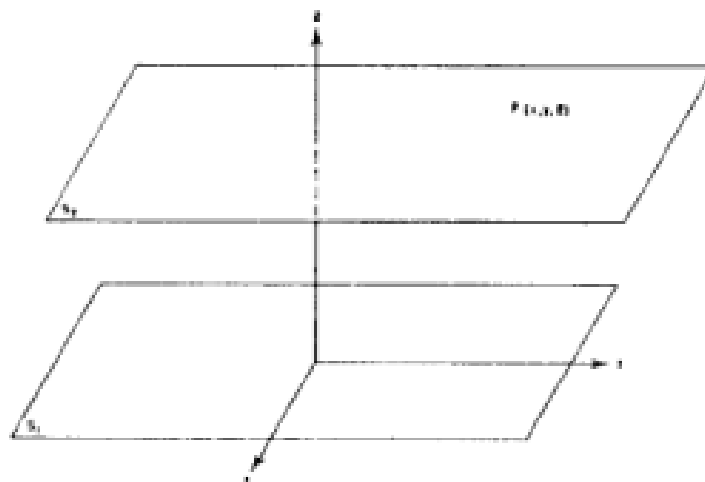
Gambar 2.4 Ilustrasi Reduksi Ke Kutub (Yudianto dan Setyawan, 2014)

2.5.2 Kontinuasi Ke Atas

Dalam pengolahan data geofisika, metode kontinuasi ke atas digunakan untuk memisahkan anomali regional dari anomali lokal dengan memanfaatkan sifat peredaman pengaruh sumber dangkal pada ketinggian tertentu. Dalam praktiknya,

pemilihan ketinggian sering dilakukan melalui pendekatan *trial and error* dengan mengamati perubahan pola kontur hasil kontinuasi hingga diperoleh kecenderungan yang stabil (Indratmoko dkk., 2009).

Secara konseptual, *upward continuation* merupakan transformasi data medan potensial dari hasil pengukuran pada suatu permukaan sehingga merepresentasikan data pada elevasi yang lebih tinggi. Proses ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh anomali dari sumber-sumber dangkal, sehingga respon yang dihasilkan lebih merepresentasikan anomali regional yang diilustrasikan pada Gambar 2.5 (Satiawan, 2009).



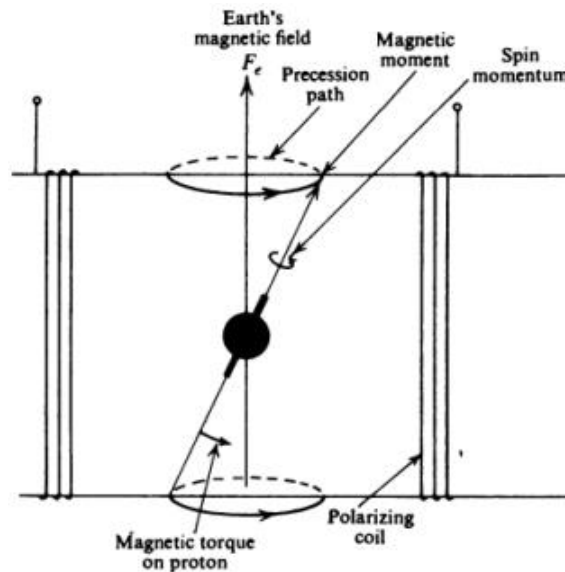
Gambar 2.5 Ilustrasi Kontinuasi Ke Atas (Satiawan, 2009)

2.5.3 Reduksi Bidang Datar

Reduksi bidang datar dilakukan agar pengaruh dari perbedaan elevasi dapat dihilangkan. Tahapan ini penting dilakukan karena beberapa metode analisis membutuhkan data anomali yang terdistribusi pada bidang referensi yang seragam. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk reduksi ke bidang datar dan setiap metode memiliki keunggulan dan keterbatasan dalam penerapannya (Blakely, 1995).

2.6 Proton Precession Magnetometer

Proton Precession Magnetometer (PPM) didefinisikan sebagai magnetometer skalar yang berfungsi untuk mengukur besar medan magnet bumi tanpa memberikan informasi mengenai arah medan magnet tersebut (Ghozali & Nugroho, 2019).



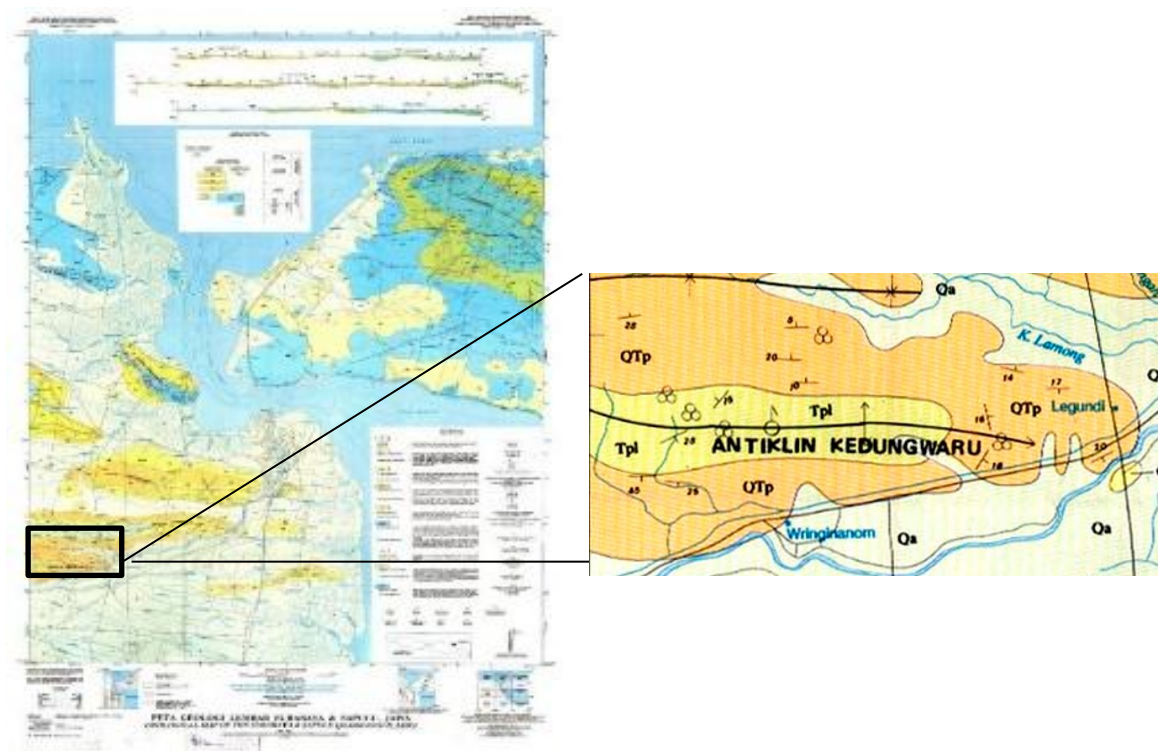
Gambar 2.6 *Proton Precession Magnetometer* (Telford et al., 1990)

Cara kerja dari *Proton Precession Magnetometer* didasarkan pada fenomena presisi proton dalam medan magnet. Proton yang terdapat dalam inti atom hidrogen memiliki momen magnetik yang akan berorientasi sejajar terhadap medan magnet luar. Ketika medan magnet berubah, inti atom hidrogen akan mengalami presisi yakni gerakan perputaran inti atom hidrogen dalam menyesuaikan arah terhadap medan magnet luar. Kecepatan presisi ini berbanding lurus dengan besar medan magnet luar yang diukur. (Zuhdi dkk., 2021).

Proton Precession Magnetometer memiliki wadah yang berisi cairan kaya hidrogen dicampur dengan alkohol atau air yang diletakkan di dalam kumparan. Ketika kumparan di aliri arus listrik, terbentuk medan magnet buatan sekitar 5-10

micro Tesla yang digunakan untuk mensejajarkan momen magnetik proton. Setelah arus listrik dihentikan, proton kembali mengalami presesi mengikuti medan magnet bumi. Gerakan presesi ini menimbulkan perubahan medan magnet yang kemudian menginduksi arus listrik pada kumparan. Frekuensi presesi yang terukur akan digunakan untuk menentukan besar medan magnet eksternal (Zuhdi dkk., 2021).

2.7 Geologi Daerah Penelitian



Gambar 2.7 Peta Geologi Regional Gresik (Supandjono et al., 1992)

Secara fisiografi, Bemmelen (1949) membagi Pulau Jawa ke dalam 7 zona yaitu Zona Gunung Berapi Kuarter, Zona Dataran Aluvial Jawa Utara, Antiklinorium Rembang-Madura, Zona Bogor, Seraju-Utara, dan Antiklinorium Kendeng, Zona Kubah dan Punggungan di Zona Depresi Tengah, Zona Depresi Tengah Jawa dan Zona Randublatung, serta Zona Pegunungan Selatan. Penelitian berada di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik yang termasuk ke dalam peta geologi lembar Surabaya-Sapulu. Secara regional, daerah

penelitian berada di struktur antiklin Kedungwaru dan merupakan bagian dari Zona Kendeng. Zona Kendeng merupakan zona tektonik yang berkembang pada awal hingga akhir Pliosen di Jawa Timur.

Stratigrafi daerah penelitian termasuk ke dalam Lajur Kendeng. Ciri khas dari formasi yang berada di lajur Kendeng kaya akan batuan gunung api sementara di lajur Rembang tidak demikian (Moechtar, 2021). Tata letak stratigrafi Lajur Kendeng di lembar Surabaya-Sapulu dengan batuan penyusun dari tua ke muda adalah sebagai berikut (Supandjono et al., 1992):

1. Formasi Lidah (Tpl) berumur tersier

Litologi penyusun formasi ini berupa batulempung berwarna biru hingga setempat kehitaman, bersifat kenyal, pejal dan menjadi keras saat kering. Batuan ini miskin fosil dan mengandung lensa tipis batulempung pasir.

2. Formasi Pucangan (Qtp) berumur quarter

Pada bagian bawah, formasi ini tersusun oleh batu tufan berlapis baik yang bersisipan konglomerat dan batulempung, serta kaya akan fosil moluska dan plankton. Sementara itu, bagian atasnya terdiri atas batupasir tufan berlapis baik yang umumnya berstruktur perairan dan silang siur.

3. Formasi Kabuh (Qpk) berumur quarter

Formasi ini tersusun atas batupasir berwarna kelabu muda, setempat kerikilan, berbutir kasar, serta memiliki struktur perairan dan silang siur. Disamping itu, juga dijumpai konglomerat yang terpilah buruk, kemas terbuka, dan berstruktur lapisan bersusun

4. Aluvium (Qa) berumur quarter

Lapisan ini tersusun atas kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan juga setempat mengandung pecahan cangkang fosil.

Secara regional, wilayah Gresik terletak di bagian utara Jawa Timur dan termasuk ke dalam Cekungan Jawa Timur bagian utara. Namun di bagian selatan wilayahnya menunjukkan keterkaitan dengan Cekungan Kendeng yang merupakan salah satu zona sedimentasi utama di Pulau Jawa yang terbentuk sebagai hasil interaksi tektonik akibat tumbukan antar lempeng. Aktivitas konvergensi tersebut berperan dalam pembentukan struktur geologi kompleks dan ditandai oleh berkembangnya berbagai sesar yang sebagian di antaranya masih aktif hingga saat ini (Putra dkk., 2018).

Dalam tatanan struktur *Kendeng Zone* ada sistem sesar Watukosek. Sistem sesar Watukosek termasuk ke dalam sistem sesar kompleks yang melintasi beberapa wilayah termasuk Mojokerto, Gresik, hingga barat Pulau Madura. Keberadaan sistem sesar Watukosek juga berkaitan dengan perkembangan struktur sesar lainnya seperti sesar yang memanjang dari Banjar Panji hingga Kunjung (Mascariello et al., 2018).

Dari penelitian yang dilakukan oleh Mazzini et al. (2023) menjelaskan bahwa gunung lumpur yang berada di sekitar sistem sesar Watukosek diduga berkaitan dengan aktivitas gunung berapi Penanggungan dan Arjuno Welirang.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Setiaji (2014), struktur geologi pada daerah penelitian meliputi antiklin Kedungwaru (*upright horizontal fold*), Sinklin Kesamben Kulon (*upright horizontal fold*), dan sesar sesar Klepuh Klengen

(*normal left slip fault*). Namun jika dilihat dari peta hanya terlihat struktur antiklin Kedungwaru saja.

2.7.1 Integrasi Al-Quran

Diketahui bahwa bagian dalam bumi tersusun atas beberapa lapisan utama, yaitu kerak bumi, mantel bumi, dan inti bumi. Kerak bumi merupakan lapisan terluar yang tersusun oleh batuan padat dan dibedakan menjadi kerak benua dan kerak samudera. Kerak bumi tidak bersifat homogen, melainkan tersusun atas berbagai jenis batuan penyusun yang kemudian dikelompokkan ke dalam satuan-satuan geologi yang disebut formasi. Setiap wilayah umumnya tersusun atas beberapa formasi, di mana masing-masing formasi memiliki jenis batuan penyusun yang beragam (Tim BSE, 2013). Konsep mengenai lapisan-lapisan bumi tersebut dapat dikaitkan dengan firman Allah dalam Q.S. At-Thalaq:12 sebagai berikut:

لِلّٰهِ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمٰوٰتٍ وَمِنَ الْاَرْضِ مِثْلَهُنَّ يَتَنَزَّلُ الْاَمْرُ بَيْنَهُنَّ لِتَعْلَمُوْا اَنَّ اللّٰهَ عَلٰى كُلِّ شَيْءٍ
 قَدِيْرٌ ۝ وَاَنَّ اللّٰهَ قَدْ اَحَاطَ بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمًا ۝ (١٢)

Artinya: "Allahlah yang menciptakan tujuh langit dan (menciptakan pula) bumi seperti itu. Perintah-Nya berlaku padanya agar kamu mengetahui bahwa Allah Mahakuasa atas segala sesuatu dan ilmu Allah benar-benar meliputi segala sesuatu" (Q.S At-Thalaq[65]:12).

Menurut Tafsir Al-Wajiz karya Wahbah az-Zuhaili (2018), ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah menciptakan tujuh lapis langit dan bumi dengan susunan yang serupa, yaitu tujuh lapisan bumi. Penafsiran ini menunjukkan bahwa bumi tersusun atas beberapa lapisan.

Dalam kajian geologi, konsep tersebut memiliki keselarasan dengan teori stratigrafi yang menyatakan bahwa bumi tersusun atas lapisan-lapisan batuan yang memiliki sifat fisik dan mekanik yang berbeda. Perbedaan sifat ini mencerminkan

proses pembentukan geologi yang berlangsung secara bertahap dalam waktu geologis.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dengan judul “Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geomagnetik” dilakukan pada Kubangan Lumpur yang terletak di Desa Sumberwaru kec. Wringinanom kab. Gresik pada koordinat $7^{\circ}22'49.06''$ LS dan $112^{\circ}30'38.56''$ BT sampai $7^{\circ}22'56.76''$ LS dan $112^{\circ}30'35.22''$ BT dengan luas area pada daerah penelitian yaitu sekitar 86.000 m². Penelitian ini dilakukan selama satu hari pada tanggal 31 Januari 2026.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2 Data Penelitian

Adapun data yang akan diambil pada penelitian ini meliputi:

1. Titik koordinat Lintang dan Bujur pada tiap titik pengukuran.
2. Waktu pengambilan data (jam, menit, detik) serta hari dan tanggal pengambilan data berlangsung.
3. Elevasi setiap titik pengukuran.
4. Pembacaan dari alat magnetometer dilakukan sebanyak lima kali

3.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Magnetometer dengan jenis PPM G-856
2. Aplikasi Avenza Maps
3. Baterai 2 buah 1,5 V
4. Alat pengukur waktu
5. Aki
6. Peta Geologi Lembar Surabaya-Sapulu
7. Pensil, penghapus, dan papan dada
8. Komputer dengan *software: Excel, Surfer, dan Oasis Montaj*

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pengambilan Data

Data diambil menggunakan metode looping, yaitu pengukuran yang dimulai dan diakhiri pada titik yang sama dengan *base station* sebagai acuan untuk memperoleh nilai medan magnet luar dan dimanfaatkan untuk proses koreksi harian. *Base station* berada di luar titik pengukuran. Titik akuisisi data ditentukan dengan bantuan aplikasi *google earth* dengan spasi antar titik sebesar 50 meter. Berdasarkan penentuan tersebut diperoleh sebanyak 56 titik pengukuran. Agar memudahkan proses pengambilan data pada setiap titik, maka dilakukan pembuatan desain survei pada aplikasi *avenza maps*. Pengambilan data tidak harus dilakukan tepat pada titik yang telah dibuat karena mempertimbangkan kondisi di lapangan. Untuk setiap titik yang akan kita lakukan pengambilan data harus simpan lokasi agar dapat mencatat koordinat lintang, bujur, dan waktu pengambilan data.

3.4.2 Pengolahan Data

Ada beberapa langkah-langkah yang dilakukan dalam mengolah data yakni pertama koreksi data, kedua transformasi medan, dan yang terakhir menganalisis data hasil pengukuran di lapangan. Pengambilan data pada saat di lapangan menghasilkan data mentah berupa intensitas medan magnet total yang belum mencerminkan nilai anomali sebenarnya. Oleh karena itu, diperlukan serangkaian proses koreksi untuk memperoleh nilai anomali medan magnet yang telah terlepas dari medan magnet luar maupun medan magnet bumi.

Langkah pertama pengolahan data adalah melakukan koreksi harian. Koreksi harian merupakan koreksi pertama yang dilakukan untuk menghilangkan efek medan magnet luar. Selanjutnya dilakukan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) untuk menghilangkan pengaruh medan magnet utama bumi.

Langkah berikutnya adalah melakukan beberapa transformasi medan seperti kontinuitas ke atas (*upward continuation*) dan reduksi ke kutub. Dilakukan transformasi kontinuitas ke atas untuk mengurangi pengaruh anomali lokal dengan memproyeksikan data ke bidang datar yang lebih tinggi sehingga respon anomali regional menjadi lebih dominan. Adapun reduksi ke kutub bertujuan untuk mengoreksi efek inklinasi dan deklinasi medan magnet bumi sehingga anomali yang dihasilkan menjadi lebih simetris dan lebih mudah diinterpretasikan.

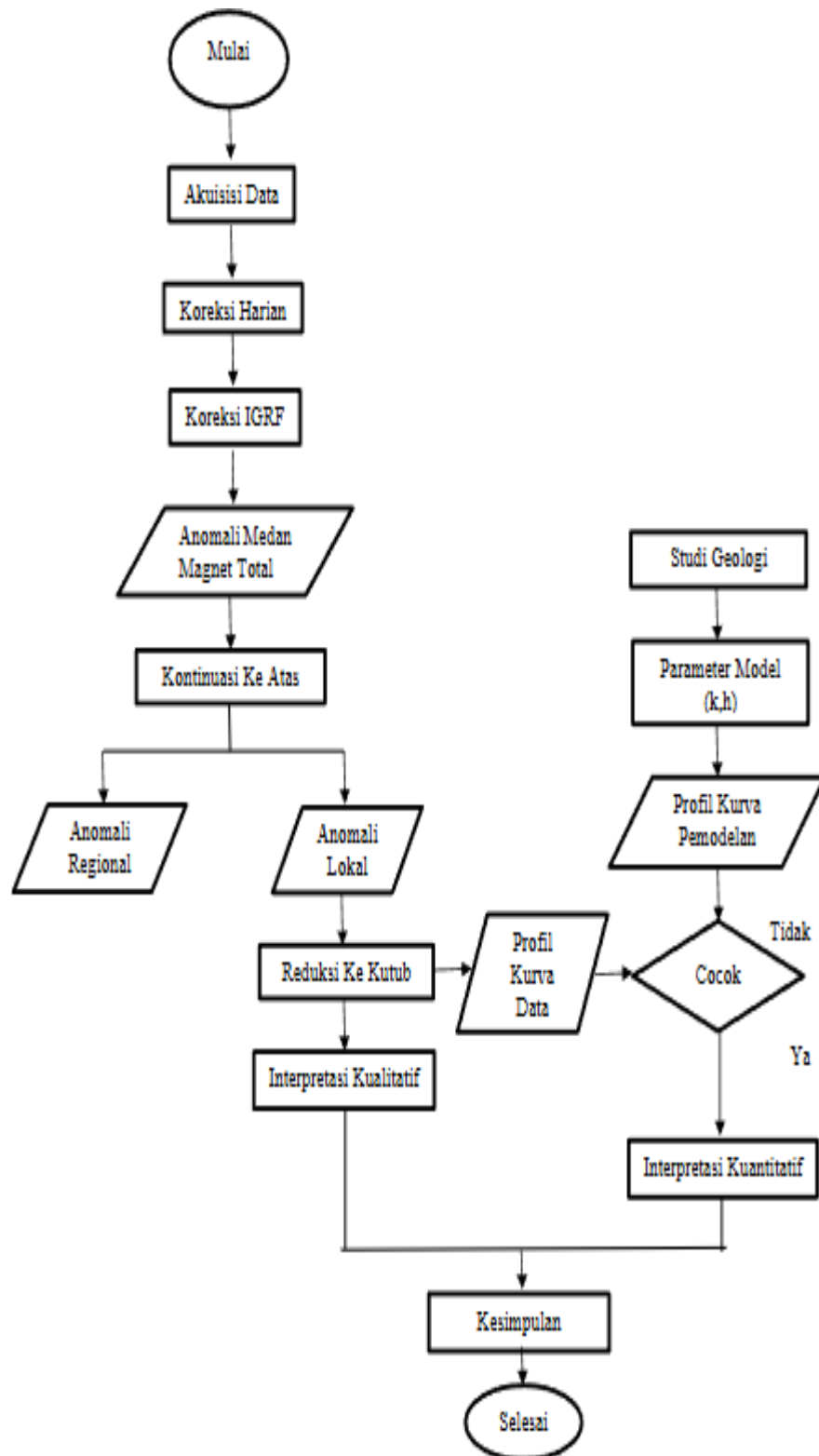
3.4.3 Interpretasi Data

Tahap interpretasi data dilakukan dengan interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif dimanfaatkan untuk mengidentifikasi kemungkinan ada tidaknya penyebab anomali serta menentukan sebaran daerah

yang memiliki respon anomali magnetik. Tahap ini dilakukan dengan menganalisis peta kontur yang telah dihasilkan dari proses transformasi medan untuk melihat pola dan karakteristik distribusi anomali. Selanjutnya dari pola anomali tersebut digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan struktur bawah permukaan pada daerah penelitian.

Sementara interpretasi kuantitatif dilakukan melalui pemodelan matematis untuk menggambarkan struktur bawah permukaan dari data yang telah terukur. Proses pemodelan 2D dilakukan dengan membuat 3 buah sayatan menggunakan bantuan perangkat lunak *software Oasis Montaj*. Dengan membuat model 2D akan terlihat struktur bawah permukaan sesuai dengan suseptibilitas batuan dan mineral yang tersebar di daerah penelitian.

3.5 Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

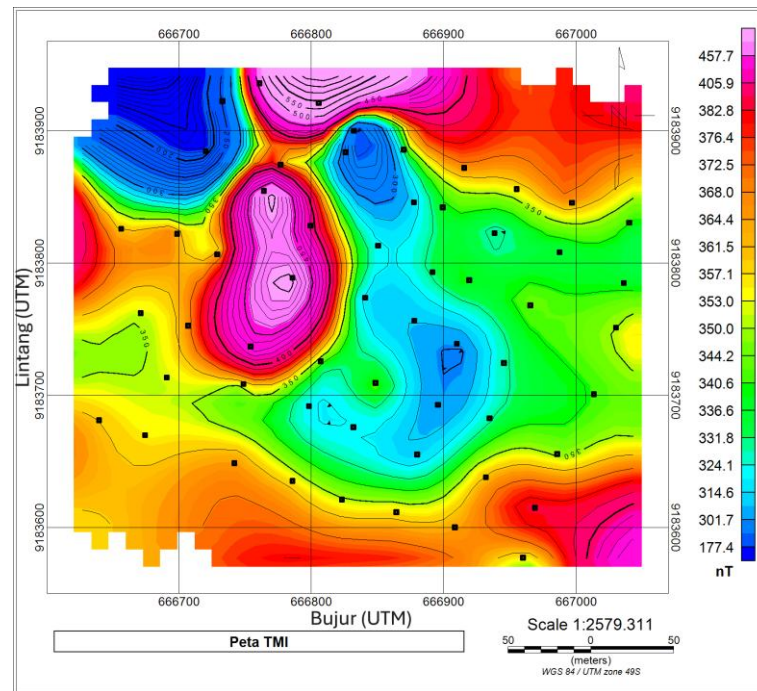
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengolahan data geomagnetik pada penelitian ini disajikan dalam beberapa peta yakni, peta kontur anomali medan magnet total, peta kontur topografi, peta kontur anomali regional, peta kontur anomali residual, dan peta kontur anomali residual yang telah di reduksi ke kutub untuk interpretasi secara kualitatif. Sementara untuk interpretasi kuantitatif dilakukan pemodelan 2D untuk menggambarkan struktur bawah permukaan kubangan lumpur di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik.

4.1 Anomali Medan Magnet Total

Intensitas medan magnet total merupakan nilai dari hasil pengukuran metode geomagnetik yang masih dipengaruhi oleh medan magnet luar maupun medan magnet dari dalam bumi. Untuk memperoleh nilai anomali medan magnetik total dapat dilakukan dengan koreksi harian dan koreksi IGRF.

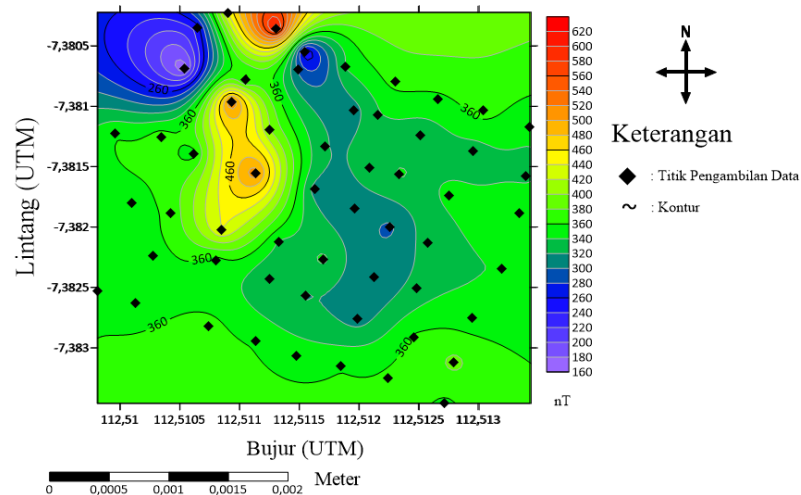
Setelah melakukan kedua koreksi tersebut, maka diperoleh nilai anomali medan magnet total yang kemudian di olah menggunakan software *Oasis Montaj* dan Surfer 2010 sehingga menghasilkan peta anomali medan magnet total seperti pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.1 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total Pada *Oasis Montaj*

Pada Gambar 4.1 ditampilkan peta hasil dari pengolahan data menggunakan software *Oasis Montaj*. Berdasarkan peta tersebut nilai anomali medan magnet total berkisar antara 177,4 nT - 457,7 nT. Terlihat bahwa anomali rendah berada pada rentang 177,4 nT - 324,1 nT yang ditunjukkan oleh warna biru tua hingga biru muda. Anomali sedang berada pada rentang 331,8 – 353 nT yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga kuning dan anomali tinggi berada pada rentang 357,1 – 457,7 nT yang ditunjukkan oleh warna oranye hingga merah muda.

Peta anomali medan magnet total digunakan sebagai tahap awal untuk melihat distribusi umum anomali magnetik di daerah penelitian. Namun, karena peta ini masih gabungan dari anomali regional dan anomali residual sehingga interpretasi secara langsung belum dapat menggambarkan kondisi geologi bawah permukaan secara spesifik sesuai target penelitian. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan lanjutan untuk memperoleh anomali residual.

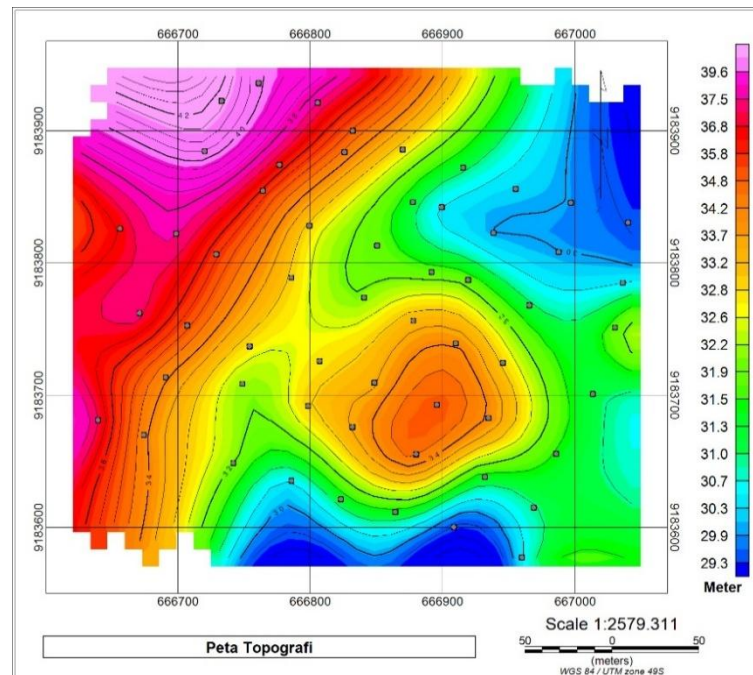


Gambar 4.2 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total Pada Surfer

Pada Gambar 4.2 ditampilkan peta kontur anomali medan magnetik total yang dihasilkan dari pengolahan data menggunakan software surfer. Terlihat bahwa anomali rendah berkisar antara 160 – 320 nT, anomali sedang berkisar antara 340 – 440 nT, dan anomali tinggi berkisar antara 460 – 660 nT.

Kedua peta penulis cantumkan hanya sebagai perbandingan saja. Perbedaan nilai anomali medan magnet (nT) pada *Oasis Montaj* yang cenderung lebih kecil daripada *Surfer* diduga disebabkan oleh perbedaan metode interpolasi dan pengolahan grid pada masing-masing software. Meskipun demikian, perbedaan tersebut tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap interpretasi geologi yang dihasilkan.

4.2 Topografi

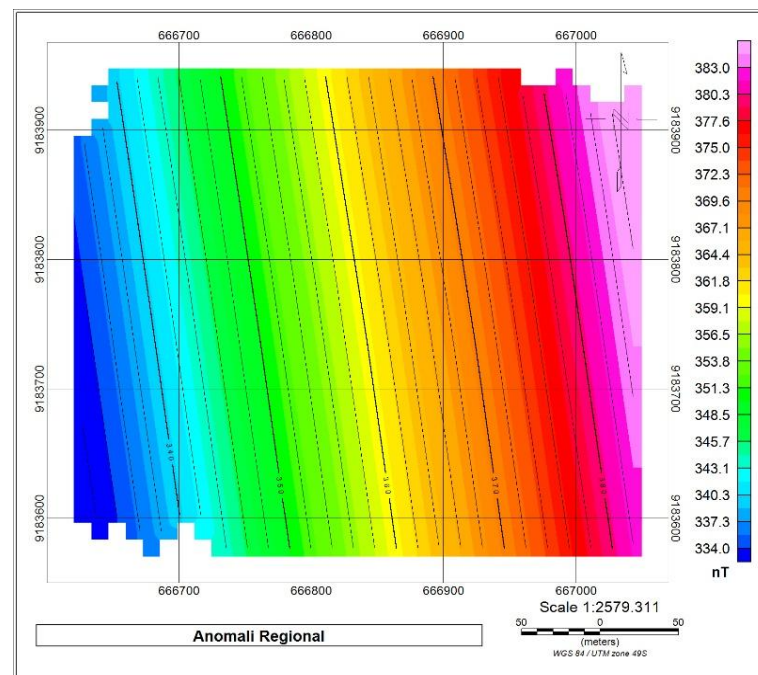


Gambar 4.3 Peta Kontur Topografi

Pada Gambar 4.3 terlihat bahwa titik pengukuran tertinggi terdapat pada ketinggian 39,6 meter dan titik terendah pada 29,3 meter. Terlihat bahwa bagian barat pada daerah penelitian merupakan daerah yang lebih tinggi ditandai dengan warna merah hingga merah muda dan bagian timur hingga selatan merupakan daerah yang lebih rendah ditandai dengan warna biru. Pola kontur yang rapat di bagian barat mengindikasikan lereng yang curam sedangkan bagian tengah hingga timur relatif landai. Secara umum kemiringan topografi mengarah dari barat ke timur dan selatan sehingga zona rendah berpotensi menjadi area akumulasi fluida. Kondisi ini menunjukkan bahwa wilayah dengan elevasi rendah memungkinkan menjadi lokasi munculnya semburan lumpur, karena fluida cenderung bermigrasi dan terakumulasi pada daerah dengan tekanan yang lebih rendah serta topografi yang lebih rendah.

4.3 Upward Continuation

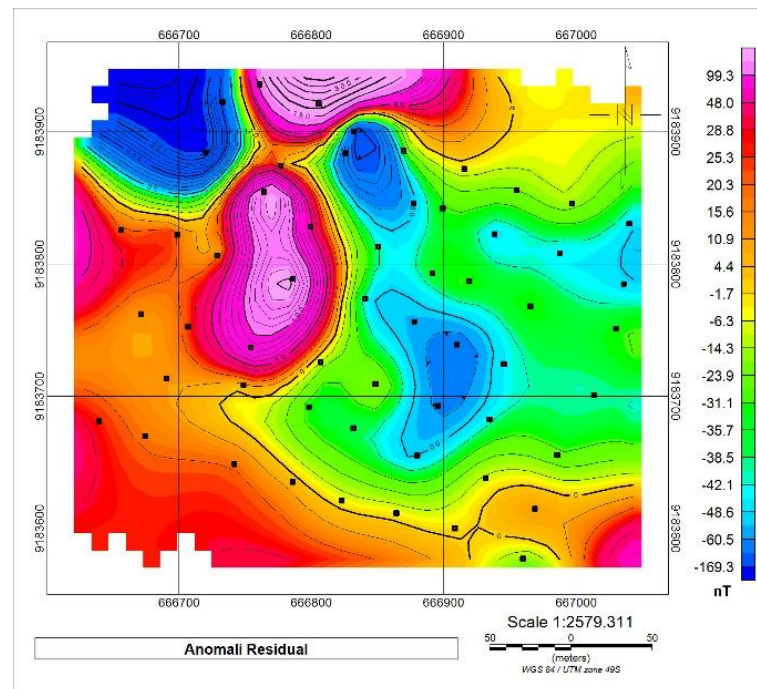
Proses *upward continuation* dilakukan pada peta anomali medan magnetik total untuk memisahkan anomali regional dan anomali residual. Pemisahan anomali ini akan menghasilkan interpretasi yang lebih akurat terhadap keberadaan anomali magnetik pada daerah penelitian. Proses ini dilakukan dengan melakukan uji *trial* dan *error* untuk melihat kecenderungan pola kontur hasil kontinuasi yang dilakukan pada ketinggian tertentu. Pada penelitian ini proses *upward continuation* dilakukan secara bertahap mulai dari ketinggian 50 meter hingga 400 meter. Ketinggian optimal yang dipilih pada penelitian ini adalah 400 meter.



Gambar 4.4 Peta Kontur Anomali Regional

Pada Gambar 4.4 merupakan anomali regional hasil *upward continuation* sebesar 400 meter dengan nilai anomali regionalnya 334 nT hingga 383 nT. Anomali rendah ditandai dengan warna biru hingga hijau pada bagian barat daerah penelitian dengan nilai anomali sebesar 334 nT hingga 356,5 nT. Sedangkan anomali tinggi ditunjukkan oleh warna merah hingga merah muda yang dominan di

bagian timur dengan nilai anomali sebesar 372,3 nT hingga 383 nT. Pola anomali menunjukkan perubahan yang seragam. Hal ini mengindikasikan bahwa anomali tersebut berasal dari sumber yang dalam serta berskala luas. Oleh karena itu, anomali regional ini tidak secara langsung merepresentasikan target penelitian sehingga perlu dilakukan pemisahan untuk memperoleh anomali residual.



Gambar 4.5 Peta Kontur Anomali Residual

Pada Gambar 4.5 ditampilkan peta kontur anomali residual hasil pengolahan dengan pengangkatan ke atas (*Upward Continuation*) sebesar 400 meter, dengan nilai anomali berkisar antara -169,3 nT hingga 99,3 nT. Anomali rendah berada pada kisaran sekitar -169,3 nT hingga -42,1 nT yang ditunjukkan oleh warna biru tua hingga biru muda yang dominan tersebar pada bagian tengah, timur, dan selatan daerah penelitian. Anomali sedang berada pada kisaran -38,5 nT hingga -6,3 nT ditunjukkan oleh warna hijau hingga kuning yang tersebar di beberapa bagian tengah hingga timur. Sementara itu, anomali tinggi berada pada kisaran 4,4 nT

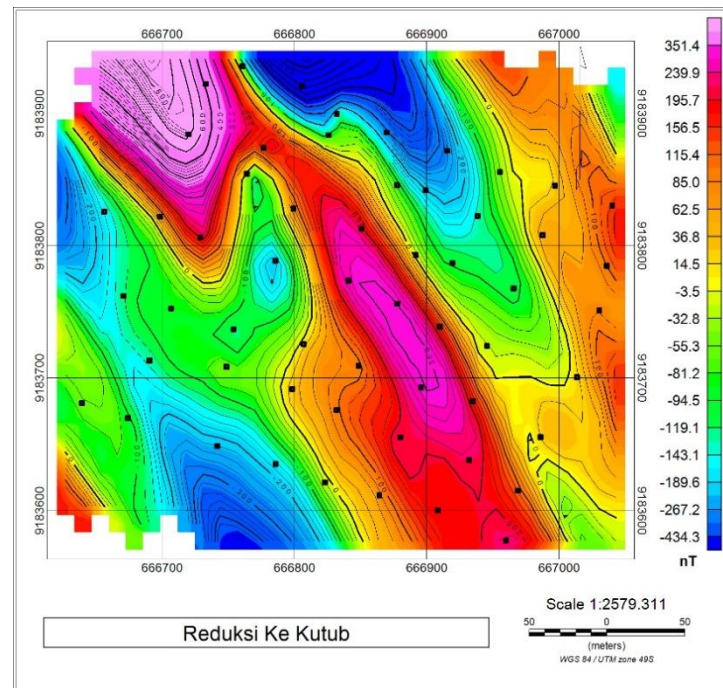
hingga 99,3 nT ditunjukkan oleh warna oranye hingga merah muda yang relatif dominan berada di bagian barat hingga barat laut daerah penelitian. Perbedaan distribusi anomali yang tidak seragam serta adanya variasi nilai yang kontras menunjukkan adanya perbedaan sifat kemagnetan batuan di bawah permukaan.

Pola ini mengindikasikan adanya variasi sifat kemagnetan batuan di bawah permukaan yang dapat dikaitkan dengan perbedaan litologi (Telford et al., 1990) atau pengaruh geologi seperti alterasi (Garcias et al., 2024). Oleh karena itu, peta anomali residual dapat digunakan sebagai dasar dalam interpretasi lebih lanjut terhadap kondisi geologi bawah permukaan di daerah penelitian.

Berbeda dengan anomali regional, pola anomali pada peta kontur anomali residual menunjukkan variasi yang lebih kompleks dan tidak seragam serta ditandai dengan munculnya kontur tertutup. Hal ini mengindikasikan bahwa anomali yang terbentuk berasal dari sumber yang relatif dangkal dan memiliki skala lokal.

4.4 Reduksi Ke Kutub

Proses reduksi ke kutub merupakan proses transformasi yang digunakan untuk mengubah nilai anomali yang sebelumnya dalam bentuk dipole bermuatan positif dan negatif menjadi monopole satu muatan. Hal ini dilakukan agar pengukuran dilakukan seolah-olah dilakukan di kutub utara magnet sehingga memudahkan dalam proses interpretasi.



Gambar 4.6 Peta Anomali Residual Setelah di Reduksi Ke Kutub

Peta anomali residual yang telah di reduksi ke kutub (*Reduction to the Pole*) menunjukkan anomali berkisar -434,3 nT hingga 351,4 nT. Berdasarkan peta pada Gambar 4.6 tersebut, anomali rendah ditunjukkan oleh warna biru tua hingga biru muda dengan kisaran nilai sekitar -434,3 nT hingga -143,1 nT yang dominan berada di bagian utara hingga timur laut. Anomali sedang ditunjukkan oleh warna hijau hingga kuning dengan kisaran nilai -119,1 nT hingga -3,5 nT. Sementara, anomali tinggi ditunjukkan oleh warna oranye hingga merah muda dengan kisaran nilai 14,5 nT hingga 351,4 nT.

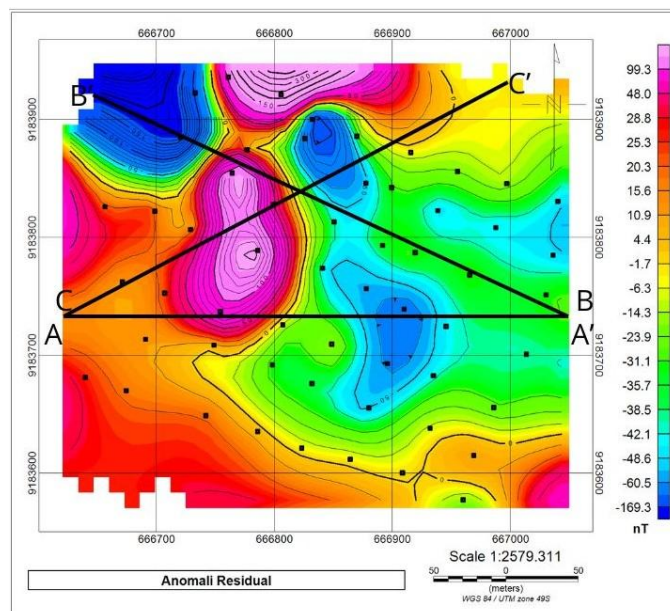
Pola anomali pada peta RTP terlihat lebih terfokus dibandingkan peta residual sebelumnya sehingga dapat memberikan gambaran posisi sumber anomali yang lebih akurat. Namun, dalam penelitian ini peta RTP digunakan sebagai pendukung interpretasi sedangkan analisis utama dan penentuan lintasan pemodelan 2D didasarkan pada peta kontur anomali residual sebelum dilakukan RTP.

4.5 Pemodelan 2D

Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan cara membuat beberapa sayatan dari peta kontur anomali residual pada bagian yang mewakili perubahan nilai anomali. Sayatan tersebut kemudian diubah menjadi penampang 2D yang digunakan untuk memperkirakan kondisi bawah permukaan di daerah penelitian.

Hasil pemodelan selanjutnya dicocokkan dengan peta geologi untuk memastikan bahwa susunan lapisan dan litologi yang diinterpretasikan telah sesuai dengan kondisi geologi di daerah penelitian.

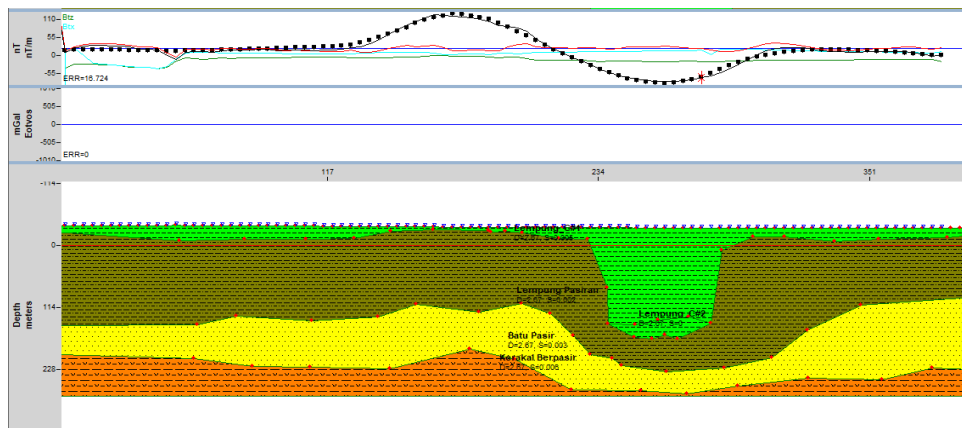
Pemodelan 2D dilakukan dengan pendekatan *forward modeling*, yaitu dengan menyesuaikan parameter model secara iteratif hingga diperoleh kecocokan antara respon model dan data anomali hasil pengolahan. Nilai suseptibilitas awal mengacu pada tabel nilai suseptibilitas batuan oleh Telford et al. (1990), kemudian disesuaikan selama proses pemodelan dengan tetap mempertimbangkan kondisi geologi daerah penelitian.



Gambar 4.7 Sayatan AA', BB', dan CC'

4.5.1 Sayatan (*Slice*) A-A'

Sayatan A-A' ini membentang sepanjang 412 meter mulai dari koordinat $7^{\circ}22'54.14''$ LS dan $112^{\circ}30'36.33''$ BT hingga $7^{\circ}22'51.93''$ LS dan $112^{\circ}30'47.15''$ BT yang dimodelkan pada Gambar 4.8 dengan nilai error sebesar 16,724.



Gambar 4.8 Pemodelan 2D Pada Sayatan A-A'

Keterangan:

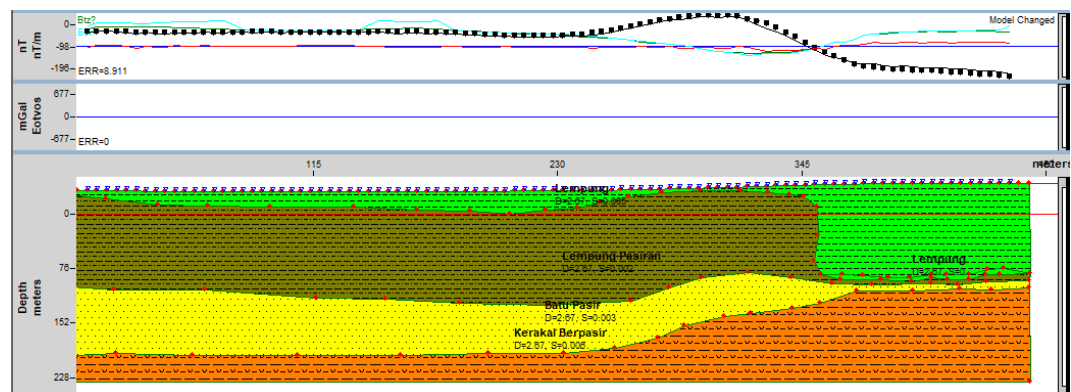
- Lempung (0,00000011-0,00000503 SI)
- Lempung Pasiran (0,0000015-0,0001 SI)
- Batu Pasir (0,000001-0,000003 SI)
- Kerakal Berpasir (0,000006-0,0000098 SI)

Berdasarkan pemodelan bawah permukaan yang telah dilakukan seperti pada Gambar 4.8 terlihat bahwa sayatan A-A' terdiri dari empat lapisan. Pada lapisan pertama yang berwarna hijau terang diidentifikasi sebagai lempung dengan variasi nilai suseptibilitas sebesar 0,00000011 SI hingga 0,00000503 SI pada kedalaman $\pm$ 0-120 m dari atas permukaan dengan ketebalan lapisan yang bervariasi. Pada lapisan kedua yang berwarna hijau gelap diidentifikasi sebagai lempung berpasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,0000015 SI hingga 0,0001 SI pada kedalaman $\pm$ 20-150m dari atas permukaan. Pada lapisan ketiga yang berwarna kuning

diidentifikasi sebagai batu pasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000001 SI hingga 0,000003 SI pada kedalaman ± 120 -200 m dari atas permukaan. Pada lapisan keempat yang berwarna oranye diidentifikasi sebagai kerakal berpasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000006 SI hingga 0,0000098 SI pada kedalaman ± 200 -230 m dari atas permukaan.

4.5.2 Sayatan (*slice*) B-B'

Sayatan B-B' ini membentang sepanjang 455 meter mulai dari koordinat $7^{\circ}22'57.77''$ LS dan $112^{\circ}30'46.63''$ BT hingga $7^{\circ}22'49.66''$ LS dan $112^{\circ}30'40.25''$ BT yang dimodelkan pada Gambar 4.9 dengan error sebesar 8,911.



Gambar 4.9 Pemodelan 2D Pada Sayatan B-B'

Keterangan:

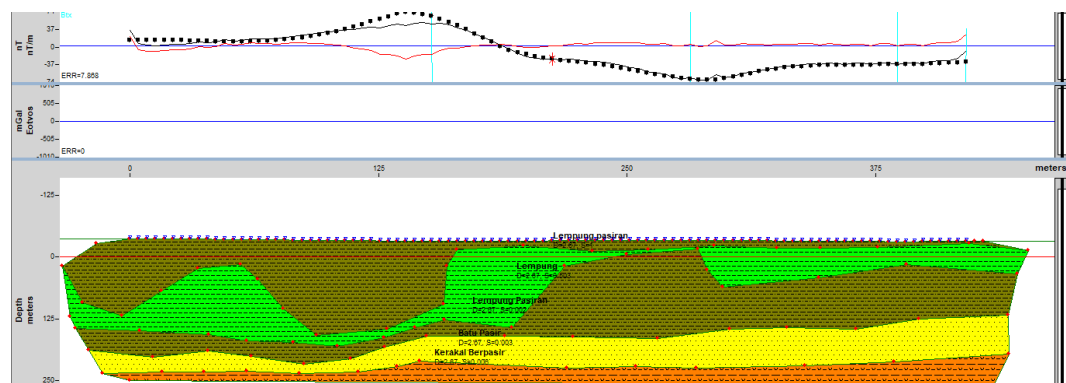
- Lempung (0,00000011-0,00000503 SI)
- Lempung Pasiran (0,0000015-0,0001 SI)
- Batu Pasir (0,000001-0,000003 SI)
- Kerakal Berpasir (0,000006-0,0000098 SI)

Berdasarkan pemodelan bawah permukaan yang telah dilakukan seperti pada Gambar 4.9 terlihat bahwa sayatan B-B' memiliki empat lapisan. Pada lapisan pertama yang berwarna hijau terang diidentifikasi sebagai lempung dengan variasi

nilai suseptibilitas sebesar 0,00000011 SI hingga 0,00000503 SI pada kedalaman $\pm$ 0-80 m dari atas permukaan dengan ketebalan lapisan yang bervariasi. Pada lapisan kedua yang berwarna hijau gelap diidentifikasi sebagai lempung berpasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,0000015 SI hingga 0,0001 SI pada kedalaman $\pm$ 20-100 m dari atas permukaan. Pada lapisan ketiga yang berwarna kuning diidentifikasi sebagai batu pasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000001 SI hingga 0,000003 SI pada kedalaman $\pm$ 80-170 m dari atas permukaan. Pada lapisan keempat yang berwarna oranye diidentifikasi sebagai kerakal berpasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000006 SI hingga 0,0000098 SI pada kedalaman $\pm$ 170-230 m dari atas permukaan.

4.5.3 Sayatan (*slice*) C-C'

Sayatan C-C' ini membentang sepanjang 422 meter mulai dari koordinat $7^{\circ}22'54.14''$ LS dan $112^{\circ}30'36.33''$ BT hingga $7^{\circ}22'57.77''$ LS dan $112^{\circ}30'46.63''$ BT yang dimodelkan pada Gambar 4.10 dengan error sebesar 7,868.



Gambar 4.10 Pemodelan 2D Pada Sayatan C-C'

Keterangan:

- Lempung (0,00000011-0,00000503 SI)
- Lempung Pasiran (0,0000015-0,0001 SI)

 Batu Pasir (0,000001-0,000003 SI)

 Kerakal Berpasir (0,000006-0,0000098 SI)

Berdasarkan hasil pemodelan bawah permukaan yang telah dilakukan seperti pada Gambar 4.10 terlihat bahwa sayatan C-C' memiliki empat lapisan. Pada lapisan pertama yang berwarna hijau gelap diidentifikasi sebagai lempung pasiran dengan variasi nilai suseptibilitas sebesar 0,0000015 SI hingga 0,0001 SI pada kedalaman $\pm$ 0-60 m dari atas permukaan dengan ketebalan bervariasi. Lempung pasiran terlihat ada 2 karena pada lapisan atas merupakan lempung yang sudah mengeras sedangkan pada lapisan yang bawahnya lebih basah. Variasi nilai yang menunjukkan heterogenitas material, dimana nilai rendah merepresentasikan dominasi mineral non-magnetik. Sedangkan nilai yang lebih tinggi diduga berkaitan dengan keberadaan mineral ferromagnetik atau ferrimagnetik seperti magnetit, maghemit, pirhotit, dan ilmenit dalam jumlah tertentu (Telford et al., 1990). Mineral-mineral tersebut kemungkinan berasal dari batuan sumber yang teralterasi, kontribusi dari material vulkanik, atau berasal dari endapan yang terbawa oleh fluida dari *mud volcano* dan terakumulasi di atas permukaan (Trilismana & Budiman, 2015). Selain itu, kondisi lapisan atas yang telah mengalami pengeringan juga dapat menyebabkan peningkatan relatif nilai suseptibilitas akibat proses oksidasi dan konsentrasi mineral (Tiwow & Rampe, 2022).

Pada lapisan kedua yang berwarna hijau terang diidentifikasi sebagai lempung dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,00000011 SI hingga 0,00000503 SI pada kedalaman $\pm$ 60-120 m dari atas permukaan. Nilai yang relatif tinggi ini diduga mencerminkan adanya pengaruh mineral magnetik dalam jumlah tertentu.

Lapisan ketiga yang berwarna kuning diidentifikasi sebagai batu pasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000001 SI hingga 0,000003 SI pada kedalaman $\pm 120-180$ m dari atas permukaan. Pada lapisan keempat yang berwarna oranye diidentifikasi sebagai kerakal berpasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000006 hingga 0,0000098 SI pada kedalaman $\pm 180-230$ m dari atas permukaan.

4.6 Integrasi Hasil Penelitian dengan Perspektif Keislaman

Melalui rangkaian pengolahan data yang menghasilkan beberapa peta kontur, variasi anomali medan magnet di area kubangan lumpur dapat dipetakan secara spasial dan berhasil dilakukan pemodelan 2D yang menunjukkan adanya 4 lapisan penyusun di lokasi penelitian. Perbedaan nilai anomali dan suseptibilitas pada masing-masing lapisan mengindikasikan adanya variasi sifat fisik batuan di bawah permukaan. Meskipun memiliki karakteristik yang berbeda, lapisan-lapisan tersebut tersusun secara sistematis dan membentuk struktur geologi yang teratur. Hal ini sesuai dengan firman Allah dalam Q.S. Fatir [35]:27 sebagai berikut:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيَضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ ﴿٢٧﴾

Artinya: "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.Fatir[35]:27).

Menurut Tafsir As-Sariih karya Ash Shagir (2018), ayat ini menjelaskan bahwa Allah menciptakan alam dengan keberagaman karakteristik, baik yang tampak di permukaan maupun yang tersembunyi di dalam bumi.

Dalam konteks penelitian ini, variasi nilai anomali magnetik serta susunan lapisan bawah permukaan menjadi salah satu bukti adanya keteraturan dan

keberagaman tersebut. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan antara hasil kajian geofisika, khususnya metode geomagnetik dengan pemahaman terhadap fenomena alam sebagai bagian dari tanda-tanda kebesaran Allah. Metode ini berperan penting dalam mengungkap kondisi bawah permukaan bumi yang tidak terlihat secara langsung serta berpotensi digunakan dalam upaya mitigasi bencana melalui identifikasi sebaran lumpur di area penelitian.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Struktur bawah permukaan di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik memiliki 4 lapisan batuan yakni Lempung dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,00000011 SI hingga 0,00000503 SI pada kedalaman ± 0 m hingga 70 m dari atas permukaan, Lempung Pasiran dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,0000015 SI hingga 0,0001 SI pada kedalaman ± 20 m hingga 120 m dari atas permukaan, Batu Pasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000001 SI hingga 0,000003 SI pada kedalaman ± 80 m hingga 180 m dari atas permukaan, dan Kerakal Berpasir dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,000006 hingga 0,0000098 SI pada kedalaman ± 160 m hingga 230 m dari atas permukaan. Variasi nilai suseptibilitas tersebut menunjukkan adanya heterogenitas material bawah permukaan yang mencerminkan perbedaan sifat fisik dan kandungan mineral penyusun batuan.
2. Sebaran lumpur di area penelitian berdasarkan analisa kualitatif berada pada zona dengan nilai anomali magnetik rendah, yaitu berkisar antara -169 nT hingga -50 nT. Nilai anomali negatif menunjukkan bahwa nilai medan magnet di area pengukuran lebih kecil dibandingkan dengan medan magnet referensi (IGRF), sehingga merupakan penyimpangan ke arah nilai anomali magnetik yang lebih rendah. Nilai anomali magnetik yang rendah mengindikasikan dominasi material non-magnetik seperti lempung yang

berasosiasi dengan keberadaan fluida serta aktivitas *mud volcano* di area penelitian.

5.2 Saran

Penelitian ini bersifat pendahuluan sehingga untuk penelitian selanjutnya disarankan memperluas area penelitian serta titik pengukuran yang lebih rapat agar hasil pemetaan anomali magnetik dan pemodelan struktur bawah permukaan menjadi lebih detail dan representatif.

DAFTAR PUSTAKA

- As-Sariih, F. (2018). *Tafsir Ash-Shaghir Surah Fatir Ayat 27*. Retrieved from: <https://tafsirweb.com/7893-surat-fatir-ayat-27.html>.
- Az-Zuhaili, W. (2018). *Tafsir Al-Wajiz Surah At-Talaq Ayat 12*. Retrieved from: <https://tafsirweb.com/10992-surat-at-talaq-ayat-12.html>.
- Burhannudin, N., Karyono., & Sudrajat, A. (2021). *Gunung Lumpur dan Fenomena Lumpur Sidoarjo*. Bandung: Penerbit Galeripadi.
- Burhannudinnur, M. (2019). Karakteristik Gunung Lumpur Zona Rembang dan Implikasinya Terhadap Lapangan Migas di Jawa Timur. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 53(3), 123-149.
- Blakely, R. J. (1995). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. New York: Cambridge University Press.
- Da Costa, L. A., & Wibowo, H. T. (2016, October). Geologi dan karakteristik gunung lumpur (mud volcano) sub-distrik oesilo, distrik oecusse, timor leste. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (pp. 73-84).
- DetikNews. (2007). *Legenda Semburan Lumpur Gresik*. Retrieved from: <https://news.detik.com/berita/d-758968/legenda-sembruran-lumpur-gresik>.
- Dimitrov, L. I. (2003). Mud Volcanoes – a significant source of atmospheric methane. *Geo-Mar Lett* (2003) 23:155-161. DOI 10.1007/s00367-003-0140-3.
- Fatima, A. A. N., Rochman, J. P. G. N., Aziz, A. K., Wicaksono, G. B., & Lathhif, A. S. (2025). Integrated Magnetic and Gravity Methods to Delineate Subsurface Structures of the Wringinanom Mud Volcano, East Jawa. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1-13.
- Garcias, A. Y., Pandarinath, K., Santoyo, E., & Partida, E. G. (2024). Hydrothermal alteration of the volcanic rocks at the Acoculco geothermal field, Mexico: a multi-parametric Approach. *Acta Geochim*, 43:1037-1053.
- Ghozali, A., & Nugroho, H. A. (2019). Rancang Bangun proton Precession Magnetometer berbasis Mikrokontroler ATMEGA 328P. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2019*, 1–7.
- Indratmoko, P., Nurwidyanto, M. I., & Yulianto, T. (2012). Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY Dengan Metode Magnetik. *Berkala Fisika*, 12(4), 153-160.
- Istadi, B. P., Wibowo, H. T., Sunardi, E., Hadi, S., & Sawolo, N. (2012). Mud Volcano and Its Evolution. *Earth Sciences*. I. A. Dar (Ed). Rijeka, Croatia: In Tech.

- Istadi, B., Pramono, G. H., Sumintadireja, P., & Alam, S. (2009). Modeling Study of Growth and Potential Geohazard for Lusi Mud Volcano East Java, Indonesia. *Marine and Petroleum Geology*, 26: 1724-1739.
- Kementerian Agama RI. (2018). *Tafsir Surah Al-Baqarah Ayat 29*. Retrieved from: <https://tafsirweb.com/287-surat-al-baqarah-ayat-29.html>.
- Kopf, A. J. (2002). Significance of Mud Volcanism, *Reviews of Geophysics*, 40(2), B-1-B-49. Retrieved from: <https://doi.org/10.1029/2000RG000093>
- Kosoemadinata, R. P. (1980). *Geologi Minyak dan Gas Bumi Jilid 1 Edisi 2*. Bandung: Penerbit ITB.
- Krisnayanti, B. D., & Agustawijaya, D. S. (2014). Characteristics of Lusi mud volcano and its impacts on the Porong River. *Journal of Degraded and Mining Land Management*, 1(4), 207-210.
- Ma, G., Zhan, L., Lu, H., & Hou, G. (2021). Review Structures in Shallow Marine Sediments Associated with Gas and Fluid Migration. *Journal of Marine Science and Engineering*. 9(369), 1-26.
- Maestrelli, D., Bonini, M., Donne, D. D., Manga, M., Piccardi, L., & Sani, F. (2017). Dynamic Triggering of Mud Volcano Eruptions the 2016-2017 Central Italy Seismic Sequence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122, 9149-9165.
- Mascariello, A., Couto, D. D., Mondino, F., Booth, J., Lupi, M., & Mazzini, A. (2018). Genesis and Evolution of the Watukosek Fault System in the Lusi Area (East Java). *Marine and Petroleum Geology*, 90, 125-137.
- Mazzini, A., & Etiope, G. (2017). Mud Volcanism: An Update Review. *Earth-Science Reviews*, 168, 81-112.
- Mazzini, A., Sciarra, A., Lupi, M., Ascough, P., Akhmanov, G., Karyono, K., & Husein, A. (2023). Deep Fluids Migration and Submarine Emersion of the Kalang Anyar Mud Volcano (Jawa Indonesia): A Multidisciplinary Study. *Marine and Petroleum Geology*, 148.
- Moechtar, R. A. T. (2021). Dinamika Proses Pengendapan Sedimen Holosen di Hilir Sungai Bengawan Solo serta Wilayah Pasang Surut di Gresik dan Sekitarnya, Jawa Timur. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 22(1), 9-23.
- Putra, M. F. P., Riyantiyo, N. D., Noor, M. R. S., Warnana, D. D., Syaifuddin, F., Lestari., Rochman, J. P. G. N., & Hidayah, A. (2018). Identifikasi Arah Persebaran Sedimentasi Menggunakan Analisis Mikrotremor Studi Kasus Kawasan Sumur Tua Kecamatan Wringinanom, Gresik. *Jurnal Geosaintek*, 4(1), 15-18.

- Putrohari, R. D. (2008). Posisi kontroversi Patahan Watu Kosek. <http://rovicky.wordpress.com/2008> [Juli 2016].
- Rohayati, E., Purwato, C., Arman, Y., & Apriansyah. (2019). Interpretasi Data Anomali Medan Magnetik Total Transformasi Reduksi ke Kutub di Laut Flores. *Prisma Fisika*, 7(3) 158-161.
- Safitri, E. F., Nurita, T., Amarna, A. D., & Mardianti, A. (2024). Kajian Literatur: Analisis Fenomena Gunung Lumpur Beserta Karakteristik Lumpur di Bledug Kuwu Jawa Tengah. *Jurnal Sains Geografi*, 2(1), 11-20.
- Salsabila., Amir, H., Dwiridal, L., & Zulhendra. (2025). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Segmen Aktif di Kabupaten Probolinggo Berdasarkan Data Geomagnetik Melalui Forward Modeling. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 9(2), 25093-25101.
- Santosa, B. J., Mashuri, M., Sutrisno, W. T., Wafi, A., Salim, R., & Armi, R. (2012). Interpretasi Metode Magnetik untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan di Sekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 2(1), 7-14.
- Sarkowi, M. (2010). Buku Ajar Pengantar Teknik Geofisika. Lampung: Universitas Lampung.
- Satiawan, S. (2009). *Aplikasi Kontinuitas Keatas dan Filter Panjang Gelombang untuk Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Data Geomagnetik*. Skripsi. Bandung: ITB.
- Satyana, A. H., & Asnidar. (2008). Mud diapirs and mud volcanoes in depression of Java to Madura: Origins, Natures, and Implications to Petroleum System. *Proceedings, Indonesian Petroleum Association, Thirty-second Annual Convention & Exhibition*, May 2008.
- Setiadi, I., Darmawan, A., & Marjiyono. (2016). Pendugaan Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Terdampak Lumpur Sidoarjo (Lusi) Berdasarkan Analisis Data Gemoagnet. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. 7(3), 125-134.
- Setiaji, B. (2014). *Geologi dan Analisis Daya Dukung Tanah Untuk Pengembangan Wilayah Berdasarkan Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Pada Derah Wringinanom dan Sekitarnya Kecamatan Wringinanom Kabupaten Gresik Provinsi Jawa Timur*. Tesis. Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta.
- Sharma, P.V. (1997). *Environmental and Engineering Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Sholikha, K. A., & Santosa, B. J. (2016). Identifikasi Pola Persebaran Sumber Lumpur Bawah Tanah Pada Mud Volcano Gunung Anyar Rungkut Surabaya

- Menggunakan Metode Geolistrik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5(1), B6-B10.
- Suniyah., & Rochayati, N. (2025). Interaksi Tiga Lempeng di Kawasan Indonesia Timur. *Education, Social Sciences, and Linguistics: Conference Series*, 1(2), 127-132.
- Supandjono, J. B., Hasan, K., Pangabea, H., Satria, D., & Sukardi. (1992). *Peta Geologi Lembar Surabaya & Sepulu, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia.
- Telford, W. M., Gerald, L. P., & Sherrif, R.E. (1990). *Applied Geophysics Second Editions*. New York: Cambridge University.
- Tim BSE. (2013). *Buku Dasar Geologi*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Tiwow, V. A., & Rampe, M. J. (2022). Studi Suseptibilitas Bergantung Frekuensi pada Sedimen Sungai Tallo, Kota Makassar, Indonesia. *Jurnal Fisika Unand*, 11(4), 474-481.
- Toresse, P. (2023). ERT Investigation of Mud Volcanoes: Detection of Mud Fluid Migration Pathways from 2D and 3D Synthetic Modelling. *Acta Geodetica et Geophysica*. 58, 601-629.
- Trilismana, H., & Budiman, A. (2015). Analisis Suseptibilitas Magnetik Hasil Oksidasi Magnetit menjadi Hematit Pasir Besi Pantai Sunur Kota Pariaman Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 4(2), 150-156.
- Umamii, A. M., Yulianto, T., & Wardhana, D. D. (2017). Aplikasi metode magnetik untuk identifikasi sebaran bijih besi di Kabupaten Solok Sumatera Barat. *Youngster Physics Journal*, 6(4), 296-303.
- Wahidah., Lepong, P., & Hamdani, D. (2021). *Modul Kuliah Pengantar Geofisika*. Samarinda: Universitas Mulawarman.
- Yudianto, H., & Setyawan, A. (2014). Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas bumi Gedong Songo Gunung Ungaran Menggunakan Metode Magnetik. *Youngster Physics Journal*, 3(1), 39-48.
- Zuhdi, M., Taufik, M., Ayub, S., Wahyudi., & Makhrus, M. (2021). *Pengantar Geofisika*. Mataram: Einstein College.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Koreksi Data Magnetik

Titik	Latitude	Longitude	Elevasi	Waktu			Bacaan					Modus nilai pembacaan	Waktu (detik)	Koreksi diurnal	Koreksi diurnal	Koreksi IGRF	Koreksi IGRF
				Jam	Menit	Detik											
BASE	-7,380903	112,511171	34,39	8	11	49	45137	45137,8	45137,8	45137,8	45137,5	45137,8	29509	0	45137,8	44526,3	611,5
1	-7,380223	112,510902	40,31	8	16	25	44969,2	44969	44969,2	44969,2	44969	44969,2	29785	0,79873	44968,4	44526,3	442,101
2	-7,380356	112,511307	37,39	8	20	24	45141,6	45141,6	45141,8	45141,8	45141,6	45141,6	30024	1,49039	45140,1	44526,3	613,81
3	-7,380546	112,511548	34,89	8	23	31	44767,6	44767,6	44767,8	44767,8	44767,8	44767,8	30211	2,03155	44765,8	44526,3	239,468
4	-7,380673	112,511891	32,77	8	26	17	44872,2	44872,2	44872,8	44872,8	44872,2	44872,2	30377	2,51195	44869,7	44526,3	343,388
5	-7,380796	112,512305	31,14	8	30	35	44897,6	44897,4	44897,6	44897,8	44897,6	44897,6	30635	3,25859	44894,3	44526,3	368,041
6	-7,381067	112,512158	30,39	8	33	15	44868,8	44868,8	44868,8	44868,8	44868,6	44868,8	30795	3,72162	44865,1	44526,3	338,778
7	-7,381242	112,512514	30	8	35	22	44857	44857	44857,4	44857	44857,4	44857	30922	4,08915	44852,9	44526,3	326,611
8	-7,38094	112,512665	30,25	8	38	20	44886,6	44886,6	44886,8	44886,8	44886,8	44886,8	31100	4,60428	44882,2	44526,3	355,896
9	-7,381033	112,513043	30	8	41	20	44900,8	44901	44900	44901	44901	44901	31280	5,12519	44895,9	44526,3	369,575
10	-7,381371	112,51296	30	8	46	34	44865	44865,8	44865	44865	44864,8	44865	31594	6,03389	44859	44526,3	332,666
11	-7,381168	112,513435	29,36	8	51	7	44875,4	44875,4	44875,2	44875,2	44875,4	44875,4	31867	6,82394	44868,6	44526,3	342,276
12	-7,381885	112,513348	31,79	8	57	41	44885	44885	44885,4	44885,4	44885,4	44885,4	32261	7,96416	44877,4	44526,3	331,136
13	-7,38158	112,5134	30,45	9	0	54	44872,6	44872,6	44872,8	44872,6	44872,8	44872,6	32454	8,52269	44864,1	44526,3	337,777
14	-7,382341	112,513197	31,06	9	5	31	44875,4	44875,8	44875,8	44875,8	44875,8	44875,8	32731	9,22431	44866,5	44526,3	340,176
15	-7,382751	112,512949	31,42	9	7	41	44882,6	44882,6	44882,8	44882,8	44882,8	44882,8	32861	9,70053	44873,1	44526,3	346,799
16	-7,383118	112,512796	30,99	9	11	1	44922,8	44922,2	44922,2	44922,2	44922,2	44922,2	33061	10,2793	44911,9	44526,3	385,621
17	-7,383459	112,512716	30,78	9	13	23	44892,8	44892,4	44892,8	44892,8	44892,8	44892,8	33203	10,6903	44892,1	44526,3	355,81
18	-7,383254	112,512249	29,35	9	17	49	44901,2	44901,2	44901,6	44901,6	44901,2	44901,2	33469	11,4601	44899,7	44526,3	363,44
19	-7,382911	112,512461	31,11	9	19	38	44902,2	44901,2	44901,4	44901,4	44901,4	44901,4	33578	11,7755	44899,6	44526,3	363,325
20	-7,383152	112,511848	31,3	9	25	54	44897,6	44897,6	44897,8	44897,8	44897,6	44897,6	33954	12,8636	44894,7	44526,3	358,436
21	-7,383066	112,511475	31,26	9	28	56	44890,8	44890,8	44890,6	44890,6	44890,6	44890,6	34136	13,3993	44877,2	44526,3	350,91
22	-7,382941	112,511137	30,38	9	32	40	44897	44897,6	44897,8	44897,8	44897,8	44897,8	34360	14,0386	44883,8	44526,3	357,461
23	-7,38282	112,510738	32,09	9	36	15	44907,8	44908	44908	44907,8	44908	44908	34575	14,6608	44893,3	44526,3	367,039
24	-7,382631	112,510126	34,09	9	46	10	44897,2	44897,8	44897,4	44897,8	44897,8	44897,8	35170	16,3827	44881,4	44526,3	355,117
25	-7,38253	112,509811	36,98	9	50	14	44903,8	44903,2	44903,2	44903,8	44903,4	44903,2	35414	17,0888	44886,1	44526,3	359,811
26	-7,381221	112,509958	36,53	9	52	57	44902	44902,4	44902,4	44902,8	44902,4	44902,4	35577	17,5605	44884,8	44526,3	358,539
27	-7,381797	112,510093	37,33	9	56	29	44895,8	44895,8	44895,2	44895,2	44895,2	44895,2	35789	18,174	44877	44526,3	350,726
28	-7,381394	112,510616	35,55	10	0	36	44894,6	44896,2	44896,8	44896,8	44894,6	44896,8	36036	18,8888	44877,9	44526,3	351,611
29	-7,381254	112,510341	37,74	10	3	2	44911,2	44917,6	44917,4	44917,6	44917,8	44917,6	36182	19,3113	44898,3	44526,3	371,989
30	-7,381882	112,510419	35,1	10	11	7	44912,4	44912,8	44912	44912,8	44912,4	44912,8	36667	20,7149	44892,1	44526,3	365,785
31	-7,382236	112,510273	33,99	10	14	34	44899,2										

Lampiran 2

Data untuk software Oasis Montaj

Stasiun	Lat	Long	Elev	ΔH	EASTING	NORTHING
1	-7,380223	112,510902	40,31	442,1012691	666760.763760092	9183935.96807268
2	-7,380356	112,511307	37,39	613,8096145	666805.424529878	9183921.10865347
3	-7,380546	112,511548	34,89	239,4684453	666831.958880337	9183900.00717035
4	-7,380673	112,511891	32,77	343,3880492	666869.777273152	9183885.83439791
5	-7,380796	112,512305	31,14	368,0414095	666915.435300887	9183872.07735249
6	-7,381067	112,512158	30,39	338,7783771	666899.10538333	9183842.16362158
7	-7,381242	112,512514	30	326,6108451	666938.340866621	9183822.67779391
8	-7,38094	112,512665	30,25	355,8957216	666955.124022439	9183856.01817989
9	-7,381033	112,513043	30	369,5748101	666996.818997943	9183845.59210791
10	-7,381371	112,51296	30	332,666109	666987.529259075	9183808.2451661
11	-7,381168	112,513435	29,36	342,27606	667040.043748316	9183830.51614234
12	-7,381885	112,513348	31,79	351,1358427	667030.170127677	9183751.25863763
13	-7,38158	112,5134	30,45	337,7773099	667036.02522432	9183784.9678578
14	-7,382341	112,513197	31,06	340,175685	667013.329132119	9183700.88804188
15	-7,382751	112,512949	31,42	346,7994712	666985.797010341	9183655.64074255
16	-7,383118	112,512796	30,99	385,6206807	666968.768685231	9183615.11303989
17	-7,383459	112,512716	30,78	355,8097394	666959.809037146	9183577.43322085
18	-7,383254	112,512249	29,35	363,4399481	666908.331086822	9183600.27825901
19	-7,382911	112,512461	31,11	363,3245073	666931.86371366	9183638.12981202
20	-7,383152	112,511848	31,3	358,4363811	666864.100596856	9183611.70817989
21	-7,383066	112,511475	31,26	350,9096818	666822.955179713	9183621.35820257
22	-7,382941	112,511137	30,38	357,4614364	666785.688229817	9183635.30793632
23	-7,38282	112,510738	32,09	367,0392366	666741.685613447	9183648.83811651
24	-7,382631	112,510126	34,09	355,1173349	666674.194121753	9183669.96774549
25	-7,38253	112,509811	36,98	359,8112105	666639.457231549	9183681.25469313
26	-7,381221	112,509958	36,53	358,5394962	666656.175695097	9183825.95647961
27	-7,381797	112,510093	37,33	350,7259783	666670.863455569	9183762.20861067
28	-7,381394	112,510616	35,55	351,611172	666728.751640128	9183806.5790892
29	-7,381254	112,510341	37,74	371,9886549	666698.44511182	9183822.16394472
30	-7,381882	112,510419	35,1	365,785088	666706.820755945	9183752.68690977
31	-7,382236	112,510273	33,99	352,1860398	666690.570306091	9183713.59414919
32	-7,382279	112,510799	32,1	349,8191424	666748.622516437	9183708.64221058
33	-7,382022	112,510847	32,74	441,2837612	666754.017841595	9183737.04480277
34	-7,381552	112,511132	32,93	512,6503029	666785.656902524	9183788.91350081
35	-7,381196	112,511253	32,84	399,7496491	666799.148287575	9183828.23677528
36	-7,380959	112,510934	35,72	522,3158735	666764.020666205	9183854.56495824
37	-7,380693	112,511492	34,42	295,2774252	666825.721572547	9183883.77201008
38	-7,381033	112,511961	31,22	312,5892991	666877.370037952	9183845.9972909
39	-7,381331	112,511718	31,82	321,662917	666850.43197878	9183813.13366938
40	-7,38151	112,512091	31,67	333,594414	666891.542684918	9183793.19917134
41	-7,381564	112,512342	31,83	342,0915008	666919.231905214	9183787.13355277
42	-7,381735	112,512761	31,07	344,4966157	666965.423802374	9183768.0664439
43	-7,382129	112,512581	32,81	331,2117008	666945.404648734	9183724.56302558
44	-7,382507	112,512485	34	328,7125949	666934.66479766	9183682.79751868
45	-7,382756	112,51199	34,7	310,3974714	666879.925349109	9183655.44700972
46	-7,382571	112,511552	33,59	318,9498606	666831.641275351	9183676.06936774
47	-7,382268	112,511702	33,4	344,4582059	666848.314301165	9183709.52072738
48	-7,382121	112,511327	32,72	337,87232	666806.970873532	9183725.91720284
49	-7,382429	112,511248	33	320,2150755	666798.134120073	9183691.88633491
50	-7,381686	112,51163	32	310,0281608	666840.584002473	9183773.90863557
51	-7,381843	112,511967	33,3	309,9618787	666877.728661527	9183756.42050633
52	-7,381998	112,512258	34,04	296,4322854	666909.795823697	9183739.1707409
53	-7,382417	112,51213	35	301,9895106	666895.507949764	9183692.88319415
54	-7,380781	112,511047	36,35	353,7322277	666776.562164113	9183874.20695793
55	-7,380346	112,510649	41,92	250,425113	666732.787350393	9183922.46064581
56	-7,380689	112,510535	40,63	167,1151428	666720.07365711	9183884.57235746

Lampiran 3

Dokumentasi Pengambilan Data Geomagnetik



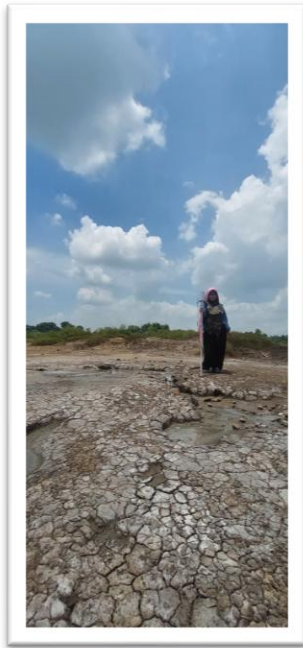
Kondisi Sekitar Area Kubangan Lumpur



Pencatatan Data



Aliran Lumpur di Area Penelitian



Pengambilan Data



Lumpur yang Telah Mengering



Foto Bersama Tim