

**APLIKASI METODE *SELF-POTENTIAL* UNTUK INTERPRETASI
BAWAH PERMUKAAN LOKASI SEMBURAN LUMPUR DESA
SUMBERWARU, KECAMATAN WRINGINANOM,
KABUPATEN GRESIK**

SKRIPSI

Oleh :
SISKA KARTIKA SARI
NIM. 220604110035



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

**APLIKASI METODE *SELF-POTENTIAL* UNTUK INTERPRETASI
BAWAH PERMUKAAN LOKASI SEMBURAN LUMPUR DESA
SUMBERWARU, KECAMATAN 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:
SISKA KARTIKA SARI
NIM. 220604110035**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

APLIKASI METODE *SELF-POTENTIAL* UNTUK INTREPRETASI BAWAH
PERMUKAAN LOKASI SEMBURAN LUMPUR DI DESA SUMBER WARU
KECAMATAN WRINGINANOM KABUPATEN GRESIK

SKRIPSI

Oleh:
Siska Kartika Sari
NIM. 220604110035

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal, 25 Juni 2026

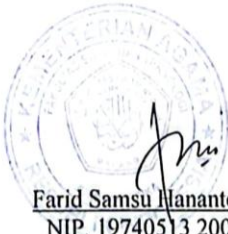
Pembimbing I,


Rusli, M.Si
NIP. 198807152020121003

Pembimbing II,


Mubasyiroh, S.S., M.Pd.I
NIP. 19790502201802012208

Mengetahui
Ketua Program Studi


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

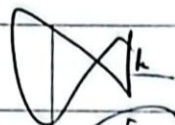
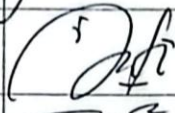
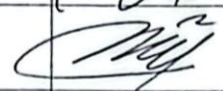
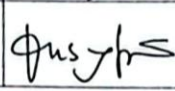
HALAMAN PENGESAHAN

APLIKASI METODE *SELF-POTENTIAL* UNTUK INTERPRETASI BAWAH
PERMUKAAN LOKASI SEMBURAN LUMPUR DESA SUMBERWARU
KECAMATAN WRINGINANOM KABUPATEN GRESIK

SKRIPSI

Oleh:
Siska Kartika Sari
NIM. 220604110035

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal 25 Juni 2026

Penguji Utama	<u>Drs. H. AbdulBasid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	<u>Muthmainnah, M.Si</u> NIP. 19860325 201903 2 009	
Sekretaris Penguji	<u>Rusli, M.Si</u> NIP. 198807152020121003	
Anggota Penguji	<u>Mubasyiroh, S.S., M.Pd.I</u> NIP. 19790502 202321 2 024	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi


Farid Samsul Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : SISKI KARTIKA SARI

NIM : 220604110035

Program Studi : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Aplikasi Metode *Self-potential* untuk Interpretasi Bawah
Permukaan Lokasi Semburan Lumpur Desa Sumberwaru
Kecamatan 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, 26 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan



Siska Kartika Sari
NIM. 220604110035

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

“Jalan menuju Allah itu adalah jalan dimana :

Adam kelelahan, Nuh mengeluh, Ibrahim dilempar kedalam api, Ismail dibentang untuk disembelih, Yusuf dijual dengan harga murah dan dipenjara beberapa tahun, Zakariya digeraji, Yahya disembelih, Ayyub menderita penyakit, Yaqub menangis melebihi kadar semestinya, Isa berjalan sendirian, Muhammad SAW mendapatkan kefakiran dan gangguan.

Sedangkan kita ingin menempuh dengan bersantai ria dan bermain-main? Demi Allah tak akan pernah bisa terjadi.” -Ibnu Qayrim al-Jauziyah

Jangan anggap satu menitmu sama dengan satu menit orang lain.

Aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku tidak ada artinya.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya sederhana ini kepada Ibuku tercinta. Terima kasih atas segala cinta, doa, pengorbanan, kerja keras, dan ketulusan yang telah Ibu berikan selama ini. Terima kasih karena telah memilih untuk tetap bertahan, tetap kuat, dan tetap membesarkanku di tengah berbagai kesulitan dan badai kehidupan yang harus Ibu hadapi. Aku menyadari bahwa setiap langkah yang dapat kutempuh hingga hari ini tidak lepas dari perjuangan dan doa yang selalu Ibu panjatkan. Skripsi ini mungkin tidak akan pernah sebanding dengan segala pengorbanan yang telah Ibu berikan, tetapi karya ini kupersembahkan sebagai bentuk rasa terima kasih, hormat, dan cintaku kepada Ibu.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umat manusia menuju jalan yang diridhai Allah SWT. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, kesehatan, kekuatan, dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu tercinta yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, serta pengorbanan yang tidak pernah putus dalam setiap langkah kehidupan penulis. Terima kasih atas segala kerja keras, ketulusan, dan perjuangan yang telah diberikan demi masa depan penulis.
3. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., CAHRM., CRMP., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Agus Mulyono, M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Rusli, M.Si., selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan, masukan, serta bimbingan selama proses penyusunan skripsi.
6. Mubasyiroh, S.S., M.Pd.I., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan saran, motivasi, serta bimbingan selama proses penyusunan skripsi.
7. Seluruh dosen Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman serta semua pihak yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan kebersamaan kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga penyelesaian studi.

9. Diri penulis sendiri yang telah berusaha, bertahan, dan tidak menyerah dalam menghadapi berbagai tantangan selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena telah terus melangkah, percaya pada kemampuan diri sendiri, dan menyelesaikan apa yang telah dimulai.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca serta menjadi kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 18 Juni 2026

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT.....	xv
مستخلص البحث	xvi
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah	8
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 9
2.1 Mud Volcano	9
2.1.1 Pengertian <i>Mud Vulcano</i>	9
2.1.2 Mekanisme Pembentukan Mud Volcano.....	11
2.1.3 Material <i>Mud volcano</i>	14
2.1.4 Faktor Pemicu Aktivitas <i>Mud Vulcano</i>	15
2.2 Klasifikasi <i>Mud volcano</i>	16
2.3 Persebaran <i>Mud Volcano</i>	18
2.4 <i>Self-potential</i> (SP).....	19
2.5 Metode <i>Self-potential</i> (SP).....	21
2.5.1 Potensial Elektrokinetik (<i>Streaming Potential</i>)	23
2.5.2 Potensial Difusi (<i>Liquid Junction</i>)	25
2.5.3 Potensial Lempung (<i>Nernst Potential</i>).....	26
2.5.4 Potensial Mineralisasi.....	27
2.5.5 Dasar Fisika Terbentuknya <i>Self-potential</i>	28
2.5.6 Prinsip Estimasi Kedalaman Sumber Anomali <i>Self-potential</i>	29
2.6 Konfigurasi Pengambilan Data Metode <i>Self-potential</i>	30
2.6.1 Konfigurasi <i>Fixed Base</i>	30
2.6.2 Konfigurasi <i>Leap Frog</i>	31
2.6.3 Fungsi Elektroda dalam Pengambilan Data <i>Self-potential</i>	32
2.7 Komponen Data <i>Self-potential</i>	33
2.8 Penafsiran Anomali.....	35
2.9 Prosedur Lapangan.....	37
2.10 Keterkaitan Penelitian dalam Perpektif Islam	38
 BAB III METODE PENELITIAN.....	 42
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	42
3.2 Alat dan Bahan	42

3.3 Metode Penelitian.....	43
3.4 Prosedur Penelitian	43
3.4.1 Kalibrasi Alat.....	44
3.4.2 Akuisisi Data di Lapangan.....	45
3.4.3 Pengolahan Data.....	45
3.4.4 Interpretasi Data.....	46
3.4.5 Pengendalian Gangguan dalam Pengukuran <i>Self-potential</i>	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Akuisisi data.....	49
4.2 Hasil dan Pengolahan Data	50
4.2.1 Sebaran Nilai Potensial Diri	51
4.2.2 Penampang Melintang Peta Kontur Isopotensial	54
4.3 Keterkaitan Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam.....	61
BAB V PENUTUP.....	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Mud Diapir Menjadi mud volcano (Mazzini et al, 2017).....	13
Gambar 2. 2 Mud volcano yang Terdapat di Pulau Jawa Bagian Timur dan Madura (Mazzini et al, 2018).....	19
Gambar 2. 3 Potensial Elektrokinetik (Fagerlund, F., & Heinson, 2015).....	25
Gambar 2. 4 Ilustrasi kejadian potensial difusi	26
Gambar 2. 5 Ilustrasi Pengambilan Data Potensial dengan Menggunakan Konfigurasi Fixed Base (Slater & Binley, 2016)	31
Gambar 2. 6 Ilustrasi Pengambilan Data Potensial dengan Menggunakan Konfigurasi Leap Frog (Slater & Binley, 2016)	31
Gambar 2. 7 Penampang lintang model lempeng dua dimensi.....	35
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian, semburan lumpur di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik (Google Earth, 2017).....	42
Gambar 3. 2 Ilustrasi Pengambilan Data Potensial dengan Menggunakan Konfigurasi Leap Frog (Slater & Binley, 2016)	45
Gambar 3. 3 Diagram Alur.....	48
Gambar 4. 1 Peta Kontur Isopotensial	52
Gambar 4. 2 Peta kontur ketinggian daerah penelitian	53
Gambar 4. 3 Peta kontur isopotensial 3D.....	54
Gambar 4. 4 Peta kontur isopotensial dengan sayatan A-B	55
Gambar 4. 5 Kurva profil sayatan pada lintasan A-B	55
Gambar 4. 6 Peta kontur isopotensial dengan sayatan C-D	56
Gambar 4. 7 Kurva profil sayatan pada lintasan C-D	56
Gambar 4. 8 Peta kontur isopotensial dengan sayatan E-F	57
Gambar 4. 9 Kurva profil sayatan pada lintasan E-F	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat dan bahan penelitian.....	42
Tabel 4. 1 Hasil perhitungan h , H dan θ pada setiap sayatan.....	58

ABSTRAK

Siska Kartika Sari. 2026. **Aplikasi Metode *Self-potential* untuk Interpretasi Bawah Permukaan Lokasi Semburan Lumpur Desa Sumberwaru Kecamatan Wringinanom Kabupaten Gresik**. Skripsi. Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Rusli M.Si, (II) Mubasyiroh, S.s., M.Pd.I

Kata kunci: *Self-Potential*, *mud volcano*, anomali potensial, fluida bawah permukaan

Fenomena semburan lumpur (*mud volcano*) di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik diduga berkaitan dengan aktivitas fluida bawah permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi anomali *self-potential* serta menginterpretasikan kondisi bawah permukaan pada lokasi penelitian. Metode yang digunakan adalah *Self-Potential* (SP) dengan teknik *leap frog*. Data hasil pengukuran diolah melalui koreksi variasi harian, koreksi *leap frog*, dan koreksi topografi, kemudian dipetakan menggunakan perangkat lunak Surfer 13 dan Ms.exel. Hasil penelitian menunjukkan nilai anomali *self-potential* berkisar antara -6,5 mV hingga 4 mV. Zona anomali potensial rendah dominan berada pada bagian tengah hingga timur daerah penelitian dan diduga berkaitan dengan keberadaan fluida bawah permukaan. Hasil interpretasi pada sayatan A-B, C-D, dan E-F menunjukkan kedalaman sumber anomali berturut-turut sebesar 18,98 m, 19,22 m, dan 14,02 m. Keberadaan zona anomali tersebut menunjukkan bahwa aktivitas fluida bawah permukaan masih mempengaruhi kondisi geologi di lokasi semburan lumpur Desa Sumberwaru. Berdasarkan hasil penelitian, metode *Self-Potential* dapat digunakan untuk mengidentifikasi distribusi anomali potensial dan memberikan gambaran kondisi bawah permukaan yang berkaitan dengan fenomena semburan lumpur.

ABSTRACT

Siska Kartika Sari. 2026. **Application of the Self-Potential Method for Subsurface Interpretation at the Mud Volcano Site in Sumberwaru Village, Wringinanom District, Gresik Regency.** Final Project. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisors: (I) Rusli, M.Si., (II) Mubasyiroh, S.S., M.Pd.I.

Keywords: Self-Potential, mud volcano, potential anomaly, subsurface fluid

The mud volcano phenomenon in Sumberwaru Village, Wringinanom District, Gresik Regency is thought to be related to subsurface fluid activity. This study aims to determine the distribution of Self-Potential anomalies and interpret the subsurface conditions in the study area. The Self-Potential (SP) method with the leap frog technique was used in this research. The measurement data were processed through daily variation correction, leap frog correction, and topographic correction. The processed data were then mapped using Surfer 13 and Microsoft Excel. The results show that the Self-Potential anomaly values range from -6.5 mV to 4 mV. Low-potential anomaly zones are mainly distributed in the central to eastern parts of the study area and are interpreted to be associated with the presence of subsurface fluids. The interpretation results from profiles A–B, C–D, and E–F indicate anomaly source depths of 18.98 m, 19.22 m, and 14.02 m, respectively. These anomaly zones suggest that subsurface fluid activity still influences the geological conditions around the mud volcano site in Sumberwaru Village. Based on the results of this study, the Self-Potential method can be used to identify the distribution of potential anomalies and provide information about subsurface conditions related to the mud volcano phenomenon.

مستخلص البحث

لتفسير البنية التحتية في موقع اندفاع الطين Self-Potential سيسكا كارتياكا ساري ٢٠٢٦. تطبيق طريقة بقرية سومبر وارو، ناحية ورينجينانوم، محافظة جريسيك. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم، والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج. المشرف الأول: رسلبي الماجستير. المشرفة الثانية: مبشرة، الماجستير.

الكلمات المفتاحية: لبركان الطيني، شدوذ الجهد، المواع تحت السطحية، Self-Potential

تُعَدُّ ظاهرة اندفاع الطين في قرية سومبر وارو، ناحية ورينجينانوم، محافظة جريسيك، مرتبطةً على الأرجح بنشاط وتفسير الظروف تحت Self-Potential المواع تحت السطحية. يهدف هذا البحث إلى معرفة توزيع شدوذات بتقنية القفزة المتتابعة. وقد عولجت بيانات Self-Potential السطحية في موقع الدراسة. استُخدمت طريقة القياس من خلال تصحيح التغيرات اليومية، وتصحيح القفزة المتتابعة، والتصحيح الطبوغرافي، ثم رُسمت الخرائط Self-Potential أظهرت نتائج البحث أن قيم شدوذ Microsoft Excel و Surfer 13 باستخدام برنامجي تراوحت بين سالب ٦,٥ ملي فولت وموجب ٤ ملي فولت. وتتركز مناطق الشدوذ المنخفض للجهد Potential في الجزء الأوسط إلى الشرقي من منطقة الدراسة، ويُعتقد أنها مرتبطة بوجود المواع تحت السطحية. كما أظهرت نتائج التفسير على المقاطع أ-ب، ج-د، و هـ-و أن أعماق مصادر الشدوذ بلغت على التوالي ١٨,٩٨ مترًا و ١٩,٢٢ مترًا، و ١٤,٠٢ مترًا. وتشير هذه المناطق الشاذة إلى أن نشاط المواع تحت السطحية لا يزال يؤثر في Self-Potential الظروف الجيولوجية بموقع اندفاع الطين في قرية سومبر وارو.. وبناءً على نتائج الدراسة، يمكن استخدام طريقة لتحديد توزيع شدوذات الجهد وتقديم تصور عن الظروف تحت السطحية المرتبطة بظاهرة اندفاع Potential الطين.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik, sehingga memiliki tingkat aktivitas geologi yang tinggi. Kondisi tektonik tersebut memicu berbagai fenomena geologi, salah satunya adalah terbentuknya gunung lumpur. *Mud volcano* merupakan fenomena ekstrusi material berupa lumpur, gas dan air yang berasal dari permukaan bumi yang keluar melalui rekahan atau jalur lemah pada batuan akibat tekanan fluida yang tinggi. Material yang dikeluarkan umumnya berupa sedimen halus yang tersuspensi dalam air dan sering disertai pelepasan gas metana, serta banyak dijumpai pada wilayah cekungan sedimen yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik aktif.

Gunung lumpur juga disebut sebagai *mud volcano*, diciptakan oleh aliran air yang mengalir ke atas dan semburan lumpur. Gunung-gunung ini biasanya terjadi di cekungan sedimentasi di seluruh dunia. Kemunculannya dipengaruhi oleh struktur geologi seperti sesar, lipatan, rekahan, dan kekuatan yang cukup untuk mendorong lumpur ke permukaan bumi.

Mud volcano merupakan fenomena alam yang umum terjadi dan dapat dijelaskan melalui sudut pandang ilmiah. Allah telah menggambarkan peristiwa tersebut dalam Al-Qur'an Surat Az-Zalzalah ayat 2 sebagai berikut:

وَأَخْرَجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا

Artinya : “Dan bumi telah mengeluarkan beban-beban berat (yang dikandungnya).” (Q.S. az-Zalzalah :2).

Ayat tersebut menggambarkan bahwa bumi memiliki kemampuan untuk mengeluarkan material yang tersimpan di dalam lapisan bawah permukaannya. Secara ilmiah, hal ini dapat dikaitkan dengan proses geologi berupa pelepasan tekanan fluida dan material sedimen dari bawah permukaan bumi yang kemudian termanifestasi dalam bentuk fenomena seperti letusan gunung api, gempa bumi, maupun semburan lumpur.

Menurut Quraish Shihab dalam Tafsir Al-Misbah, ayat ini menjelaskan bahwa bumi akan mengeluarkan segala sesuatu yang tersimpan di dalam perutnya, baik berupa benda, material, maupun berbagai hal yang sebelumnya tersembunyi dari pengetahuan manusia. Kata *atsqāl* (beban-beban berat) menunjukkan segala sesuatu yang berada di dalam bumi dan pada saat tertentu dapat dikeluarkan oleh kehendak Allah SWT (Shihab, 2002).

Tafsir Al-Misbah dipilih karena memberikan penjelasan yang lebih kontekstual mengenai fenomena alam serta tidak membatasi makna ayat hanya pada peristiwa hari kiamat, tetapi juga memberikan pemahaman bahwa bumi memiliki dinamika dan proses yang berlangsung di dalam lapisannya. Pemahaman ini relevan dengan kajian geofisika yang mempelajari berbagai fenomena yang terjadi di bawah permukaan bumi (Shihab, 2002).

Jika dikaitkan dengan penelitian ini, ayat tersebut memiliki hubungan dengan fenomena *mud volcano* yang terjadi di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik. Secara geologi, fenomena ini terjadi akibat adanya tekanan fluida yang tinggi di bawah permukaan sehingga material berupa lumpur, air, dan gas bermigrasi melalui rekahan atau zona lemah batuan hingga mencapai permukaan (Etiope et al, 2019). Proses tersebut menunjukkan bahwa

material yang sebelumnya tersimpan di dalam bumi dapat keluar ke permukaan melalui mekanisme alamiah yang telah ditetapkan oleh Allah SWT (Shihab, 2002).

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode *self-potential*, diperoleh distribusi anomali potensial yang mengindikasikan adanya pergerakan fluida bawah permukaan yang berkaitan dengan sistem semburan lumpur di lokasi penelitian. Pola anomali yang terbentuk menunjukkan adanya jalur migrasi fluida yang bergerak dari bawah permukaan menuju permukaan melalui zona-zona tertentu. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa material lumpur yang muncul di permukaan berasal dari proses yang terjadi di bawah permukaan bumi. Dengan demikian, hasil penelitian ini selaras dengan makna ayat 2 dari Q.S. Az-Zalzalah, di mana dijelaskan bahwa bumi memiliki kemampuan untuk mengeluarkan bahan yang tersimpan di dalamnya. Dalam konteks ilmiah, fenomena tersebut dapat dipahami sebagai manifestasi aktivitas geologi berupa migrasi fluida dan semburan lumpur yang teridentifikasi melalui metode *self-potential*.

Wilayah Gresik termasuk dalam Cekungan Kendeng, yang terletak di zona pergeseran pusat Pulau Jawa. Itu terbentuk oleh tumbukan lempeng Indo-Australia. Kondisi ini menyebabkan keberadaan banyak patahan yang masih aktif. Jalur sesar tersebut membentang dari Mojokerto, Gresik, hingga Madura dan memicu terbentuknya sesar-sesar lain. Banyaknya sesar aktif di kawasan ini menunjukkan potensi keberadaan hidrokarbon di Gresik, yang ditandai pula dengan ditemukannya semburan lumpur.

Dengan menggunakan metode geofisika, struktur bawah permukaan bumi atau struktur geologi daerah dapat diperkirakan. Metode ini mengukur parameter fisik batuan di dalam bumi di atas permukaan bumi untuk mengetahui kondisi di

bawah permukaan bumi. Salah satu metode geofisika yang tepat untuk digunakan adalah metode geolistrik *self-potential*. Metode *self-potential* merupakan teknik survei geofisika yang digunakan untuk menyelidiki potensi sumber daya alam di bawah permukaan bumi. Metode geolistrik ini tidak memerlukan injeksi arus listrik ke dalam tanah seperti metode geolistrik lainnya, tetapi menggunakan potensial alami yang dihasilkan dari massa batuan di kerak bumi. (Vandemeulebrouck, 2016). Prinsip kerja metode *self-potential* didasarkan pada pengukuran tegangan listrik alami menggunakan dua elektroda yang ditanam di permukaan tanah, kemudian dihubungkan ke multimeter dengan impedansi masukan tinggi. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya memberikan informasi yang lebih terintegrasi dan komprehensif, sehingga dapat membantu memastikan adanya potensi mineral di wilayah penelitian (Febriani & Daniyati, 2017).

Tegangan listrik alami yang dihasilkan oleh proses mekanik dan elektrokimia di bawah permukaan bumi dikenal sebagai *self-potential*. Tegangan ini adalah arus searah (DC) yang berubah lambat. Sebagai hasil dari berbagai penelitian, anomali potensial diri biasanya disebabkan oleh pergerakan air melalui media berpori. Selain itu, munculnya potensial diri juga terkait dengan proses pelapukan batuan atau mineral, perbedaan kandungan mineral dalam batuan, aktivitas biolistrik bahan organik, dan gradien tekanan dan suhu pada permukaan fluida, serta fenomena alam lainnya. (Vandemeulebrouck, 2016).

Metode *self-potential* menggunakan pot berpori, atau elektroda berpori. Pengukurannya menghasilkan perbedaan potensial alami untuk setiap jarak antar elektroda, yang ditunjukkan oleh variasi nilai potensial diri di area penelitian. Metode ini sekarang biasanya digunakan sebagai alat tambahan dalam eksplorasi

logam dasar, terutama untuk menemukan keberadaan bijih sulfida. Metode ini semakin banyak digunakan dalam beberapa dekade terakhir untuk menemukan reservoir panas bumi (Mazzini, 2018), melakukan eksplorasi air tanah, dan menemukan patahan di dekat permukaan (Vandemeulebrouck, 2016). Selain itu, analisis geokimia dan pemantauan rembesan limbah cair bawah permukaan juga dapat dilakukan dengan teknik ini (Revil et al., 2015). S. Amelinda, K., dan Santosa, B. J. (2015) melakukan penelitian sebelumnya yang melihat kondisi bawah permukaan di wilayah Bledug Kuwu. Mereka melakukan penelitian ini dengan menggunakan metode potensial diri dengan konfigurasi elektroda tetap. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif. *software* Surfer 8 digunakan untuk membuat peta kontur isopotensial selama tahap kualitatif. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa nilai potensial semakin menurun ke arah Bledug Kuwu. Nilai potensial yang rendah, atau bernilai negatif, menunjukkan bahwa area Bledug Kuwu bersifat konduktif. Untuk saat ini, analisis kuantitatif dilakukan pada tiga penampang lintang tertentu. Metode matching kurva mengumpulkan informasi tentang kedalaman dari permukaan hingga pusat sumber anomali berbentuk bola. Ini juga mengumpulkan sudut polarisasi dari sumber anomali *self-potential* pada masing-masing penampang. Selain itu, penelitian tersebut belum mempelajari *mud volcano* berskala kecil atau fenomena semburan baru yang dipengaruhi rekahan dangkal.

Sejumlah skripsi dan tesis lain yang memanfaatkan metode *self-potential*, terutama dengan konfigurasi elektroda tetap (*fixed-base*), umumnya diterapkan pada konteks hidrogeologi atau eksplorasi mineral. Meskipun penelitian tersebut efektif dalam memetakan aliran air tanah maupun mineralisasi dangkal,

penerapannya pada fenomena *mud volcano* masih sangat terbatas. Hingga saat ini belum banyak penelitian yang mengembangkan metode *self-potential* untuk memetakan pola aliran lumpur serta mengindikasikan kedalaman sumber anomali pada *mud volcano* berskala kecil yang dipengaruhi struktur rekahan mikro, termasuk di wilayah Sumberwaru. Kondisi ini menunjukkan perlunya penelitian baru yang menerapkan metode *self-potential* pada lingkungan geologi berbeda guna mengisi kekosongan tersebut (Rupiningsih, 2015).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah berhasil menerapkan metode *self-potential* untuk mengidentifikasi pola aliran fluida bawah permukaan pada sistem hidrotermal maupun *mud volcano* berskala besar. Namun demikian, masih terdapat ruang pengembangan pada penerapan metode ini untuk *mud volcano* berskala kecil yang dikontrol oleh rekahan dangkal dan memiliki sistem migrasi fluida yang lebih kompleks. Selain itu, sebagian penelitian terdahulu lebih menitikberatkan pada pemetaan pola anomali permukaan, sedangkan kajian mengenai variasi kedalaman sumber anomali pada beberapa lintasan yang berbeda dalam satu sistem *mud volcano* kecil masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melengkapi studi sebelumnya dengan pendekatan interpretasi pola anomali sekaligus estimasi kedalaman sumber anomali pada sistem *mud volcano* skala lokal. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan di lokasi semburan lumpur Desa Sumberwaru menggunakan metode *self-potential*, khususnya dalam mengidentifikasi pola aliran fluida serta memperkirakan kedalaman sumber anomali yang berkaitan dengan migrasi lumpur bawah permukaan. Metode *self-potential* dipilih karena bersifat pasif, ekonomis, serta sensitif terhadap pergerakan fluida dangkal sehingga sesuai

untuk investigasi sistem *mud volcano* skala kecil tanpa memerlukan injeksi arus listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola distribusi anomali *self-potential* di daerah semburan lumpur Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik?
2. Bagaimana interpretasi kondisi bawah permukaan berdasarkan distribusi anomali *self-potential* di daerah penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diambil dapat ditarik beberapa tujuan penelitian diantaranya sebagai berikut:

1. Untuk mengidentifikasi dan menganalisis pola distribusi anomali *self-potential* di daerah semburan lumpur.
2. Untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan berdasarkan distribusi anomali *self-potential*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi geologi bawah permukaan pada daerah semburan di Desa Sumberwaru berdasarkan metode *self-potential*.
2. Memperdalam pengetahuan ilmiah tentang fenomena semburan agar pengelolaan sumber daya alam dapat dilaksanakan secara optimal.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan di lokasi semburan lumpur Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik.
2. Metode geofisika yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *self-potential* (SP) dengan konfigurasi elektroda berjalan (*leap frog* atau *potential gradient*).
3. Pengolahan data *self-potential* dilakukan menggunakan software Ms. Excel dan Surfer13 .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mud Volcano

2.1.1 Pengertian *Mud Vulcano*

Mud volcano merupakan fenomena geologi berupa ekstrusi material lumpur, air, dan gas dari permukaan bumi melalui jalur lemah seperti rekahan atau patahan. Fenomena ini umumnya berkembang pada cekungan sedimen dengan tekanan pori tinggi serta aktivitas tektonik aktif. Material lumpur yang dikeluarkan biasanya berupa sedimen halus kaya mineral lempung yang tersuspensi dalam fluida dan sering disertai pelepasan gas, terutama metana. Pembentukan mud volcano berkaitan dengan keberadaan lapisan sedimen plastis yang mengalami tekanan berlebih (*overpressure*) akibat proses sedimentasi cepat, pembentukan gas, serta pengaruh struktur geologi. Tekanan tersebut mendorong material lumpur bergerak naik secara diapirik hingga mencapai permukaan (Mazzini, A., & Etiope, 2017).

Mud volcano dan diapirisme merupakan fenomena geologi yang umum terjadi ketika sedimen yang kaya akan fluida dan material halus naik menembus urutan litologis akibat adanya gaya apung yang dihasilkan oleh perbedaan densitas antara massa lumpur yang jenuh cairan dengan lapisan penutup (*overburden*) yang memiliki kerapatan lebih tinggi. Tekanan berlebih tersebut juga dapat timbul akibat produksi gas, terutama metana, pada kedalaman tertentu sebagai hasil aktivitas organogenik dalam sedimen jenuh air yang mengalami proses subduksi atau pengendapan cepat. Dalam beberapa dekade terakhir, struktur diapirik dan semburan lumpur telah menjadi objek penelitian penting karena berpotensi menjadi

indikator keberadaan reservoir hidrokarbon, sekaligus menimbulkan potensi bahaya akibat ekstrusi lumpur yang kuat selama kegiatan pengeboran (Mazzini, A., & Etiope, 2017).

Istilah *mud volcano* mengacu pada bentuk kerucut vulkanik yang terbentuk secara alami melalui proses geologis berupa ekstrusi sedimen cair dan fragmen halus berukuran lempung, yang mengandung campuran fluida dan material padat. Material yang umumnya terlontar berupa lumpur berbentuk bubur hasil suspensi partikel halus dalam cairan, yang dapat terdiri atas air maupun hidrokarbon. Gas yang dominan dilepaskan oleh gunung lumpur adalah metana, disertai dengan kandungan karbon dioksida dan nitrogen dalam jumlah yang lebih kecil. Pembentukan *mud volcano* umumnya terjadi akibat adanya diapir lumpur bertekanan tinggi yang menembus hingga ke permukaan bumi atau dasar laut. Fenomena ini banyak dijumpai pada wilayah dengan laju sedimentasi yang tinggi, aktivitas tektonik kompresif, serta proses pembentukan hidrokarbon di lapisan dalam bumi. Selain itu, *mud volcano* sering ditemukan di zona subduksi tektonik, baji akresi, margin pasif pada sistem delta, wilayah hidrotermal aktif, zona tumbukan lempeng, sabuk konvergen orogenik, sistem sesar aktif, dan pada sumbu antiklin, yang berfungsi sebagai jalur preferensial bagi fluida formasi dari kedalaman untuk mencapai permukaan (Hsu et al., 2018).

Istilah sistem *mud volcano* merujuk pada keseluruhan struktur tiga dimensi yang mencakup sumber lumpur atau kantong lumpur hingga zona ekstrusi di permukaan. Secara umum, *mud volcano* yang telah terdokumentasi di berbagai wilayah dunia memiliki bentuk kerucut khas dengan sudut kemiringan antara 2° hingga 20°. Melalui metode pencitraan seismik, bagian dasar serta tepi lateral dari

bangunan gunung lumpur dapat diidentifikasi, menunjukkan variasi morfologi dan struktur internal yang kompleks (Kopf et al., 2018).

Mud volcano memiliki banyak kesamaan dengan proses vulkanisme magma, baik dari segi morfologi maupun mekanisme erupsinya. Sejumlah terminologi yang digunakan dalam menjelaskan proses semburan dan endapan vulkanik juga dapat diterapkan untuk menggambarkan proses pembentukan *mud volcano*. Namun demikian, istilah-istilah yang berkaitan dengan fenomena *mud volcano* tetap diklasifikasikan secara terpisah karena memiliki karakteristik dan mekanisme geologi yang berbeda dengan vulkanisme magma (Mazzini, A., & Etiope, 2017). Kaitannya dengan penelitian ini, konsep dasar pembentukan mud volcano menjadi landasan dalam memahami pergerakan fluida bawah permukaan yang memicu terbentuknya anomali *self-potential*.

2.1.2 Mekanisme Pembentukan Mud Volcano

Mud volcano terbentuk akibat naiknya gas alam dari kedalaman menuju permukaan melalui saluran atau konduit, seperti sesar vertikal maupun mendatar, yang kemudian membawa material lumpur ke atas. Campuran material berupa lumpur, gas, fragmen batuan, serta air dan kadang garam pada daerah kering terekstrusi ke permukaan dan membentuk struktur kerucut menyerupai gunung. Proses sedimentasi pada *mud volcano* terjadi dalam skala yang relatif kecil, namun berlangsung dengan kecepatan yang tinggi akibat dinamika pergerakan fluida di bawah permukaan (Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2020).

Pembentukan *mud volcano* dipicu oleh adanya gaya endogenik, yaitu gaya yang berasal dari dalam bumi. Secara geologis, gunung lumpur memiliki kemiripan dengan diapir lumpur maupun garam. Fenomena ini merupakan hasil intrusi massa

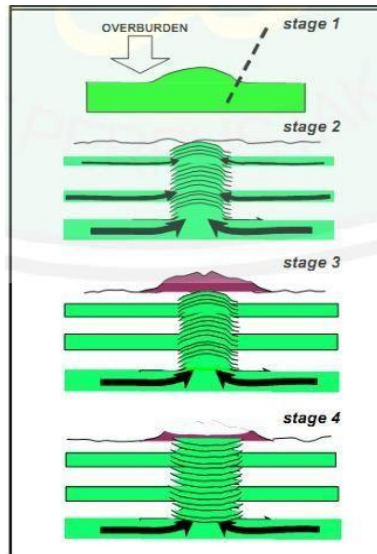
sedimen yang bersifat relatif mobil terhadap lapisan batuan di sekitarnya akibat adanya tekanan berlebih (*overpressure*) di bawah permukaan. Ketika massa lumpur tersebut berhasil menembus hingga ke permukaan, proses tersebut menghasilkan fenomena yang dikenal sebagai gunung lumpur (Mazzini et al, 2017).

Material lumpur yang keluar ke permukaan umumnya bercampur dengan air dan gas dari bawah permukaan bumi, yang mengalir melalui bidang lemah seperti patahan atau rekahan akibat adanya tekanan fluida yang tinggi. Fenomena gunung lumpur paling sering dijumpai pada jalur patahan aktif yang terletak di zona batas konvergen antar lempeng tektonik (Etiope et al, 2019). Vulkanisme lumpur umumnya melibatkan pembentukan gas secara termogenik serta proses pelepasan gas dari dalam bumi. Proses alami ini, hingga batas tertentu, dapat secara mandiri mendorong material sedimen yang terkubur di kedalaman untuk naik dan terlepas ke permukaan (Mazzini, A., & Etiope, 2017).

Meskipun kondisi geologi lokal dapat berbeda, mekanisme utama pembentukan mud volcano dan vulkanisme lumpur umumnya dipengaruhi oleh proses kompresi, baik akibat gaya tektonik maupun tingginya laju akumulasi sedimen. Kedua faktor tersebut menyebabkan terjadinya tekanan berlebih yang memicu pembentukan gas *in situ*, proses fluidisasi, serta pencairan material sedimen dibawah permukaan (Mazzini et al, 2017).

Mekanisme pembentukan *mud volcano* dikendalikan oleh tekanan fluida yang tinggi pada lapisan sedimen plastis serta keberadaan jalur struktural seperti patahan dan rekahan. Tekanan pori yang terbentuk akibat akumulasi gas dan fluida mendorong material lumpur bergerak naik secara diapirik hingga mencapai

permukaan. Proses ini sering diperkuat oleh aktivitas tektonik yang meningkatkan permeabilitas batuan dan membuka jalur migrasi fluida (Mazzini et al, 2017).



Gambar 2. 1 Proses Mud Diapir menjadi *mud volcano* (Mazzini et al, 2017)

Gambar 2.1 menunjukkan tahapan evolusi mud diapir hingga membentuk *mud volcano* di permukaan. Proses ini diawali oleh akumulasi tekanan fluida dan gas pada lapisan sedimen plastis di kedalaman, yang kemudian bergerak naik melalui zona lemah seperti rekahan atau patahan. Mekanisme ini mendukung asumsi pergerakan fluida bawah permukaan berperan penting dalam pembentukan anomali *self-potential* akibat efek elektrokinetik. Perbedaan morfologi gunung lumpur berkaitan dengan perbedaan pada tahap pembentukannya. Tipe yang dimaksud adalah:

1. Classic, dengan bentuk kerucut besar gunung dengan kawah utama dan stratifikasi aliran lumpur yang mencerminkan periode erupsi
2. Lumpur lembab dan panas dengan lajuran tonjolan keluar (*sticky mud neck protrusion*)
3. *Depresi synclinal*
4. Kawah danau yang berlumpur (*swamp like area*)

2.1.3 Material *Mud volcano*

Mud volcano tersusun atas tiga komponen utama, yaitu breksi lumpur, air, dan gas. Perbandingan kuantitatif maupun sifat kualitatif dari ketiga komponen tersebut bervariasi tergantung pada kondisi geologi serta proses yang berlangsung di lokasi terjadinya semburan. Breksi lumpur umumnya tersusun dalam matriks kaya mineral lempung, yang menjadi elemen utama pembentuk fitur *mud volcano*. Sumber lumpur biasanya berasal dari satu lapisan pembawa tertentu, sehingga memiliki ciri geokimia khas yang merefleksikan kondisi serta proses diagenesis atau perubahan bentuk tanah liat. Fragmen klastik terbentuk dari lapisan batuan yang dilalui material lumpur saat bergerak ke permukaan, menghasilkan variasi litologi, ukuran, dan bentuk (Kopf et al, 2018).

Air yang terlibat dalam proses ekstrusi *mud volcano* umumnya berasal dari sumber air dangkal maupun dalam, yang terbentuk secara tidak langsung melalui berbagai mekanisme geologi (Kopf et al, 2018). Air yang terkandung dalam breksil lumpur biasanya bercampur dengan air dari tubuh gunung lumpur, menghasilkan aliran dengan tingkat viskositas yang bervariasi. Dalam beberapa kasus, letusan *mud volcano* yang bersifat eksplosif dapat memuntahkan material semburan dalam volume besar, mencapai hingga sekitar 5 juta meter kubik (Kopf et al., 2018).

Suhu material erupsi pada gunung lumpur cenderung lebih rendah dibandingkan magma vulkanik, meskipun pada wilayah vulkanik tertentu dapat mencapai temperatur yang lebih tinggi dari rata-rata. Material yang dikeluarkan biasanya berupa campuran partikel halus dalam cairan yang dapat bersifat asam atau asin serta mengandung fluida hidrokarbon. Komposisi gas yang dilepaskan

terdiri atas sekitar 86% metana, sedangkan sisanya berupa karbon dioksida, hidrogen sulfida, dan nitrogen dalam jumlah lebih kecil (Mazzini et al., 2017).

2.1.4 Faktor Pemicu Aktivitas *Mud Volcano*

Beberapa *mud volcano* menunjukkan aktivitas yang berlangsung secara kontinu, dengan variasi volume dan intensitas letusan yang berbeda-beda (Mazzini, A., & Etiope, 2017). Meskipun siklus astronomi dapat menjelaskan sebagian variasi yang bersifat stabil, letusan yang jarang dan tidak beraturan umumnya dipicu oleh aktivitas seismik yang terjadi secara mendadak. Apabila hiposenter gempa berada pada lapisan pembawa massa lumpur, getaran dapat menyebabkan pencairan sedimen, pembentukan patahan, serta peningkatan produksi dan pelepasan gas. Kondisi ini dapat memicu erupsi lumpur secara tiba-tiba, bahkan pada *mud volcano* yang sebelumnya tidak aktif (Etiope et al., 2019).

Ada pula yang menyatakan bahwa pemicu *mud volcano* berakar pada gaya endogenik yang berasal dari dalam perut bumi. Secara konseptual, *mud volcano* identik dengan diapir lumpur/garam. Ini merupakan intrusi massa yang *relatif mobile* (bergerak/berpindah) di antara strata (lapisan/tingkatan) di sekitarnya, yang menimbulkan daya tampung (*buoyancy*) serta tekanan berlebih (*oversaturated*); begitu massa intrusif mencapai permukaan, fenomena tersebut dikenal sebagai gunung lumpur (Wiranata, 2018). Faktor alam penyebab keluarnya lumpur menurut (Mazzini, A., & Etiope, 2017) selalu dikaitkan dengan komposisi *mud volcano* yang mencakup segala unsur yang menyusunnya. Material yang dikeluarkan perut Bumi meliputi massa padat, plastis, cair, serta gas. *Mud volcano* terbentuk karena adanya lapisan bubur kental yang bercampur dengan kantong-kantong gas metana; tekanan berlebih yang terperangkap di bawah permukaan berupaya meluncur ke permukaan

bumi. Jalur pelarian lumpur tersebut berupa bukaan atau retakan yang muncul akibat proses tektonik, pembentukan patahan, atau struktur antiklin.

Potensi bahaya dari aktivitas letusan *mud volcano* meliputi pengusiran material lumpur (*expulsion*), emisi gas beracun, serta kemungkinan terjadinya pembakaran spontan gas. Fenomena ini dapat muncul secara tiba-tiba tanpa adanya tanda peringatan, dan umumnya hanya berdampak pada wilayah di sekitar pusat gunung lumpur, sehingga tergolong sebagai ancaman lokal. Namun, tidak semua letusan *mud volcano* bersifat berbahaya.

2.2 Klasifikasi *Mud volcano*

Mud volcano dapat dikategorikan menjadi tiga jenis, yaitu *mud volcano* aktif, mati, dan terkubur, serta semburan lumpur yang berperan dalam proses pembentukan daratan (*land-building*). Aktivitas erupsinya dapat berlangsung secara eksplosif maupun efusif, baik pada lingkungan darat (*subaerial*) maupun laut (*subaqueous*). Gas hidrokarbon umumnya ikut terlepas selama erupsi dan dapat menyala secara spontan. Di Azerbaijan, fenomena ini bahkan menghasilkan awan panas yang mencapai ketinggian lebih dari satu kilometer (Mazzini et al., 2017).

Mud volcano aktif ditandai oleh periode dorman (tidur) yang singkat, sedangkan *mud volcano* dorman memiliki fase diam yang lebih panjang tanpa adanya aktivitas rembesan atau deformasi di permukaan. Rembesan lumpur, cairan, dan gas merupakan aktivitas umum pada banyak gunung lumpur, yang berperan dalam pembentukan gryphon, kerucut lumpur, salse (genangan air dengan rembesan gas), mata air gas, nyala api alami, dan endapan hidrokarbon. Umumnya, aktivitas rembesan bersifat efusif, meskipun peristiwa eksplosif berskala kecil juga dapat terjadi (Mazzini et al., 2017).

Mazzini, A., & Etiope, (2017) mengembangkan sistem klasifikasi *mud volcano* berdasarkan karakter aktivitas dan ekspresi morfologinya. Berdasarkan sistem ini, gunung lumpur dibedakan menjadi tiga tipe utam, yaitu:

1. Tipe Lokbatan

Memiliki karakter aktivitas yang eksplosif, disertai munculnya nyala api akibat pembakaran gas yang terlepas. Breksi lumpur yang dikeluarkan umumnya memiliki viskositas rendah.

2. Tipe Chikishlyar

Menunjukkan aktivitas yang tenang, lemah, dan berlangsung terus-menerus. Gas dilepaskan secara konstan dengan intensitas yang hampir seragam. Tipe ini biasanya memiliki banyak ventilasi yang mengeluarkan lumpur dan air dalam jumlah kecil. Aktivitasnya dipengaruhi oleh keberadaan lapisan jenuh air pada bagian atas sedimen. Secara morfologi, tipe ini membentuk kubah rendah atau datar, bahkan kadang berupa depresi berbentuk piring yang tergenang air. Fenomena ini banyak ditemukan di Semenanjung Kerch, Ukraina.

3. Tipe Schugin

Merupakan tipe transisi, di mana periode letusan kuat diikuti oleh fase aktivitas lemah. Tipe ini memiliki sebaran paling luas di dunia dan menunjukkan variasi bentuk morfologi, meskipun umumnya membentuk kawah komposit.

Tidak terdapat hubungan langsung antara tipe gunung lumpur dengan pola persebarannya. Ketiga tipe *mud volcano* tersebut dapat dijumpai pada berbagai zona, tergantung pada kondisi litologi setempat serta konfigurasi tektonik dari sedimen asalnya. Menurut Ivanov et al., (1996) dalam Mazzini & Etiope (2017), *mud volcano* yang berada di dasar laut relatif sulit untuk diklasifikasikan. Namun,

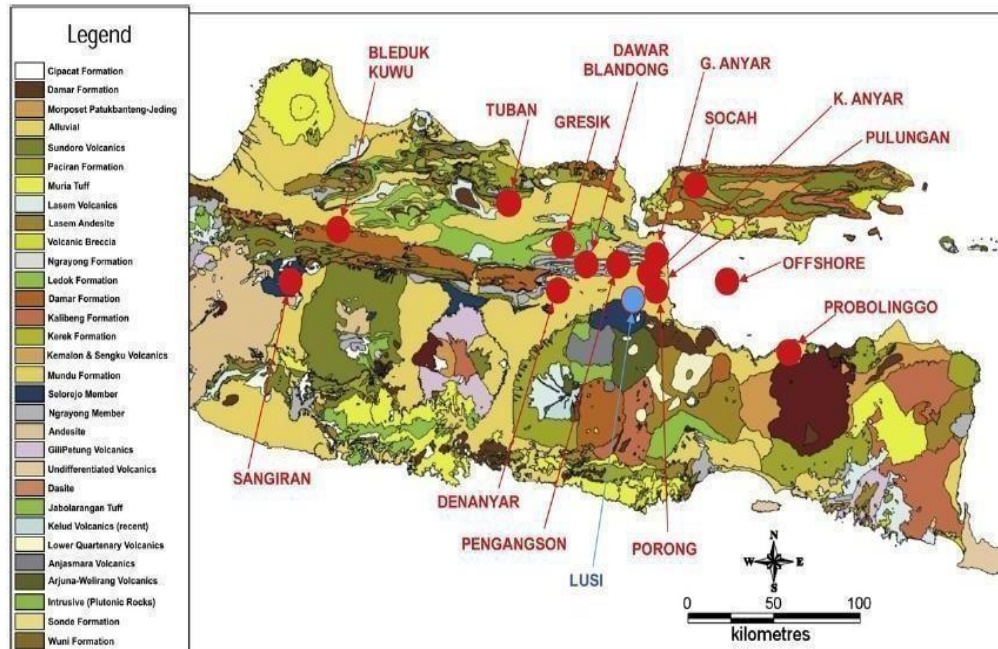
beberapa asumsi dapat dibuat melalui pengamatan morfologinya, seperti bentuk tubuh, struktur kawah, dan pola aliran lumpur di permukaan. Aktivitas gunung lumpur bawah laut dapat diperkirakan berdasarkan beberapa indikator pada puncaknya, antara lain adanya emisi fluida berupa gelembung gas atau rembesan air, keberadaan indikator biologis, nilai gradien panas bumi yang tinggi, serta perbedaan sifat antara breksi lumpur berpori dan air laut (Etiope et al., 2019).

2.3 Persebaran *Mud Volcano*

Di Pulau Jawa tercatat ada empat belas *mud volcano*, dan dua belas di antaranya berada di Jawa Timur. Lima titiknya tersebar di sekitar patahan Watu Kosek. *Mud volcano* yang terletak pada patahan tersebut meliputi Lumpur Sidoarjo, Porong, Pulungan, Kalang Anyar, Gunung Anyar, dan Socah. Dari kelima titik itu, yang paling berpotensi menimbulkan bencana ialah Lumpur Sidoarjo dan *mud volcano* Gunung Anyar di Surabaya, karena keduanya berada di kawasan pemukiman yang padat penduduk. Untuk menilai seberapa besar risiko bencana, penting melakukan karakterisasi pada patahan Watu Kosek serta *mud volcano* di Gunung Anyar, Surabaya (Mazzini et al., 2018).

Beragam *mud volcano* yang ada di wilayah Jawa Timur antara lain Bledug Kuwu (Grobogan), Sangiran (Sragen), Wringin Anom (perbatasan Gresik–Mojokerto), Kalang Anyar dan Pulungan (Sedati, Sidoarjo), Gunung Anyar (Surabaya), serta Geger (Bangkalan, Madura), dan masih banyak lagi. Namun, di antara semua itu, yang masih aktif menyembur lumpur dalam jumlah cukup besar hingga kini hanyalah Bledug Kuwu, yang terletak di Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Gunung Lumpur Kalang Anyar, Gunung Anyar, dan Geger masih memancarkan air serta lumpur, meskipun dalam volume yang terbatas,

sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut. Sementara itu, gunung lumpur lain contohnya yang ada di Sangiran dan Pulungan hanya mengeluarkan gas yang tercampur air (Mazzini et al, 2018).



Gambar 2. 2 *Mud volcano* yang Terdapat di Pulau Jawa Bagian Timur dan Madura (Mazzini et al, 2018).

Gambar 2.2 memperlihatkan persebaran *mud volcano* di wilayah Jawa Timur yang sebagian besar berasosiasi dengan jalur sesar aktif dan cekungan sedimen. Keberadaan *mud volcano* di wilayah Wringinanom menunjukkan keterkaitan antara aktivitas tektonik dan migrasi fluida bawah permukaan, yang menjadi dasar pemilihan metode *self-potential* dalam penelitian ini.

2.4 *Self-potential* (SP)

Self-potential (SP) atau potensial diri merupakan fenomena kelistrikan alami yang terjadi di bawah permukaan bumi akibat berbagai proses fisik, kimia, dan geologi. Potensial alami tersebut menghasilkan perbedaan tegangan listrik yang dapat diukur pada permukaan tanah tanpa memerlukan sumber arus listrik buatan.

Oleh karena itu, *self-potential* termasuk ke dalam metode geofisika pasif yang memanfaatkan medan listrik alami yang telah ada di dalam bumi (Telford et al., 1990).

Fenomena *self-potential* pertama kali diamati pada endapan mineral sulfida yang menunjukkan adanya perbedaan potensial listrik alami di sekitar zona mineralisasi. Seiring perkembangan ilmu geofisika, fenomena *self-potential* tidak hanya dimanfaatkan dalam eksplorasi mineral, tetapi juga digunakan untuk mengidentifikasi aliran fluida bawah permukaan, aktivitas panas bumi, kondisi lingkungan, aktivitas vulkanik, serta berbagai fenomena geologi lainnya (Reynolds, 2011). Nilai *self-potential* yang terukur pada permukaan bumi dapat berupa nilai positif maupun negatif. Perbedaan nilai tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti sifat fisik batuan, kandungan mineral, pergerakan fluida bawah permukaan, serta kondisi geologi daerah penelitian. Adanya variasi nilai potensial tersebut menyebabkan terbentuknya anomali *self-potential* yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan (Lowrie, 2007).

Secara umum, sumber anomali *self-potential* dapat berasal dari proses elektrokinetik, elektrokimia, termoelektrik, dan bioelektrik. Pada penelitian yang berkaitan dengan sistem aliran fluida bawah permukaan, mekanisme elektrokinetik merupakan sumber anomali yang paling dominan. Mekanisme ini terjadi akibat pergerakan fluida melalui pori-pori atau rekahan batuan yang menghasilkan perbedaan potensial listrik alami sehingga dapat terdeteksi di permukaan (Corwin, 1990). Data *self-potential* yang diperoleh dari pengukuran lapangan selanjutnya dapat diolah menjadi peta kontur isopotensial untuk menggambarkan distribusi anomali potensial listrik pada daerah penelitian. Pola sebaran anomali tersebut

digunakan sebagai dasar dalam interpretasi kondisi bawah permukaan dan identifikasi zona yang diduga berkaitan dengan aktivitas fluida bawah permukaan (Telford et al., 1990).

2.5 Metode *Self-potential* (SP)

Metode *self-potential* (potensial diri) merupakan salah satu teknik dalam survei geofisika metode geolistrik. Secara umum, metode geolistrik terbagi menjadi tiga jenis survei, yaitu resistivitas, induksi potensial, dan *self-potential*. Metode *self-potential* memanfaatkan potensial alami yang terdapat di bawah permukaan pada area penelitian, sehingga tergolong metode pasif karena tidak memerlukan injeksi arus listrik ke dalam bumi, tetapi memanfaatkan medan listrik alami yang terdapat di dalam bumi. Anomali potensial yang terukur berasal dari proses alami seperti pergerakan fluida bawah permukaan, perbedaan konsentrasi ion, serta proses elektrokimia yang terjadi pada batuan dan fluida. Oleh karena itu, metode *self-potential* banyak digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan fluida bawah permukaan, zona rekahan, maupun aktivitas geologi lainnya. Metode *self-potential* merupakan metode geofisika pasif yang sederhana dan ekonomis, di mana perbedaan potensial alami bumi diukur antara dua elektroda yang dipasang pada permukaan tanah (Vandemeulebrouck et al., 2016). Metode *self-potential* (SP) adalah salah satu metode geofisika yang bekerja berdasarkan prinsip pengukuran tegangan alami statis (*static natural voltage*) pada sejumlah titik di permukaan tanah (Revil et al., 2017). Nilai anomali *self-Potential* dapat berupa nilai positif maupun negatif terhadap titik referensi pengukuran. Nilai negatif menunjukkan bahwa potensial listrik pada lokasi tersebut lebih rendah dibandingkan titik referensi, sedangkan nilai positif menunjukkan potensial yang lebih tinggi

dibandingkan titik referensi. Perbedaan nilai tersebut mencerminkan variasi kondisi fisik bawah permukaan yang dipengaruhi oleh distribusi fluida dan sifat batuan di daerah penelitian.

Pengukuran *self-Potential* dilakukan menggunakan sepasang elektroda non-polarisasi yang ditanam pada permukaan tanah. Elektroda berfungsi menangkap potensial listrik alami yang terdapat di dalam bumi. Perbedaan potensial antara dua titik pengukuran kemudian direkam menggunakan voltmeter dan dinyatakan dalam satuan milivolt (mV). Nilai yang diperoleh merupakan beda potensial relatif antara titik pengukuran dan titik referensi. Potensial yang terukur pada metode ini dapat berkisar dari kurang dari satu milivolt (mV) hingga lebih dari satu volt. Tanda positif (+) atau negatif (-) pada nilai potensial menjadi faktor penting dalam interpretasi anomali *self-potential*. Metode ini umumnya efektif untuk eksplorasi dangkal dengan kedalaman sekitar 60–100 meter, sedangkan pada kedalaman yang melebihi batas tersebut, akurasi data cenderung menurun (Reynolds, 1997 dalam Nuha, 2018).

Secara tradisional, metode *self-potential* digunakan dalam industri minyak untuk eksplorasi mineral, dan kini telah berkembang dalam penerapannya pada studi hidrogeologi serta rekayasa air (Prabowo et al, 2019). *Self-potential* terbentuk melalui dua mekanisme utama, yaitu mekanik dan elektrokimia. Pada mekanisme mekanik dihasilkan potensial elektrokinetik (*streaming potential*), sedangkan pada mekanisme elektrokimia muncul potensial difusi (*liquid junction*), potensial serpih (*Nernst*), dan potensial mineralisasi (Revil et al, 2017). Kedua proses ini berkaitan erat dengan pelapukan mineral, variasi sifat batuan, aktivitas biolistrik bahan organik, proses korosi, perbedaan tekanan dan suhu fluida, serta fenomena alami

sejenis (Amelinda et al., 2016). Eksplorasi panas bumi berkaitan erat dengan pemahaman pola aliran air tanah melalui studi aliran fluida. Pola aliran tersebut menjadi dasar untuk mengetahui sifat kelistrikan sistem panas bumi, salah satunya dengan menggunakan metode *self-potential* (Vandemeulebrouck et al, 2016).

2.5.1 Potensial Elektrokinetik (*Streaming Potential*)

Salah satu sumber potensial alami adalah potensial elektrokinetik (*electrokinetic potential*) atau streaming potential, yang muncul ketika aliran air tanah melewati media berpori. Karena itu, metode *self-potential* dapat dimanfaatkan dalam studi air tanah (*groundwater investigation*) serta dalam bidang geochemical engineering untuk meneliti proses perembesan air tanah (Soueid Ahmed et al., 2016). Potensial elektrokinetik bernilai kurang dari 10 mV dibentuk sebagai akibat adanya sebuah elektrolit yang mengalir melalui medium berpori atau kapiler. Potensial ini dapat diamati ketika larutan resistivitas elektrik ρ dan viskositas η terdesak melalui kapiler atau medium berpori. Besarnya resultan beda potensial antara ujung penerimanya adalah (Revil et al, 2017):

$$Ek = \frac{\zeta \Delta P k \rho}{4\pi\eta} \quad (2.1)$$

Dimana:

k =Konstanta dielektrik dari elektrolit (farad/m)

ρ =Resistivitas dari elektrolit (Ωm)

η = Viskositas dinamik dari elektrolit (Ns/m^2)

ΔP = Perbedaan tekanan (N/m^2)

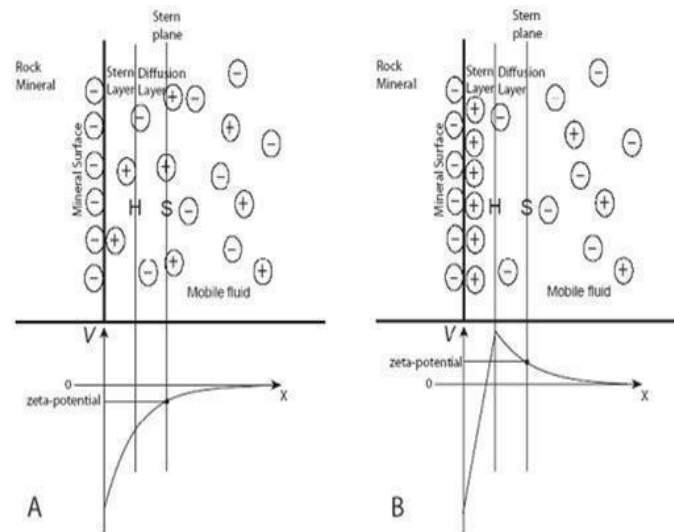
ζ = Potensial zeta (potensial yang muncul pada lapisan padat dan cair) (Volt)

Pada saat fluida mengalir melalui media berpori, terjadi pertukaran ion antara fluida dan partikel tanah yang menimbulkan anomali streaming potential. Nilai *self-potential* berkaitan dengan perbedaan gradien tekanan (*piezometrik head*), konduktivitas dan viskositas fluida, serta potensial listrik pada lapisan ganda antara fase padat dan cair. Kondisi ini menghasilkan efek anomali *streaming potential* atau potensial elektrokinetik (PE) dengan nilai relatif kecil, sehingga diperlukan alat ukur *self-potential* dengan sensitivitas tinggi dalam satuan milivolt (mV). Tegangan yang terukur di permukaan akibat PE bawah tanah dapat mencerminkan pergerakan air bawah permukaan di lokasi pengukuran (Soueid Ahmed et al., 2016).

Potensial elektrokinetik (PE) yang ditunjukkan pada Gambar (2.10) menggambarkan model *Electrical Double Layer* (EDL). Lapisan ganda listrik ini terbentuk pada batas antara fase padat dan cair, di mana karakteristiknya ditentukan oleh sifat elektrokinetik dari material padat tersebut. Konsep teoritis EDL pertama kali diperkenalkan oleh Helmholtz pada tahun 1879, yang menjelaskan bahwa lapisan diam (*immobile layer*) mampu menyerap ion-ion dari fase cair (Soueid Ahmed et al., 2016).

Selanjutnya, teori EDL disempurnakan oleh Gouy-Chapman dengan memperkenalkan dua bagian utama, yaitu stern layer dan diffuse layer (Revil et al., 2017). *Stern layer* merupakan lapisan kaku yang menyerap ion-ion dari *diffuse layer*, sedangkan *diffuse layer* merupakan lapisan yang bersifat dinamis akibat adanya aliran fluida. Potensial listrik yang timbul dari EDL dikenal sebagai zeta potensial (ζ). Keberadaan PE di bawah permukaan dapat teramati di permukaan bumi sebagai anomali *self-potential* (SP). Anomali *self-potential* atau *streaming*

potential ini menjadi indikator adanya pergerakan atau perembesan fluida air di dalam medium bawah permukaan (Soueid Ahmed et al., 2016).



Gambar 2. 3Potensial Elektrokinetik (Fagerlund, F., & Heinson, 2015)

2.5.2 Potensial Difusi (*Liquid Junction*)

Potensial difusi akan timbul ketika ada dua elektroda metal dimasukkan kedalam dua larutan yang memiliki konsentrasi berbeda. Adanya konsentrasi elektrolit dalam tanah yang bervariasi secara lokal (konsentrasinya berbeda) mengakibatkan perbedaan mobilitas anion dan kation sehingga muncul perbedaan potensial. Potensial ini disebut sebagai potensial difusi (*liquid junction* atau *diffusion potential*). Besarnya potensial ini adalah (Fagerlund, F., & Heinson, 2015):

$$E_d = \frac{R\theta}{Fn} (I_a - I_c) \ln \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \quad (2.2)$$

dimana:

I_a = Mobilitas anion (+ve)

I_c = Mobilitas kation (-ve)

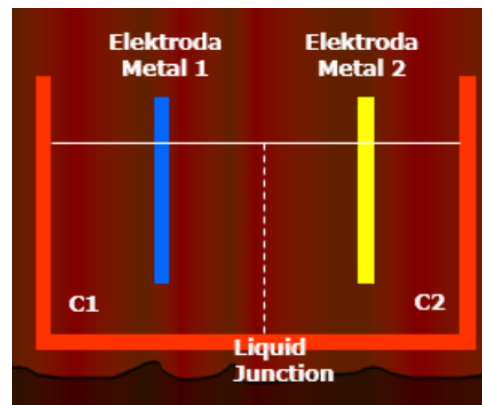
R = Konstanta gas (8,31 J/ °C)

θ = Temperatur absolut (K)

N = Ion valensi

F =Konstanta Faraday ($9,64 \times 10^4 \text{Cmol}^{-1}$),

C2 =Konsentrasi larutan (mol)



Gambar 2. 4 Ilustrasi kejadian potensial difusi

2.5.3 Potensial Lempung (*Nernst Potential*)

Potensial ini ditemukan pada pola lapisan dengan keadaan muatannya minus (-) atau saat dua elektroda identik dimasukkan ke dalam suatu elektrolit homogen yang memiliki konsentrasi yang berbeda. Besarnya potensial ini diberikan oleh persamaan potensial difusi dengan syarat bahwa $I_a = I_c$ (Fagerlund, F., & Heinson, 2015):

$$E_s = \frac{R\theta}{Fn} \ln \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \quad (2.3)$$

Dimana:

E_s =Beda Potensial Lempung (millivolt) R =Konstanta gas umum

θ =Suhu mutlak

F =Konstanta Faraday ($9,64 \times 10^4 \text{Cmol}^{-1}$)

N =Valensi

C1, C2 =Konsentrasi larutan homogen

2.5.4 Potensial Mineralisasi

Ketika dua logam dicelupkan ke dalam larutan homogen, akan muncul perbedaan potensial pada masing-masing logam. Perbedaan potensial antara kedua elektroda ini searah dengan potensial diri statis dan dikenal sebagai potensial kontak elektrolit. Di daerah yang kaya akan mineral, potensial kontak elektrolit dan potensial elektrokimia sering muncul dan dapat terukur di permukaan tempat mineral tersebut berada. Kedua proses ini kemudian dikenal sebagai potensial mineralisasi. Namun, potensial mineralisasi tidak dapat secara langsung merepresentasikan potensial elektrokimia awal. Kehadiran logam konduktor dengan konsentrasi tinggi menjadi faktor penting dalam pembentukannya, meskipun mekanisme pastinya belum sepenuhnya jelas (Fagerlund, F., & Heinson, 2015).

Besarnya *self-potential* (SP) statis dipengaruhi oleh suhu, di mana efek panas dapat disetarakan dengan perbedaan tekanan streaming potential, meskipun pengaruhnya relatif kecil. Korosi pada logam juga menjadi salah satu sumber lokal potensial elektrokimia (Fagerlund, F., & Heinson, 2015). Background potential terbentuk akibat aliran fluida, aktivitas biolistrik pada tumbuhan, serta perbedaan konsentrasi elektrolit dalam air tanah dan aktivitas geokimia lainnya. Amplitudo yang dihasilkan bervariasi, namun umumnya bernilai kurang dari 100 mV. Berdasarkan pengukuran dengan interval beberapa ribu meter, nilai potensial cenderung bergerak mendekati nol, atau berubah dari positif ke negatif. Besarnya nilai background potential dipengaruhi oleh kondisi geologi di bawah permukaan (Fagerlund, F., & Heinson, 2015).

Sedangkan *background potential* memiliki beberapa karakteristik gradien regional. Pertama, gradien potensial hasil pengukuran menunjukkan nilai sekitar 1 milivolt per 3.050 meter dengan cakupan hanya beberapa mil dan dapat bernilai positif maupun negatif. Kondisi ini diduga disebabkan oleh perubahan difusi serta potensial listrik pada air tanah. Nilai terukur dapat berubah secara cepat dan acak pada garis dasar (*baseline shift*) dari *background potential*. Gradien regional kedua memiliki besar yang relatif sama, namun berkaitan dengan kondisi topografi, di mana nilai potensial yang terukur umumnya negatif di daerah puncak, kemungkinan akibat adanya aliran potensial (Fagerlund, F., & Heinson, 2015).

Gradien potensial memicu terjadinya proses *electrofiltration*, yaitu proses alami yang nilainya meningkat searah dengan aliran fluida. Hal ini telah dibuktikan melalui percobaan laboratorium, di mana potensial elektrokinetik (PE) yang dihasilkan dari aliran air melalui media berpori menunjukkan hubungan linier atau sebanding dengan kecepatan aliran menurut hukum Darcy, gradien tekanan, serta komposisi cairan (Revil et al., 2017).

2.5.5 Dasar Fisika Terbentuknya *Self-potential*

Self-potential adalah tegangan listrik alami yang muncul di permukaan bumi akibat proses yang terjadi di bawah permukaan tanpa adanya injeksi arus listrik dari luar. Metode ini disebut metode pasif karena hanya merekam tegangan alami yang sudah terbentuk di dalam sistem geologi (Revil et al., 2017). Secara sederhana, *self-potential* terbentuk karena adanya pergerakan fluida yang mengandung ion (muatan listrik) di dalam tanah atau batuan berpori. Ketika fluida tersebut bergerak akibat perbedaan tekanan, ion-ion di dalamnya ikut berpindah sehingga terjadi pemisahan

muatan listrik. Pemisahan muatan ini menghasilkan medan listrik alami yang dapat diukur di permukaan sebagai anomali *self-potential* (Soueid Ahmed et al., 2016).

Pada skala mikroskopis, permukaan butir mineral memiliki muatan listrik alami yang membentuk lapisan yang disebut *electrical double layer*. Ketika fluida mengalir melalui pori-pori batuan, sebagian muatan pada lapisan ini ikut terbawa aliran. Pergerakan muatan tersebut menyebabkan terbentuknya beda potensial antara satu titik dengan titik lainnya (Revil et al., 2017). Dalam sistem *mud volcano*, tekanan fluida di bawah permukaan relatif tinggi dan terjadi migrasi lumpur melalui rekahan atau patahan. Karena fluida lumpur mengandung ion, maka pergerakan tersebut akan menghasilkan distribusi muatan yang tidak merata. Ketidakseimbangan inilah yang menimbulkan anomali *self-potential* di permukaan (Soueid Ahmed et al., 2016). Beda potensial ini dapat diketahui dengan menanam dua elektroda pada dua titik berbeda di permukaan tanah. Setiap elektroda merekam nilai potensial alami di titik tersebut, dan alat ukur menghitung selisihnya. Nilai selisih inilah yang disebut sebagai *self-potential* (Revil et al., 2017).

2.5.6 Prinsip Estimasi Kedalaman Sumber Anomali *Self-potential*

Estimasi kedalaman sumber anomali *self-potential* didasarkan pada hubungan antara bentuk anomali yang terukur di permukaan dengan posisi sumber di bawah permukaan. Secara umum, medan potensial listrik yang berasal dari suatu sumber akan menyebar ke segala arah sebelum mencapai permukaan. Jika sumber berada pada kedalaman dangkal, maka anomali yang muncul di permukaan cenderung lebih sempit dan memiliki perubahan nilai yang lebih tajam. Sebaliknya, jika sumber berada lebih dalam, maka pola anomali akan tampak lebih lebar dan

landai karena medan potensial mengalami penyebaran yang lebih luas sebelum mencapai permukaan (Revil et al., 2017).

Dalam interpretasi geofisika, model sederhana seperti model sumber berbentuk bola sering digunakan sebagai pendekatan untuk merepresentasikan sumber anomali yang terlokalisasi. Model ini dipilih karena mampu menggambarkan pola anomali yang relatif simetris terhadap pusat sumber. Dengan membandingkan kurva hasil pengukuran lapangan dengan kurva teoritis model tersebut (metode *curve matching*), dapat diperkirakan kedalaman pusat sumber anomali serta jaraknya secara horizontal (Revil et al., 2017). Pada sistem *mud volcano*, variasi kedalaman sumber anomali yang diperoleh dari interpretasi menunjukkan bahwa kondisi bawah permukaan tidak homogen. Fluida lumpur dapat bermigrasi melalui beberapa jalur rekahan dengan kedalaman yang berbeda-beda. Variasi tekanan fluida, permeabilitas batuan, serta struktur geologi setempat menyebabkan posisi sumber anomali tidak seragam. Oleh karena itu, perbedaan kedalaman yang diperoleh pada setiap lintasan merupakan representasi dari kompleksitas sistem migrasi fluida bawah permukaan (Soueid Ahmed et al., 2016).

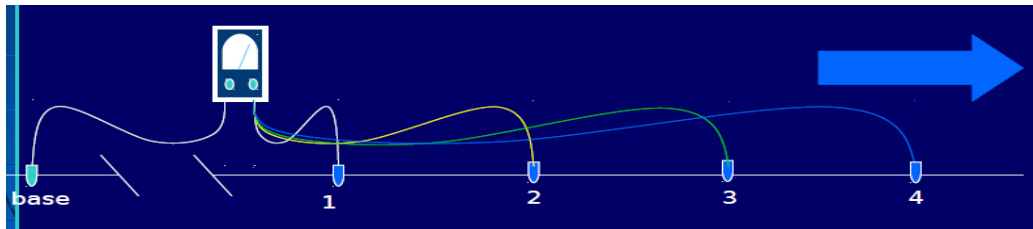
2.6 Konfigurasi Pengambilan Data Metode *Self-potential*

Dalam metode *self-potential*, terdapat dua teknik utama dalam proses pengambilan data, yaitu (Nuha, 2018):

2.6.1 Konfigurasi *Fixed Base*

Pengukuran dengan konfigurasi *fixed base*, atau dikenal juga sebagai konfigurasi potential amplitude (elektroda tetap), dilakukan dengan menempatkan satu elektroda porous pot secara tetap pada titik referensi, sementara elektroda lainnya digerakkan secara bertahap pada interval tertentu mengikuti lintasan

pengukuran. Keunggulan konfigurasi ini adalah hasil pengukuran potensial bersifat kontinu terhadap titik tetapnya, sehingga tidak menimbulkan kesalahan nol (*zero error*) antara kedua elektroda. Namun, kekurangannya terletak pada penggunaan kabel yang relatif panjang (Telford, 1990 dalam Nuha, 2018).

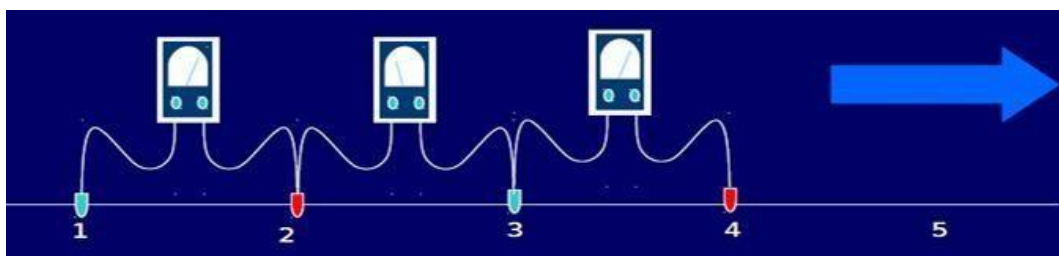


Gambar 2. 5 Ilustrasi Pengambilan Data Potensial dengan Menggunakan Konfigurasi *Fixed Base* (Slater & Binley, 2016)

Pada konfigurasi ini, kabel yang digunakan cenderung panjang karena satu elektroda ditempatkan tetap pada titik referensi, sementara elektroda lainnya berpindah hingga titik pengukuran terjauh. Oleh sebab itu, konfigurasi ini jarang digunakan pada area dengan cakupan pengambilan data potensial yang luas.

2.6.2 Konfigurasi *Leap Frog*

Konfigurasi *leap frog* dilakukan dengan menggunakan minimal dua elektroda porous pot, dan dikenal juga dengan sebutan konfigurasi potential gradient. Skema pengambilan data menggunakan konfigurasi ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 6 Ilustrasi Pengambilan Data Potensial dengan Menggunakan Konfigurasi *Leap Frog* (Slater & Binley, 2016)

Berdasarkan gambar tersebut, kedua elektroda porous pot digerakkan sepanjang lintasan dengan interval tertentu. Elektroda yang berada di belakang dipindahkan ke depan setiap satu interval, sedangkan elektroda di depan menempati titik ukur berikutnya. Keunggulan konfigurasi ini adalah penggunaan kabel yang lebih pendek dibandingkan konfigurasi *fixed base*. Namun, kekurangannya yaitu kesalahan nol (*zero error*) dapat terakumulasi pada setiap interval pengukuran. Masalah ini dapat diminimalkan dengan memeriksa elektroda porous pot secara berkala setiap 300-400 meter atau dengan melakukan pembalikan kutub setiap kali berpindah titik ukur (Telford, 1990 dalam Nuha, 2018).

Dalam konfigurasi ini, masing-masing elektroda memiliki peran yang berbeda namun saling melengkapi. Elektroda yang berada pada posisi awal berfungsi sebagai titik referensi sementara, sedangkan elektroda yang dipindahkan ke depan berfungsi sebagai titik ukur berikutnya. Beda potensial antara kedua elektroda tersebut direkam menggunakan multimeter dan dicatat sebagai nilai *self-potential* pada interval jarak tertentu. Setelah satu pengukuran selesai, elektroda yang sebelumnya berada di belakang dipindahkan ke depan sehingga membentuk profil potensial yang kontinu sepanjang lintasan. Penggunaan elektroda porous pot non-polarisasi bertujuan untuk menjaga kestabilan pembacaan dengan meminimalkan terbentuknya potensial tambahan akibat reaksi elektrokimia, sehingga nilai yang terukur lebih merepresentasikan medan listrik alami dari bawah permukaan.

2.6.3 Fungsi Elektroda dalam Pengambilan Data *Self-potential*

Dalam metode *self-potential*, elektroda berfungsi untuk menangkap tegangan listrik alami yang terdapat di dalam tanah. Elektroda yang digunakan

adalah elektroda non-polarisasi, yaitu elektroda yang dirancang agar tidak menghasilkan tegangan tambahan dari reaksi kimia pada elektroda itu sendiri (Slater & Binley, 2016). Elektroda porous pot terdiri atas logam konduktor (umumnya tembaga) yang direndam dalam larutan jenuh CuSO_4 dan ditempatkan dalam wadah berpori. Larutan jenuh ini menjaga kestabilan reaksi elektrokimia sehingga tegangan yang terukur terutama berasal dari tanah, bukan dari elektroda (Slater & Binley, 2016).

Pada konfigurasi *leap frog*, dua elektroda digunakan secara bergantian untuk mengukur beda potensial antar titik sepanjang lintasan. Perpindahan elektroda secara bertahap memungkinkan diperolehnya distribusi perubahan potensial di permukaan yang mencerminkan kondisi bawah permukaan (Revil et al., 2017). Penggunaan digital multimeter dengan impedansi tinggi bertujuan agar arus listrik yang mengalir selama pengukuran sangat kecil sehingga tidak mengganggu sistem listrik alami di dalam tanah (Revil et al., 2017).

2.7 Komponen Data *Self-potential*

Data potensial diri yang dikumpulkan di lapangan terdiri dari tiga elemen utama dengan variasi panjang gelombang, yakni *self-potential* noise (SPN), efek topografi (*Topographic Effect* atau TE), dan potensial diri sisa atau residu (residual SP atau SPR). SP noise ditandai oleh panjang gelombang yang pendek dan curam, karena hanya dipicu oleh faktor permukaan. Penyebabnya meliputi potensial aliran kecil, potensial difusi, serta aktivitas akar tanaman. Besaran amplitudo SPN bergantung pada vegetasi: tinggi di hutan padat, sedang di hutan biasa, dan rendah di tanah terbuka (Amelinda et al., 2016). Ketiga komponen ini diperoleh dari

pengukuran lapangan dengan Panjang gelombang yang berbeda-beda, sebagai berikut (Universitas Gadjah Mada, 2022):

1. *Self-potential* Noise (SPN)

Self-potential noise disebabkan oleh faktor permukaan seperti potensial aliran kecil, potensial difusi, dan aktivitas akar tanaman di area pengukuran. Aktivitas akar ini mempengaruhi amplitudo besar di daerah vegetasi padat, dan kecil di tanah terbuka. Ciri khasnya adalah panjang gelombang pendek dengan gradien yang tajam.

2. Efek topografi (*Topographic Effect/TE*)

Nilai potensial dipengaruhi oleh aliran potensial akibat air yang mengalir dari tempat tinggi, sehingga potensial meningkat di daerah topografi tinggi dan menurun di daerah rendah. Ini juga bisa disebabkan oleh bentuk lahan seperti lembah atau bukit.

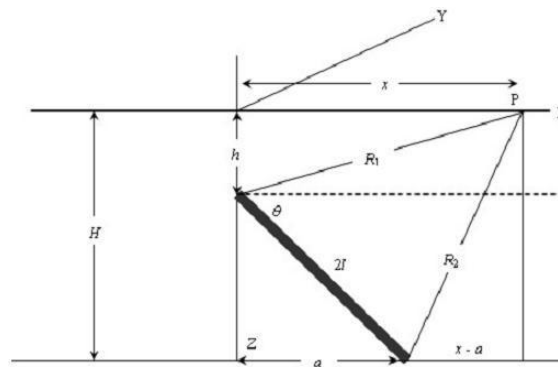
3. *Self-potential* Residual (SPR)

Self-potential residual ditandai oleh panjang gelombang yang cukup panjang dengan gradien yang landai, dan komponen ini terkait dengan jenis batuan atau litologi di bawah permukaan.

Pengukuran *self-potential* saat naik bukit (*uphill*) menunjukkan potensial yang lebih positif, sedangkan saat turun bukit (*downhill*) potensialnya menurun. Ini disebut efek topografi, disebabkan oleh aliran potensial akibat air dari tempat tinggi. *Self-potential* sisa ditandai oleh panjang gelombang panjang dan gradien landai, yang berkaitan dengan litologi bawah tanah (Sato & Money, 1960 dalam Amelinda et al., 2016).

2.8 Penafsiran Anomali

Anomali SP sering diinterpretasikan secara kualitatif melalui bentuk profil, amplitude, polaritas, dan pola kontur. Bagian atas dari bijih mineral diasumsikan langsung berada di bawah posisi potensial minimum atau maksimum. Jika sumbu polarisasi yaitu sumbu diantara katoda dan anoda pada bijih mineral adalah miring dari garis vertical, bentuk profil akan menjadi asimetrik dengan kemiringan yang curam dan juga positif mengikuti keduanya berada pada sisi bawah (Pratama, 2017).



Gambar 2. 7 Penampang lintang model lempeng dua dimensi

Lempeng miring yang tertanam dalam tanah dianggap sebagai suatu sumber anomaly SP yang terletak pada kedalaman dari ujung atas (h), kedalaman ujung bawah (H) dan panjang. Model lempeng miring ini dikembangkan oleh Ro dan Babu (1983) dengan asumsi *strike* tak terhingga. Dalam system koordinat kartesian O berada tepat di ujung batas lempeng, sumbu Y terletak pada arah *strike*, sedangkan sumbu Z adalah arah vertikal. Dip (θ) dari lempeng diukur searah jarum jam terhadap sumbu X, dirumuskan dengan persamaan:

$$V(x) = M \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad (2.4)$$

Bila r_1 dan r_2 pada persamaan (4) dinyatakan dalam x , maka didapat:

$$V(x) = M \ln \frac{x_1 + h_2}{(x-a)^2 + H^2} \quad (2.5)$$

Dimana $M = \frac{l\rho}{2\pi}$ dan $a = \frac{H-h}{\tan \theta}$

Dengan;

I = rapat arus persatuan panjang (A)

ρ = resistivitas medium (Ω)

X = jarak titik origin (0,0) ke titik P (m)

h = kedalaman ujung atas lempeng (m)

Θ = sudut kemiringan lempeng terhadap arah horizontal (derajat)

Bila ditentukan x_0 adalah $\frac{1}{2}$ jarak antara V_{max} dan V_{min} , x_s adalah jarak simetris yaitu jarak dari titik origin ke titik yang mempunyai amplitude yang sama tetapi berlainan tanda x_{max} adalah jarak dari titik origin ke titik yang mempunyai voltase minimum x_{min} adalah jarak dari titik origin ke titik yang mempunyai voltase minimum, maka parameter-parameter dari lempeng yang terdiri dari kedalaman ujung atas (h), kedalaman ujung bawah (H) dan sudut polarisasi sumber anomali (θ) dapat dihitung. Yaitu dengan menggunakan persamaan-persamaan yang dikembangkan dari teori Ram dan Babu (1983) dalam Kartini (2005):

$$h = (|x_{max} \cdot x_{min}|)^{1/2} \quad (2.6)$$

$$a = \frac{x_s - h^2}{2x_0} \quad (2.7)$$

$$H = (x_s \cdot a^2)^{1/2} \quad (2.8)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{H-h}{a} \quad (2.9)$$

2.9 Prosedur Lapangan

Peralatan yang digunakan dalam survei *self-potential* tergolong sederhana. Komponen utamanya adalah digital voltmeter dengan impedansi tinggi yang berfungsi mengukur beda potensial alami antara dua elektroda yang ditanam di dalam tanah. Reaksi elektrokimia antara logam dan unsur-unsur tanah dapat menimbulkan muatan palsu (*spurious charges*) pada elektroda, yang berpotensi mengaburkan sinyal potensial diri dengan nilai kecil. Untuk meminimalkan efek non-polarisasi, elektroda dibuat dari batang logam yang direndam dalam larutan jenuh umumnya batang tembaga dalam larutan CuSO_4 . Kombinasi ini ditempatkan di dalam pot keramik berpori, sehingga elektrolit dapat merembes keluar dan membentuk kontak listrik yang baik dengan tanah (Kearey et al., 2013).

Resultan gaya elektrokimia yang terjadi pada bidang kontak antara elektroda dan air tanah dapat menimbulkan potensial palsu (*spurious potential*), bahkan ketika tidak ada arus yang mengalir melalui elektroda. Nilai potensial palsu ini bervariasi antar lokasi maupun waktu, sehingga sulit untuk dilakukan koreksi atau reduksi secara akurat. Oleh karena itu, digunakan elektroda yang bersifat non-polarisasi, yaitu elektroda yang nilai potensialnya tidak terpengaruh oleh arus listrik yang melintas. Elektroda non-polarisasi biasanya dibuat dari logam penghantar yang dicelupkan ke dalam larutan jenuhnya, misalnya logam Cu dalam larutan CuSO_4 atau logam Zn dalam larutan ZnSO_4 . Kombinasi logam dan larutan ini dikemas dalam wadah berbentuk pot berpori (porous pot), yang memungkinkan larutan elektrolit merembes perlahan dan menjaga kontak listrik yang stabil dengan tanah.

2.10 Keterkaitan Penelitian dalam Perpektif Islam

Fenomena semburan lumpur (*mud volcano*) merupakan salah satu fenomena alam yang terjadi akibat proses geologi di bawah permukaan bumi (Etiope et al, 2019). Dalam perspektif Islam, fenomena alam dapat dipandang sebagai ayat kauniyah yang menunjukkan kebesaran Allah SWT dan dapat dipelajari melalui ilmu pengetahuan. Penelitian menggunakan metode *self-potential* untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan pada lokasi semburan lumpur memiliki keterkaitan dengan nilai-nilai Islam yang mendorong manusia untuk mengamati, memahami, dan mengambil pelajaran dari berbagai fenomena yang terjadi di alam semesta (Choiriyah et al., 2025). Keterkaitan tersebut dapat dipahami melalui ayat-ayat Al-Qur'an dan hadis berikut. Kajian Q.S. Fussilat ayat 53.

Allah SWT berfirman:

سُرُّهُمْ إِلَيْنَا فِي الْأَفَاقِ وَفِي أَنْفُسِهِمْ حَتَّى يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ الْحَقُّ أَوَلَمْ يَكُنْ بِرَبِّكَ أَهْلًا عَلَى كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ

Artinya : "Kami akan memperlihatkan kepada mereka tanda-tanda (kekuasaan) Kami di segenap penjuru dan pada diri mereka sendiri sehingga jelaslah bagi mereka bahwa Al-Qur'an itu benar." (Q.S. Fussilat: 53).

Lafaz yang menjadi penekanan dalam ayat tersebut adalah *آيَاتِنَا* (*āyātina*). Kata tersebut berasal dari kata *آية* (*āyah*) yang berarti tanda, bukti, petunjuk, atau indikasi. Bentuk jamaknya adalah *آيات* (*āyāt*) yang berarti tanda-tanda. Penambahan dhamir نا (*nā*) menunjukkan kepemilikan yang merujuk kepada Allah SWT sehingga lafaz *آيَاتِنَا* berarti "tanda-tanda kebesaran Kami".

Menurut Tafsir Ibnu Katsir (2003), lafaz *آيَاتِنَا* merujuk pada tanda-tanda kekuasaan Allah yang terdapat di berbagai penjuru alam semesta dan dapat diamati oleh manusia. Sementara itu, menurut Quraish Shihab dalam Tafsir Al-Misbah (2002), lafaz tersebut menunjukkan berbagai fenomena alam yang menjadi bukti

kebesaran Allah SWT dan dapat dipelajari melalui pengamatan serta penelitian ilmiah. Penggunaan bentuk jamak pada lafaz آيات menunjukkan bahwa tanda-tanda kekuasaan Allah SWT tidak hanya satu, tetapi sangat banyak dan tersebar di seluruh alam semesta. Salah satu tanda kekuasaan tersebut adalah berbagai fenomena geologi yang terjadi di bumi, termasuk fenomena semburan lumpur (*mud volcano*). Jika dikaitkan dengan penelitian ini, fenomena semburan lumpur di Desa Sumberwaru merupakan salah satu ayat kauniyah yang menunjukkan adanya proses geologi yang berlangsung di bawah permukaan bumi. Melalui metode *self-potential*, fenomena tersebut dapat dipelajari untuk mengidentifikasi distribusi anomali potensial yang berkaitan dengan migrasi fluida bawah permukaan. Oleh karena itu, penelitian ini merupakan salah satu bentuk upaya memahami ayat-ayat kauniyah yang Allah SWT tampilkan melalui fenomena alam (Choiriyah et al., 2025).

Kajian Q.S. Ar-Ra'd Ayat 17

Allah SWT berfirman:

أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَالَتْ أَوْدِيَةٌ بِقَدَرِهَا

Artinya : "Allah telah menurunkan air dari langit, maka mengalirlah air di lembah-lembah menurut ukurannya masing-masing." (Q.S. Ar-Ra'd : 17).

Lafaz yang menjadi penekanan dalam ayat tersebut adalah فَسَالَتْ (*fasālat*) yang berasal dari kata dasar سَالَ (*sāla*) yang berarti mengalir. Kata tersebut merupakan fi'il madhi yang menunjukkan terjadinya suatu proses aliran atau pergerakan fluida dari satu tempat ke tempat lain (Ibnu Katsir, 2003).

Menurut Tafsir Ibnu Katsir (2003), lafaz فَسَالَتْ menggambarkan air yang mengalir melalui jalur-jalur tertentu sesuai dengan kapasitas dan ketentuan yang telah ditetapkan Allah SWT. Sementara itu, menurut Tafsir Al-Misbah (2002), ayat

ini menunjukkan bahwa setiap aliran di alam berlangsung secara teratur sesuai hukum-hukum yang telah Allah tetapkan. Secara retorik, penggunaan lafaz فَسَالَتْ menegaskan adanya proses pergerakan atau aliran yang terjadi secara kontinu. Penekanan ayat tidak hanya terletak pada keberadaan air, tetapi juga pada proses pergerakannya yang mengikuti jalur tertentu.

Dalam kajian geofisika, konsep pergerakan fluida memiliki peranan penting dalam pembentukan anomali *self-potential*. Migrasi fluida yang membawa ion melalui media berpori atau rekahan batuan dapat menghasilkan beda potensial alami yang terukur di permukaan bumi. Fenomena tersebut menjadi salah satu dasar penggunaan metode *self-potential* dalam mengidentifikasi kondisi bawah permukaan (Vandemeulebrouck, 2016).

Jika ditelaah, penelitian ini sesuai juga dalam hadist Rasulullah SAW bersabda :

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ قَالَ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ «مَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ لَهُ بِهِ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ» (رواه مسلم)

Dari Abu Hurairah radhiyallahu 'anhu, ia berkata: Rasulullah shallallahu 'alaihi wa sallam bersabda:

"Barang siapa menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga." (H.R. Muslim).

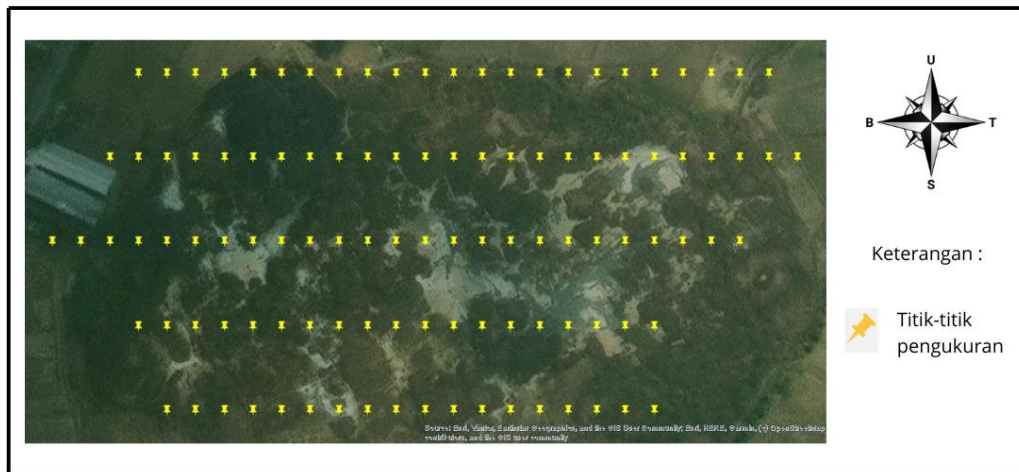
Lafaz yang ditekankan dalam hadis tersebut adalah عِلْمًا ('*ilman*) yang berarti ilmu. Penekanan pada kata ini menunjukkan bahwa ilmu memiliki kedudukan yang sangat penting dalam Islam. Ilmu menjadi sarana bagi seseorang untuk memahami ajaran agama, mengembangkan potensi diri, serta menjalani kehidupan sesuai dengan petunjuk Allah SWT. Oleh karena itu, hadis ini memberikan motivasi kepada umat Islam untuk senantiasa mencari dan mengembangkan ilmu pengetahuan sebagai bekal dalam kehidupan dunia dan akhirat (An-Nawawi, 2010).

Dari penjelasan hadist di atas, manusia diperintahkan untuk melakukan tafakkur terhadap ciptaan Allah SWT sebagai bentuk pengenalan terhadap kebesaran-Nya. Aktivitas mengamati, meneliti, dan memahami fenomena alam merupakan bagian dari upaya memahami tanda-tanda kekuasaan Allah yang tersebar di alam semesta (Choiriyah et al., 2025).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian, semburan lumpur di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik (Google Earth, 2017)

Penelitian lapangan dilaksanakan pada tanggal 7 Februari 2026 di Desa Sumberwaru Kecamatan Wringinanom Kabupaten Gresik, tepatnya pada koordinat $112^{\circ}30'43,73''$ BT $7^{\circ}22'54,50''$ LS.

3.2 Alat dan Bahan

Agar penelitian dapat berlangsung dengan optimal dan tanpa hambatan, dibutuhkan berbagai alat serta bahan yang mendukung pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

Tabel 3. 1 Alat dan bahan penelitian

No	Nama alat	Jumlah
1.	Elektroda pot berpori, dari kawat tembaga yang dibungkus dalam keramik gerabah	15 buah
2.	Kabel konektor, Panjang 50 cm	4 buah
3.	Kabel gulung, Panjang 200 m	2 buah
4.	Capit buaya	8 buah

5.	Kristal (CuSO ₄)	2 kg
6.	Akuades (H ₂ O)	5 liter
7.	Peta Geologi	1 set
8.	Digital multimeter	2 buah
9.	Rol meter, Panjang 100 m	1 buah
10.	Laptop	1 buah
11.	GPS	1 buah
12.	Software Excel 2013	1 paket
13.	Software Surfer versi 13	1 paket
14.	Buku catatan dan alat tulis	1 set
15.	Cangkul kecil	1 buah
16.	Tutup pot	4 buah
17.	Handy Talking	2 buah

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan survei lapangan. Penelitian ini menggunakan metode *self-potential* dengan konfigurasi *leap frog* (gradien potensial). Pengukuran dilakukan menggunakan dua elektroda porous pot yang ditanamkan ke dalam tanah dengan jarak antar elektroda sebesar 10 meter. Pemilihan jarak 10 meter dilakukan agar data yang diperoleh tetap jelas dan stabil. Jarak ini masih mampu menunjukkan perubahan anomali di dekat permukaan tanpa terlalu terpengaruh oleh gangguan kecil di sekitar titik pengukuran. Jarak yang terlalu rapat berpotensi meningkatkan sensitivitas terhadap gangguan lokal berpanjang gelombang pendek. Kedua elektroda dihubungkan dengan kabel dan digital multimeter berimpedansi tinggi untuk membaca beda potensial alami yang muncul di permukaan.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang perlu dilakukan ada 4 tahap, yaitu: kalibrasi alat, pengambilan data, pengolahan data, dan interpretasi data.

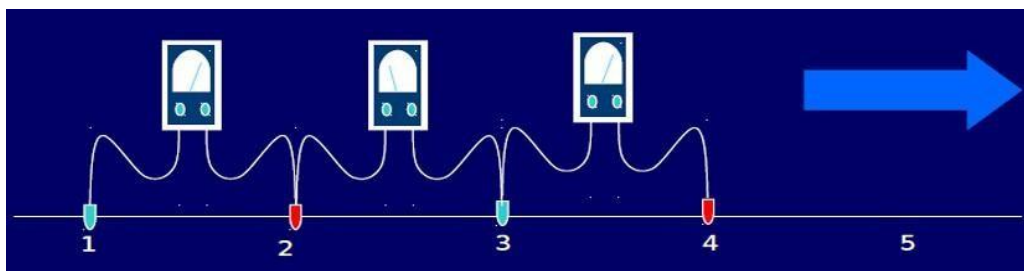
3.4.1 Kalibrasi Alat

Untuk pengukuran *self-potential* membutuhkan larutan CuSO₄ dengan konsentrasi yang sama di setiap elektroda *porous pot*. Agar konsentrasinya sama larutan CuSO₄ dibuat dalam suatu wadah yang bersih hingga jenuh. Sifat jenuh pada larutan ini dicirikan dengan terjadinya penambahan air konsentrasinya tidak berubah. Pelarutan CuSO₄ dilakukan minimal satu hari sebelum pengukuran di daerah penelitian.

Tujuan dari kalibrasi alat adalah untuk memastikan data lapangan yang diperoleh memiliki tingkat ketelitian tinggi. Proses kalibrasi elektroda non-polarisasi dilakukan dengan menanam kedua elektroda ke dalam tanah pada jarak yang berdekatan, sekitar 10 cm. Kalibrasi dilakukan dengan mencelupkan kedua elektroda ke dalam larutan elektrolit yang sama untuk memastikan tidak terdapat perbedaan potensial awal. Hasil pengukuran kalibrasi harus menunjukkan nilai < 2 milivolt untuk memastikan kedua elektroda berada dalam kondisi seimbang dan tidak menghasilkan beda potensial semu. Jika nilai potensial > 2 milivolt, maka elektroda pot berpori perlu dibersihkan dan diisi ulang dengan larutan CuSO₄ yang memiliki konsentrasi sama pada kedua elektroda. Kondisi ini biasanya disebabkan oleh elektroda yang kotor atau adanya kebocoran pada larutan (Amelinda et al., 2016). Apabila setelah proses pembersihan dan pengisian ulang larutan CuSO₄ nilai beda potensial tetap lebih dari 2 milivolt, maka elektroda tersebut tidak digunakan dan diganti dengan elektroda cadangan. Hal ini dilakukan untuk mencegah terbentuknya potensial semu yang dapat mempengaruhi baseline data dan interpretasi anomali.

3.4.2 Akuisisi Data di Lapangan

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan digital multimeter dengan impedansi masukan yang tinggi, sehingga arus dari bumi dapat diabaikan selama proses pengukuran berlangsung. Adapun konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *Leap Frog*, yaitu konfigurasi elektroda yang menerapkan prinsip gradien potensial.



Gambar 3. 2 Ilustrasi Pengambilan Data Potensial dengan Menggunakan Konfigurasi *Leap Frog* (Slater & Binley, 2016)

3.4.3 Pengolahan Data

Data *self-potential* hasil pengukuran lapangan terlebih dahulu dikoreksi untuk mengurangi kesalahan akibat perpindahan elektroda pada konfigurasi *leapfrog*. Setelah proses koreksi, data diolah menggunakan perangkat lunak Surfer 13 untuk menghasilkan peta kontur isopotensial. Peta kontur tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis pola anomali dan interpretasi kondisi bawah permukaan.

Hasil pengukuran *self-Potential* umumnya disajikan dalam bentuk peta isopotensial. Peta isopotensial merupakan peta yang menggambarkan distribusi nilai potensial listrik pada daerah penelitian. Melalui peta ini dapat diketahui pola persebaran anomali potensial sehingga memudahkan interpretasi kondisi bawah permukaan yang berhubungan dengan keberadaan fluida atau struktur geologi tertentu. Pada peta isopotensial terdapat garis kontur yang menghubungkan titik-

titik dengan nilai potensial yang sama. Garis kontur tersebut biasanya ditampilkan dalam bentuk garis berwarna hitam. Sementara itu, warna yang berada di antara garis kontur menunjukkan rentang nilai potensial yang berbeda. Perubahan warna dan pola kontur dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona anomali serta arah perubahan nilai potensial pada daerah penelitian.

3.4.4 Interpretasi Data

Interpretasi data *self-potential* dilakukan berdasarkan pola distribusi anomali yang diperoleh dari peta kontur isopotensial. Nilai anomali yang tinggi dan rendah digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan lokasi sumber serta arah aliran fluida bawah permukaan. Perubahan nilai potensial yang relatif tajam dapat mengindikasikan keberadaan sumber anomali yang lebih dangkal, sedangkan perubahan yang lebih landai dapat menunjukkan sumber yang relatif lebih dalam. Pada sistem *mud volcano*, aliran fluida umumnya terjadi melalui zona rekahan atau jalur permeabel di bawah permukaan. Oleh karena itu, pola distribusi anomali *self-potential* dapat digunakan untuk menginterpretasikan arah migrasi fluida.

Interpretasi dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif, sehingga kedalaman sumber anomali yang diperoleh merupakan indikasi relatif berdasarkan karakteristik pola anomali. Hasil interpretasi digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai pola aliran fluida dan kondisi bawah permukaan di daerah penelitian

3.4.5 Pengendalian Gangguan dalam Pengukuran *Self-potential*

Metode *self-potential* dalam penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi anomali tegangan listrik alami yang berkaitan dengan migrasi fluida lumpur bawah permukaan di Desa Sumberwaru. Namun, sinyal yang terukur

di permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh sumber anomali utama, tetapi juga oleh berbagai faktor gangguan alami dan instrumental. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian gangguan agar data yang diperoleh lebih representatif terhadap sistem bawah permukaan. Gangguan yang diperhatikan dalam penelitian ini meliputi:

1. *Self-potential Noise (SPN)*

SPN merupakan fluktuasi potensial berpanjang gelombang pendek yang disebabkan oleh faktor permukaan seperti aktivitas akar tanaman, variasi kelembaban tanah, dan perbedaan konsentrasi elektrolit lokal (Amelinda et al., 2016). SPN dapat menghasilkan perubahan nilai yang tajam dan bersifat lokal sehingga berpotensi mempengaruhi bentuk kurva anomali. Untuk meminimalkan pengaruhnya, lintasan pengukuran dipilih pada area relatif terbuka dan stabil serta tidak berada tepat pada vegetasi berakar besar.

2. *Efek Topografi (Topographic Effect)*

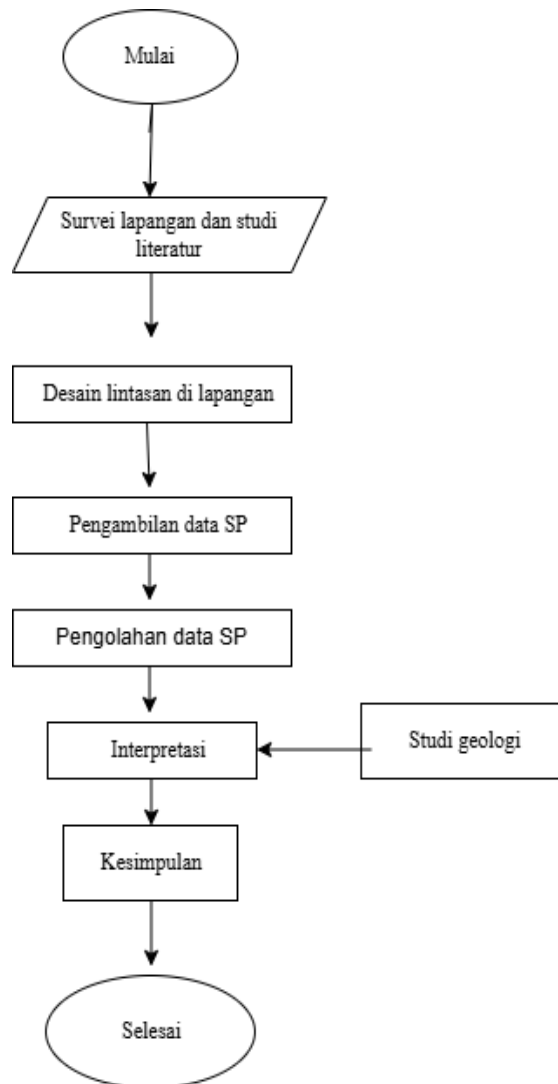
Perbedaan elevasi dapat menyebabkan gradien potensial regional akibat variasi tekanan fluida (Reynolds, 2011). Efek ini dapat menimbulkan kecenderungan nilai yang meningkat atau menurun secara gradual sepanjang lintasan. Oleh karena itu, dalam proses interpretasi, kecenderungan regional dianalisis terlebih dahulu sebelum dilakukan estimasi kedalaman menggunakan metode *curve matching*.

3. *Drift Alat dan Kesalahan Nol (Zero Error)*

Pada konfigurasi leap frog, akumulasi kesalahan nol dapat terjadi akibat perpindahan elektroda secara bertahap (Telford et al., 1990). Untuk mengendalikan hal tersebut, dilakukan kalibrasi awal dan pengecekan ulang pada titik referensi secara berkala selama akuisisi data berlangsung.

4. *Perubahan Kelembaban Tanah akibat Hujan*

Infiltrasi air hujan dapat mengubah distribusi ion dalam tanah dan mempengaruhi nilai potensial yang terukur (Revil et al., 2017). Oleh karena itu, pengukuran dilakukan pada kondisi cuaca relatif stabil. Apabila terjadi hujan selama pengambilan data, maka pengukuran dihentikan sementara hingga kondisi tanah kembali stabil untuk menghindari terbentuknya anomali semu.



Gambar 3. 3 Diagram Alur

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari kegiatan lapangan, yang meliputi data koordinat posisi (lintang, bujur, dan ketinggian), nilai potensial diri (mV), serta hasil interpretasi dan analisis data. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan tersebut, selanjutnya akan dirumuskan beberapa kesimpulan pada bab berikutnya.

4.1 Akuisisi data

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *self-potential* dengan konfigurasi gradien potensial (*leap frog*). Konfigurasi ini dipilih karena lebih efisien dalam penggunaan kabel serta mampu menghasilkan data yang kontinu sepanjang lintasan pengukuran. Satu set elektroda yang digunakan terdiri atas elektroda pot berpori (porous pot), larutan elektrolit CuSO₄, dan kawat tembaga (Cu). Elektroda jenis ini bersifat non-polarisasi sehingga dapat meminimalkan pengaruh potensial semu akibat reaksi elektrokimia pada elektroda.

Pengambilan data dilakukan dengan menanam dua elektroda ke dalam tanah dengan jarak antar elektroda sebesar 10 meter. Kedua elektroda dihubungkan menggunakan kabel penghubung, dan beda potensial yang terbentuk diukur menggunakan digital multimeter dengan impedansi masukan tinggi. Nilai yang diperoleh merupakan beda potensial alami (*self-potential*) antara dua titik pengukuran. Pengukuran *self-potential* dilakukan pada lima lintasan yang tersebar di area penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1. Lintasan pengukuran disusun secara sejajar dengan arah dominan barat-timur mengikuti kondisi lapangan.

Proses akuisisi data dimulai pada lintasan pertama dari titik pojok kiri atas dengan arah pengukuran dari kiri ke kanan hingga mencapai ujung lintasan. Selanjutnya, pada lintasan kedua pengukuran dilakukan dengan arah sebaliknya, yaitu dari kanan ke kiri. Pola ini dilakukan secara bergantian (zig-zag) pada lintasan berikutnya hingga lintasan kelima, sehingga diperoleh data yang saling berkesinambungan di seluruh area penelitian. Setiap lintasan terdiri atas sejumlah titik pengukuran dengan jarak antar titik sebesar 10 meter. Pola pengambilan data ini bertujuan untuk memperoleh distribusi nilai *self-potential* yang merata dan representatif terhadap kondisi bawah permukaan di daerah penelitian.

Selama proses akuisisi data, setiap titik pengukuran dicatat meliputi nilai *self-potential*, waktu pengukuran, serta koordinat posisi (lintang, bujur, dan elevasi) menggunakan GPS. Selain itu, kondisi lingkungan seperti vegetasi, kelembaban tanah, dan cuaca juga diperhatikan untuk meminimalkan gangguan yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Dengan demikian, data yang diperoleh diharapkan dapat merepresentasikan kondisi bawah permukaan secara lebih akurat.

4.2 Hasil dan Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari akuisisi metode *self-potential* di lapangan berupa nilai potensial diri (mV) yang dihasilkan oleh proses mekanik dan elektrokimia. Besarnya nilai potensial diri yang terukur dapat dilihat pada lampiran. Sebelum dilakukan pengolahan, data mentah terlebih dahulu dikoreksi menggunakan koreksi leap frog. Setelah diperoleh data yang telah terkoreksi, data kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Surfer 13. Hasil pengolahan tersebut berupa peta kontur isopotensial yang menunjukkan pola persebaran potensial diri di lokasi penelitian, yaitu daerah semburan di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom,

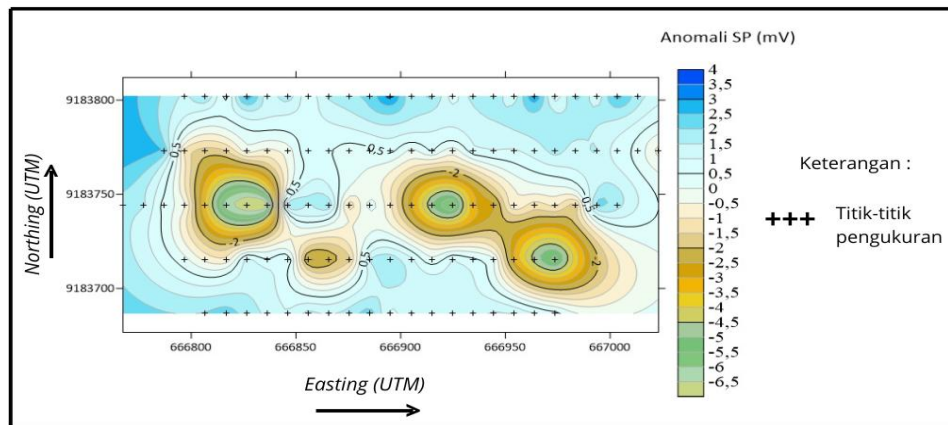
Kabupaten Gresik. Selanjutnya, dilakukan analisis geologi berdasarkan data *self-potential* dan kajian literatur yang relevan.

4.2.1 Sebaran Nilai Potensial Diri

Akuisisi data dilakukan menggunakan konfigurasi elektroda gradien potensial (*leap frog*) dan menghasilkan sebanyak 110 titik data. Konfigurasi ini menggunakan jarak tetap antar elektroda sebesar 10 meter. Perbedaan potensial diukur di antara sepasang elektroda yang bergerak maju sepanjang lintasan survei yang telah ditentukan, di mana salah satu elektroda mengikuti elektroda lainnya dan menempati titik pengukuran yang sebelumnya ditempati oleh elektroda depan, dan proses ini berlangsung secara berulang.

Data potensial yang diperoleh merupakan kombinasi dari tiga komponen dengan panjang gelombang berbeda, yaitu *self-potential noise* (SPN), efek topografi (*topographic effect*, TE), dan potensial diri residual (*residual self-potential*, SPR). Oleh karena itu, diperlukan proses koreksi data. Koreksi yang dilakukan meliputi koreksi *leap frog* dan koreksi topografi. Koreksi topografi diperlukan karena lokasi penelitian memiliki kondisi topografi yang tidak rata.

Sebaran nilai SP yang telah dikoreksi kemudian diolah menjadi peta isopotensial. Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengolahan data menggunakan perangkat lunak Surfer 13 yang menggambarkan distribusi potensial diri di area penelitian. Besar kecilnya nilai potensial diri yang terukur pada suatu lokasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti aliran fluida bawah permukaan, pelapukan material organik, proses korosi, serta mineralisasi pada tubuh mineral.

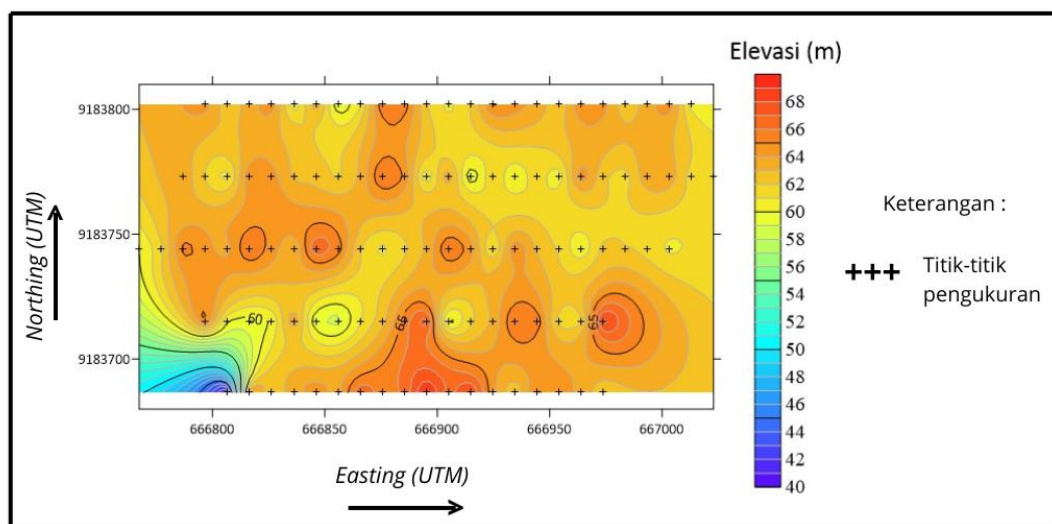


Gambar 4. 1 Peta Kontur Isopotensial

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan adanya variasi nilai anomali *self-potential* (SP) pada daerah penelitian dengan rentang nilai sekitar -6,5 mV hingga 4 mV. Distribusi anomali tersebut memperlihatkan pola penyebaran potensial yang tidak merata dan dipengaruhi oleh kondisi bawah permukaan di lokasi penelitian. Nilai anomali rendah ditunjukkan oleh warna kuning hingga hijau dengan kisaran sekitar -2 mV sampai -6,5 mV, sedangkan nilai anomali tinggi ditunjukkan oleh warna biru muda hingga biru tua dengan kisaran 0,5 mV sampai 4 mV.

Sebaran anomali negatif pada daerah penelitian terlihat dominan berada pada bagian tengah hingga timur lokasi pengukuran. Zona dengan nilai potensial rendah tersebut diduga berkaitan dengan keberadaan daerah konduktif yang dipengaruhi oleh aliran fluida bawah permukaan, kandungan air tanah, serta aktivitas geokimia di sekitar area penelitian. Nilai potensial negatif pada metode *self-potential* umumnya menunjukkan adanya proses perpindahan fluida melalui media berpori yang menghasilkan potensial elektrokinetik. Selain itu, variasi nilai potensial juga dapat dipengaruhi oleh perbedaan litologi, kelembapan tanah, dan kondisi topografi setempat.

Metode *Self-Potential* digunakan dalam penelitian ini karena mampu mengidentifikasi aktivitas fluida bawah permukaan melalui pengukuran beda potensial alami yang muncul di permukaan bumi. Untuk memperoleh data yang baik, pengukuran dilakukan menggunakan elektroda non-polarisasi dan multimeter digital. Selain itu, data yang diperoleh juga melalui beberapa tahapan koreksi, yaitu koreksi variasi harian, koreksi *leapfrog*, dan koreksi topografi. Tahapan koreksi tersebut dilakukan untuk mengurangi pengaruh kesalahan pengukuran, drift instrumen, serta perbedaan elevasi sehingga data yang digunakan dalam penelitian ini dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan dengan lebih baik.

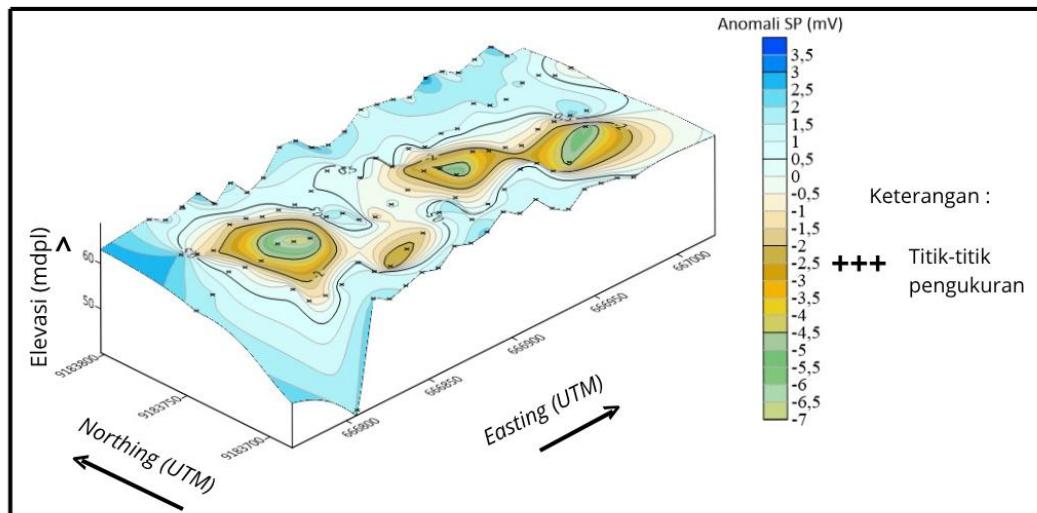


Gambar 4. 2 Peta kontur ketinggian daerah penelitian

Berdasarkan gambar 4.2 daerah dengan elevasi rendah berada pada bagian barat daya lokasi penelitian dengan nilai sekitar 40-50 m. Sementara itu, elevasi yang lebih tinggi dominan berada pada bagian tengah hingga timur daerah penelitian dengan nilai sekitar 60-69 m. Pola kontur menunjukkan bahwa topografi daerah penelitian cenderung landai dengan beberapa zona tinggian lokal.

Kontur yang rapat pada bagian barat daya menunjukkan perubahan elevasi yang cukup besar, sedangkan kontur yang lebih renggang menunjukkan perubahan

elevasi yang relatif landai. Kondisi topografi ini diduga mempengaruhi distribusi nilai *self-potential* pada daerah penelitian, karena perbedaan elevasi dapat mempengaruhi arah aliran fluida bawah permukaan.

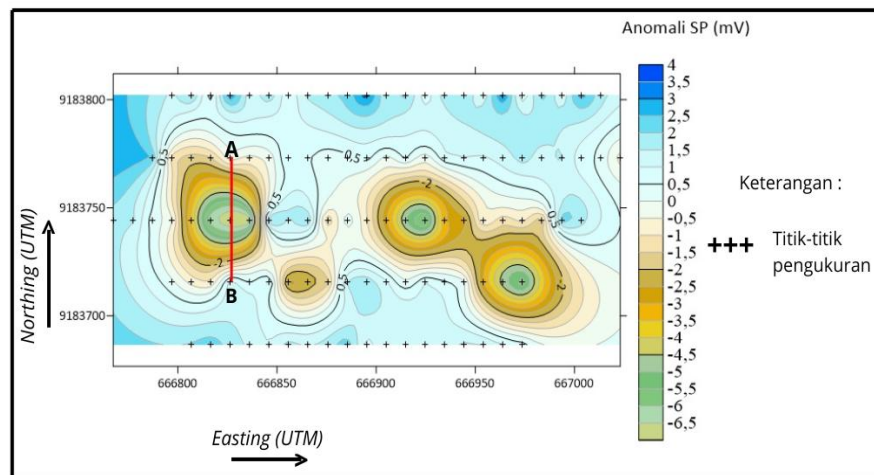


Gambar 4. 3 Peta kontur isopotensial 3D

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan zona anomali rendah terlihat pada bagian tengah hingga timur daerah penelitian. Zona tersebut menunjukkan adanya pengaruh fluida bawah permukaan sehingga menghasilkan nilai potensial yang lebih rendah dibandingkan daerah sekitarnya. Struktur bawah permukaan mempengaruhi distribusi nilai *self-potential* pada daerah penelitian.

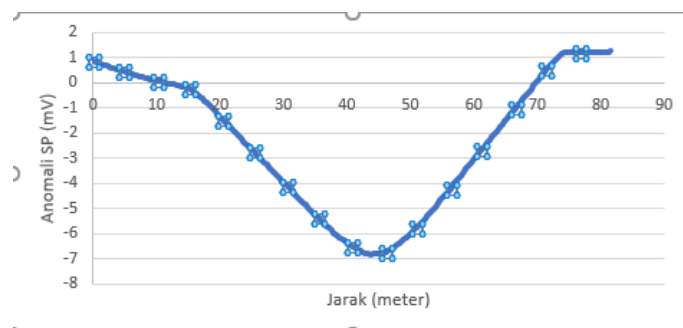
4.2.2 Penampang Melintang Peta Kontur Isopotensial

Interpretasi kuantitatif dilakukan untuk menentukan parameter benda penyebab anomali sehingga dapat diketahui kedalaman dan sudut polarisasinya. Sudut polarisasi adalah representasi arah kemiringan dari struktur anoda dan katoda sumber anomaly di bawah permukaan. Peta ini memvisualisasikan bagaimana arah aliran fluida atau orientasi cebakan mineral dengan sudut 0° (horizontal) hingga 90° (vertikal).



Gambar 4. 4 Peta kontur isopotensial dengan sayatan A-B

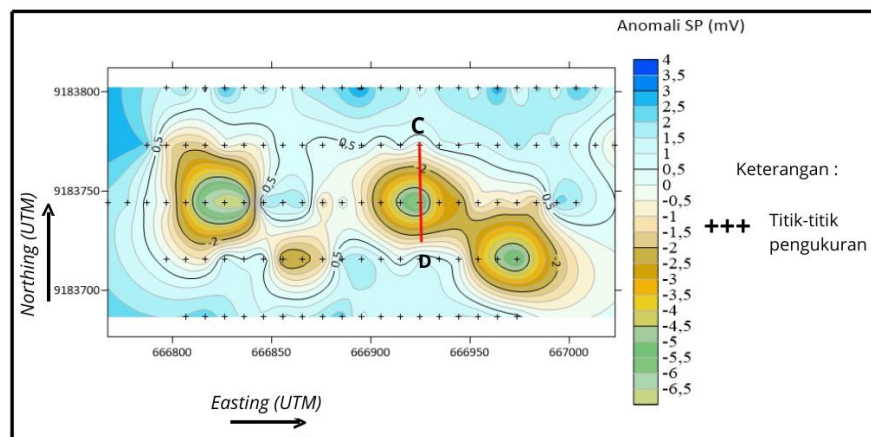
Gambar 4.4 merupakan peta kontur isopotensial dengan sayatan lintasan A–B. Sayatan A–B melintasi zona anomali pada bagian tengah daerah penelitian. Detail nilai *self-potential* pada lokasi sayatan dapat dilihat pada Gambar 4.5 berupa kurva profil sayatan lintasan A–B.



Gambar 4. 5 Kurva profil sayatan pada lintasan A-B

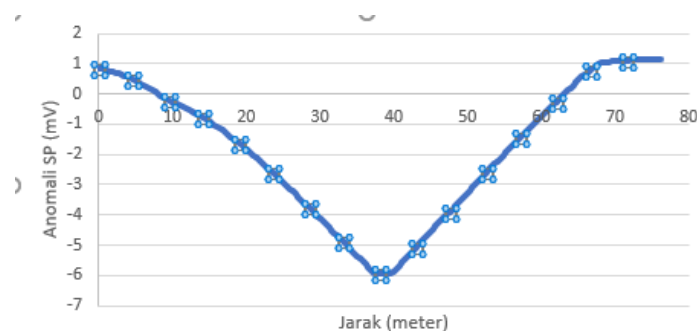
Berdasarkan kurva profil sayatan A–B terlihat adanya penurunan nilai potensial pada bagian tengah lintasan yang ditunjukkan oleh terbentuknya anomali negatif. Nilai potensial minimum pada sayatan A–B sebesar -6,83 mV dan nilai potensial maksimum sebesar 1,24 mV. Berdasarkan hasil perhitungan model lempeng miring diperoleh kedalaman ujung atas (h) sebesar 18,98 m, kedalaman ujung bawah (H) sebesar 25,40 m, dan sudut polarisasi (θ) sebesar $31,97^\circ$. Nilai

sudut polarisasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa sumber anomali memiliki kemiringan yang tidak terlalu curam. Bentuk kurva yang menyerupai pola anomali tunggal mengindikasikan adanya zona bawah permukaan yang berasosiasi dengan jalur aliran fluida atau zona yang memiliki perbedaan sifat kelistrikan dibandingkan material di sekitarnya.



Gambar 4. 6 Peta kontur isopotensial dengan sayatan C-D

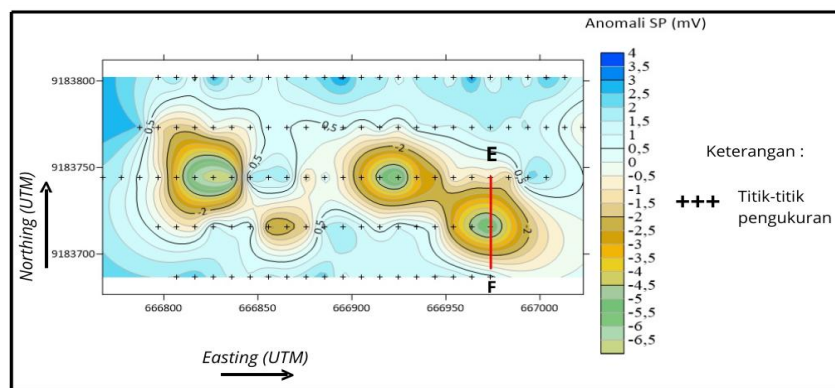
Gambar 4.6 merupakan peta kontur isopotensial dengan sayatan lintasan C–D. Sayatan C–D melintasi zona anomali pada bagian tengah daerah penelitian. Detail nilai *self-potential* pada lokasi sayatan dapat dilihat pada Gambar 4.7 berupa kurva profil sayatan lintasan C–D.



Gambar 4. 7 Kurva profil sayatan pada lintasan C-D

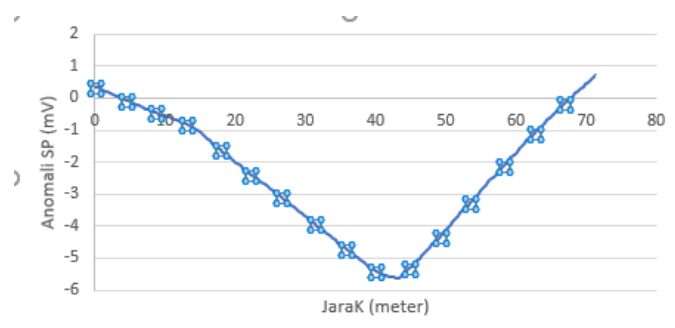
Berdasarkan kurva profil sayatan C–D terlihat adanya penurunan nilai potensial pada bagian tengah lintasan yang ditandai dengan terbentuknya anomali

negatif. Nilai potensial minimum pada sayatan C–D sebesar -5,93 mV dan nilai potensial maksimum sebesar 1,17 mV. Berdasarkan hasil perhitungan model lempeng miring diperoleh kedalaman ujung atas (h) sebesar 19,22 m, kedalaman ujung bawah (H) sebesar 25,10 m, dan sudut polarisasi (θ) sebesar $33,81^\circ$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sumber anomali berada pada kedalaman antara 19,22–25,10 m di bawah permukaan dengan arah kemiringan yang ditunjukkan oleh sudut polarisasi sebesar $33,81^\circ$.



Gambar 4. 8 Peta kontur isopotensial dengan sayatan E-F

Gambar 4.8 merupakan peta kontur isopotensial dengan sayatan lintasan E–F. Sayatan E–F melintasi zona anomali pada bagian timur daerah penelitian. Detail nilai *self-potential* pada lokasi sayatan dapat dilihat pada Gambar 4.10 berupa kurva profil sayatan lintasan E–F



Gambar 4. 9 Kurva profil sayatan pada lintasan E-F

Berdasarkan kurva profil sayatan E–F terlihat adanya penurunan nilai potensial pada bagian tengah lintasan yang ditandai dengan terbentuknya anomali negatif. Nilai potensial minimum pada sayatan E–F sebesar -5,62 mV dan nilai potensial maksimum sebesar 0,69 mV. Berdasarkan hasil perhitungan model lempeng miring diperoleh kedalaman ujung atas (h) sebesar 14,02 m, kedalaman ujung bawah (H) sebesar 15,57 m, dan sudut polarisasi (θ) sebesar $3,38^\circ$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sumber anomali berada pada kedalaman antara 14,02–15,57 m di bawah permukaan dengan sudut polarisasi yang relatif kecil.

Berdasarkan karakter morfologi di lapangan, gunung lumpur di Desa Sumberwaru, Kecamatan Wringinanom, Kabupaten Gresik termasuk tipe mud volcano dengan morfologi kubah rendah dan kolam lumpur (*mud pool/salse*). Tipe ini dicirikan oleh adanya rembesan lumpur, gelembung gas, serta bentuk permukaan yang tidak membentuk kerucut tinggi seperti tipe Lokbatan.

Hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan hipotesis penelitian yang menyatakan bahwa terdapat aktivitas fluida bawah permukaan yang berkaitan dengan fenomena semburan lumpur di Desa Sumberwaru. Hal tersebut ditunjukkan oleh adanya zona anomali potensial rendah yang diduga menjadi jalur migrasi fluida bawah permukaan. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian Soueid Ahmed et al. (2016) yang menjelaskan bahwa pergerakan fluida pada media berpori maupun rekahan batuan dapat menghasilkan anomali *self-potential* akibat mekanisme potensial elektrokinetik.

Tabel 4. 1 Hasil perhitungan h, H dan θ pada setiap sayatan

Sayatan	h	H	θ
A-B	18,98 m	25,40 m	$31,97^\circ$

C-D	19,22 m	25,10 m	33,81°
E-F	14,02 m	15,57 m	3,38°

Secara keseluruhan hasil interpretasi *self-potential* pada daerah penelitian menunjukkan adanya zona anomali potensial rendah yang tersebar pada bagian tengah hingga timur daerah penelitian. Zona anomali tersebut membentuk kontur tertutup yang mengindikasikan adanya akumulasi atau jalur pergerakan fluida bawah permukaan pada lokasi penelitian. Berdasarkan peta kontur isopotensial, nilai anomali *self-potential* pada daerah penelitian berkisar antara -6,5 mV hingga 4 mV.

Hasil perhitungan pada setiap lintasan menunjukkan bahwa sumber anomali berada pada kedalaman yang berbeda-beda. Lintasan A-B memiliki nilai kedalaman ujung atas (h) sebesar 18,98 m dan kedalaman ujung bawah (H) sebesar 25,40 m dengan sudut polarisasi (θ) sebesar 31,97°. Lintasan C-D memiliki nilai h sebesar 19,22 m dan H sebesar 25,10 m dengan sudut polarisasi (θ) sebesar 33,81°. Sementara itu, lintasan E-F memiliki nilai h sebesar 14,02 m dan H sebesar 15,57 m dengan sudut polarisasi (θ) sebesar 3,38°. Berdasarkan hasil tersebut, sumber anomali pada lintasan E-F berada pada kedalaman yang relatif lebih dangkal dibandingkan lintasan A-B dan C-D.

Anomali *self-potential* pada daerah penelitian diduga berkaitan dengan aktivitas fluida bawah permukaan yang menyebabkan perbedaan potensial listrik alami. Perbedaan potensial tersebut menghasilkan zona anomali yang teramati pada peta kontur isopotensial dan kurva profil sayatan. Sebaran anomali yang terbentuk mengindikasikan bahwa kondisi bawah permukaan pada daerah penelitian masih dipengaruhi oleh keberadaan dan pergerakan fluida. Berdasarkan peta kontur

isopotensial yang diperoleh, garis-garis kontur menunjukkan lokasi yang memiliki nilai potensial yang sama. Adanya perubahan warna dan pola kontur pada peta menunjukkan perubahan nilai potensial dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Zona dengan nilai potensial rendah ditunjukkan oleh warna yang merepresentasikan nilai negatif, sedangkan zona dengan nilai potensial tinggi ditunjukkan oleh warna yang merepresentasikan nilai positif. Perbedaan nilai tersebut diduga berkaitan dengan variasi kondisi geologi dan aktivitas fluida bawah permukaan di daerah penelitian. Keberadaan zona potensial rendah pada beberapa bagian daerah penelitian mengindikasikan adanya akumulasi atau jalur pergerakan fluida bawah permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi bawah permukaan daerah penelitian masih dipengaruhi oleh aktivitas fluida yang berperan dalam pembentukan anomali *self-potential*.

Hasil penelitian ini mendukung hipotesis penelitian yang menyatakan bahwa terdapat aktivitas fluida bawah permukaan yang berkaitan dengan fenomena semburan lumpur di Desa Sumberwaru. Keberadaan zona anomali potensial rendah serta hasil interpretasi kedalaman sumber anomali menunjukkan adanya indikasi migrasi fluida yang masih berlangsung di bawah permukaan. Temuan tersebut juga sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa pergerakan fluida pada media berpori maupun rekahan batuan dapat menghasilkan anomali *self-potential* melalui mekanisme potensial elektrokinetik. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya mendukung hipotesis penelitian, tetapi juga memperkuat hasil penelitian sebelumnya mengenai hubungan antara anomali *self-potential* dan aktivitas fluida bawah permukaan.

4.3 Keterkaitan Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode *self-potential* (SP), diperoleh nilai anomali potensial berkisar antara -6,5 mV hingga 4 mV. Zona anomali potensial rendah dominan berada pada bagian tengah hingga timur daerah penelitian yang diduga berkaitan dengan keberadaan fluida bawah permukaan. Hasil interpretasi pada sayatan A-B, C-D, dan E-F menunjukkan adanya perbedaan kedalaman sumber anomali dengan nilai kedalaman ujung atas (h) masing-masing sebesar 18,98 m, 19,22 m, dan 14,02 m. Keberadaan zona anomali tersebut menunjukkan bahwa aktivitas fluida bawah permukaan masih mempengaruhi kondisi geologi daerah penelitian dan berperan dalam terbentuknya fenomena semburan lumpur di Desa Sumberwaru. Hal ini sesuai dengan Firman Allah SWT pada Q.S. Ar-Rum ayat 50:

فَانْظُرْ إِلَىٰ آثَارِ رَحْمَةِ اللَّهِ

Artinya : "Maka perhatikanlah bekas-bekas rahmat Allah" (Q.S. Ar-Rum ayat 50).

Lafaz yang menjadi penekanan dalam ayat tersebut adalah فَانْظُرْ (*fanzhur*). Kata tersebut berasal dari akar kata نَظَرَ (*nazhara*) yang berarti melihat, memperhatikan, mengamati, atau meneliti. Dalam ilmu sharaf, kata فَانْظُرْ merupakan fi'il amr (kata kerja perintah) yang menunjukkan adanya dorongan untuk melakukan pengamatan dan perenungan terhadap fenomena yang terjadi di alam. Menurut Tafsir Al-Misbah, lafaz tersebut mengandung perintah kepada manusia agar memperhatikan berbagai fenomena alam sebagai bukti kebesaran dan kekuasaan Allah SWT. Dalam penelitian ini, proses pengukuran dan interpretasi data *self-potential* merupakan bentuk pengamatan terhadap fenomena geologi yang terjadi di bawah permukaan bumi. Berdasarkan hasil penelitian dan tafsir ayat

tersebut, dapat dipahami bahwa fenomena semburan lumpur dan migrasi fluida bawah permukaan merupakan bagian dari tanda-tanda kebesaran Allah SWT yang dapat diamati serta dipelajari melalui pendekatan ilmiah (Shihab, 2003).

Allah SWT berfirman dalam Q.S. Al-Jatsiyah ayat 13:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمُوتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya : *"Dan Dia menundukkan untukmu apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi semuanya."* (Q.S Al-Jatsiyah ayat 13).

Lafaz yang menjadi penekanan dalam ayat tersebut adalah سَخَّرَ (*sakhkhara*) yang berarti menundukkan, memudahkan, atau menyediakan untuk dimanfaatkan. Kata tersebut berasal dari akar kata س خ ر yang menunjukkan makna kemudahan dan pemanfaatan sesuatu untuk kepentingan manusia (Ibnu Katsir, 2002). Menurut Tafsir Ibnu Katsir (2003), lafaz سَخَّرَ menjelaskan bahwa Allah SWT telah menyediakan berbagai fenomena dan sumber daya alam agar dapat dimanfaatkan serta dipelajari oleh manusia. Dalam konteks penelitian ini, metode *self-potential* digunakan untuk mengidentifikasi kondisi bawah permukaan yang tidak dapat diamati secara langsung. Hasil penelitian menunjukkan adanya zona anomali yang dipengaruhi oleh keberadaan fluida bawah permukaan. Berdasarkan hasil penelitian dan tafsir ayat tersebut, dapat dipahami bahwa kemampuan manusia dalam mengungkap kondisi bawah permukaan bumi melalui ilmu geofisika merupakan bagian dari pemanfaatan ilmu pengetahuan yang dianugerahkan Allah SWT. Berdasarkan hasil penelitian dan tafsir ayat tersebut, dapat dipahami bahwa kemampuan manusia dalam mengungkap kondisi bawah permukaan bumi melalui ilmu geofisika merupakan bagian dari pemanfaatan ilmu pengetahuan yang dianugerahkan Allah SWT (Choiriyah et al., 2025). Hal tersebut senada dengan sabda Rasulullah SAW:

أَبِي سَعِيدٍ الْخُدْرِيُّ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ، أَنَّ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ: الدُّنْيَا حُلْوَةٌ خَضِرَةٌ وَإِنَّ اللَّهَ مُسْتَخْلِفُكُمْ فِيهَا فَيَنْظُرُ كَيْفَ تَعْمَلُونَ (رواه مسلم)

"Sesungguhnya dunia itu hijau dan indah, dan Allah menjadikan kalian sebagai khalifah (pengelola) di dalamnya, lalu Dia melihat bagaimana kalian berbuat." (HR. Muslim).

Lafaz yang menjadi penekanan dalam hadis tersebut adalah مُسْتَخْلِفُكُمْ (mustakhlifukum). Kata tersebut berasal dari akar kata ف خ ل yang berkaitan dengan kata خليفة (khalifah) yang berarti pengganti, pengelola, pemakmur, atau penjaga. Hadis ini menunjukkan bahwa manusia diberikan amanah oleh Allah SWT untuk memahami, menjaga, dan mengelola bumi secara bertanggung jawab (Ibnu Katsir, 2003). Dalam penelitian ini, informasi mengenai distribusi anomali *self-potential*, keberadaan fluida bawah permukaan, serta kondisi geologi daerah penelitian dapat dimanfaatkan untuk memahami karakteristik semburan lumpur secara lebih baik. Berdasarkan hasil penelitian dan hadis tersebut, dapat dipahami bahwa kegiatan penelitian geofisika merupakan salah satu bentuk ikhtiar manusia dalam menjalankan amanah sebagai khalifah di muka bumi. Berdasarkan hasil penelitian dan hadis tersebut, dapat dipahami bahwa kegiatan penelitian geofisika merupakan salah satu bentuk ikhtiar manusia dalam menjalankan amanah sebagai khalifah di muka bumi (Choiriyah et al., 2025).

Jika hasil penelitian ini dianalisis berdasarkan perspektif *Maqasid Syariah* yang dimana arti dari *maqasid syariah* merupakan tujuan-tujuan yang ingin diwujudkan oleh syariat Islam demi kemaslahatan manusia di dunia dan akhirat. Tujuan dari *maqasid Syariah* menurut Imam AL-Ghazali terdiri dari 5 aspek (*al-kulliyya al-khams*) yaitu *Hifzh ad-din* (menjaga agama), *Hifzh an-nafs* (menjaga jiwa), *Hifzh al-‘aql* (menjaga akal), *Hifzh an-nasl* (menjaga keturunan) dan *Hifzh al-mal* (menjaga harta) (Al-Ghazali, 2011).

Dari lima aspek tersebut Maqasid Syariah, penelitian ini mencakup 3 aspek. Hal ini terbukti, pada aspek pertama adalah *Hifzh al-'aql* (menjaga akal). Penelitian ini menghasilkan informasi ilmiah mengenai distribusi anomali *self-potential*, keberadaan fluida bawah permukaan, serta kedalaman sumber anomali pada lokasi semburan lumpur. Informasi tersebut merupakan bagian dari pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang geofisika. Oleh karena itu, penelitian ini mendukung upaya menjaga dan mengembangkan akal manusia melalui aktivitas ilmiah yang bertujuan memperoleh pengetahuan baru mengenai kondisi bawah permukaan bumi.

Aspek kedua adalah *Hifzh an-Nafs* (menjaga jiwa). Hasil penelitian menunjukkan adanya aktivitas fluida bawah permukaan yang mempengaruhi terbentuknya zona anomali pada daerah penelitian. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam memahami kondisi geologi serta potensi bahaya yang berkaitan dengan aktivitas semburan lumpur. Dengan adanya pemahaman yang lebih baik terhadap kondisi bawah permukaan, risiko yang dapat mengancam keselamatan masyarakat di sekitar lokasi penelitian dapat diminimalkan. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki keterkaitan dengan upaya menjaga keselamatan jiwa manusia.

Aspek ketiga adalah *Hifzh al-Mal* (menjaga harta). Informasi mengenai kondisi bawah permukaan yang diperoleh dari penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam pengelolaan wilayah dan pengambilan keputusan terkait pemanfaatan lahan di sekitar area semburan lumpur. Pengetahuan tersebut dapat membantu mengurangi potensi kerugian yang disebabkan oleh aktivitas geologi serta mendukung pengelolaan sumber daya secara lebih efektif. Dengan demikian,

penelitian ini juga memiliki keterkaitan dengan upaya menjaga dan melindungi harta benda masyarakat.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian menggunakan metode *self-potential* pada lokasi semburan lumpur di Desa Sumberwaru tidak hanya memberikan kontribusi dalam bidang geofisika, tetapi juga memiliki nilai kemaslahatan yang sejalan dengan tujuan maqasid syariah, khususnya dalam menjaga akal, menjaga jiwa, dan menjaga harta.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pengukuran dan pengolahan data *self-Potential* di lokasi semburan lumpur Desa Sumberwaru, diperoleh nilai anomali *self-potential* berkisar antara -6,5 mV hingga 4 mV. Peta kontur isopotensial menunjukkan bahwa zona anomali potensial rendah dominan berada pada bagian tengah hingga timur daerah penelitian. Sebaran anomali tersebut menunjukkan adanya variasi nilai potensial yang membentuk pola distribusi tertentu pada lokasi penelitian. Dengan demikian, metode *self-Potential* mampu mengidentifikasi dan menganalisis pola distribusi anomali *self-potential* di daerah semburan lumpur Desa Sumberwaru sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.
2. Berdasarkan interpretasi kuantitatif pada sayatan A-B, C-D, dan E-F, diperoleh kedalaman sumber anomali berturut-turut sebesar 18,98 m, 19,22 m, dan 14,02 m. Keberadaan zona anomali tersebut mengindikasikan adanya aktivitas fluida bawah permukaan yang masih memengaruhi kondisi geologi di lokasi semburan lumpur Desa Sumberwaru. Variasi kedalaman sumber anomali pada setiap sayatan menunjukkan bahwa sistem migrasi fluida bawah permukaan memiliki karakteristik yang berbeda pada masing-masing lintasan. Oleh karena itu, distribusi anomali *self-potential* dapat digunakan untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan pada daerah penelitian.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penambahan jumlah titik pengukuran dan lintasan pengukuran agar distribusi anomali *self-potential* dapat terpetakan dengan lebih detail.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode geofisika lain sebagai metode pendukung, seperti geolistrik resistivitas atau metode geofisika lainnya untuk meningkatkan keakuratan interpretasi bawah permukaan.
3. Perlu dilakukan pengukuran dengan jarak titik yang lebih rapat pada zona anomali untuk memperoleh resolusi data yang lebih baik.
4. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji hubungan antara distribusi anomali *self-potential* dengan kondisi geologi dan sistem aliran fluida bawah permukaan di daerah penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qur'an al-Karim. 1989. Al-Qur'an dan Terjemahannya. Departemen Agama RI. Semarang: Toha Putera
- Al-Ghazali, A. H. M. (1997). *Al-Mustashfa min 'Ilm al-Ushul*. Beirut: Dar al-Kutub al-'Ilmiyyah.
- Al-Syaikh, A. M. A. R. I. (2008). *Tafsir Ibnu Katsir* (Terj. M. Abdul Ghoffar). Jakarta: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Amelinda, K. S., & Santosa, B. J. (2015). *Identifikasi pola persebaran sumber lumpur bawah tanah pada mud volcano Gunung Anyar Surabaya menggunakan metode geolistrik*. Jurnal Sains dan Seni ITS, 5(1), B6–B10.
- Binley, A., Slater, L., Fukes, M., & Cassiani, G. (2016). *Relationship between spectral induced polarization and hydraulic properties*. Geophysical Journal International, 203, 915–929.
- Choiriyah, A. R., Madjid, A. D. R., Yulianti, E., Mubasyiroh, Adi, T. K., Zulfikar, M. A., & Setiyanto, H. (2025). Sintesis dan pemanfaatan kitosan berbasis limbah udang: Integrasi etika Islam dan sains dalam pengembangan bahan ramah lingkungan. *Edu Science Journal*, 31(1). <https://doi.org/10.18860/es.v31i1.34468>
- Corwin, R. F. (1990). The Self-Potential Method for Environmental and Engineering Applications. In Ward, S. H. (Ed.), *Geotechnical and Environmental Geophysics* (Vol. 1, pp. 127–145). Society of Exploration Geophysicists.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya. (2020). *Profil Keanekaragaman Hayati Kota Surabaya*. Surabaya: Pemerintah Kota Surabaya.
- Etiopo, G., et al. (2019). *Methane emissions from mud volcanoes: Global budget and climate implications*. *Geology*, 47(4), 363–366.
- Fagerlund, F., & Heinson, G. (2015). *Detecting subsurface groundwater flow using the self-potential method*. *Near Surface Geophysics*, 13(3), 261–271.
- Febriani, S.D.A., dan Daniyati, Risqa. 2017. *Interpretasi Persebaran Mineral Pasir Besi Menggunakan Metode SP (self potential) di Desa Kepanjen*. Jurnal Ristekdikti Seminar Hasil Penelitian 2017. Program Studi Teknik Energi Terbaru Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember. siti_diahpolije.co.id dan cza_rizqa@gmail.com.
- Google Earth. 2017. Diakses pada tanggal 21 September 2017) <http://www.google.co.id/intl/id/earth>.

- Hsu, S. K., et al. (2018). *Imaging active mud diapirs using gravity and seismic data*.
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration* (3rd ed.). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2013). *An introduction to geophysical exploration* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
- Kopf, A. J., et al. (2018). *Mud volcanoes as natural laboratories*. *Marine and Petroleum Geology*, 92, 587–601.
- Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of Geophysics* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mazzini, A., & Etiope, G. (2017). *Mud volcanism: An updated review*. *Earth-Science Reviews*, 168, 81–112.
- Mazzini, A., et al. (2018). *Dynamics and evolution of the LUSI mud eruption, Indonesia*. *Geological Society of America Bulletin*, 130(5–6), 801–818.
- Mazzini, A., Svensen, H., Planke, S., & Akhmanov, G. G. (2017). *Mud volcanism and fluid migration in sedimentary basins: Implications for petroleum systems*. *Marine and Petroleum Geology*, 83, 202–218.
- Muslim, I. H. (2006). *Shahih Muslim*. Riyadh: Darussalam.
- Nuha, Dafiyy Y. U.,. 2018. *Penyelidikan Sistem Hidrotermal Daerah Cangar Komplek Arjuno-Welirang, Jawa Timur dengan Menggunakan Metode Self Potential dan Penginderaan Jauh*. Malang: Universitas Brawijaya
- Prabowo, A., et al. (2019). *Application of self-potential method for geothermal manifestation mapping*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 318.
- Revil, A., et al. (2015). *Self-potential signals associated with preferential groundwater flow*. *Geophysical Research Letters*, 42, 8611–8618.
- Revil, A., et al. (2017). *The self-potential method: Theory and applications*.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics* (2nd ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Rupiningsih, S. (2015). *Aplikasi metode Self-Potential untuk identifikasi aliran fluida bawah permukaan*. Skripsi. Departemen Geofisika, Universitas Indonesia.
- Sharma, P. V. (1977). *Geophysical Methods in Geology*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.

- Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sill, W. R. (1983). Self-Potential Modeling from Primary Flows. *Geophysics*, 48(1), 76–86.
- Slater, L. D., & Binley, A. (2016). *Induced polarization in environmental and hydrogeophysics*. *Surveys in Geophysics*, 37, 1–47.
- Soueid Ahmed, A., et al. (2016). *Electrokinetic signals associated with groundwater flow and transport*. *Journal of Hydrology*, 542, 556–570.
- Surveys in Geophysics*, 38, 307–343.
- Tafsir Jalalain. (2008). *Tafsir Jalalain*. Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- Tectonophysics*, 722, 34–48.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Universitas Gadjah Mada. (2022). *Geoscience Field Trip – SLAP – Field Practice Guidelines*. Master Physics – Faculty MIPA UGM. (*dokumen SLAP, internal*)
- Vandemeulebrouck, J., et al. (2016). *Self-potential monitoring of hydrothermal systems*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 320, 1–12.
- Wiranata, Doni, A. I. 2018. Interpretasi Pola Sebaran Indikasi Mudvolcano Di Suryanata Samarinda Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, Volume 1 Nomor 2.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Observasi Self-potential

No	easting	northing	elevasi	sp surfer
1	666806.71	9183686.62	40	2.04
2	666816.53	9183686.62	64.5	2.286
3	666826.36	9183686.62	62.23	1.814
4	666836.19	9183686.62	63.5	1.359
5	666846.02	9183686.62	64.81	0.997
6	666855.84	9183686.62	63.58	1.713
7	666865.67	9183686.62	66.9	1.44
8	666875.50	9183686.62	65.6	1.737
9	666885.32	9183686.62	66.14	2.335
10	666895.15	9183686.62	69.32	0.77
11	666904.98	9183686.62	66.59	1.393
12	666914.80	9183686.62	68.22	1.165
13	666924.63	9183686.62	64.28	1.065
14	666934.46	9183686.62	62.01	1.204
15	666944.28	9183686.62	65.14	1.593
16	666954.11	9183686.62	64.42	1.5
17	666963.94	9183686.62	63.8	1.05
18	666973.77	9183686.62	62.08	0.714
19	666983.59	9183686.62	65.5	0.154
20	666993.42	9183686.62	60.04	-0.655
21	667003.25	9183686.62	59.6	-0.958
22	667013.07	9183686.62	60.01	1.273
23	667022.90	9183686.62	63.89	0.474
24	667032.73	9183686.62	59.07	1.078
25	667042.55	9183686.62	58.63	-2.776
26	667052.38	9183686.62	60.9	-2.252
27	667062.21	9183686.62	62.54	-1.732
28	667072.03	9183686.62	65.4	1.61
29	667081.86	9183686.62	67.62	1.835
30	667091.69	9183686.62	59.31	1.152
31	667101.52	9183686.62	61.82	0.039
32	667111.34	9183686.62	63.12	1.026
33	667121.17	9183686.62	66.08	0.613
34	667131.00	9183686.62	65.7	0.208
35	667140.82	9183686.62	61.54	-3.148

36	667150.65	9183686.62	61.6	-4.751
37	667160.48	9183686.62	68.54	-5.839
38	667170.30	9183686.62	60.02	1.69
39	667180.13	9183686.62	61.65	1.598
40	667189.96	9183686.62	65.5	0.25
41	667199.78	9183686.62	64.19	-0.287
42	667209.61	9183686.62	63.7	-3.575
43	667219.44	9183686.62	66.1	-6.334
44	667229.27	9183686.62	64.54	-6.923
45	667239.09	9183686.62	63.04	-7.132
46	667248.92	9183686.62	66.9	2.111
47	667258.75	9183686.62	65.6	1.401
48	667268.57	9183686.62	62.01	2.054
49	667278.40	9183686.62	60.73	-1.471
50	667288.23	9183686.62	61.82	0.329
51	667298.05	9183686.62	63.12	-0.911
52	667307.88	9183686.62	66.08	-2.906
53	667317.71	9183686.62	64.63	-5.02
54	667327.53	9183686.62	60.7	-6.293
55	667337.36	9183686.62	65.06	-3.047
56	667347.19	9183686.62	62.76	-2.761
57	667357.02	9183686.62	61.89	-0.47
58	667366.84	9183686.62	60.1	-1.282
59	667376.67	9183686.62	62.32	-0.756
60	667386.50	9183686.62	62.05	-1.836
61	667396.32	9183686.62	61.63	2.3
62	667406.15	9183686.62	60.76	1.715
63	667415.98	9183686.62	63.7	2.492
64	667425.80	9183686.62	61.89	-1.274
65	667435.63	9183686.62	60.46	-1.707
66	667445.46	9183686.62	65.08	-1.539
67	667455.28	9183686.62	64.43	-0.125
68	667465.11	9183686.62	62.81	-0.637
69	667474.94	9183686.62	62.66	-0.322
70	667484.77	9183686.62	61.82	0.984
71	667494.59	9183686.62	63.12	0.529
72	667504.42	9183686.62	66.08	0.243
73	667514.25	9183686.62	64.99	0.344
74	667524.07	9183686.62	60.01	0.711
75	667533.90	9183686.62	63.89	-0.176
76	667543.73	9183686.62	59.07	0.621
77	667553.55	9183686.62	61.9	-0.313
78	667563.38	9183686.62	60.02	0.884

79	667573.21	9183686.62	61.65	0.99
80	667583.03	9183686.62	60.2	0.938
81	667592.86	9183686.62	64.9	1.225
82	667602.69	9183686.62	62.17	1.724
83	667612.52	9183686.62	61.53	1.264
84	667622.34	9183686.62	63.8	1.581
85	667632.17	9183686.62	63.65	0.653
86	667642.00	9183686.62	61.5	0.371
87	667651.82	9183686.62	61.56	-0.71
88	667661.65	9183686.62	64.5	1.375
89	667671.48	9183686.62	62.23	2.126
90	667681.30	9183686.62	63.5	0.225
91	667691.13	9183686.62	64.81	3.105
92	667700.96	9183686.62	60.01	1.14
93	667710.78	9183686.62	63.89	1.856
94	667720.61	9183686.62	59.07	0.563
95	667730.44	9183686.62	60.8	1.641
96	667740.27	9183686.62	65.9	1.825
97	667750.09	9183686.62	65.6	2.174
98	667759.92	9183686.62	62.01	3.249
99	667769.75	9183686.62	60.73	1.52
100	667779.57	9183686.62	62.01	2.187
101	667789.40	9183686.62	65.14	0.684
102	667799.23	9183686.62	64.42	1.736
103	667809.05	9183686.62	63.8	1.812
104	667818.88	9183686.62	62.08	1.127
105	667828.71	9183686.62	65.03	3.19
106	667838.53	9183686.62	64.5	0.514
107	667848.36	9183686.62	62.23	2.275
108	667858.19	9183686.62	63.5	1.06
109	667868.02	9183686.62	64.81	2.807
110	667877.84	9183686.62	60.46	1.698

Lampiran 2 Dokumentasi penelitian





JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 220604110035
Nama : SISKI KARTIKA SARI
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : RUSLI, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : MUBASYIROH, S.S., M.Pd.I
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : APLIKASI METODE SELF-POTENTIAL UNTUK INTERPRETASI BAWAH PERMUKAAN LOKASI SEMBURAN LUMPUR DESA SUMBERWARU KECAMATAN WRINGINANOM KABUPATEN GRESIK

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	09 September 2025	RUSLI, M.Si	konsultasi judul dan outline	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	29 September 2025	RUSLI, M.Si	konsultasi penyusunan bab 1	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	16 Oktober 2025	RUSLI, M.Si	konsultasi bab 1,2 dan 3	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	30 Desember 2025	RUSLI, M.Si	ACC proposal	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
5	26 Februari 2026	RUSLI, M.Si	konsultasi hasil pengambilan data	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
6	06 Mei 2026	RUSLI, M.Si	Konsultasi data dan ACC	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	05 Juni 2026	MUBASYIROH, S.S., M.Pd.I	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan III	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	05 Juni 2026	RUSLI, M.Si	Konsultasi bab IV dan V ACC	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	08 Juni 2026	MUBASYIROH, S.S., M.Pd.I	Konsultasi Kajian Agama bab IV ACC	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

MUBASYIROH, S.S., M.Pd.I

Malang, 20 Juni 2026

Dosen Pembimbing 1

RUSLI, M.Si

Kajur / Kaprodi,

